

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΜΑΔΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ
ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ»

ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Κανέλλος Φώτιος

Χανιά 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω όλους, όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας και ιδιαίτερα τον καθηγητή κ. Φώτιο Κανέλλο για την επίβλεψη και τη βοήθεια που μου προσέφερε σε κάθε στάδιο.

Επίσης, τους καθηγητές του Πολυτεχνείου Κρήτης που με καθοδήγησαν τα τελευταία πέντε χρόνια στο πολύ ενδιαφέρον και ευρύ αντικείμενο του Μηχανικού παραγωγής και διοίκησης.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που ήταν πάντα δίπλα μου και στήριζαν τις επιλογές μου, καθώς και όλους τους αγαπημένους μου φίλους, πολλούς από τους οποίους είχα την τύχη να γνωρίσω στη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων και να ζήσουμε αξέχαστες στιγμές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων, σε συνδυασμό με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος και την σταδιακή εξάντληση των φυσικών πόρων, έχουν οδηγήσει στην χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται στατιστική ανάλυση της λειτουργίας μιας ομάδας φωτοβολταϊκών πάρκων στην Κρήτη, με τη χρήση του προγράμματος Matlab.

Αρχικά, συλλέγονται οι τιμές παραγωγής ημερήσιας ενέργειας από όλα τα εξεταζόμενα πάρκα, για το διάστημα από 1η Δεκεμβρίου του 2015 έως την 30η Νοεμβρίου του 2016. Στη συνέχεια, αποτυπώνονται γραφικά τα δεδομένα και δημιουργείται ένα μέσο πάρκο που η παραγωγή του είναι ο μέσος όρος της παραγωγής των πάρκων που μελετάμε. Ακολούθως, παρατίθενται ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων της ομάδας Φ/Β πάρκων με τα αντίστοιχα των μεμονωμένων. Τέλος, γίνεται αναφορά στην αποθήκευση ενέργειας προερχόμενη από Φ/Β πάρκα, σε μπαταρίες και την συμπεριφορά που θα έχουν τα πάρκα που μελετάμε, καθώς και το ενδεικτικό κόστος τους.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 6 -
1.1 Ενέργεια	- 6 -
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	- 6 -
1.2.1 Υδατόπτωση	- 6 -
1.2.2 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλασσίων ρευμάτων.....	- 7 -
1.2.3 Βιομάζα	- 7 -
1.2.4 Γεωθερμική ενέργεια	- 7 -
1.2.5 Αιολική ενέργεια	- 7 -
1.2.6 Ηλιακή ενέργεια	- 8 -
1.4 Εθνικοί και Ευρωπαϊκοί Στόχοι-Η Κατάσταση στην Ελλάδα ,στην Ευρώπη και τον κόσμο σήμερα.	- 10 -
1.4.1 Εθνικοί Στόχοι.....	- 10 -
1.4.2 Ευρωπαϊκοί Στόχοι.....	- 10 -
1.4 Δομή Εργασίας.....	- 12 -
Κεφάλαιο 2: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	- 13 -
2.1 Ο Ήλιος	- 13 -
2.1.1 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο	- 13 -
2.1.2 Ηλιοφάνεια	- 13 -
2.2 Γενικά στοιχεία για τα φωτοβολταϊκά.....	- 14 -
2.2.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια.....	- 14 -
2.2.2 Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	- 15 -
2.2.3 Τρόποι Σύνδεσης ΦΒ Συλλεκτών.....	- 17 -
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αξιοποίησης Φωτοβολταϊκών για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.	- 18 -
2.3.1 Πλεονεκτήματα	- 18 -
2.3.2 Μειονεκτήματα.....	- 20 -
Κεφάλαιο 3: Τα υπό μελέτη Φ/Β πάρκα	- 21 -
Κεφάλαιο 4: Εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων.....	- 25 -
4.1 Εισαγωγή	- 25 -
4.2 Το Matlab	- 25 -
4.2.1 Οργάνωση δεδομένων	- 26 -
4.1.2 Μέθοδος παρεμβολής δεδομένων Spline	- 26 -

4.2.3 Θηκογράμματα (Box plots)	- 27 -
4.2.4 Μέθοδος ομαδοποίησης δεδομένων k-means	- 29 -
Κεφάλαιο 5: Στατιστική ανάλυση δεδομένων.....	- 31 -
5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου	- 31 -
5.2 Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων	- 31 -
5.2.1 Γραφήματα ημερήσιας παραγωγής όλων των Φ/β πάρκων σε διάστημα ενός χρόνου	- 31 -
5.2.2 Γραφήματα ωριαίας παραγωγής.....	- 33 -
5.3 Μέσο πάρκο	- 50 -
5.4 Τυπικές Ημέρες.....	- 54 -
5.5 Συμπεράσματα αποτελεσμάτων	- 57 -
Κεφάλαιο 6: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	- 59 -
6.1 Εισαγωγή	- 59 -
6.2 Μπαταρίες	- 59 -
6.3 Κατηγορίες μπαταριών	- 61 -
6.4 Μπαταρίες αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας.....	- 61 -
6.5 Μπαταρίες ιόντων λιθίου.....	- 62 -
6.6 Η λειτουργία των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα.....	- 63 -
6.7 Λογική λειτουργίας μπαταρίας Φ/Β συστήματος στην παρούσα εργασία	- 64 -
6.7.1 Τυπική μέρα του χρόνου με και χωρίς την χρήση μπαταρίας.	- 65 -
6.7.2 Αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία.....	- 68 -
6.7.3 Ισχύς μπαταρίας.....	- 69 -
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	- 72 -
Παράρτημα	- 73 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 79 -

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια

Η ενέργεια σε όλη τη διάρκεια της σύγχρονης ιστορίας, κατείχε σημαντικό ρόλο στην ζωή των ανθρώπων, καθώς ήταν βασική προϋπόθεση για την πραγματοποίηση των περισσότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο, ήταν η ενέργεια που προερχόταν από την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου. Στη συνέχεια, θα εμφανιστεί μια επαναστατική μέθοδος παραγωγής ενέργειας, η πυρηνική, που αρχικά δείχνει ότι θα λύσει μια για πάντα το ενεργειακό πρόβλημα. Όμως, στη συνέχεια κυρίως λόγω κάποιων σοβαρών ατυχημάτων, όπως αυτό που έγινε στο Τσερνομπίλ, θα εμφανιστούν οι κίνδυνοι που ελλοχεύει αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας. Με την πάροδο του χρόνου λόγω της επιβάρυνσης του οικοσυστήματος από την αλόγιστη χρήση των γαιανθράκων, έγινε κατανοητό ότι μια μετάβαση σε πιο «καθαρές» πηγές ενέργειας, ήταν μια επιτακτική ανάγκη. Έτσι, άρχισαν να εμφανίζονται νέες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, οι οποίες δεν επιβαρύνουν πρακτικά τη φύση και βασίζονται στον ήλιο, τον άνεμο και άλλες πηγές, όπου λόγος θα γίνει παρακάτω.

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ), είναι μορφές ενέργειας, που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Μερικές από τις πιο γνωστές ΑΠΕ είναι η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα, η γεωθερμική, η υδατόπτωση και η ενέργεια των ωκεανών.

Κατηγορίες ΑΠΕ:

1.2.1 Υδατόπτωση

Γίνεται μέσω κατασκευής φραγμάτων σε φυσικές λεκάνες, όπου γίνεται συλλογή των όμβριων υδάτων. Η υδατόπτωση δίνει κίνηση σε υδροστρόβιλους, που κινούν με τη σειρά τους ηλεκτρογεννήτριες. Η δημιουργία τεχνητών λιμνών με φράγματα έχει περιορισμένη εφαρμογή, λόγω των ιδιαίτερων εδαφικών χαρακτηριστικών που απαιτούνται, αλλά και του μεγάλου κόστους κατασκευής. Επιπλέον σε πολλές περιπτώσεις η κατασκευή φραγμάτων, μπορεί να προκαλέσει σημαντική οικολογική καταστροφή και ενδεχομένως μετακίνηση πληθυσμού, λόγω της πλήρωσης

με νερό μεγάλων εύφορων εκτάσεων και περιοχών ,με ιδιαίτερο φυσικό κάλος. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί περίπου το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

1.2.2 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλασσίων ρευμάτων

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες περιοχές, όπου το ύψος των κυμάτων, η διάρκεια δράσης τους και η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Το νερό διαθέτει μεγαλύτερη πυκνότητα σε σύγκριση με τον αέρα, με αποτέλεσμα να καθιστά τις υποθαλάσσιες ηλεκτρογεννήτριες αποδοτικές, παρόλο που η ταχύτητα των θαλάσσιων ρευμάτων είναι αρκετά μικρότερη της τυπικής ταχύτητας του ανέμου. Η εφαρμογή τους πάντως, πρόκειται να είναι περιορισμένη σε θέσεις που υπάρχουν ισχυρά θαλάσσια ρεύματα.

1.2.3 Βιομάζα

Η βιομάζα προσφέρει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας. Η καύση βιομάζας αποτελεί ουσιαστικά ουδέτερη διαδικασία, όσον αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με την προϋπόθεση να διατηρείται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.

1.2.4 Γεωθερμική ενέργεια

Είναι η ενέργεια των θερμών νερών, που αναδύονται από ηφαιστειακά ρήγματα ή από ρήγματα στο υπέδαφος .Η θέρμανση των γεωθερμικών ρευστών οφείλεται κυρίως, στην εκλυόμενη ενέργεια στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών κινείται σε χαμηλά επίπεδα, η ενέργεια τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών και άλλους τομείς. Όταν κινείται σε υψηλά επίπεδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.5 Αιολική ενέργεια

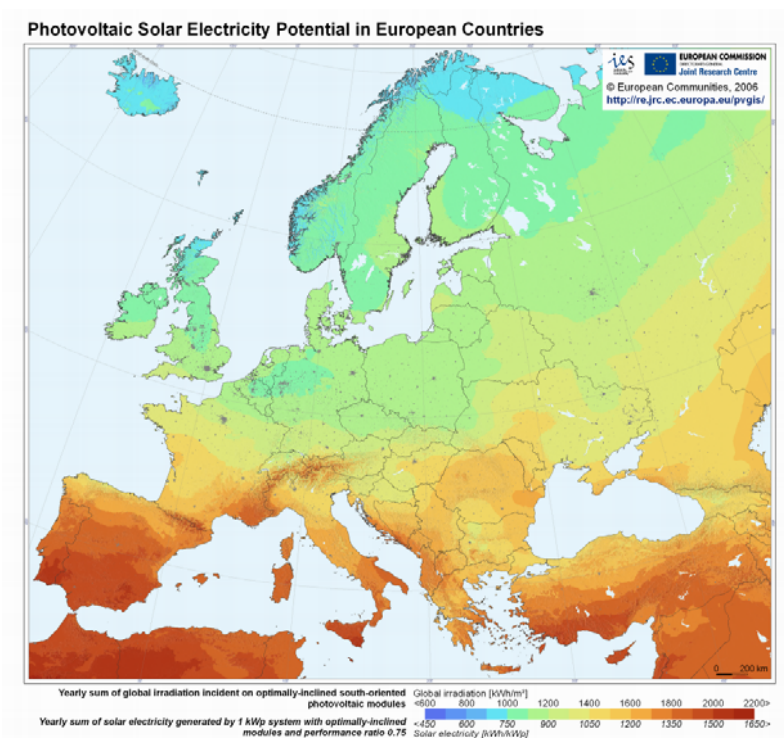
Τα αιολικά συστήματα αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες ΑΠΕ παγκοσμίως, πράγμα που έχει συμβάλει στην ραγδαία εξέλιξη τους. Αποτελούν «απογόνους» των ανεμόμυλων που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα. Στη χώρα μας είναι σε λειτουργία αρκετά αιολικά πάρκα, το σύνολο σχεδόν των οποίων συνδέονται στο εθνικό διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο. Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας, είναι εξαιρετικά υψηλό και προσφέρεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.6 Ηλιακή ενέργεια

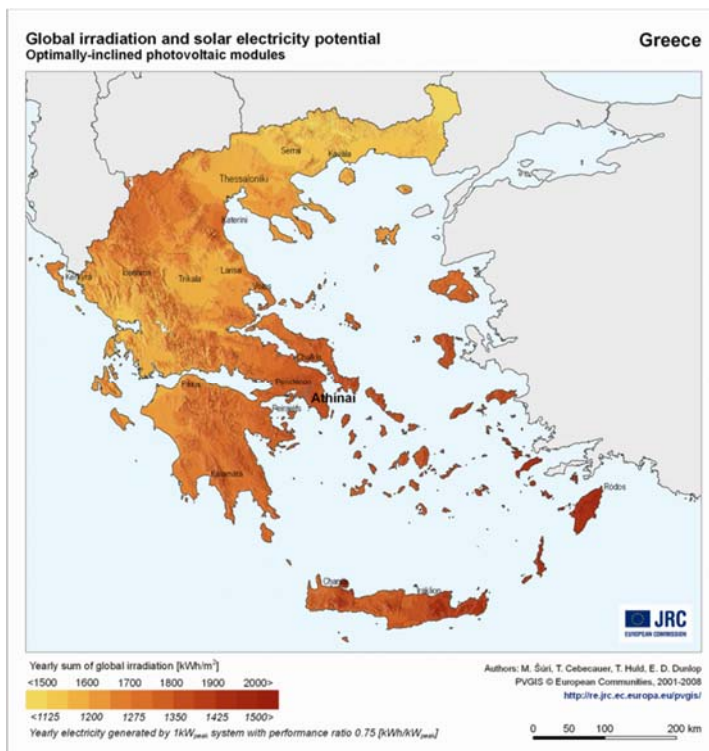
Βασίζεται στην εκμετάλλευση της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο, μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το φωτοβολταϊκό (ΦΒ) είναι ένα σύστημα δύο ημιαγωγικών στρωμάτων με κατάλληλες προσμίξεις σε επαφή, στο οποίο, όταν προσπίπτει φως παρουσιάζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Συνήθως, τα δύο στρώματα είναι κατασκευασμένα από το ίδιο κύριο υλικό (πυρίτιο). Το ένα στρώμα είναι ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p. Εξωτερικά τοποθετούνται κατάλληλα ηλεκτρόδια, ενώ η κατασκευή έχει τη μορφή μιας σχεδόν τετράγωνης πλάκας, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου. Όταν το ΦΒ στοιχείο φωτίζεται, δημιουργείται στο εσωτερικό του ηλεκτρικό ρεύμα (φωτόρευμα), ανάλογο με την πυκνότητα ισχύος του ηλιακού φωτός, που προσπίπτει στην επιφάνειά του. Σε ένα τυπικό ΦΒ στοιχείο, η συνεχή ηλεκτρική τάση ανοιχτού κυκλώματος που αναπτύσσεται, κυμαίνεται μεταξύ 0.5-0.7 V, ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα αντιστοιχεί στην περιοχή των 10-40 mA/cm² για πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός 1 kW/m².

Η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων είχε ραγδαία εξέλιξη το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, παρόλο που το ΦΒ φαινόμενο είχε παρατηρηθεί πολύ νωρίτερα από τον Becquerel το 1839. Το 1954 ανακοινώθηκε η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου του πυριτίου (Si), με σχηματισμό επαφής p-n με διάχυση και απόδοση 6% από τους Fuller, Pearson και Chapin. Οι αρχικές κατασκευές που κυκλοφόρησαν στο εμπόριο, είχαν πολύ υψηλό αρχικό κόστος, σχετικά μικρή απόδοση της τάξεως του 5-10% και παρασκευάστηκαν από κρυσταλλικά υλικά, κυρίως κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si).

Η Ελλάδα λόγω του υψηλού ηλιακού δυναμικού της, η εγκατάσταση ενός Φ/Β πάρκου αποτελεί μια καλή επιλογή.



Εικόνα 1: Ηλιακό Δυναμικό της Ευρώπης.



Εικόνα 2: Ηλιακό Δυναμικό της Ελλάδας.

1.3 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στη χώρα μας, τα προγράμματα ανάπτυξης των ΑΠΕ, υποστηρίζονται και προωθούνται, από πλευράς επίσημης πολιτείας, από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), που είναι ερευνητικός φορέας, εποπτευόμενος από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) του Υπουργείου Ανάπτυξης, τα Περιφερειακά Ενεργειακά Γραφεία, τη ΔΕΗ, τα Ιδρύματα Τεχνολογίας και Έρευνας, τα Πανεπιστήμια, τα Τεχνολογικά Εκπαιδευτικά Ιδρύματα (ΤΕΙ), την Τοπική Αυτοδιοίκηση κ.α.

Εκτός αυτών, έντονη είναι ήδη η δραστηριότητα του ιδιωτικού τομέα, σ' όλο το φάσμα των εφαρμογών των ΑΠΕ. Η ανάπτυξη τους ενισχύεται από σχετικά προγράμματα της ΕΕ, η οποία επιχορηγεί όχι μόνο την έρευνα, αλλά στηρίζει ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα, εφαρμογές μεγάλης ισχύος, σε βιομηχανικές μονάδες, ξενοδοχεία κ.α.. Σημαντικό βήμα προώθησης των ΑΠΕ στη χώρα μας, μέσα στην τελευταία δεκαετία, αποτέλεσε η πιο συγκεκριμένη ενεργειακή πολιτική και η θεσμοθέτηση νομοθετικού πλαισίου εγκατάστασης και αξιοποίησής τους. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και κυρίως της αιολικής και της Φ/Β ενέργειας, προωθείται και ενισχύεται με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς, σ' όλο τον αναπτυγμένο κόσμο, λόγω των οικολογικών προβλημάτων, που δημιούργησε η αλόγιστη χρήση των συμβατικών καυσίμων και της πυρηνικής ενέργειας (πυρηνικά ατυχήματα).

Τον Ιούνιο του 2006 ψηφίστηκε ο νέος νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ν. 3468/06), με ιδιαίτερος ευνοϊκά κίνητρα σε ιδιώτες, αλλά κυρίως σε επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας.

Στην αρχή του προγράμματος επιδοτούνταν το 40% της επένδυσης, ενώ επιδοτούμενο ήταν και το επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού. Επίσης, η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας είχε οριστεί στα πενήντα λεπτά για το μη διασυνδεδεμένο δίκτυο, για ισχύ μέχρι 200 MW και στα σαράντα πέντε λεπτά για το διασυνδεδεμένο, ισχύος έως 500 MW.

Με την πάροδο των χρόνων και την αυξημένη ζήτηση, η τιμή της κιλοβατώρας έπεφτε σταδιακά, έως ότου αυτή την περίοδο να βρίσκεται στα εννέα λεπτά. Επίσης, η σύμβαση για την πώληση με την ΔΕΗ ισχύει για είκοσι χρόνια, με τη δυνατότητα επέκτασης για μερικά ακόμα, όταν φτάσει στο τέλος η σύμβαση, με προϋπόθεση, μείωση της τιμής.

Οι προτάσεις για αδειοδότηση υποβάλλονται στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία είναι ανεξάρτητη διοικητική αρχή και έχει κυρίως γνωμοδοτικές και εισηγητικές αρμοδιότητες στον τομέα της ενέργειας. Στην παρούσα φάση παρατηρείται σε παγκόσμια κλίμακα, μια αυξημένη δραστηριότητα στον τομέα των ΑΠΕ, που μας προϊδεάζει άμεσα για μια αλματώδη ανάπτυξη και ενσωμάτωσή τους στην ενεργειακή παραγωγή.

1.4 Εθνικοί και Ευρωπαϊκοί Στόχοι-Η Κατάσταση στην Ελλάδα ,στην Ευρώπη και τον κόσμο σήμερα.

1.4.1 Εθνικοί Στόχοι

Ο Εθνικός Στόχος είναι η διατήρηση και η βελτίωση της περιβαλλοντικής κληρονομιάς των ανανεώσιμων φυσικών πόρων, των υδάτινων πόρων, καθώς και η σωστή εκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών. Επιπρόσθετα, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εξοικονόμηση ενέργειας, η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ο συντονισμός των περιβαλλοντικών πολιτικών της κυβέρνησης και η εφαρμογή των Ευρωπαϊκών οδηγιών και στόχων, πρέπει να αποτελούν τον γνώμονα για την επίτευξη των εν λόγω στόχων.

1.4.2 Ευρωπαϊκοί Στόχοι

Το Ευρωπαϊκό συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική, με στόχο την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της Ε.Ε., ενισχύοντας παράλληλα, την ανταγωνιστικότητα της και την μετατροπή της σε μια ιδιαίτερα αποδοτική, από ενεργειακή άποψη, οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Επίσης, το Μαρτίου 2007 τόνισε ότι, για να επιτευχθεί ο στόχος της σύμβασης, η σταθεροποίηση δηλαδή των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε

επίπεδα, τα οποία αποτρέπουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα, η συνολική ετήσια μέση αύξηση της θερμοκρασίας, στην επιφάνεια του πλανήτη δεν πρέπει να ξεπεράσει το όριο των 2 °C συγκριτικά με τα προ - βιομηχανικής εποχής επίπεδα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, είναι αναγκαίο να γίνει μείωση των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, μέχρι το 2050 σε ποσοστό τουλάχιστον 50 % έναντι των επιπέδων του 1990. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει αναλάβει έναν οργανωτικό ρόλο στην προσπάθεια περιορισμού της κλιματικής αλλαγής, σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει ασκήσει μεγάλη πίεση για την υιοθέτηση συγκεκριμένων οικολογικών στόχων. Ήδη, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, έχει θέσει τη νέα Ευρωπαϊκή στρατηγική για τη βιώσιμη ανάπτυξη (το λεγόμενο “πακέτο 20-20-20”, που σημαίνει παραγωγή του 20% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, 20% μείωση των ρύπων και 20% εξοικονόμηση ενέργειας), έως το έτος 2020 για την Ευρώπη. Χωρίς ουσιαστικά μέτρα, η Ελλάδα προβλέπεται ότι θα αυξήσει τους ρύπους της κατά 57,6% έως το 2020. Για να είναι οικονομικά αποδοτική η επιδιωκόμενη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 ,μέχρι το 2020, θα πρέπει να συμβάλουν στις μειώσεις των εκπομπών, όλοι οι τομείς της οικονομίας. Σαν συνέπεια, τα κράτη μέλη θα πρέπει να εφαρμόσουν επιπλέον πολιτικές και μέτρα ,σε μια προσπάθεια περαιτέρω, περιορισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, από πηγές που δεν περιλαμβάνει η οδηγία 2003/87/ΕΚ. Η απόφαση σχετίζεται με τη μείωση των εκπομπών από τομείς, που δεν καλύπτονται από το σύστημα εμπορίας, όπως οι μεταφορές, ο οικιακός τομέας, η γεωργία και τα απόβλητα.

Δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι αποβλέπουν σε συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 20% στην ενεργειακή κατανάλωση σε επίπεδο ΕΕ. Οι στόχοι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μείωση της εξάρτησης της ΕΕ, από τις εισαγωγές ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες παγκόσμιες προκλήσεις. Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία είναι ήδη σχεδόν κατά 0,8°C υψηλότερη από την αντίστοιχη της προβιομηχανικής περιόδου.

1.4 Δομή Εργασίας

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται αναφορά στις Πηγές Ενέργειας, στους Εθνικούς και Ευρωπαϊκούς στόχους στον τομέα της Ενέργειας, την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα καθώς και του Σκοπού της Εργασίας.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζονται στοιχεία, που σχετίζονται με τον ήλιο, την ηλιακή ενέργεια, και γενικά στοιχεία για τα φωτοβολταϊκά.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναλύονται τα βασικά τμήματα των φωτοβολταϊκών πάρκων, που θα εξετάσουμε (ΦΒ Πλαίσια, Βάσεις στήριξης, Αντιστροφείς) .

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται τα εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων.

Στο **κεφάλαιο 5** γίνεται η στατιστική ανάλυση των δεδομένων και η παρουσίαση των τυπικών ημερών για κάθε πάρκο ανά μήνα, καθώς επίσης και η παρουσίαση του μέσου πάρκου, που έχει παραγωγή ενέργειας τη μέση τιμή της παραγωγής των πέντε πάρκων. Τέλος γίνεται ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζεται η αποθήκευση ενέργειας, που σχετίζεται με τα Φ/Β. Εξετάζονται δυο σενάρια. Στο πρώτο θεωρούμε μια μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας σε κάθε ένα πάρκο ξεχωριστά, ενώ στο δεύτερο μόνο μία, εξετάζοντας τα πάρκα που ερευνώνται ως ένα ενιαίο πάρκο. Στη συνέχεια ακολουθεί η μελέτη της συμπεριφοράς των πάρκων, αλλά και μια προκαταρκτική οικονομική εκτίμηση των παραπάνω σεναρίων.

Στο **Κεφάλαιο 7** ακολουθούν τα συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 2: Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.1 Ο Ήλιος

Ο ήλιος είναι ένα αστέρι, με μάζα $2 \times 10^{30} \text{ kg}$, ακτίνα 700.000 km , ηλικία 5×10^9 χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι $\sim 5.800^\circ \text{ K}$, ενώ η εσωτερική, περίπου $15.000.000^\circ \text{ K}$. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις, που συμβαίνουν στο εσωτερικό του, κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Υπολογίζεται ότι, για κάθε γραμμάριο υδρογόνου, που μετατρέπεται σε ήλιο, εκλύεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5 \text{ kWh}$. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή.

2.1.1 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο

Η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας (m^2) που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα, εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών, στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας, κατά την ημέρα εκείνη. Οι συλλεκτικές επιφάνειες των μετρητικών οργάνων (αισθητήρων), μπορεί να προσανατολιστούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πειράματος και τις προδιαγραφές των οργάνων αυτών.

Προκειμένου όμως, να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία σε διεθνή κλίμακα, αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με τη συλλεκτική τους επιφάνεια, οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν, οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος (W/m^2) και της πυκνότητας ενέργειας (J/m^2) της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σε κάθε μήνα και μέσα στο έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία, σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις πολλών ετών (πάνω από δέκα). Σε περιπτώσεις που λείπουν στοιχεία μεγάλης περιόδου για κάποιο τόπο, μπορούν να αξιοποιούνται στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε μικρότερες χρονικές περιόδους με λιγότερη αξιοπιστία.

2.1.2 Ηλιοφάνεια

Εκτός από τη μέση ημερήσια ενέργεια από τον ήλιο, σε μηνιαία και ετήσια βάση σε οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η ηλιοφάνειά της. Βέβαια, η ηλιοφάνεια εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από τη θέση και την διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά, πιθανόν να ευνοούν την ανάπτυξη νεφώσεων, με αποτέλεσμα την μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες, ο ήλιος φαίνεται στον ουρανό. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, είναι η περιοχή της Ιεράπετρας, στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3108 ώρες ετησίως).

2.2 Γενικά στοιχεία για τα φωτοβολταϊκά

2.2.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

Φωτοβολταϊκά Πλαίσια, χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία, πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά Φ/Β στοιχεία σε επίπεδη διάταξη (ηλεκτρονικά συνδεδεμένα), τα οποία έχουν ως βάση λειτουργίας το Φ/Β φαινόμενο, το οποίο πραγματοποιεί τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην εικόνα 2 φαίνεται ένα Φ/Β πλαίσιο.



Εικόνα 3: Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Φωτοβολταϊκό στοιχείο(PV cell) είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια, όταν δέχεται ακτινοβολία. Η απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και η απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις, με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος, είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο, οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο. Στην εικόνα 3 δείχνεται η μορφή ενός ΦΒ Στοιχείου.



Εικόνα 4: Φωτοβολταϊκά Στοιχείο

Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας υπό κατάλληλη γωνία, δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο, παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο από τους αντιστροφείς (inverters).

Το φωτοβολταϊκό πάνελ(PV panel), περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία(PV array,) είναι μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια, ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

2.2.2 Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των ΦΒ κυψελίδων είναι το Πυρίτιο (Si), (εικόνα 4). Στην άμμο, το Πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO_2). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή (99,99999% ή 7N), έως και πολύ υψηλή καθαρότητα (9N).



Εικόνα 5: Πυρίτιο

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου διακρίνονται σε έξι κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

2.2.2.1 ΦΒ στοιχεία μόνο-κρυσταλλικού Πυριτίου (Single-crystal Silicon)

Το βασικό υλικό είναι μόνο-κρυσταλλικό πυρίτιο και το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο. Η απόδοση τους με τη μορφή των Φ/Β πλαισίων κυμαίνεται από 13% έως 18%, ενώ έχουν υψηλό κόστος κατασκευής. Το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε. Στην εικόνα 5 φαίνεται ένα μόνο-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

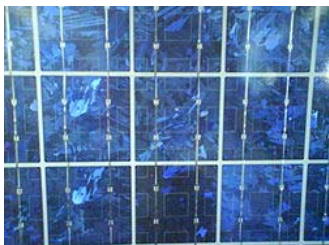


Εικόνα 6: Μόνο-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο

2.2.2.2 ΦΒ στοιχεία πολύ-κρυσταλλικού Πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)

Το πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο μας δίνει τη δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως, κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50 μm . Στην επιφάνεια της κυψελίδας διακρίνονται οι διαφορετικές μόνο-κρυσταλλικές περιοχές, των οποίων τα όρια αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Επομένως, όσο μικρότερο το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/Β στοιχείο, τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους.

Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μόνο-κρυσταλλικών περιοχών του πολύ-κρυσταλλικού ΦΒ στοιχείου, τόσο υψηλότερη η απόδοσή του, η οποία κυμαίνεται από 10% έως και 14% σε βιομηχανική μορφή ΦΒ πλαισίου. Το πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα και το κόστος παρασκευής του είναι χαμηλότερο, σε σχέση με το αντίστοιχο του μόνο-κρυσταλλικού πυριτίου, ενώ το χρώμα του είναι γαλάζιο. Στην εικόνα 6 διακρίνουμε ένα πολύ-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο.



Εικόνα 7: πολύ-κρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο

2.2.2.3 Φ/Βστοιχείαάμορφουπυριτίου (*AmorphousorThinFilmSilicon*)

Η τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων,(films) είναι θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση αυτών των Φ/Β στοιχείων είναι αρκετά χαμηλή της τάξης του 6%-8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων ΦΒ στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Ένα παράδειγμα είναι η παρασκευή ΦΒ στοιχείων από κράμα Πυριτίου με Άνθρακα και Γερμάνιο, με σταθεροποιημένη απόδοση περίπου ίση με 13%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών Φ/Β στοιχείων, σε μεγάλες επιφάνειες ΦΒ πλαισίων. Στην εικόνα 7 βλέπουμε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο άμορφου πυριτίου.



Εικόνα 8: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο άμορφου πυριτίου

2.2.2.4 Φ/B στοιχεία ταινίας (-Ribbon Silicon)

Στα στοιχεία αυτά δημιουργείται λεπτή ταινία από τηγμένο υλικό. Χρησιμοποιώντας Πολύ-κρυσταλλικό Πυρίτιο, η απόδοση είναι περίπου 13%. Η μέθοδος αυτή, είναι υψηλού κόστους και προς το παρόν περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής.

2.2.2.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων

Τα Φ/B στοιχεία περιέχουν άλλα ημιαγώγιμα υλικά, κυρίως σε συνδυασμό μεταξύ τους. Ο συνδυασμός επιλέγεται έτσι, ώστε να προκύπτει διάταξη, με καλύτερη αξιοποίηση του ηλιακού φάσματος. Τα Φ/B στοιχεία αυτά, παρά τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματά τους σε σχέση με το πυρίτιο, εμφανίζουν περιορισμένη χρήση λόγω των δυσκολιών, που συνδέονται με την πολυπλοκότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Όμως η συντελούμενη πρόοδος, στον τομέα της βελτίωσης των μεθόδων παρασκευής των Φ/B στοιχείων λεπτών επιστρώσεων, ενισχύει την πρόβλεψη για ισχυρή διείσδυση τους στην αγορά, πιθανότατα μέχρι το 2020.

2.2.2.6 Ηλεκτροχημικά ή Οργανικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Όπως προδίδει η ονομασία τους, η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται σε οργανικά συστήματα (π.χ. φωτοσύνθεση).

Κύριο μειονέκτημα των Φ/B στοιχείων αυτών, είναι η ευπάθειά και η γρήγορη αλλοίωση τους, λόγω της ευαισθησίας που έχουν στο φως. Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας είναι το εξαιρετικά χαμηλό κόστος τους.

Η όψη του Φ/B καλύπτεται από αντιαντακλαστική επίστρωση. Πρόκειται για μια διαφανή ουσία (π.χ. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Si_3N_4 , MgF_2), η οποία χαρακτηρίζεται από δείκτη διάθλασης τέτοιο, ώστε για μια περιοχή μηκών κύματος, συνήθως γύρω από τα 600nm (που βρίσκεται κοντά στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας 480nm), να ελαχιστοποιείται η ανακλώμενη συνιστώσα του φωτός.

2.2.3 Τρόποι Σύνδεσης ΦΒ Συλλεκτών

Τα Φ/B πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τους επιδιωκόμενους σκοπούς. Μερικά Φ/B πλαίσια συναρμολογημένα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο, με καλωδιώσεις που απολήγουν σε ηλεκτρολογικό κιβώτιο, ως ενιαία κατασκευή έτοιμη για εγκατάσταση, με δυνατότητα εύκολης αφαίρεσης, μεταφοράς ή επέμβασης στα επιμέρους Φ/B πλαίσια, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες μονάδες, λέγονται ΦΒ panel, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Ο συνδυασμός πολλών ΦΒ πλαισίων, καλωδιωμένων μεταξύ τους, σε σειρά ή παράλληλα, σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη με αντίστοιχο κεντρικό ηλεκτρολογικό κιβώτιο, αποτελεί την ΦΒ συστοιχία. Τα /B πλαίσια συνδέονται κατά κλάδους.

Κάθε κλάδος αποτελείται από Φ/B στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση, ενώ η παράλληλη σύνδεση αυξάνει το ολικό ρεύμα.

Τα Φ/Β πλαίσια σε συστοιχία συνδυάζονται έτσι ,ώστε η μεταφορά της Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες στη γραμμή μεταφοράς , δηλαδή με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση, μέσα στα επιτρεπτά όρια (600V). Προκειμένου να προσαρμοστεί η τάση της Φ/Β συστοιχίας στην τάση του δικτύου, απαιτούνται ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις, που ονομάζονται μετατροπείς (inverters).

Ένα συνεργαζόμενο σύνολο Φ/Β συστοιχιών αποτελούν ένα Φ/Β συγκρότημα ή Φ/Β Πάρκο, το οποίο μαζί με όλες εκείνες τις διατάξεις που απαιτούνται, για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, τον έλεγχο της φόρτισης των συσσωρευτών (αν υπάρχουν), για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος επαρκούς, για την τροφοδοσία οικίας, οικισμών ή χωριών, αποτελούν το ΦΒ σταθμό (PVstation).

2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αξιοποίησης Φωτοβολταϊκών για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.

2.3.1 Πλεονεκτήματα

Το βασικότερο πλεονέκτημα των ΦΒ, είναι η προστασία του περιβάλλοντος, καθώς δεν το επιβαρύνουν όπως τα ορυκτά καύσιμα. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο “αέριο του θερμοκηπίου”, που συμβάλλει στις κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή.

- Μερικά από τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών:
- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που ξεπερνά τα 25 χρόνια)
- ανεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

-
- Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά προσδίδουν σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία:
 - Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.
 - Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη.
 - Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.
 - Τα φωτοβολταϊκά, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής, καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό.
 - Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία, που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.
 - Καθώς η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας που προέρχονται από ΦΒ πάρκο είναι τοπική, γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς μειώνονται οι απώλειες από την μεταφορά της ενέργειας.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Ένα kW φωτοβολταϊκών αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή περίπου 100 δέντρα για να απορροφήσουν αυτή την ποσότητα CO₂. Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1.300 κιλά CO₂ ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο. Επιπλέον, η υποκατάσταση ρυπογόνων καυσίμων από φωτοβολταϊκά, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

2.3.2 Μειονεκτήματα

Τα βασικότερα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι τα ακόλουθα:

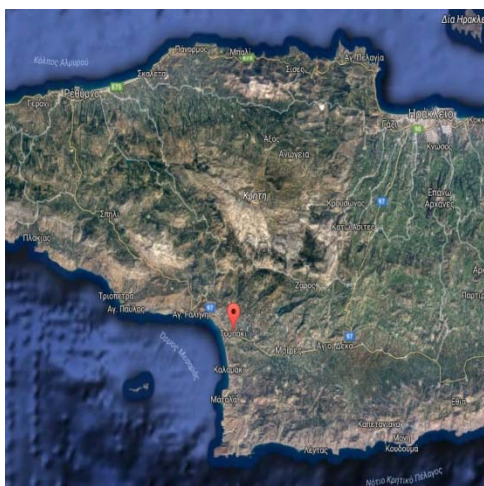
- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Επιπλέον, για τον παραπάνω λόγο τα Φ/Β δεν μπορούν, προς το παρόν, να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

Κεφάλαιο 3: Τα υπό μελέτη Φ/Β πάρκα

Τα πάρκα που θα εξετάσουμε στην παρούσα εργασία, βρίσκονται στο νησί της Κρήτης, στους νομούς Ηρακλείου και Χανίων αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, τα τέσσερα από αυτά βρίσκονται στο νομό Ηρακλείου (Τύμπάκι, Χουδέτσι) και ένα στο νομό Χανίων (Αλικιανός). Παρακάτω, μέσω του GoogleEarth φαίνεται η απεικόνιση των πάρκων στο νησί.



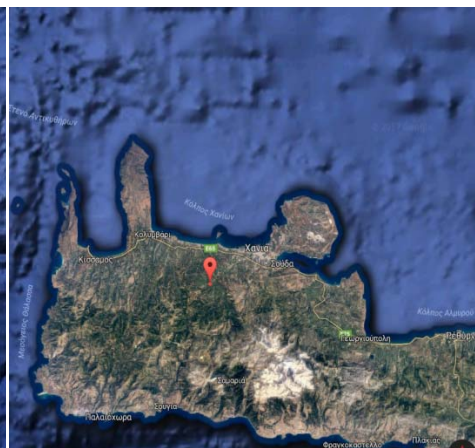
Εικόνα 9 :Πάρκο Goodhawk1



Εικόνα 10:Πάρκα Goodhawk2 ,Goodhawk3



Εικόνα 11:Πάρκο Goodhawk4



Εικόνα 12: Πάρκο K&M



Εικόνα 13:Πανοραμική φωτογραφία πάρκου Goodhawk1

Τα πάρκα που μελετάμε έχουν πανομοιότυπη κατασκευή. Για την δημιουργία τους απαιτήθηκαν συγκεκριμένες εργασίες, που ήταν κοινές όπως, χωματουργικές, σκυροδέσεις, σύνδεσης κ.α.

Η αρχή έγινε με τις χωματουργικές εργασίες, όπου η εργολαβία των χωματουργικών περιλαμβάνει εκσκαφές για τη διαμόρφωση του οικοπέδου, για τη δημιουργία οδεύσεων για την υπεδάφια καλωδίωση του σταθμού, αλλά και εκσκαφές των περιοχών που θα γίνει η τοποθέτηση των βάσεων των φωτοβολταϊκών.

Στη συνέχεια, σειρά έχουν οι σκυροδετήσεις, όπου αφορούν τις ενέργειες για την δημιουργία των βάσεων των συστημάτων παρακολούθησης του ήλιου.

Γενικές πληροφορίες για τον εξοπλισμό κάθε Φ/Β πάρκου δίνονται στη συνέχεια.

Τα φ/β πλαίσια που τοποθετήθηκαν είναι της εταιρίας Suntech. Κάθε σταθμός περιέχει περίπου 320 τεμάχια φ/β στοιχείων των 255 W σε κάθε πάνελ, συνολικής ισχύος 80kWp τα οποία έχουν διάρκεια ζωής περίπου 25 ετών. Τα φ/β πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν είναι μόνο-κρυσταλλικού πυριτίου, λόγω της αυξημένης ενεργειακής απόδοσης τους.

Τα συστήματα παρακολούθησης που τοποθετήθηκαν στα πάρκα είναι της ελληνικής εταιρίας Mechatron. Στο πάρκο Goodhawk4 χρησιμοποιήθηκαν trackers τύπου AtlasS80, τα οποία βρίσκονται σε μια διάταξη ενός άξονα, που ως σκοπό έχει την κίνηση, από την ανατολή μέχρι την δύση, για την αύξηση της παραγωγής του πάρκου. Στα υπόλοιπα πάρκα χρησιμοποιήθηκαν trackers της ίδιας εταιρίας με κίνηση και στους δύο άξονες τύπου AtlasT150, για ακόμη μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας. Ο προγραμματισμός της κίνησης σε αυτόν τον τύπο tracker βασίζεται σε αλγόριθμο αστρονομικών υπολογισμών.

Οι μετατροπείς ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν (inverters) στον φ/β σταθμό, έχουν ως σκοπό την μετατροπή του παραγόμενου από τα πάρκα ρεύματος, σε ρεύμα με τις προβλεπόμενες τάσεις και συχνότητες, για το δίκτυο της Δ.Ε.Η., ώστε να μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο. Οι εν λόγω μετατροπείς είναι της εταιρίας SMA.



Εικόνα 14: Inverter

Τα καλώδια AC, εναλλασσόμενου ρεύματος του συστήματος, εξασφαλίζουν πτώση τάσης μικρότερης από ένα τοις εκατό (1%) για συνθήκες κανονικής λειτουργίας του σταθμού. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση, τοποθετούνται κάτω από το έδαφος και είναι της εταιρίας Nexans.

Τα καλώδια DC μεταξύ των φ/β πλαισίων που απαρτίζουν κάθε συστοιχία και καταλήγουν στους inverter που χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα πάρκα, είναι της εταιρίας HuberShner.

Τα καλώδια τηλεμετρίας των αντιστροφών, που μεταφέρουν το σήμα ορθής λειτουργίας του κάθε αντιστροφέα στον οικίσκο ελέγχου και στο σύστημα επιτήρησης.

Τα κύρια μέρη κάθε Φ/Β πάρκου δίνονται στη συνέχεια:

- Πλήρης Μετεωρολογικός σταθμός αποτελούμενος από αισθητήρες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου, θερμοκρασίας κυψέλης και ανέμου της εταιρίας SMA.
- Σύστημα τηλεπαρακολούθησης της λειτουργίας του σταθμού (webbox), της εταιρίας SMA.
- Εξοπλισμός διασύνδεσης του σταθμού με το διαδίκτυο (internet).
- Σύστημα ιχνηλάτησης ATLAS της εταιρίας Mechatron.
- Σύστημα σταθερών βάσεων ALTECSOLARTECHNIK.
- Προκατασκευασμένος οικίσκος PILLAR.
- Ηλεκτρικοί πίνακες διανομής AC με ραγοϋλικό της εταιρίας ABB.
- Λοιπά εξαρτήματα φωτοβολταϊκής εγκατάστασης όπως καλώδια AC/DC, προϊόντα επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων, γειώσεις, αντικεραυνική προστασία , στύλοι, αγκύρια, φρεάτια, μεταλλικά καπάκια κ.α.

Κεφάλαιο 4: Εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Η στατιστική ανάλυση που έγινε στα πλαίσια της εργασίας, βασίζεται σε πλήθος δεδομένων, που αφορούν την ημερήσια παραγωγή ενέργειας των πέντε φωτοβολταϊκών πάρκων, για τη διάρκεια ενός έτους. Στο επόμενο κεφάλαιο τα δεδομένα αυτά οργανώνονται σε μορφή πινάκων, αποτυπώνονται με την μορφή διαφόρων γραφικών μεθόδων, χωρίζονται σε ομάδες και αναλύονται. Η στατιστική ανάλυση στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με τη βοήθεια στατιστικών εργαλείων του Matlab. Το παρόν κεφάλαιο περιέχει την παρουσίαση των μέσων, με τα οποία πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση.

4.2 Το Matlab

Η ονομασία MATLAB προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων MATtrix LABoratory, που στα ελληνικά σημαίνει εργαστήριο πινάκων. Πρόκειται, για ένα διαδραστικό πρόγραμμα που βρίσκεται πληθώρα εφαρμογών σε πανεπιστήμια, σε έρευνες και σε αρκετές περιπτώσεις επιστημονικών υπολογισμών. Το MATLAB αποτελεί ένα σύγχρονο λογισμικό πακέτο μαθηματικών, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα αριθμητικών υπολογισμών και οπτικοποίησης δεδομένων, με πάρα πολλές επιλογές γραφικών παραστάσεων. Αυτές του οι ικανότητες το κατατάσσουν σε ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στη διάθεση των φυσικών και μαθηματικών επιστημών. Με την πάροδο των χρόνων, δημιουργούνται συνεχώς νέες, βελτιωμένες εκδόσεις του προγράμματος, οι οποίες περιλαμβάνουν επιπλέον εργαλεία και πακέτα.

Ο σχεδιασμός του MATLAB βασίζεται στη χρήση πινάκων, οι οποίοι εμπλέκονται σε υπολογισμούς, όπως η επίλυση γραμμικών συστημάτων, η εύρεση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων, η αντιστροφή τετραγωνικών πινάκων κλπ. Επίσης, χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση και στην επίλυση πληθώρας προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι εξής λειτουργίες του:

- Organizing data
- Spline interpolation
- Box plots
- K-meansclustering

4.2.1 Οργάνωση δεδομένων

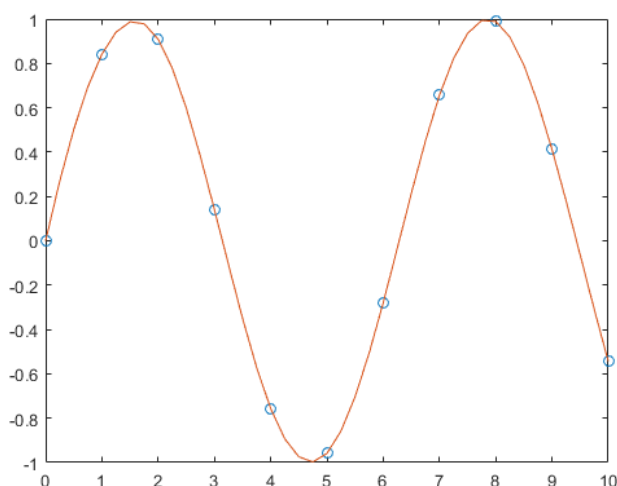
Τα δεδομένα που εισάγονται στην Matlab τοποθετούνται σε κελιά, σαν αυτά του excel, που μπορούν να υποστούν επεξεργασία. Όλα μας τα δεδομένα οργανώνονται υπό την μορφή πινάκων.

Οι πίνακες που χρησιμοποιήσαμε στο Matlab, είναι αριθμητικοί πίνακες δύο διαστάσεων, που οργανώνουν τα δεδομένα σε γραμμές και στήλες αντίστοιχα .

4.1.2 Μέθοδος παρεμβολής δεδομένων Spline

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για τα Φ/Β πάρκα προέρχονται από μετρήσεις. Λόγω τεχνικών προβλημάτων, είχαμε απουσία κάποιων δεδομένων. Παραδείγματος χάριν, για μερικές ημέρες υπήρξε μια βλάβη στην κεραία καταγραφής της παραγόμενης ενέργειας ενός πάρκου. Όπως είναι φυσικό, έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος να συμπληρωθούν οι «χαμένες» τιμές ενέργειας. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήσαμε την κυβική παρεμβολή. Προτιμήθηκε η κυβική παρεμβολή από την πολυωνυμική, καθώς επιφέρει μικρότερο σφάλμα και επίσης γιατί αυτού του τύπου η παρεμβολή ξεπερνάει το πρόβλημα του φαινομένου Runge, κατά το οποίο μπορεί να προκύψει ταλάντωση μεταξύ των σημείων, όταν χρησιμοποιούμε πολυώνυμα μεγάλου βαθμού. Πιο συγκεκριμένα, για την κυβική παρεμβολή ισχύει :

Από τα σημεία $\{a, f(a)\}$ & $\{b, f(b)\}$ διέρχεται ένα μοναδικό πολυώνυμο $p(x)$ τρίτου βαθμού που ικανοποιεί επιπλέον τις συνθήκες: $p'(a)=f'(a)$, $p'(b)=f'(b)$. Εντοπίζεται η θέση του ελαχίστου του παραπάνω πολυωνύμου, που αντικαθιστά το ένα από τα δύο άκρα.



Εικόνα 15:Παρεμβολή κυβικής καμπύλης ‘Spline’

Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε είναι η `interp(interpolation)` και η σύνταξή της δίνεται στη συνέχεια.

$$vq = \text{interp1}(x,v,xq,\text{method}) \quad (4.1)$$

Πιο συγκεκριμένα για την περίπτωση μας,

$$\text{Π2}(i,:) = \text{interp1}(1:24,\text{Π1}(i,:),1:24,\text{'spline'}) \quad (4.2)$$

Όπου,

- Π2 , ο νέος πίνακας που θέλουμε να δημιουργήσουμε, ο οποίος δεν θα έχει κενά στα δεδομένα.
- `Interp1`, είναι η εντολή για παρεμβολή δεδομένων σε μια διάσταση
- Π1 είναι ο παλιός πίνακας
- `Spline` είναι ο τύπος της παρεμβολής, που θα χρησιμοποιήσουμε.

4.2.3 Θηκογράμματα (Box plots)

Τα `Boxplots`, ή αλλιώς θηκογράμματα είναι γραφήματα, τα οποία βασίζονται στη σύνοψη πέντε αριθμών για τη δημιουργία τους. Οι πέντε αυτοί αριθμοί είναι στην ουσία τα ακόλουθα πέντε περιγραφικά μέτρα :

- Η διάμεσος, η οποία δηλώνει την τιμή της μεσαίας παρατήρησης, αν οι παρατηρήσεις ταξινομηθούν σε αυξανόμενη σειρά. Σε περίπτωση που το σύνολο των παρατηρήσεων είναι ζυγός αριθμός, η διάμεσος ορίζεται ως ο μέσος όρος των μεσαίων παρατηρήσεων.
- Τα τεταρτημόρια $Q1, Q2, Q3$ τα οποία είναι τιμές που χωρίζουν ένα σύνολο παρατηρήσεων σε τέταρτα. Το $Q1$ χωρίζει το σύνολο σε 25% μικρότερες και 75% μεγαλύτερες από αυτή την τιμή, το $Q2$ (διάμεσος) σε 50% μικρότερες και 50% μεγαλύτερες και το $Q3$ σε 75% μικρότερες και 25% μεγαλύτερες.
- Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (`interquartilerange`), το οποίο περιλαμβάνει το 50% των παρατηρήσεων που βρίσκονται γύρω από τη διάμεσο. Δηλαδή οι παρατηρήσεις μεταξύ 25% και 75% των συνολικών.
- Τις ακραίες τιμές (`outliers and extreme points`).

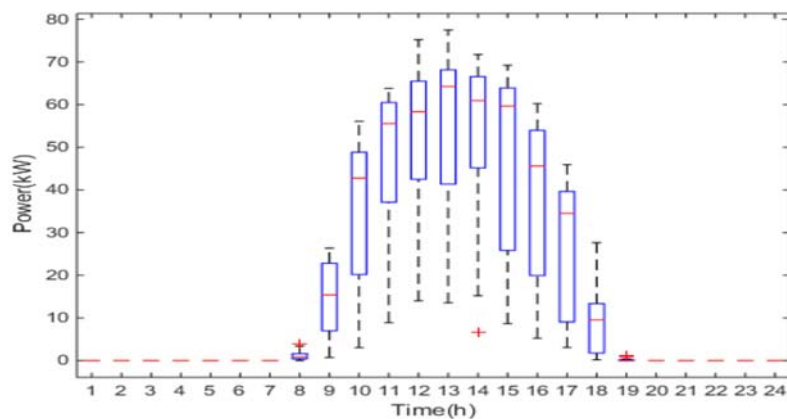
```

1 % Επαναληπτική διαδικασία για τις 366 μέρες του χρόνου
2 for i=1:366
3
4     % Δημιουργία του νέου ολοκληρωμένου πίνακα χρησιμοποιώντας την εντολή spline interp
5     % για την εύρεση των τιμών που λείπουν
6     PV1_new(i,:)=interp1(1:24,PV1(i,:),1:24,'spline');
7
8
9 end
10
11 % Δημιουργία πίνακα PV_f που περιέχει τις τιμές του μέσου πάρκου
12 PV=(PV1_new+PV2+PV3+PV4+PV5);
13 PV_f=(PV/5);
14
15 % Δημιουργία διαγράμματος με τις τιμές του μέσου πάρκου
16 plot(PV_f);
17
18 % Δημιουργία θηκογράμματος του Ιουλίου μήνα για το πάρκο 1
19 % Οι τιμές από 214 έως και 244 αντιστοιχούν στον Ιούλιο μήνα.
20 % Η εντολή boxplot της matlab παίρνει τις τιμές 214 έως και 244 τις
21 % ταξινομεί σε αύξουσα σειρά τις τιμές του μήνα και λαμβάνει ως
22 % Q1 = η μέση τιμή της 8ης και της 9ης παρατήρησης (ημερήσια τιμή του μέσου
23 % πάρκου αν ταξινομηθεί σε αύξουσα σειρά)
24 % Q2 = η διάμεσος των ημερήσιων τιμών του πάρκου αν ταξινομηθούν σε αύξουσα
25 % σειρά
26 % Q3 = η μέση τιμή της 23ης και της 24ης παρατήρησης (ημερήσια τιμή του μέσου
27 % πάρκου αν ταξινομηθεί σε αύξουσα σειρά)
28 boxplot(PV_f(214:244,:))
29
30 % Εύρεση τυπικής μέρας με την χρήση της εντολής kmeans
31 [Prod_08,typical]=kmeans(PV_f(214:244,:),1)
32
33

```

i	366
Prod_08	31x1 double
PV	366x24 double
PV1	366x24 double
PV1_new	366x24 double
PV2	366x24 double
PV3	366x24 double
PV4	366x24 double
PV5	366x24 double
PV_f	366x24 double
typical	1x24 double

Εικόνα 16:Κώδικας Matlab με αναλυτικό σχολιασμό κάθε εντολής.



Εικόνα 17:Θηκόγραμμα

Τα θηκογράμματα απεικονίζουν την κατανομή των ποσοτικών μεταβλητών και παρέχουν τη δυνατότητα διερεύνησης της ύπαρξης ακραίων τιμών σε μια μεταβλητή. Ο κορμός του διαγράμματος αποτελείται από ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, του οποίου η κάτω πλευρά (βάση) απεικονίζει το πρώτο τεταρτημόριο Q1, ενώ η πάνω πλευρά (κορυφή) το τρίτο τεταρτημόριο Q3. Η γραμμή εντός του παραλληλογράμμου απεικονίζει τη διάμεσο των παρατηρήσεων. Ακόμη, οι διακεκομμένες στο άνω και το κάτω άκρο του ορθογωνίου, αναπαριστούν την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή αντίστοιχα, ενώ οι κόκκινοι σταυροί αναπαριστούν τις ακραίες τιμές.

Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή θηκογραμμάτων είναι η *boxplot* και η σύνταξή δίνεται στη συνέχεια.

$$\text{boxplot}(\Pi(i:j,:)) \quad (4.3)$$

Όπου,

- Π , ο πίνακας με τα δεδομένα ετήσιας παραγωγής για το πάρκο
- i, j το κάτω και άνω το όριο της περιόδου που θέλουμε να εξετάσουμε

4.2.4 Μέθοδος ομαδοποίησης δεδομένων k-means

Αυτή η μέθοδος ομαδοποίησης χωρίζει τα δεδομένα σε k ομάδες και επαναφέρει το δείκτη της ομάδας, στην οποία έχει αποδοθεί κάθε παρατήρηση. Αποτελεί μέθοδο κατάλληλη για μεγάλο όγκο δεδομένων. Η μέθοδος K-means αντιμετωπίζει κάθε παρατήρηση σαν ένα ξεχωριστό αντικείμενο, που έχει τη δική του θέση στο χώρο και προσδιορίζει ένα σημείο (κέντρο της ομάδας), στο οποίο τα αντικείμενα κάθε ομάδας είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά το ένα στο άλλο, αλλά επίσης και όσο το δυνατόν και πιο μακριά από τα αντικείμενα των άλλων ομάδων. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα επιλογής, ανάμεσα σε πέντε διαφορετικά μέτρα απόστασης, ανάλογα με το είδος των δεδομένων που ομαδοποιούνται. Κάθε ομάδα ορίζεται από τα μέλη της και το κέντρο βάρους της, ή κέντρο.

Το κέντρο βάρους κάθε ομάδας είναι το σημείο, στο οποίο το άθροισμα των αποστάσεων όλων των μελών ελαχιστοποιείται. Η μέθοδος για να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα, υπολογίζει τα κέντρα διαφορετικά, για κάθε μέτρο απόστασης.

Η μέθοδος K-means χρησιμοποιεί έναν επαναληπτικό αλγόριθμο, που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των αποστάσεων κάθε αντικειμένου από το κέντρο βάρους της ομάδας, για όλες τις ομάδες.

Ο αλγόριθμος μετακινεί αντικείμενα μεταξύ των ομάδων, μέχρι το άθροισμα αυτό να μην μπορεί να μειωθεί περαιτέρω. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο από ομάδες, που είναι τόσο συμπαγείς και καλά διαχωρισμένες, όσο γίνεται.

Η ελαχιστοποίηση μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση διαφόρων προαιρετικών παραμέτρων εισόδου, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων για τις αρχικές τιμές των κέντρων των ομάδων και τον μέγιστο αριθμό των επαναλήψεων.

Ο μαθηματικός τύπος του αλγορίθμου αυτού είναι ο ακόλουθος:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2 \quad (4.4)$$

Όπου k οι ομάδες, S_i , $i = 1, 2, \dots, k$ τα μέλη της ομάδας και μ_i είναι το κεντροειδές ή το μεσαίο σημείο από όλα τα σημεία.

Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή την ομαδοποίηση των δεδομένων είναι η *kmeans* και η σύνταξή δίνεται στη συνέχεια.

$$\text{idx} = \text{kmeans}(X, k) \quad (4.5)$$

Όπου,

- X ο πίνακας που εξετάζουμε
- k οι ομάδες που θα χωριστούν τα στοιχεία του πίνακα.

Κεφάλαιο 5: Στατιστική ανάλυση δεδομένων

5.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου

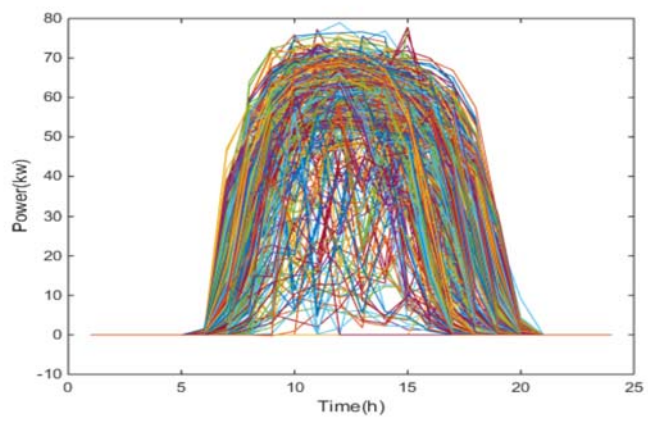
Ο συντελεστής απόδοσης των φ/β στοιχείων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και αποτελεί μέτρο της παραγωγικότητας της εγκατάστασης. Σε μεγάλο βαθμό η αποδοτικότητα του πάρκου έχει να κάνει με την ηλιοφάνεια, την ποιότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των βάσεων στήριξης, της θερμοκρασίας και πολλών άλλων παραγόντων.

Η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες, που επηρεάζουν την απόδοση του φ/β πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, δύο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος οδηγούν ένα φ/β στοιχείο σε διαφορετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό, οφείλεται στην καταλληλότητα των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού του φ/β στοιχείου. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την παραγωγικότητα είναι η θερμοκρασία του φ/β στοιχείου. Η τάση του ανοιχτού κυκλώματος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο και συγκέντρωση των φορέων. Αύξηση της θερμοκρασίας, επιφέρει αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς περιεκτικότητας των φορέων, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων, οι οποίες οδηγούν σε μείωση της απόδοσης μετατροπής. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί, ο επηρεασμός της απόδοσης, από την καθαριότητα των πανέλων. Η συνεχής λειτουργία των φ/β και η συνεχής έκθεσή τους στα καιρικά φαινόμενα έχει σαν αποτέλεσμα, την επικάλυψη τους από ένα λεπτό στρώμα σκόνης που μειώνει το ποσό του φωτός που φτάνει σε κάθε φ/β στοιχείο. Οι απώλειες αυτού του φαινομένου υπολογίζονται στο 5,8%. Τέλος, ένας άλλος παράγοντας είναι η ετήσια μείωση της παραγωγικότητας του πάρκου κατά 1% κάθε χρόνο, λόγω γήρανσης του εξοπλισμού. Όλα τα παραπάνω συνδυαστικά επιδρούν στην παραγωγή και εξηγούν τις διαφορές στις επεξεργασθείσες μετρήσεις.

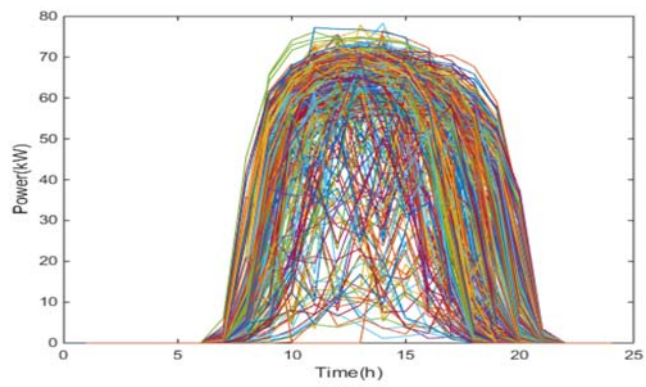
5.2 Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων

5.2.1 Γραφήματα ημερήσιας παραγωγής όλων των Φ/β πάρκων σε διάστημα ενός χρόνου

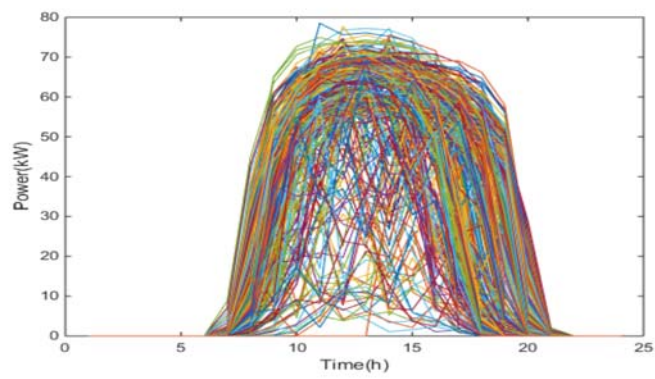
Τα παρακάτω σχήματα (εικόνα 17 έως 21) περιλαμβάνουν την ωριαία παραγωγή των υπό εξέταση πάρκων ανά ημέρα, για την περίοδο που μελετάμε, δηλαδή από τον Δεκέμβριο του 2015 έως τον Νοέμβριο του 2016.



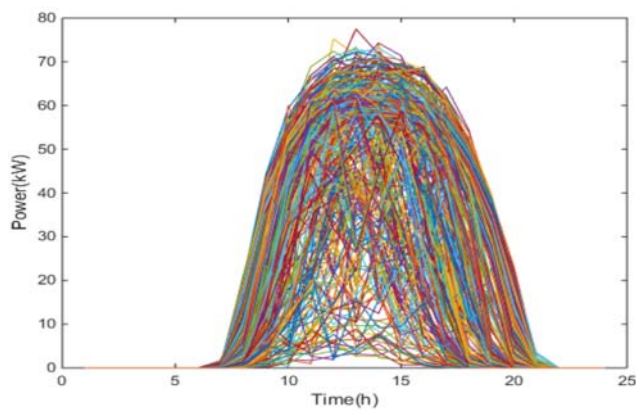
Εικόνα 17:Ετήσια παραγωγή πάκουGoodhawk1



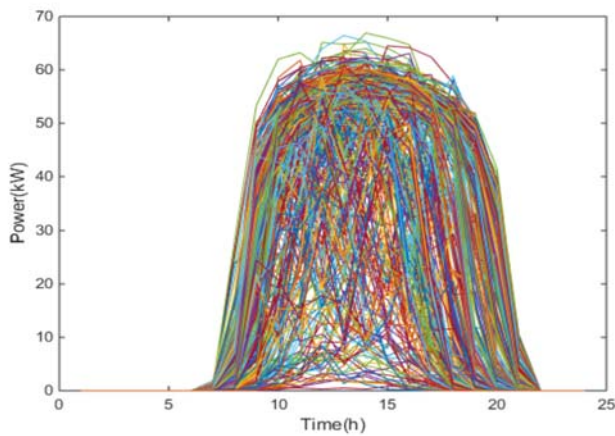
Εικόνα 18:Ετήσια παραγωγή πάκουGoodhawk2



Εικόνα 19:Ετήσια παραγωγή πάκουGoodhawk3



Εικόνα 20:Ετήσια παραγωγή πάρκουGoodhawk4



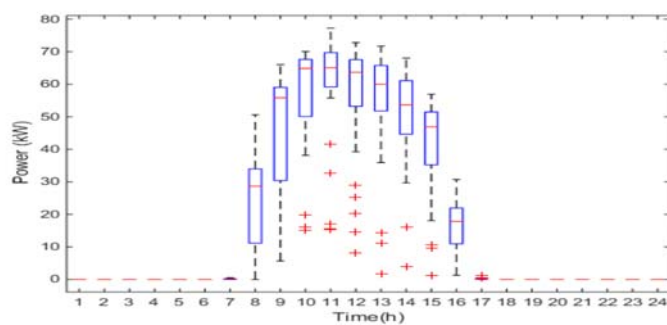
Εικόνα 21:Ετήσια παραγωγή πάρκουK&M

5.2.2 Γραφήματα ωριαίας παραγωγής.

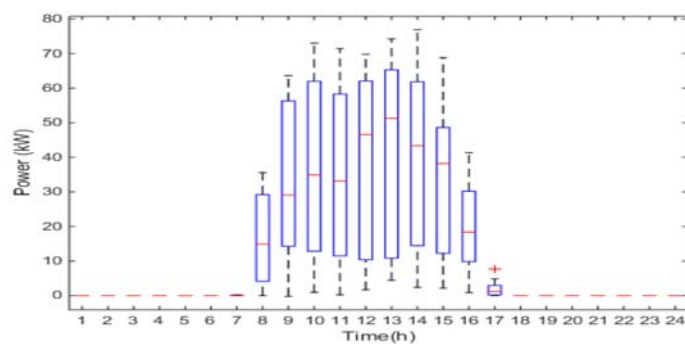
Στη συνέχεια, παρατίθεται η στατιστική επεξεργασία της ωριαίας παραγωγής κάθε πάρκου ανά μήνα ξεκινώντας από τον Δεκέμβριο του 2015 έως τον Νοέμβριο του 2016. Συγκεκριμένα, δίνονται τα boxplots, που περιέχουν πληροφορία για τις ακραίες τιμές, τη μέση τιμή, την μέγιστη και την ελάχιστη παραγωγή.

ΤΙΜΕΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΚΟ GOODHAWK1

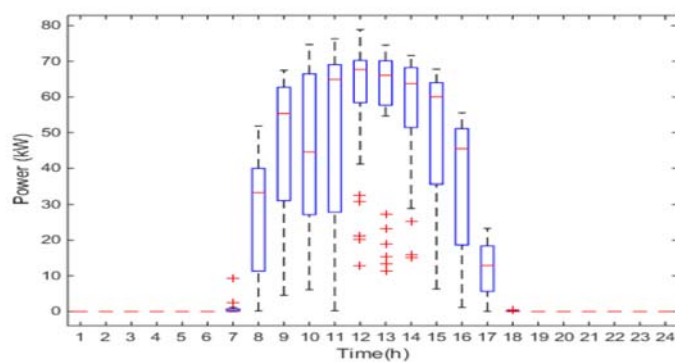
Στα σχήματα 22 έως 33 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις παραγωγής, για κάθε μήνα του έτους για το εν λόγω πάρκο.



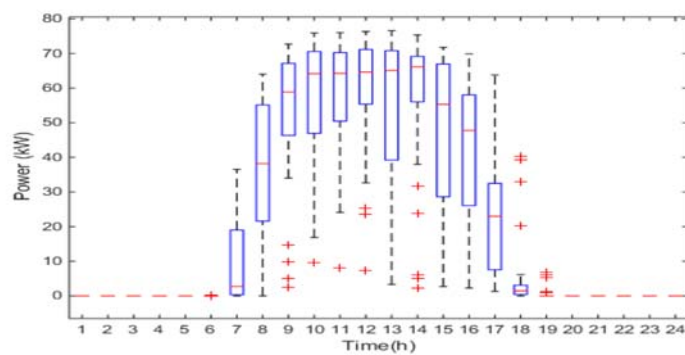
Εικόνα 22: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Δεκέμβριο



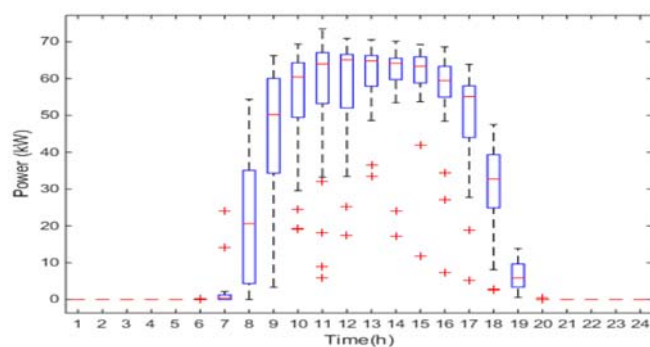
Εικόνα 23: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιανουάριο



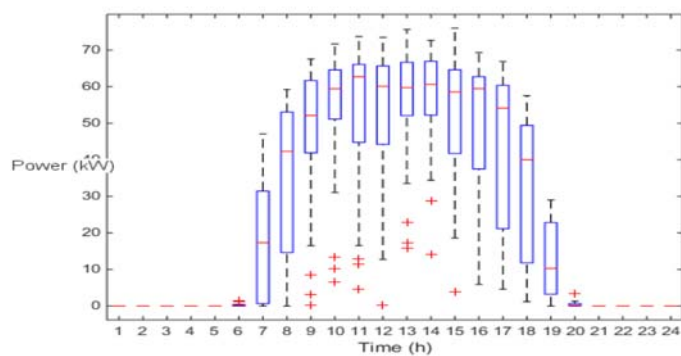
Εικόνα 24: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Φεβρουάριο



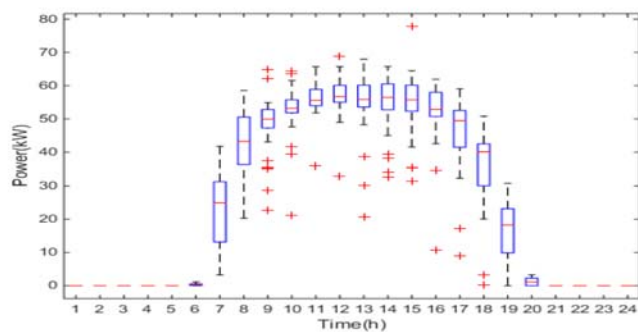
Εικόνα 25: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάρτιο



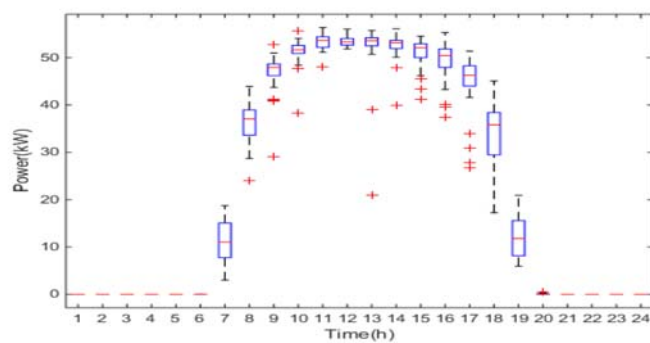
Εικόνα 26: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Απρίλιο



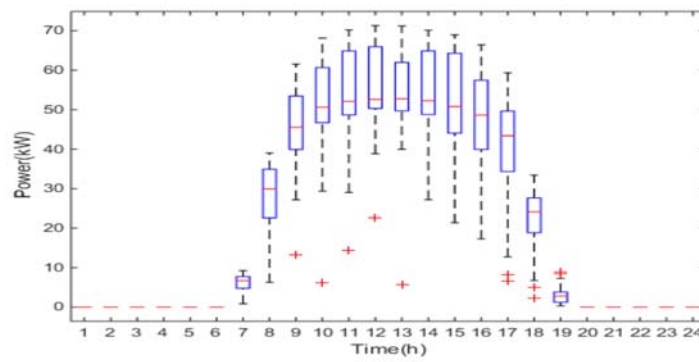
Εικόνα 27: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάιο



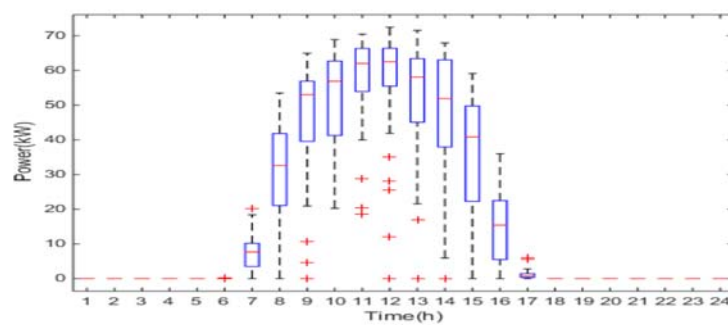
Εικόνα 28: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούνιο



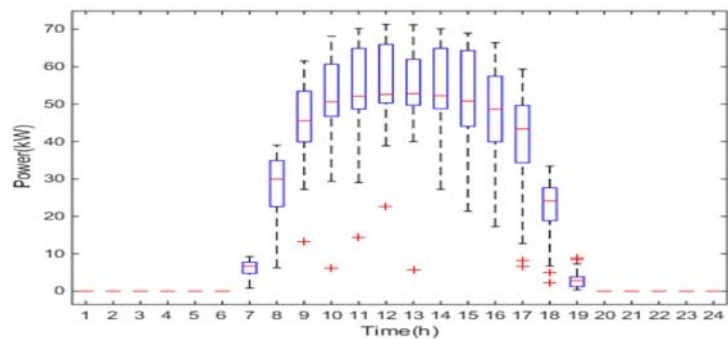
Εικόνα 29: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούλιο



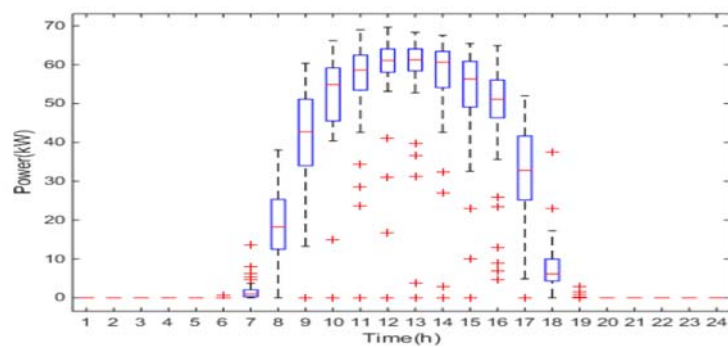
Εικόνα 30: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Αύγουστο



Εικόνα 31: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Σεπτέμβριο



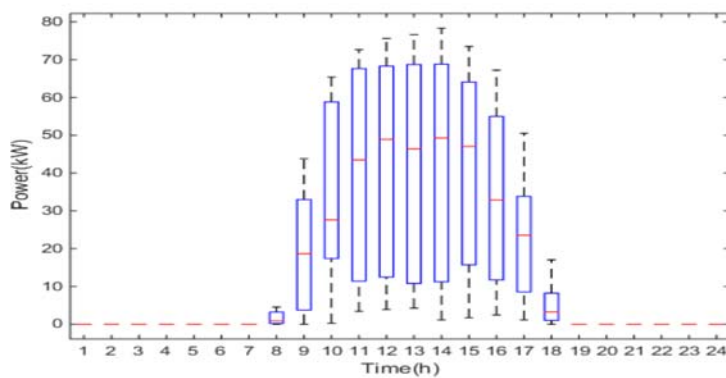
Εικόνα 32: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Οκτώβριο



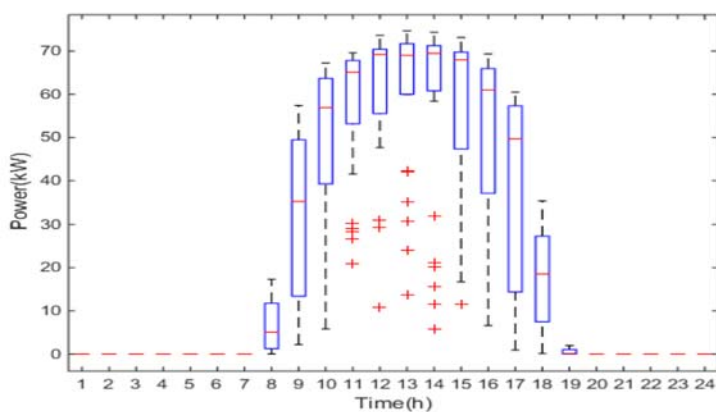
Εικόνα 33: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Νοέμβριο

ΤΙΜΕΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΚΟ GOODHAWK2

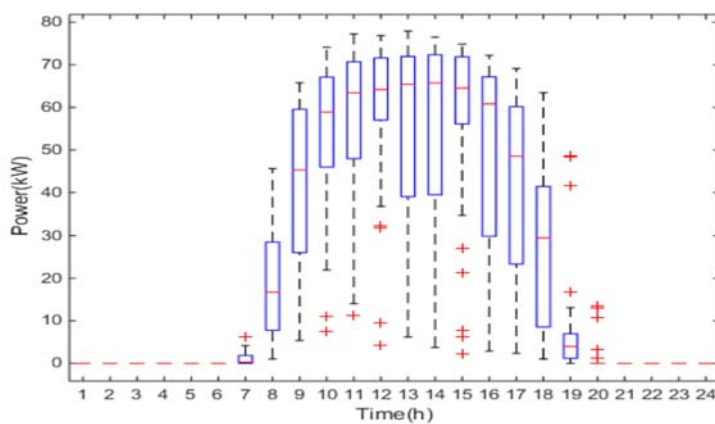
Στα σχήματα 34 έως 45 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις παραγωγής για κάθε μήνα του έτους για το εν λόγω πάρκο.



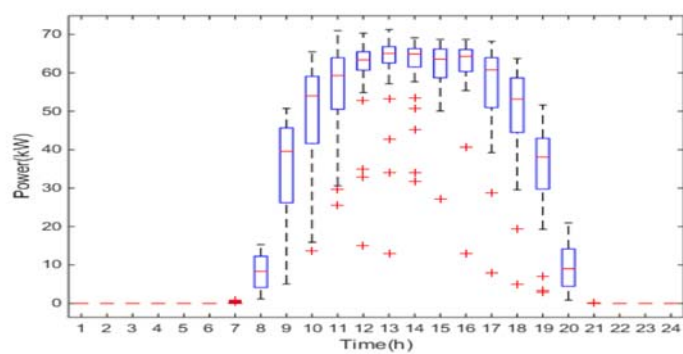
Εικόνα 34: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Δεκέμβριο



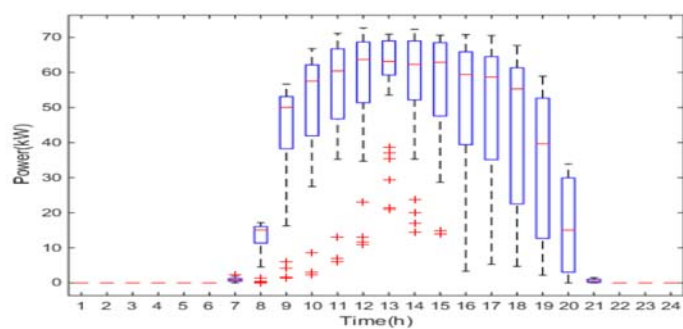
Εικόνα 35: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιανουάριο



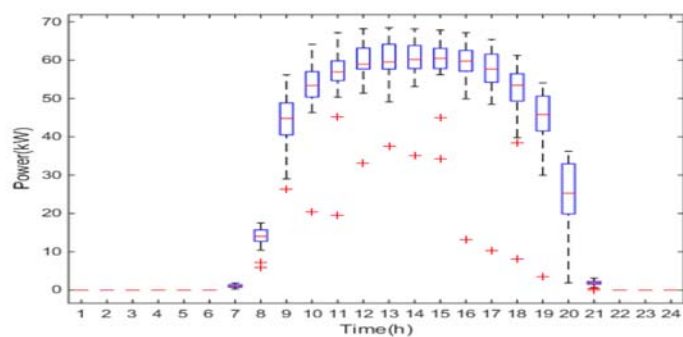
Εικόνα 36: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Φεβρουάριο



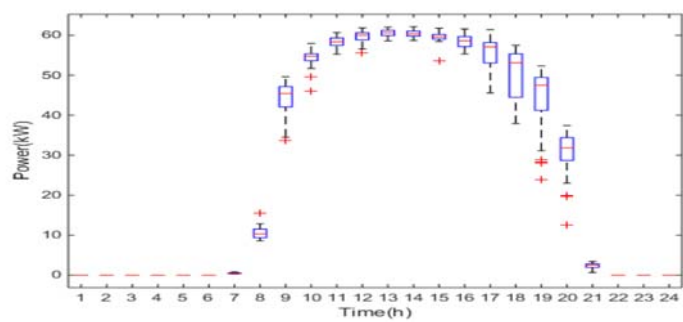
Εικόνα 37: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάρτιο



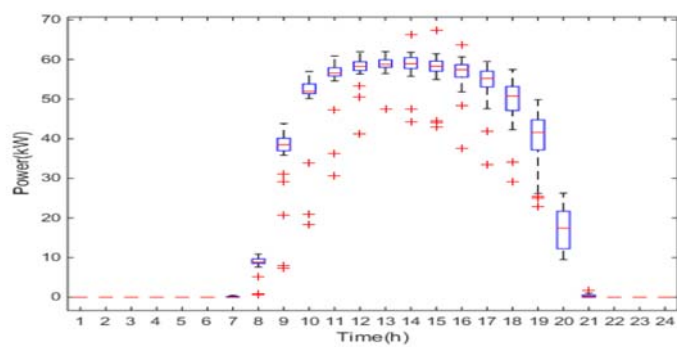
Εικόνα 38: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Απρίλιο



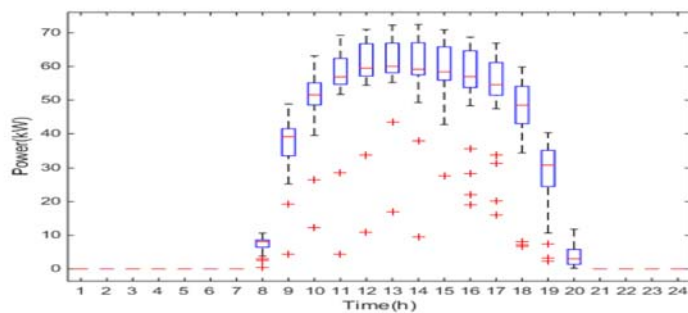
Εικόνα 39: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάιο



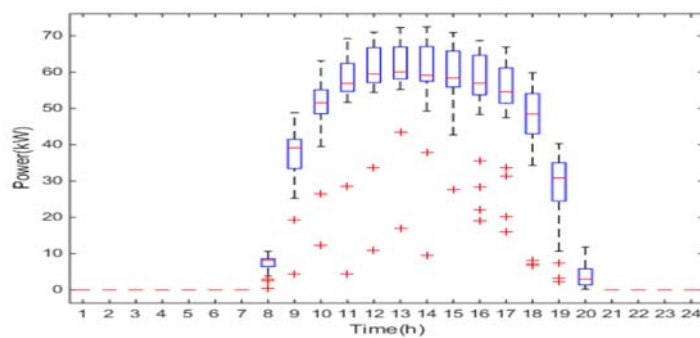
Εικόνα 40: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούνιο



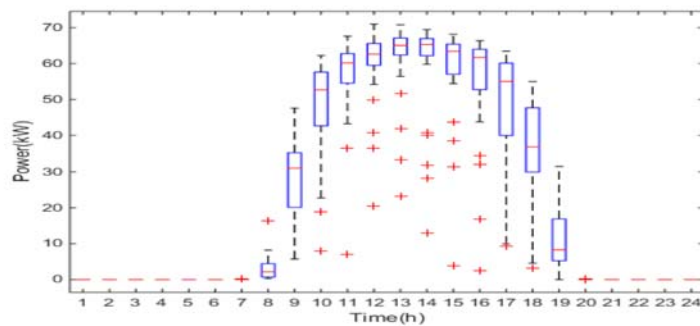
Εικόνα 41: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούλιο



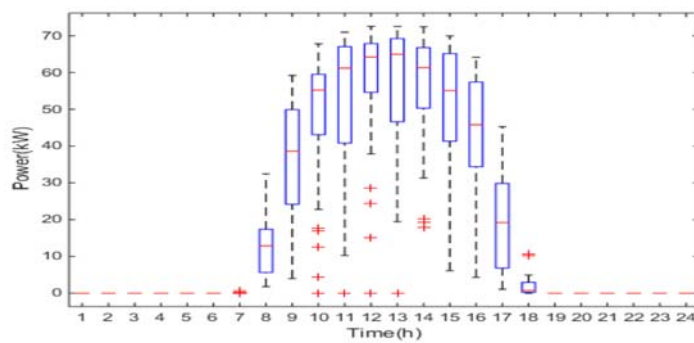
Εικόνα 42: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Αύγουστο



Εικόνα 43: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Σεπτέμβριο



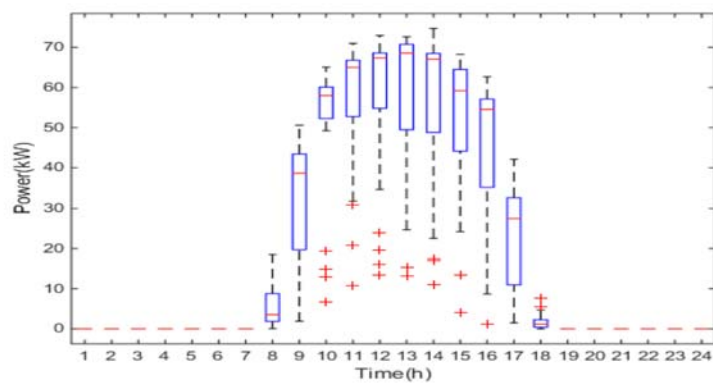
Εικόνα 44: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Οκτώβριο



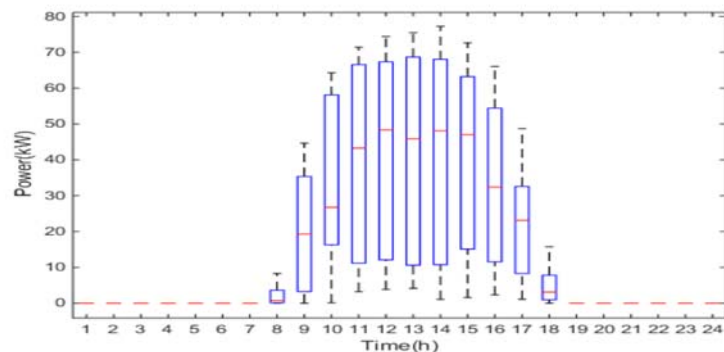
Εικόνα 45: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Νοέμβριο

ΤΙΜΕΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΚΟ GOODHAWK3

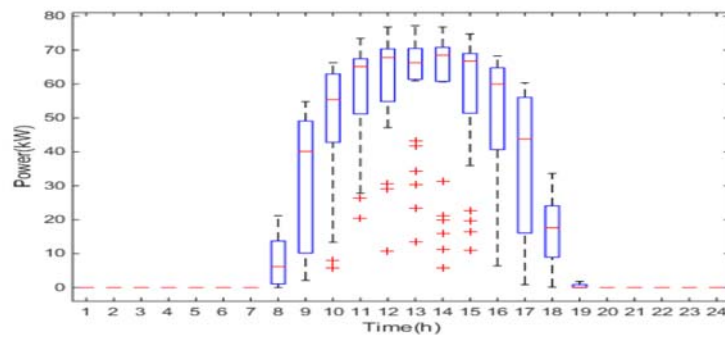
Στα σχήματα 46 έως 57 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις παραγωγής για κάθε μήνα του έτους για το εν λόγω πάρκο.



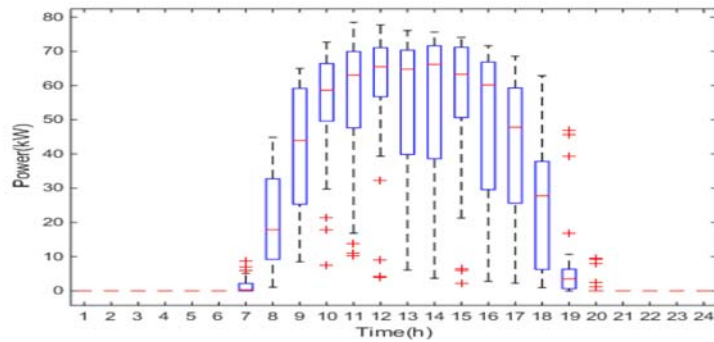
Εικόνα 46: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Δεκέμβριο



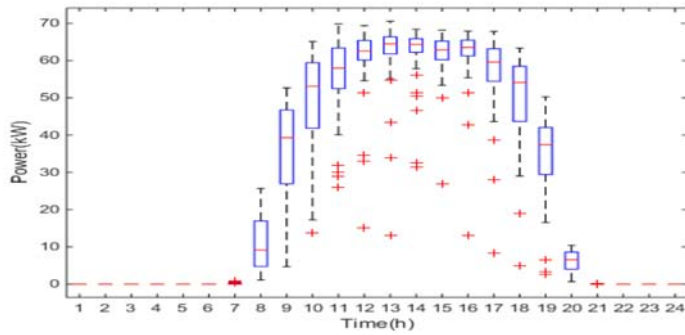
Εικόνα 47: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιανουάριο



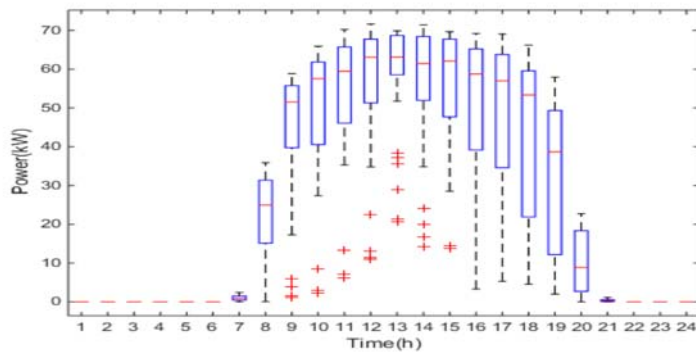
Εικόνα 48: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Φεβρουάριο



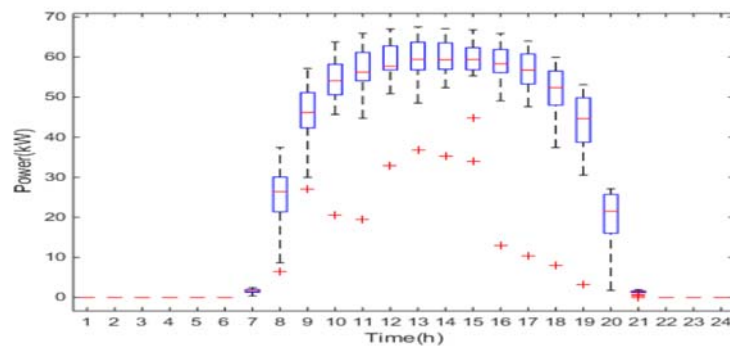
Εικόνα 49: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάρτιο



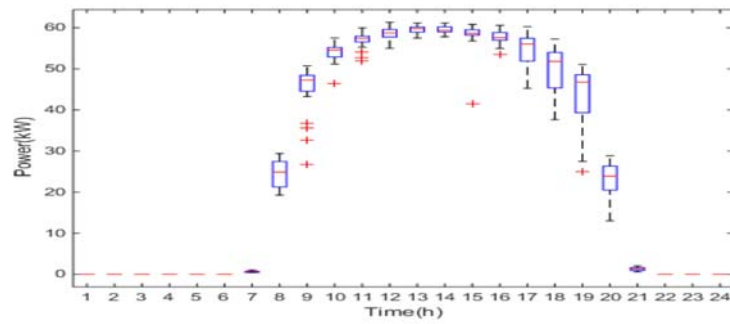
Εικόνα 50: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Απρίλιο



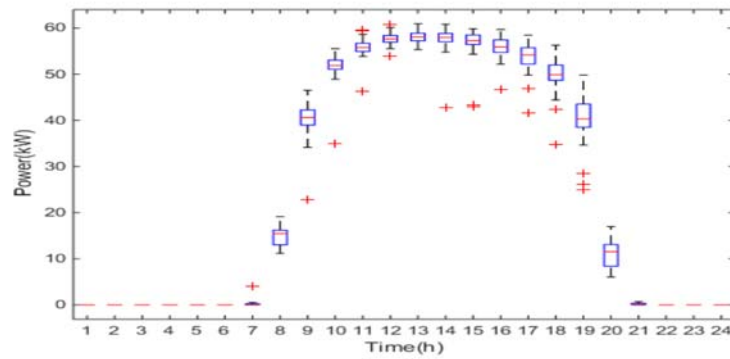
Εικόνα 51: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάιο



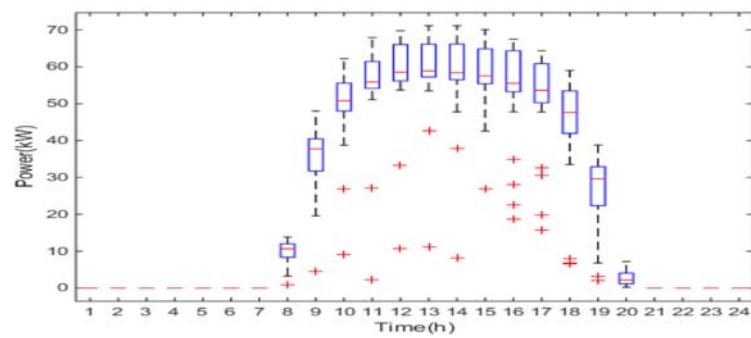
Εικόνα 52: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούνιο



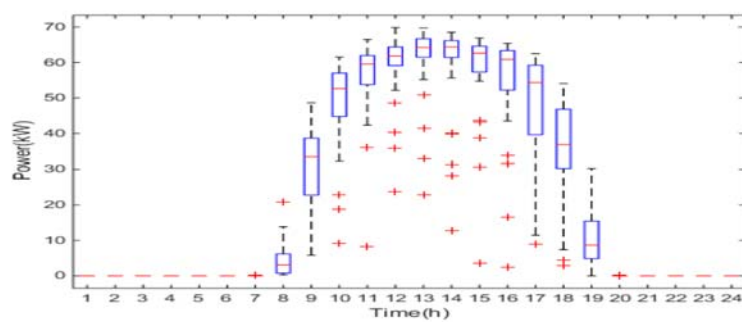
Εικόνα 53: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούλιο



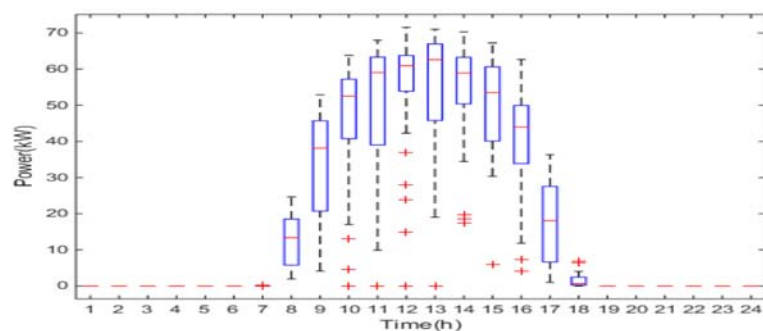
Εικόνα 54: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Αύγουστο



Εικόνα 55: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Σεπτέμβριο



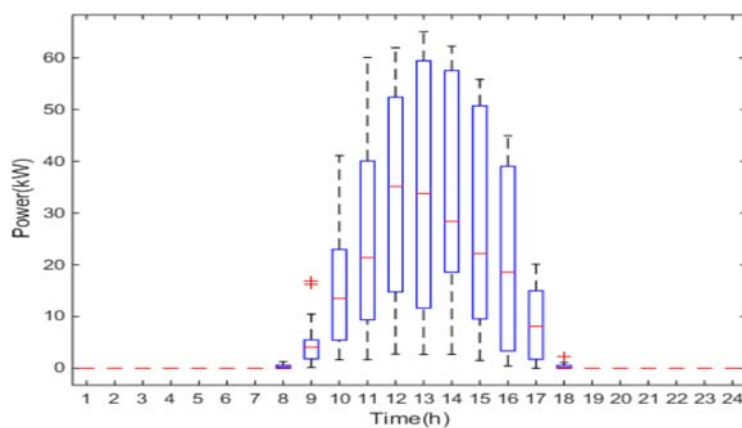
Εικόνα 56: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Οκτώβριο



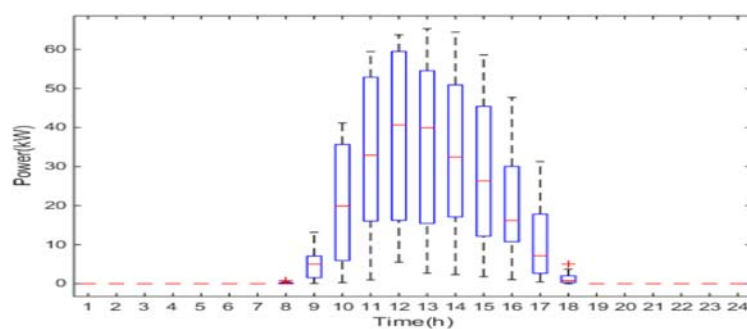
Εικόνα 57: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Νοέμβριο

ΤΙΜΕΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΚΟ GOODHAWK4

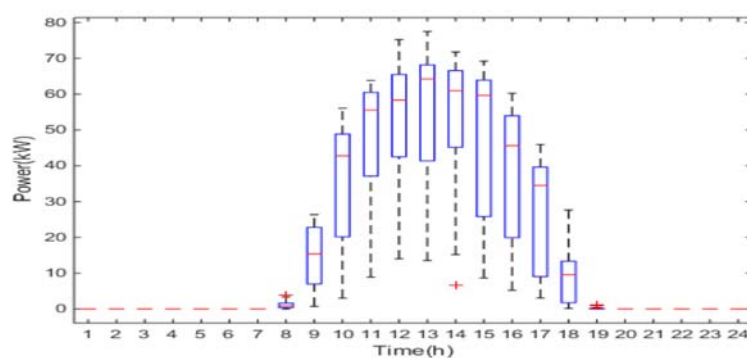
Στα σχήματα 58 έως 67 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις παραγωγής για κάθε μήνα του έτους, για το εν λόγω πάρκο.



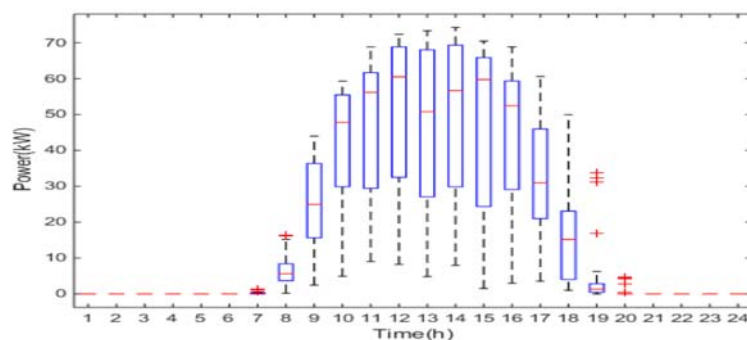
Εικόνα 58: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Δεκέμβριο



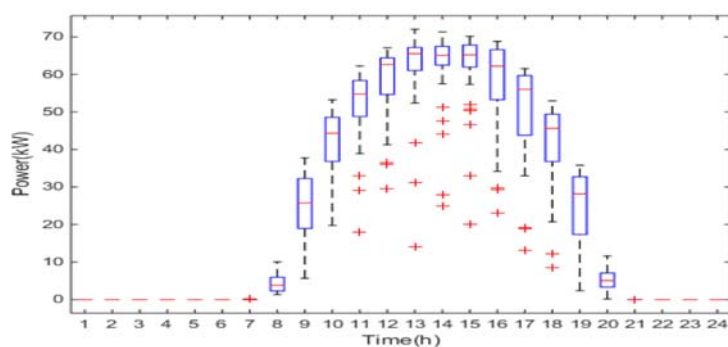
Εικόνα 59: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιανουάριο



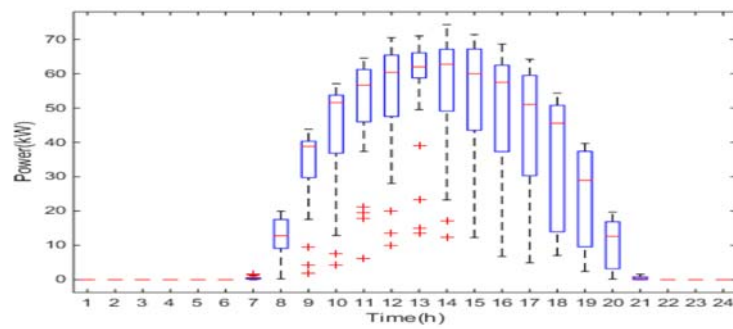
Εικόνα 60: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Φεβρουάριο



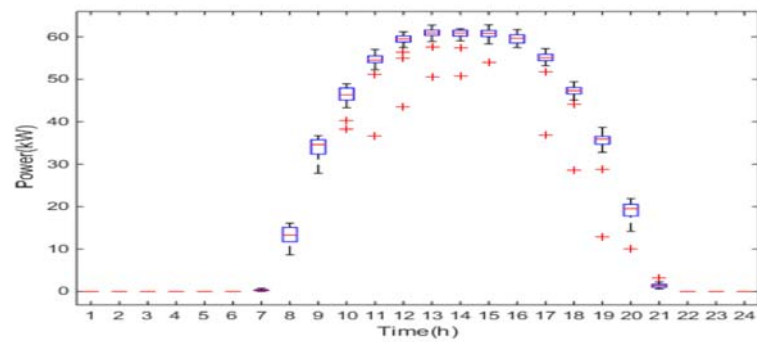
Εικόνα 22: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάρτιο



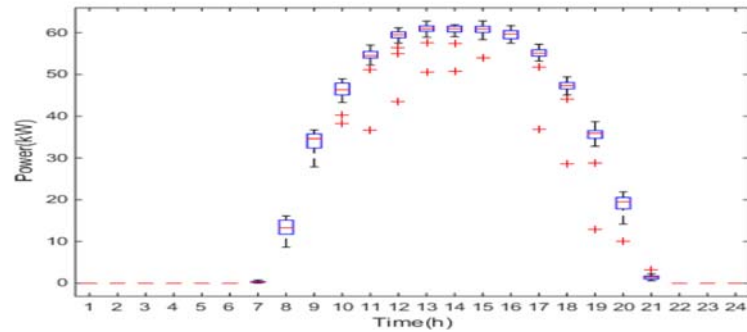
Εικόνα 61: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Απρίλιο



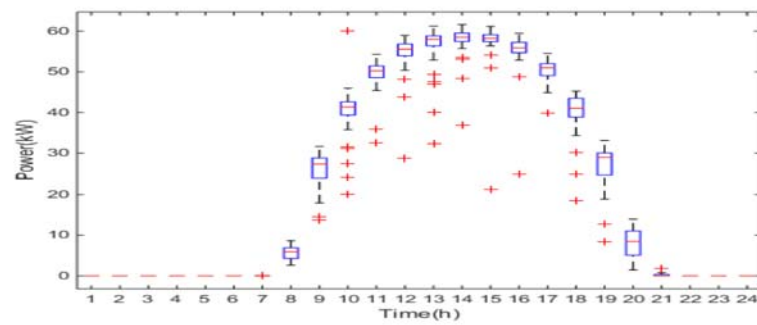
Εικόνα 62: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάιο



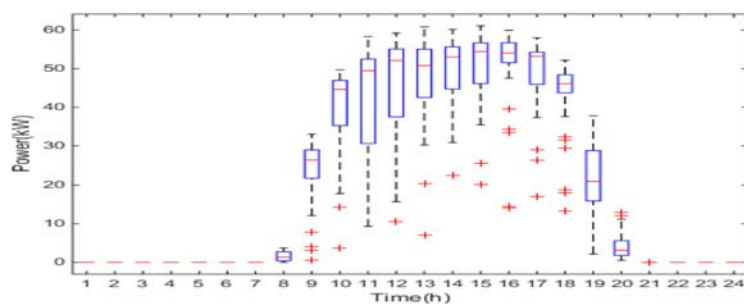
Εικόνα 63: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούνιο



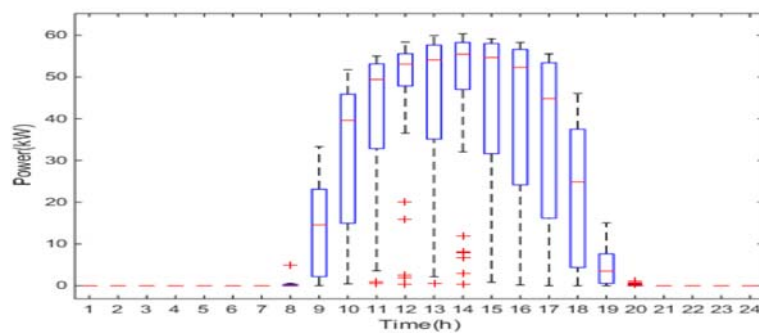
Εικόνα 64: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούλιο



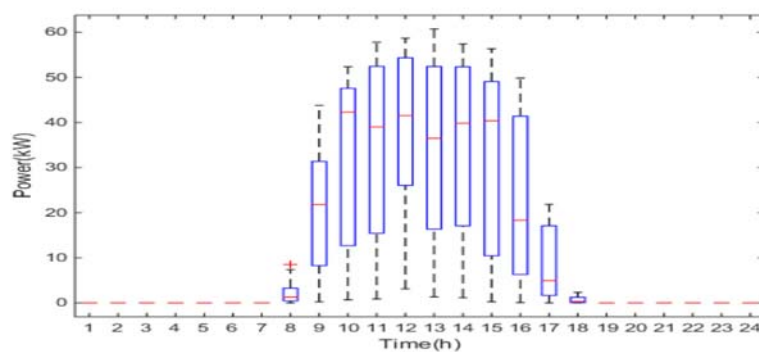
Εικόνα 22: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Αύγουστο



Εικόνα 65: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Σεπτέμβριο



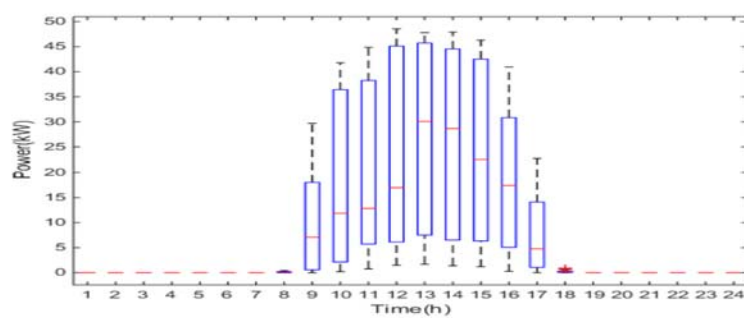
Εικόνα 66: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Οκτώβριο



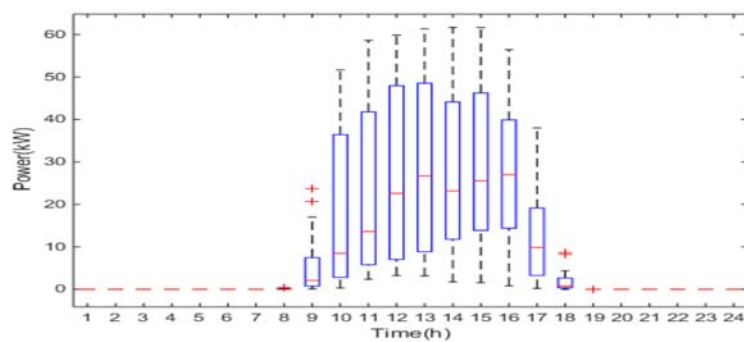
Εικόνα 67: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Νοέμβριο

ΤΙΜΕΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΚΟ K&M

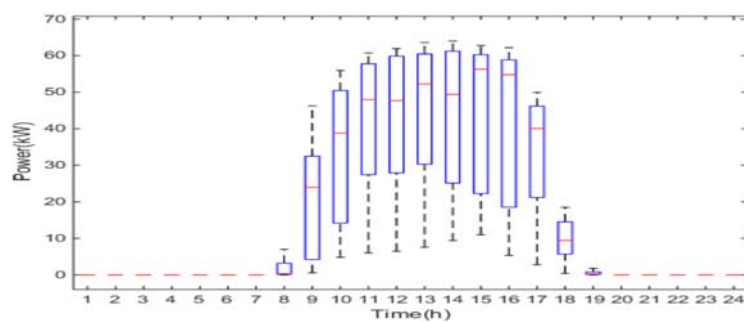
Στα σχήματα 68 έως 79 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις παραγωγής, για κάθε μήνα του έτους για το εν λόγω πάρκο.



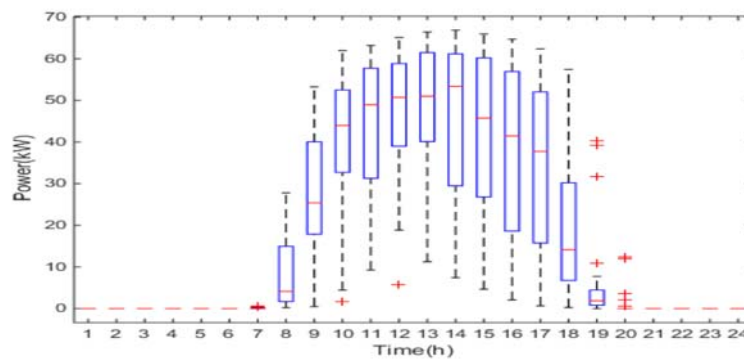
Εικόνα 68: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Δεκέμβριο



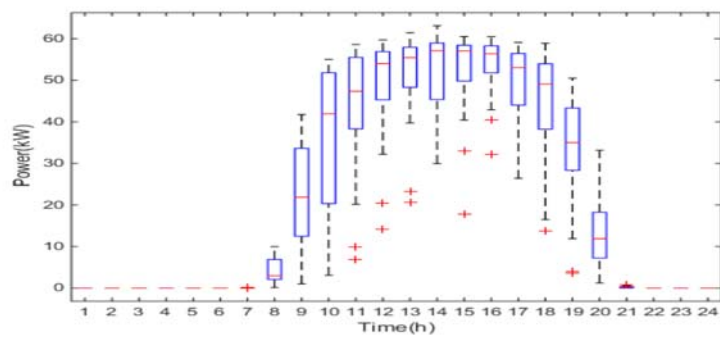
Εικόνα 69: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιανουάριο



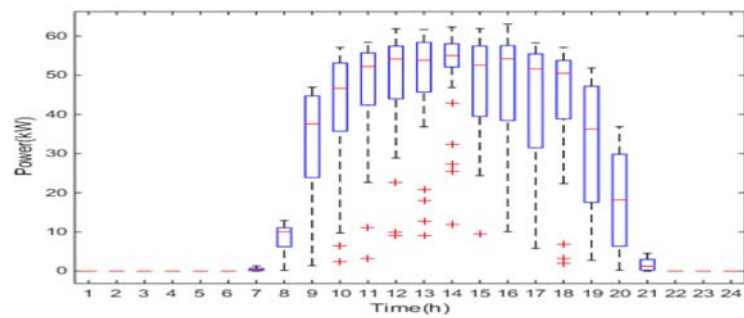
Εικόνα 70: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Φεβρουάριο



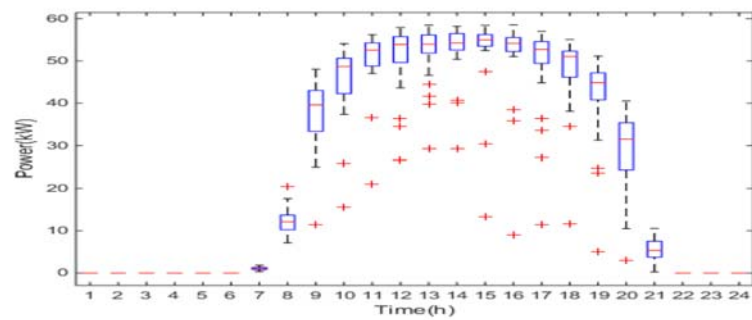
Εικόνα 71: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάρτιο



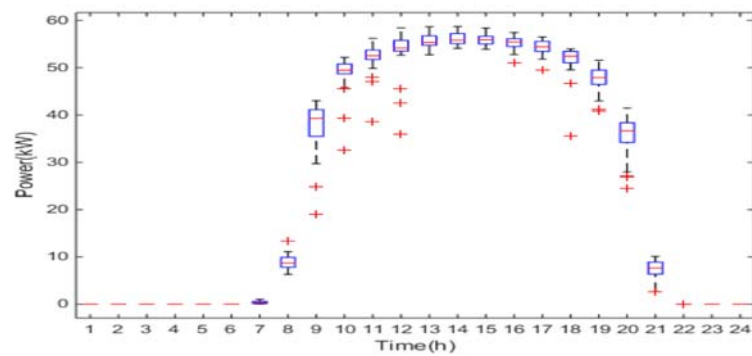
Εικόνα 72: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Απρίλιο



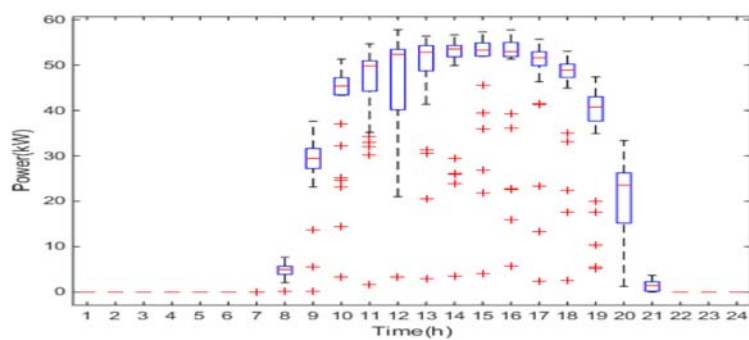
Εικόνα 73: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάιο



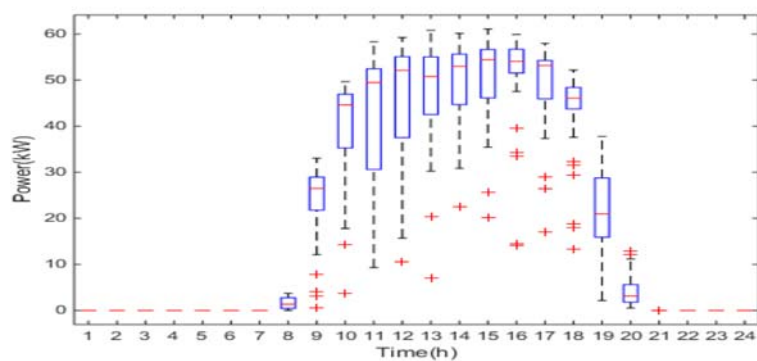
Εικόνα 74: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούνιο



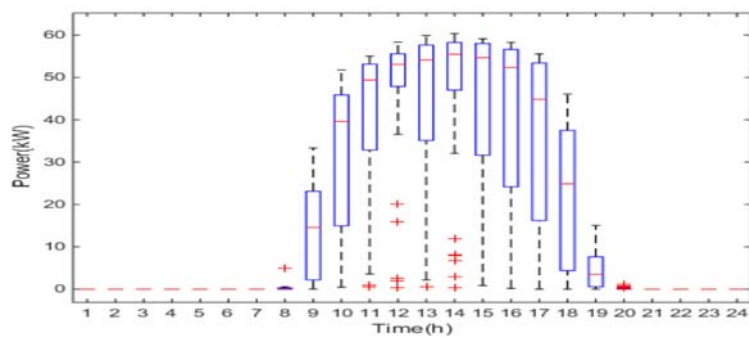
Εικόνα 75: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούλιο



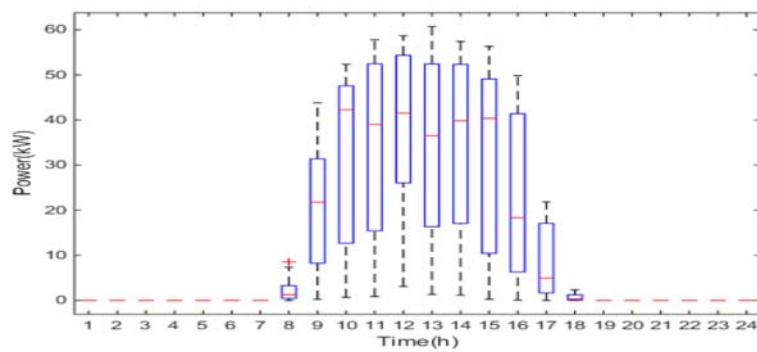
Εικόνα 76: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Αύγουστο



Εικόνα 77: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Σεπτέμβριο



Εικόνα 78: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Οκτώβριο

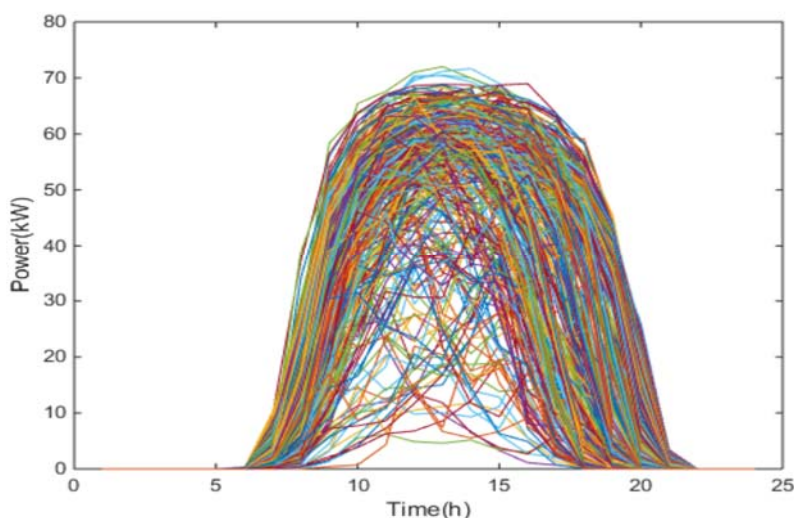


Εικόνα 79: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Νοέμβριο

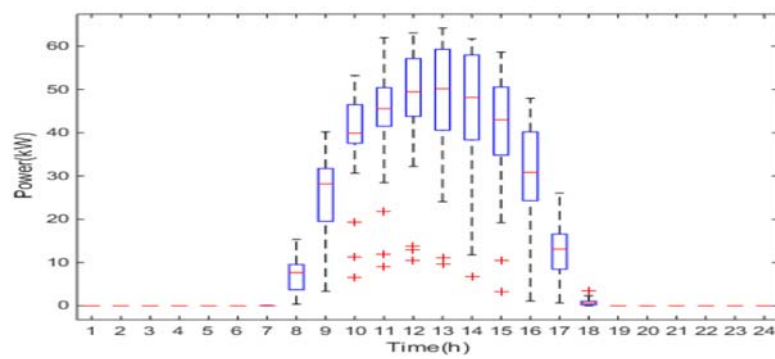
5.3 Μέσο πάρκο

Στη συνέχεια, όπως προαναφέρθηκε δημιουργήθηκε ένα εικονικό πάρκο, που οι τιμές της παραγόμενης ενέργειας του είναι ο μέσος όρος των υπολοίπων πάρκων. Παρακάτω απεικονίζονται η ωριαία παραγόμενη ενέργεια στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα. Στην εικόνα 80 παρουσιάζεται η ημερήσια παραγωγή του πάρκου για όλο το χρόνο, ενώ από στις εικόνες 81 έως 92 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις παραγωγής για κάθε μήνα του έτους για το συγκεκριμένο πάρκο. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται θηδογράμματα της παραγωγής του υποτιθέμενου πάρκου, για κάθε μήνα. Καθώς, η παραγόμενη ενέργεια από το μέσο πάρκο είναι αποτέλεσμα της μέσης τιμής των υπολοίπων πάρκων, περιέχει ακραίες τιμές, που όμως είναι λιγότερες σε σχέση με αυτές των περισσότερων πάρκων, ιδιαίτερα τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

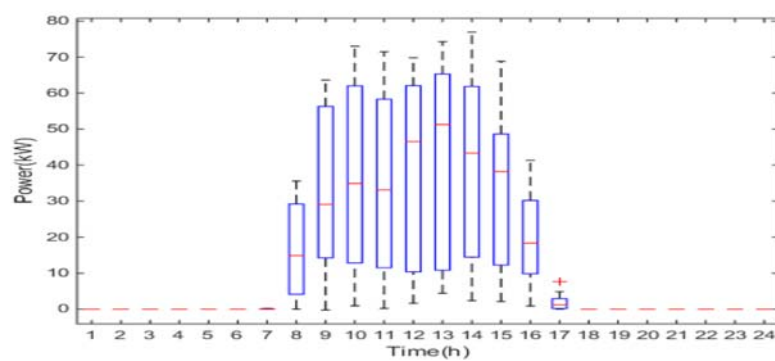
Γενικά, από τη σύγκριση με τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις των μεμονομένων πάρκων, προκύπτει ότι η συμπεριφορά του μέσου πάρκου είναι περισσότερο ομαλοποιημένη, με λιγότερες ακραίες τιμές να παρατηρούνται στη μέγιστη και την ελάχιστη παραγωγή ενέργειας.



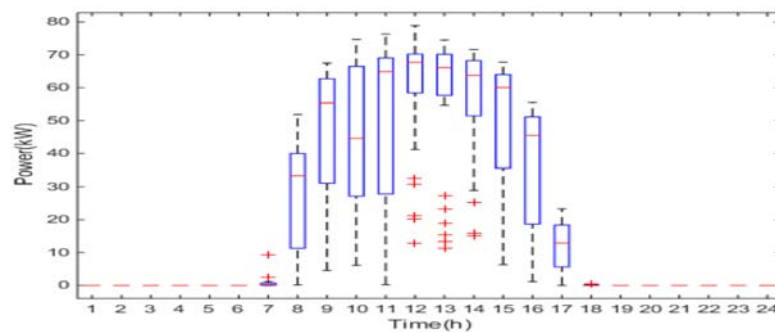
Εικόνα 80:Ετήσια παραγωγή υποθετικού πάρκου



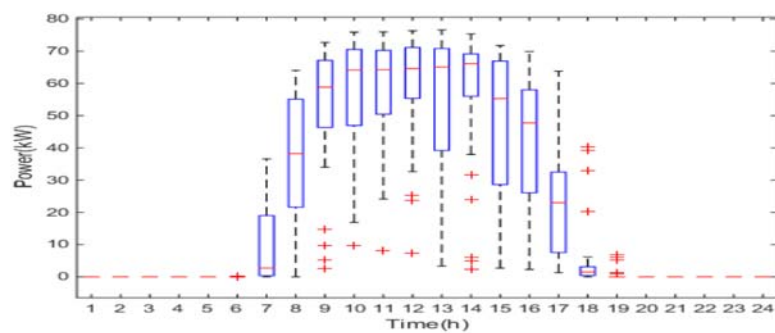
Εικόνα 81: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Δεκέμβριο



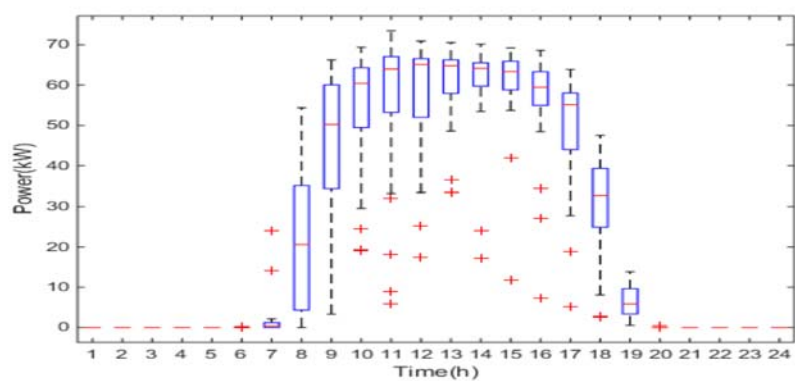
Εικόνα 82: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιανουάριο



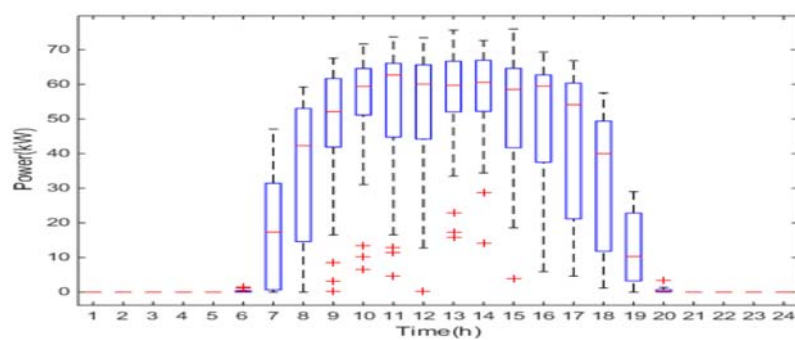
Εικόνα 83: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Φεβρουάριο



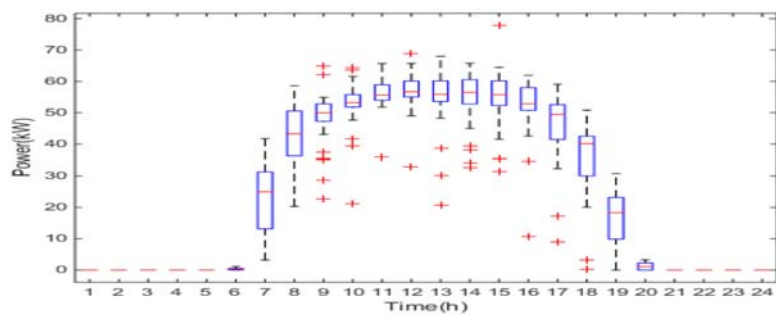
Εικόνα 84: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάρτιο



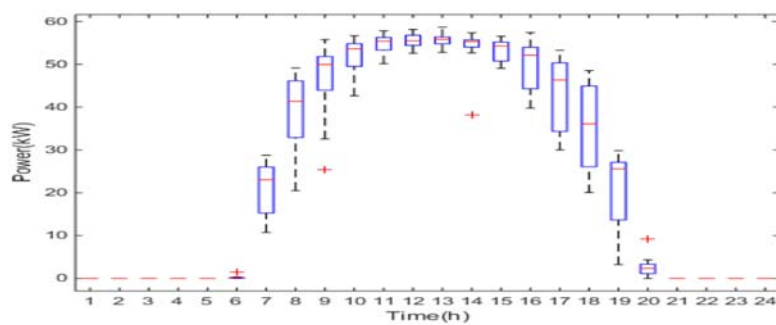
Εικόνα 85: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Απρίλιο



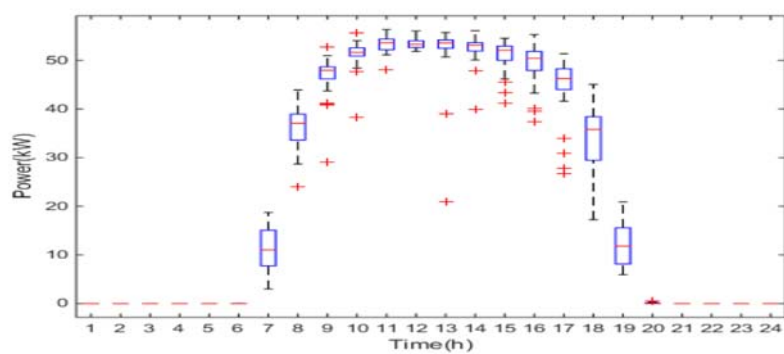
Εικόνα 86: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Μάιο



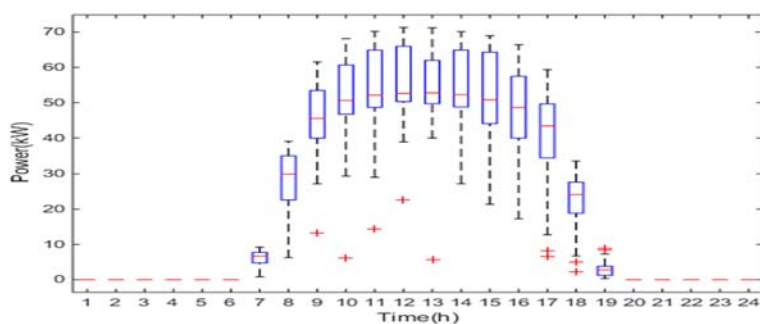
Εικόνα 87: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούνιο



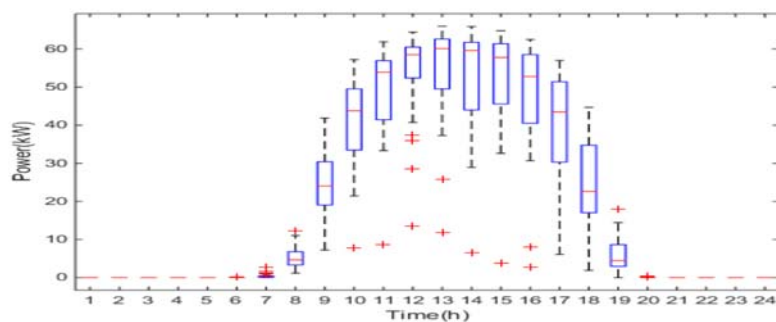
Εικόνα 88: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Ιούλιο



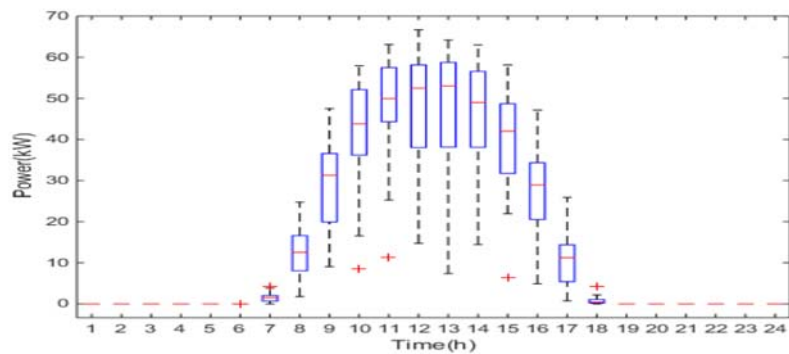
Εικόνα 89: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Αύγουστο



Εικόνα 90: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Σεπτέμβριο



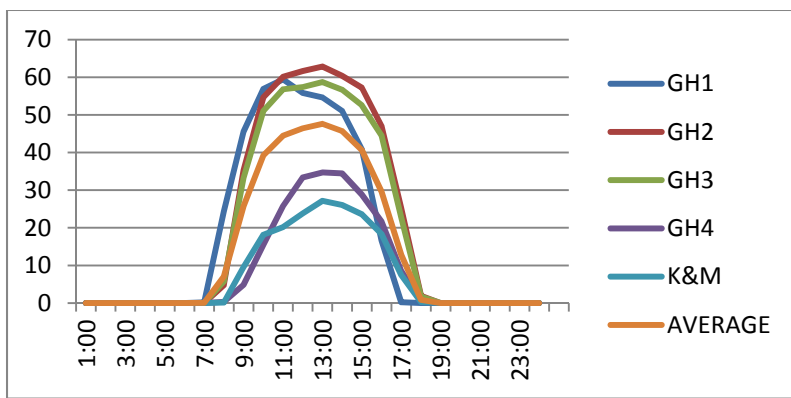
Εικόνα 91: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Οκτώβριο



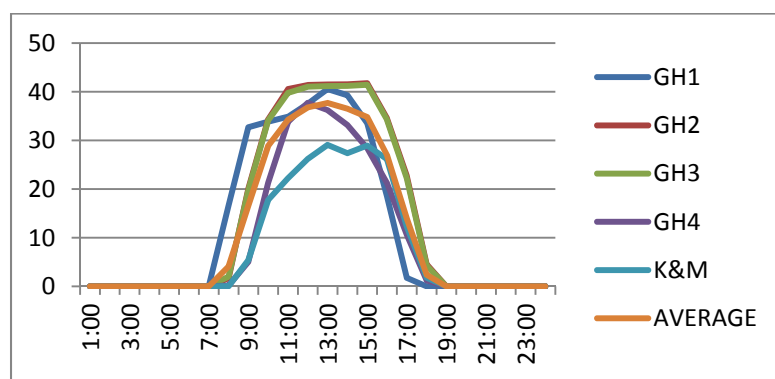
Εικόνα 92: Στατιστική ανάλυση παραγωγής για τον μήνα Νοέμβριο

5.4 Τυπικές Ημέρες

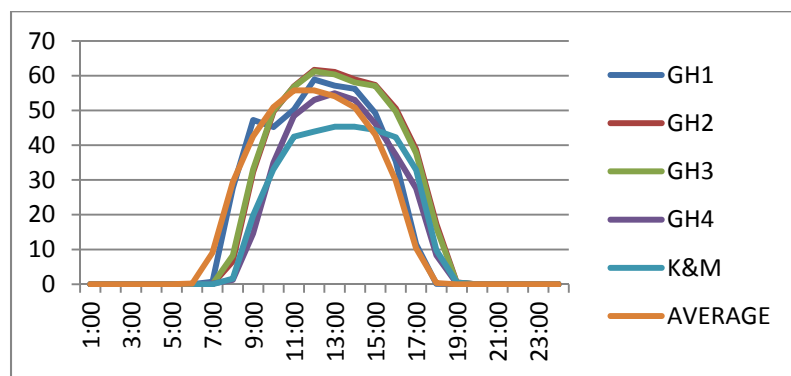
Στη συνέχεια ακολουθούν οι τυπικές μέρες όλων των πάρκων. Οι τυπικές μέρες περιέχουν την αντιπροσωπευτική ημερήσια παραγωγή για κάθε μήνα. Για την εξαγωγή των παρακάτω δεδομένων χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο k-means στην Matlab. Για κάθε μήνα σχεδιάζεται η τυπική ημέρα κάθε πάρκου και την συγκρίνεται με αυτήν που θα έχει το μέσο πάρκο (AVERAGE).



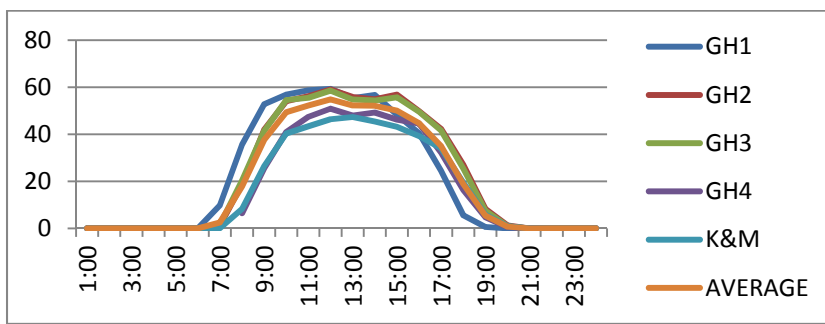
Εικόνα 96: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Δεκέμβριο



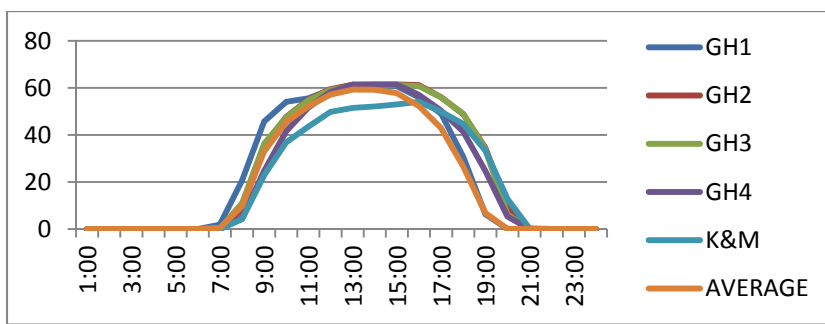
Εικόνα 96: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Ιανουάριο



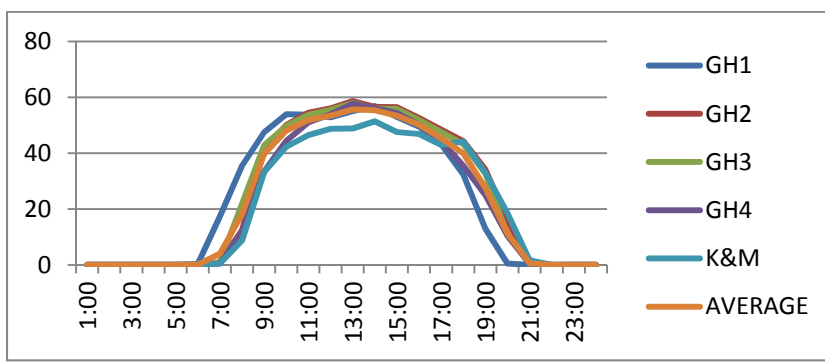
Εικόνα 96: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Φεβρουάριο



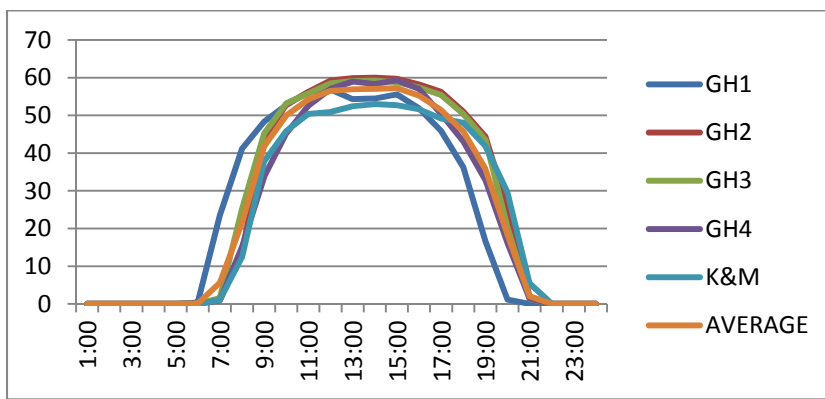
Εικόνα 96: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Μάρτιο



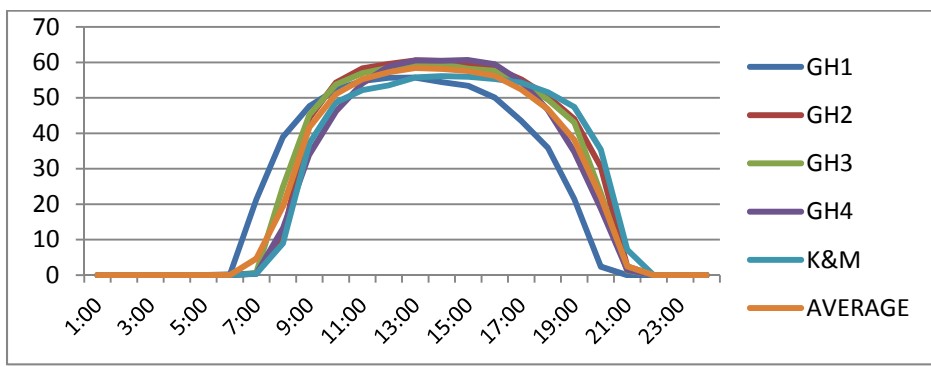
Εικόνα 97: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Απρίλιο



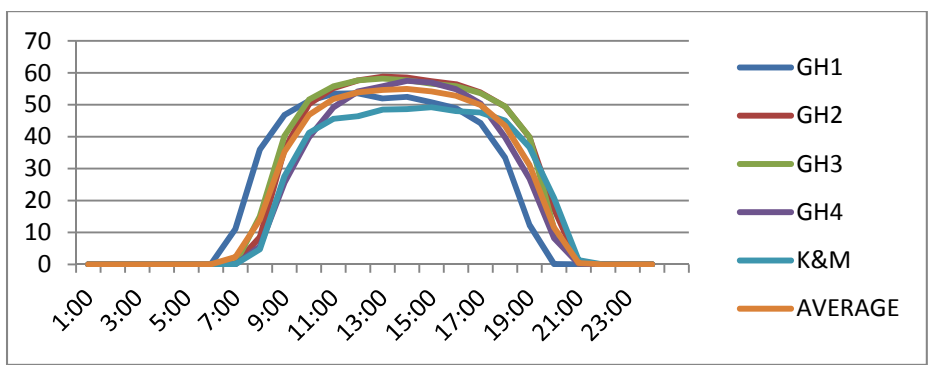
Εικόνα 98: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Μάιο



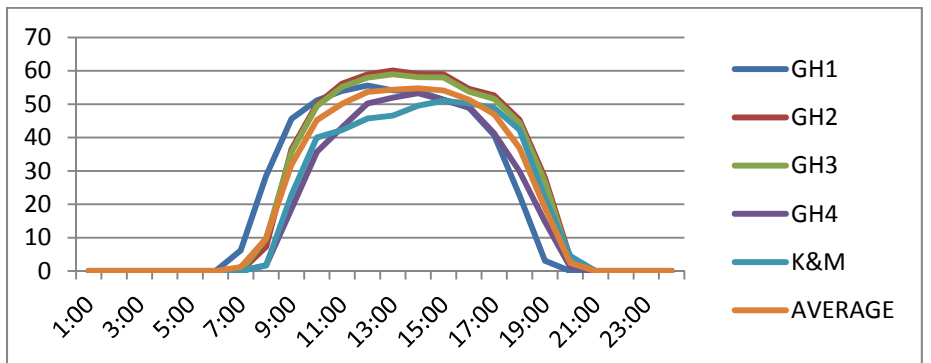
Εικόνα 99: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Ιούνιο



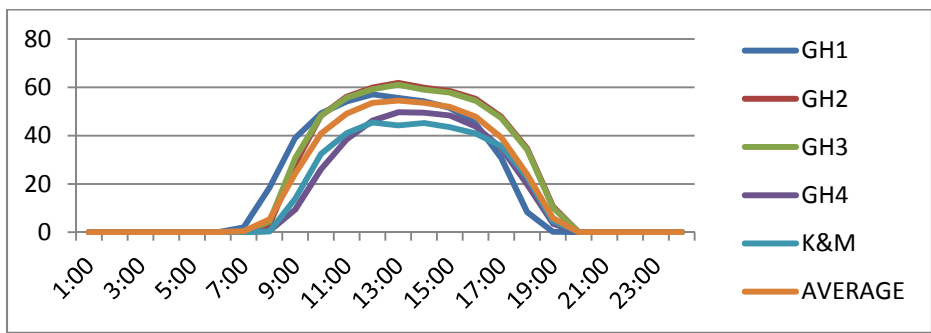
Εικόνα 100: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Ιούλιο



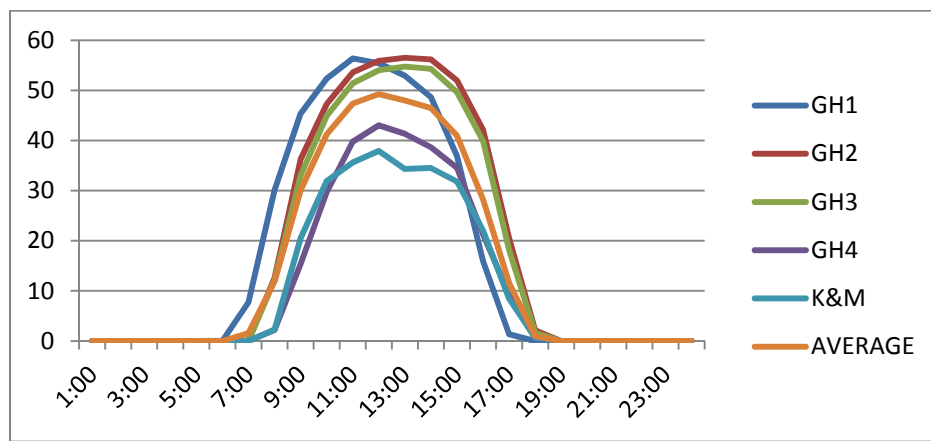
Εικόνα 101: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Αύγουστο



Εικόνα 102: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Σεπτέμβριο



Εικόνα 103: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Οκτώβριο



Εικόνα 104: Τυπική ημερήσια παραγωγή για τον μήνα Νοέμβριο

Βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι οι καμπύλες του μέσου πάρκου διαφέρουν από αυτές των υπολοίπων πάρκων. Ουσιαστικά παρατηρούμε ότι, οι καμπύλες αυτές έχουν πιο ομαλό προφίλ και ουσιαστικά η παραγωγή περιέχει μικρότερες απότομες μεταβολές, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο συγκεκριμένη, προβλέψιμη και εύκολα διαθέσιμη στο δίκτυο.

5.5 Συμπεράσματα αποτελεσμάτων

Με τη βοήθεια των στατιστικών εργαλείων που χρησιμοποιήσαμε, καταλήξαμε σε κάποια συμπεράσματα, που αφορούν τα υπό εξέταση πάρκα.

Τα πιο παραγωγικά από τα εξεταζόμενα πάρκα, είναι τα πάρκα goodhawk2 και goodhawk3, που βρίσκονται στο νομό Ηρακλείου. Η παραγωγή αυτών των δύο πάρκων είναι περίπου ίδια, καθώς βρίσκονται το ένα ακριβώς δίπλα στο άλλο. Αντίθετα, το λιγότερο παραγωγικό πάρκο είναι αυτό στα Χανιά, με ημερήσια παραγωγή κοντά στις 450 kWh σχεδόν 100 λιγότερες από τα δύο πρώτα. Η διαφορά αυτή είναι σημαντική, αν αναλογιστούμε, ότι ο εξοπλισμός των πάρκων είναι σχεδόν ίδιος. Αυτό το φαινόμενο είναι η απόδειξη, ότι το ακόμη και μια τόσο μικρή γεωγραφική απόσταση μεταξύ των δύο πόλεων και οι όποιες τοπικές ιδιομορφίες, μπορούν να έχουν μεγάλη επίδραση στη παραγωγή των πάρκων.

Ακόμη, οι μήνες από τον Απρίλιο έως τον Αύγουστο είναι οι πιο παραγωγικοί, σε αντίθεση με τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο, όπου ελαχιστοποιείται η παραγωγή. Επιπρόσθετα, κατά τον μήνα Απρίλιο παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ωριαίες τιμές παραγόμενης ενέργειας στις ώρες 14:00 έως 15:00. Επιπλέον, λόγω των ασυνήθιστων καιρικών συνθηκών που επικράτησαν κατά το διάστημα των μηνών που μελετήσαμε, υπάρχουν αρκετές ακραίες τιμές και αρκετά μεγάλη διακύμανση στα διαγράμματα boxplot και μόνο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ομαλοποιείται πλήρως η παραγωγή.

Επιπρόσθετα, παρατηρούμε ότι, πρώτο πάρκο που παράγει ενέργεια είναι το πάρκο GH1 ενώ το τελευταίο το K&M κυρίως λόγω της ύπαρξης σκίασης κατά την ανατολή ή τη δύση του ηλίου με την διαφορά του να κυμαίνεται σε λίγο παραπάνω από μία ώρα.

Συγκρίνοντας τώρα το μέσο πάρκο, με τα υπόλοιπα παρατηρούμε την εμφανή μείωση της εμφάνισης ακραίων τιμών και γενικά μια εικόνα ομαλοποίησης και πιο προβλέψιμης παραγωγής ενέργειας. Ακόμη, σε σχέση με τα περισσότερα πάρκα παρατηρούμε, ότι το διάστημα παραγωγής ενέργειας του μέσου πάρκου είναι αυξημένο.

Κεφάλαιο 6: ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, με τη βοήθεια της Matlab, θα πραγματοποιήσουμε μια ανάλυση των δεδομένων μας όσον αφορά τις απαιτήσεις αποθήκευσης ενέργειας για κάθε ένα από τα πάρκα αλλά και για ένα υποτιθέμενο χαρτοφυλάκιο που θα τα περιλαμβάνει συγκεντρωτικά. Αρχικά θα παρουσιαστούν κάποια γενικά χαρακτηριστικά μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας. Στη συνέχεια, θα γίνει η ανάλυση δύο σεναρίων αποθήκευσης δηλαδή, αποθήκευση σε κάθε πάρκο ξεχωριστά ή θεωρώντας τα ως ένα ενιαίο χαρτοφυλάκιο. Στην ανάλυση που ακολουθεί, δεν θα ακολουθήσουμε την συνήθη πρακτική κατά την οποία ο σταθμός μας παράγει ενέργεια κατά τις πρωινές ώρες και την διοχετεύει στο δίκτυο τις βράδυνες ώρες λόγω καλύτερης τιμής, αλλά θα εξετάσουμε την ομαλοποίηση του προφίλ παραγωγής κάθε φ/β πάρκου, ρυθμίζοντας απότομες αυξήσεις ή μειώσεις με τη βοήθεια μπαταρίας. Τέλος, θα γίνει η σύγκριση κόστους τους ενώ στο τέλος θα προχωρήσουμε στην συγκέντρωση συμπερασμάτων βάσει των αποτελεσμάτων μας.

6.2 Μπαταρίες

Ένας συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας (μπαταρία) είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια που περιέχουν τα ενεργά υλικά της, σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Στην περίπτωση ενός επαναφορτιζόμενου αποθηκευτικού συστήματος, η μπαταρία επαναφορτίζεται με αντιστροφή αυτής της διαδικασίας. Αυτός ο τύπος αντίδρασης που ονομάζεται οξειδοαναγωγή περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα υλικό σε άλλο μέσου ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Επειδή η μπαταρία μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική και δεν επηρεάζεται, από τους περιορισμούς του κύκλου Carnot (2^{ος} νόμος θερμοδυναμικής) παρουσιάζει υψηλή απόδοση στη μετατροπή ενέργειας.

Η βασική μονάδα μιας μπαταρίας είναι το «στοιχείο». Μια μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια στοιχεία, σε συνδεσμολογία σειράς ή παράλληλη ή συνδυασμό των δύο ανάλογα με την επιθυμητά χαρακτηριστικά (τάση και χωρητικότητα εξόδου). Το στοιχείο αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά:

- Το ηλεκτρόδιο ανόδου, το οποίο παραχωρεί ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Το ηλεκτρόδιο καθόδου, το οποίο δέχεται ηλεκτρόδια από το εξωτερικό κύκλωμα και μειώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος παρέχεται στο μέσο για τη μεταφορά του φορτίου, με τη μορφή ιόντων μέσα στο στοιχείο μεταξύ ανόδου και καθόδου.

Ουσιαστικά αποτελεί ένα υγρό με διαλυμένα άλατα, οξέα ή αλκάλια που μεταδίδουν την ιοντική αγωγιμότητα. Υπάρχουν επίσης, και οι σταθεροί ηλεκτρολύτες οι οποίοι είναι ιοντικοί αγωγοί στην θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου.

Τα ηλεκτρόδια δεν έρχονται ποτέ σε επαφή μεταξύ τους, καθώς είναι ηλεκτρικώς συνδεδεμένα, μέσω του ηλεκτρολύτη. Η τάση κάθε στοιχείου εξαρτάται από τον συνδυασμό των υλικών της ανόδου και της καθόδου. Ωστόσο τέτοιοι συνδυασμοί μπορεί να μην είναι πάντα πρακτικοί εξαιτίας διαφόρων παραγόντων, όπως η αντίδραση του υλικού με άλλα υλικά του στοιχείου, η πόλωση, η δυσκολία στο χειρισμό και το υψηλό κόστος. Η άνοδος επιλέγεται έχοντας υπόψη τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Αποτελεσματικότητα ως αναγωγικό μέσο (δηλαδή να προκαλεί αναγωγή, ενώ η ίδια οξειδώνεται)
- Υψηλή απόδοση αμπερών (πρακτική μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου, εκφράζει την ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που μεταφέρεται από έναν αγωγό όταν διαρρέεται από ρεύμα έντασης ενός αμπερ σε χρόνο μίας ώρας)
- Αγωγιμότητα
- Σταθερότητα
- Ευκολία κατασκευής και χαμηλό κόστος.

Κατάλληλα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί έως τώρα ως αρνητικά ηλεκτρόδια είναι το υδρογόνο, ο ψευδάργυρος και το λίθιο. Η κάθοδος αντίστοιχα επιλέγεται με τα παρακάτω στοιχεία:

- Αποτελεσματικός οξειδωτικός παράγοντας (δηλαδή να προκαλεί οξείδωση, ενώ η ίδια ανάγεται)
- Σταθερότητα (να είναι σταθερή όταν έρχεται σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη)
- Ικανοποιητική τάση λειτουργίας

Τα πιο συνηθισμένα υλικά για την κάθοδο είναι μεταλλικά οξείδια, ενώ για ειδικά συστήματα συσσωρευτών χρησιμοποιούνται αλογόνο, θείο και τα οξειδιά του και άλλα χημικά συστατικά, που περιέχουν οξυγόνο και υδρογόνο ενωμένα με κάποιο άλλο χημικό στοιχείο. Τέλος, ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει:

- Να έχει καλή ιοντική αγωγιμότητα, αλλά να μην είναι ηλεκτρικά αγώγιμος, καθώς τότε θα δημιουργούνταν εσωτερικά βραχυκυκλώματα.
- Αδυναμία αντίδρασης με τα ηλεκτρόδια
- Να μην επηρεάζεται από τη θερμοκρασία
- Ασφάλεια και χαμηλό κόστος

Οι περισσότεροι ηλεκτρολύτες είναι υδατικά διαλύματα, αλλά υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα οι «θερμικές μπαταρίες» ή οι συσσωρευτές με λίθιο στην άνοδο, όπου ο ηλεκτρολύτης

είναι τήγμα άλατος ή άλλοι μη υδατικοί ηλεκτρολύτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αποφυγή αντίδρασης με την άνοδο. Χωρικά, τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου είναι ηλεκτρικά απομονωμένα στα στοιχεία της μπαταρίας, για να αποφεύγονται τα εσωτερικά βραχυκυκλώματα, και περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη. Στους σχεδιασμούς των στοιχείων, υπάρχει μηχανισμός που διαχωρίζει τα δύο ηλεκτρόδια, με το διαχωριστή να είναι διαπερατός από τον ηλεκτρολύτη, για να διατηρείται η ιοντική αγωγιμότητα. Επίσης, ηλεκτρικοί αγωγοί με δομή πλέγματος μπορούν να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για να μειώσουν την εσωτερική αντίσταση. Κάθε στοιχείο μπορεί να κατασκευασθεί σε διάφορες διατάξεις και σχήματα (κυλινδρικό, επίπεδο, πρισματικό) και για αυτό τα ηλεκτρόδια και ο ηλεκτρολύτης κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, να χωρούν στο επιθυμητό σχήμα του στοιχείου του συσσωρευτή. Τα στοιχεία στη συνέχεια σφραγίζονται με διάφορους τρόπους για την αποφυγή φθοράς των υλικών τους. Μερικά, είναι εξοπλισμένα με συσκευές εξαερισμού ή άλλα μέσα που επιτρέπουν στα συγκεντρωμένα αέρια να διαφύγουν. Η κατασκευή των ηλεκτροχημικών στοιχείων ολοκληρώνεται με κατάλληλα κιβώτια ή δοχεία, με μέσα σύνδεσης του ακροδέκτη και με τη σήμανσή τους.

6.3 Κατηγορίες μπαταριών

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, με βάση την ικανότητά φόρτισης τους, τις πρωτογενείς (μη επαναφορτιζόμενες) και τις δευτερογενείς (επαναφορτιζόμενες). Αυτές οι δύο κατηγορίες περιέχουν υποκατηγορίες, που έχουν να κάνουν με συγκεκριμένες δομές ή σχεδιασμούς.

6.4 Μπαταρίες αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας

Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας στο δίκτυο, είτε αυτό είναι ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο (όπως αυτό της ηπειρωτικής χώρας) είτε ακόμη περισσότερο είναι αυτόνομο (όπως τα νησιά), σε κάθε χρονική περίοδο οφείλει να ικανοποιεί το ισοζύγιο της ισχύος (δηλ. η ισχύς που απορροφάται από τους καταναλωτές, πρέπει να είναι ίση, με μικρές αποκλίσεις, προς αυτή που παράγουν οι σταθμοί παραγωγής. Η διακύμανση του φορτίου είναι σχετικά προβλέψιμη ώστε, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος να μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτήν. Για τεχνικούς λόγους και σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, οι σταθμοί παραγωγής δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από ένα όριο, οπότε τις χρονικές αυτές περιόδους φαίνεται να περισσεύει ισχύς στο δίκτυο. Η αύξηση της συμμετοχής της ηλεκτρικής ενέργειας, που προέρχεται από τα φ/β, προκαλεί έτσι νέα τεχνικά προβλήματα στην διαχείριση ενός ηλεκτρικού δικτύου, τα οποία οφείλονται στην έντονη χρονική διακύμανση που παρουσιάζει η παραγωγή των φ/β πάρκων κατά την διάρκεια του χρόνου. Η ανάγκη αποθήκευσης μέρους της ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή των πάρκων γίνεται τόσο πιο επιτακτική, ακόμη και σε ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα, όσο η συμμετοχή της ηλιακής ενέργειας αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία προκαλείται αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ήδη κάποιες χώρες έχουν φθάσει στο όριο αυτό οπότε η περαιτέρω ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει μόνο μέσω αποθήκευσης.

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις βραδινές ώρες και ειδικά τις ώρες αιχμής της ζήτησης, δημιουργεί την ανάγκη αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια της μέρας και σε ώρες

μη αιχμής. Η ζήτηση αυτή μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση μπαταριών. Οι μπαταρίες αυτές έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν το παραγόμενο ρεύμα και να το διοχετεύουν στο δίκτυο σε προκαθορισμένες ώρες, ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου.

Οι μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας (BatteryEnergyStorageSystems) έχουν κάνει την εμφάνιση τους τα τελευταία χρόνια και ήδη έχουν δημιουργηθεί Φ/Β σταθμοί σε διάφορα μέρη που τις εμπεριέχουν.

Για την περίπτωση που εξετάζουμε, όπως είναι φυσικό θα ασχοληθούμε με τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι αυτής της μπαταρίας είναι οι παρακάτω:

- Μολύβδου οξέος
- Νικελίου καδμίου
- Νικελίου σιδήρου
- Υβριδικές νικελίου
- Ιόντων λιθίου
- Βαναδίου

Από αυτές, μόνο οι μολύβδου οξέος, οι ιόντων λιθίου, οι βαναδίου και σε μικρότερο βαθμό οι νικελίου καδμίου, χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα σήμερα. Οι μπαταρίες νικελίου σιδήρου σπάνια χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, και υποφέρουν από έναν ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό αυτό-εκφόρτισης, κάτι το οποίο τις καθιστά ακατάλληλες για τις περισσότερες φωτοβολταϊκές διεργασίες. Οι υβριδικές μπαταρίες νικελίου και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου είναι σχετικά σύγχρονες εξελίξεις και οι κύριες εφαρμογές τους μέχρι σήμερα είναι σε υψηλής αξίας προϊόντα λογισμικού, όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Τα τελευταία χρόνια, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αρχίζουν να γίνονται ευρέως διαθέσιμες και σε πιο μεγάλες χωρητικότητες (εκατοντάδες Ah, που απαιτούνται σε μικρά (οικιακά κλπ.) φωτοβολταϊκά συστήματα. Είναι αρκετά πιο ακριβές ανά kWh σήμερα σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και συχνά χρειάζονται μια κάπως περίπλοκη προστασία για το κύκλωμα φόρτισής τους, κάτι το οποίο δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί με τη μεταβλητή φύση των ρευμάτων φόρτισης των φωτοβολταϊκών. Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, η πρόοδος που έχει σημειωθεί στις μπαταρίες λιθίου έχει ανοίξει το δρόμο για τη χρησιμοποίησή τους και σε μεγάλα φωτοβολταϊκά πάρκα.

6.5 Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην μετακίνηση των ιόντων από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στο θετικό, κατά την εκφόρτιση και ανάποδα όταν φορτίζονται. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούν μια ενδιάμεση ένωση λιθίου, σαν ένα ηλεκτρόδιο σε αντίθεση με το μεταλλικό λίθιο που χρησιμοποιείται στις μη

επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου. Ο ηλεκτρολύτης, ο οποίος επιτρέπει την ιοντική κίνηση, και τα δύο ηλεκτρόδια είναι τα συστατικά ενός κελιού της μπαταρίας λιθίου. Αποτελούν ένα από τους πιο διάσημους τύπους επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, καθώς έχουν μεγάλη πυκνότητα και χαμηλή αυτό-εκφόρτιση. Τα θετικά των μπαταριών αυτού του τύπου, είναι, ότι έχουν δυνατότητα υψηλής παροχής ρεύματος και η μεγάλη χωρητικότητα αναφορικά με το μέγεθός τους. Στα μειονεκτήματά τους, αξίζει να σημειωθεί η ευαισθησία τους στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες και τη φθορά τους, όταν αδειάζουν τελείως και ξαναφορτίζονται από την αρχή. Προτάθηκαν με πρόιμη μορφή που περιείχε τιτάνιο, για πρώτη φορά από τον βρετανό χημικό Whittingham, ωστόσο οι λανθασμένες επιλογές του για τον τύπο των ηλεκτροδίων τις κατέστησαν εξαιρετικά ακριβές και επικίνδυνες. Όμως με την πάροδο των χρόνων και την παρέμβαση πολλών επιστημόνων φτάσαμε στην σημερινή τους μορφή. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου στη περίπτωση που μελετάμε, θα φορτίζονται μέσω των ηλιακών πάνελ και αποθηκεύουν την ενέργεια, προκειμένου να τη διοχετεύσουν στο δίκτυο, όποτε επιλέξει ο διαχειριστής τους.

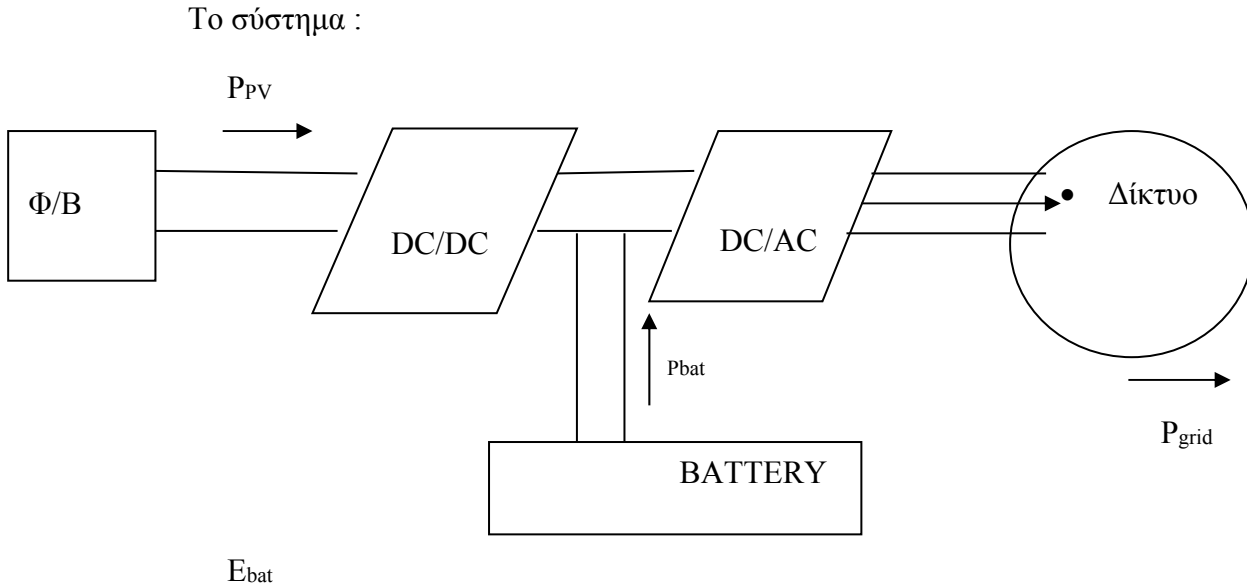
6.6 Η λειτουργία των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα

Υπάρχουν τρεις κύριες λειτουργίες που μια μπαταρία επιτελεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα:

- Δρα σαν ένα βοηθητικό μέσο παροχής/αποθήκευσης ενέργειας για να εξαλείψει την αναντιστοιχία μεταξύ της διαθέσιμης από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος και της απαιτούμενης από το φορτίο ισχύος. Η ισχύς που παράγει ένα φωτοβολταϊκό πάρκο κάθε στιγμή ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα ακτινοβολίας που προσκρούει σε αυτή. Το σύστημα αποθήκευσης παρέχει ισχύ όταν το φωτοβολταϊκό δεν παράγει τίποτα κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν παράγει λιγότερη ισχύ από όση απαιτείται από το ηλεκτρικό φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, απορροφά την περίσσεια ισχύος από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, όταν αυτή παράγει περισσότερη ισχύ από ότι το φορτίο απαιτεί.
- Η μπαταρία παρέχει ένα απόθεμα ενέργειας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια ημερών με μη ευνοϊκές καιρικές συνθήκες ή σε περίπτωση που παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος και το σύστημα σταματήσει να λειτουργεί.
- Τέλος, η μπαταρία αποτρέπει μεγάλες διακυμάνσεις τάσης. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία μπορεί να αποδώσει ισχύ σε κάθε σημείο μεταξύ βραχυκυκλώματος και ανοικτού κυκλώματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορτίου που είναι συνδεδεμένο σε αυτήν. Η τοποθέτηση μιας μπαταρίας μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του φορτίου διασφαλίζει, ότι το φορτίο δε θα βλέπει τίποτα έξω από το εύρος τάσεων στο οποίο η μπαταρία μπορεί να λειτουργήσει.

6.7 Λογική λειτουργίας μπαταρίας Φ/Β συστήματος στην παρούσα εργασία

Με τη βοήθεια του Matlab μοντελοποιήθηκε η συμπεριφορά των εξεταζόμενων πάρκων, δεδομένου ότι έχουν την δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Αρχικά, δόθηκαν οι προδιαγραφές που απαιτούνται για την μπαταρία και στη συνέχεια το συγκεκριμένο πρόγραμμα έδωσε τα αποτελέσματα, σχετικά με την παραγωγή του πάρκου με και χωρίς μπαταρία και την τυπική μέρα του χρόνου με ή χωρίς την μπαταρία.



Στη παρούσα εργασία, το εξεταζόμενο σύστημα αποθήκευσης έχει ως στόχο τον περιορισμό του ωριαίου ρυθμού μεταβολής της παραγωγής του εκάστοτε φωτοβολταϊκού πάρκου. Οι εξισώσεις που απαρτίζουν το μοντέλο της μπαταρίας δίνονται στη συνέχεια.

$$\frac{(|P_{grid}(t) - P_{grid}(t-1)|)}{\Delta t} \leq \Delta P_{grid,limit} \left(\frac{10kW}{h} \right) \quad (6.1)$$

$$P_{pv} + P_{bat} = P_{grid} \quad (6.2)$$

$$E_{bat}(t+1) = E_{bat}(t) - (P_{bat}(t) \times \Delta t) \quad (6.3)$$

$$E_{bat,min} \leq E_{bat}(t) \leq E_{bat,max} \quad (6.4)$$

$$P_{bat,min} \leq P_{bat}(t) \leq P_{bat,max} \quad (6.5)$$

$$P_{grid,min} \leq P_{grid}(t) \leq P_{grid,max} \quad (6.6)$$

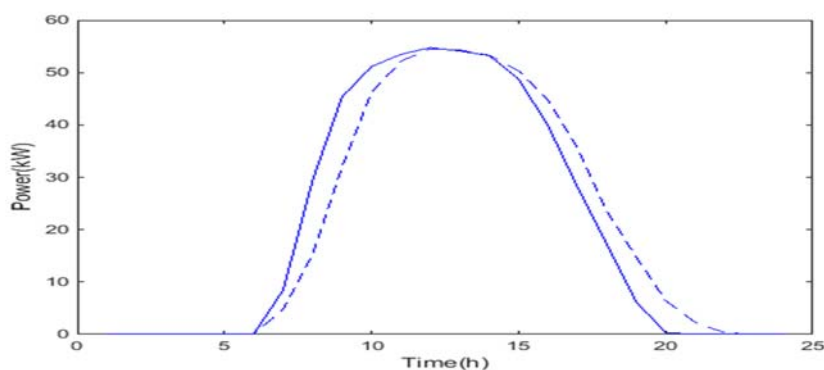
Η εξίσωση (6.1) εξασφαλίζει ότι, η διαφορά ισχύος του Φ/Β πάρκου που μπαίνει στο δίκτυο την χρονική στιγμή t σε σχέση με αυτήν την $t-1$ δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο $\Delta P_{grid,limit}$ (10 kW/h στη μελέτη που ακολουθεί). Η εξίσωση (6.2) αποτελεί το ισοζύγιο ισχύος, δηλαδή ισχύς που παράγει το πάρκο και η μπαταρία μας δίνουν τη συνολική που προσφέρεται στο δίκτυο. Η επόμενη εξίσωση μας παρουσιάζει το ισοζύγιο ενέργειας στην μπαταρία, δηλαδή πόσο θα μεταβληθεί η αποθηκευμένη ενέργεια στη μπαταρία το επόμενο χρονικό διάστημα. Τέλος οι υπόλοιπες εξισώσεις αποτελούν τεχνικούς περιορισμούς, δηλαδή ότι η ισχύς που ανταλλάζει η μπαταρία έχει και αυτή ένα ανώτατο και ένα κατώτατο όριο και επίσης η ισχύς που δίνουμε στο δίκτυο έχει και αυτή ένα κάτω και ένα άνω όριο, γιατί αποτελεί τεχνικό περιορισμό του μετατροπέα του Φ/Β.

Όπως προαναφέρθηκε θα εξετάσουμε δύο πλάνα λειτουργίας. Το ένα θα είναι η προσθήκη μιας μπαταρίας σε κάθε πάρκο ξεχωριστά, ενώ το δεύτερο θα αφορά την τοποθέτηση μιας κοινής μπαταρίας για όλα τα πάρκα. Για το πρώτο πλάνο, θα χρησιμοποιήσουμε για κάθε πάρκο μια μπαταρία χωρητικότητας 80 kWh. Θα προσομοιώσουμε το πάρκο σύμφωνα με τις εξισώσεις 6.1-6.6 και θα πάρουμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Στη συνέχεια, εξετάζεται το σενάριο για μια μεγάλη μπαταρία που θα εξυπηρετεί ταυτόχρονα όλα τα πάρκα. Σε αυτό το πλάνο δοκιμάσαμε διάφορες χωρητικότητες μπαταριών με στόχο η μέση τυπική ημερήσια παραγωγή για το σύνολο των πάρκων να είναι ίδια με τη μέση τυπική ημερήσια παραγωγή του πρώτου πλάνου. Μετά από δοκιμές προέκυψε ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας που αναζητάμε θα πρέπει να είναι 350kWh και η ισχύς της 175 kW. Για την σύγκριση και την αντιστοίχιση των διαγραμμάτων, διαιρέσαμε την συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας σε πέντε μικρότερες ίσης χωρητικότητας 70kWh η κάθε μια. Τυπικά αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται παρακάτω.

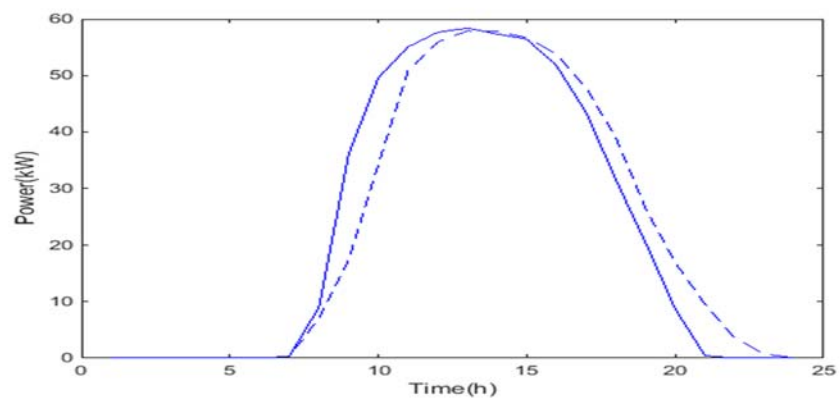
6.7.1 Τυπική μέρα του χρόνου με και χωρίς την χρήση μπαταρίας.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η τυπική ημερήσια παραγωγή για τα πάρκα χωρίς μπαταρία (συνεχής γραμμή) και με μπαταρία (διακεκομμένες) και για τα δυο εξεταζόμενα σενάρια.

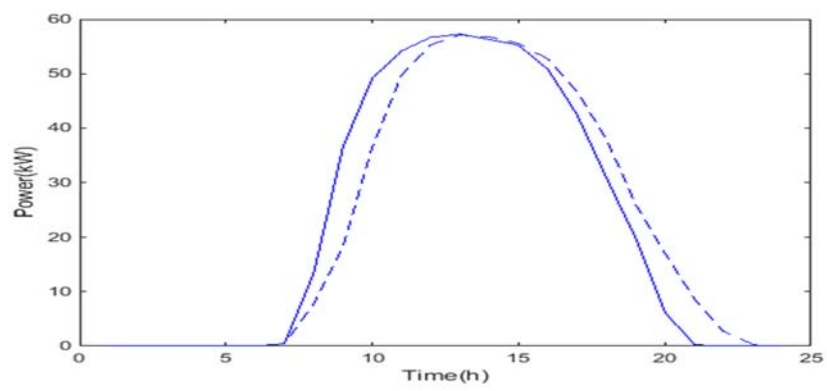
Σενάριο 1



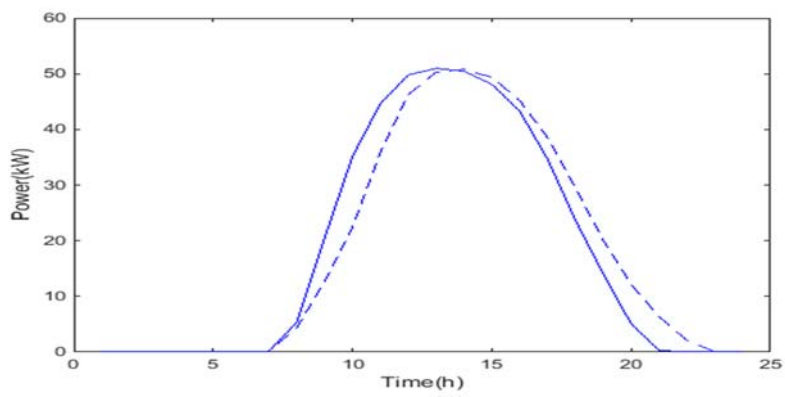
Εικόνα 105 :τυπική μέρα του χρόνου του πάρκου GH1



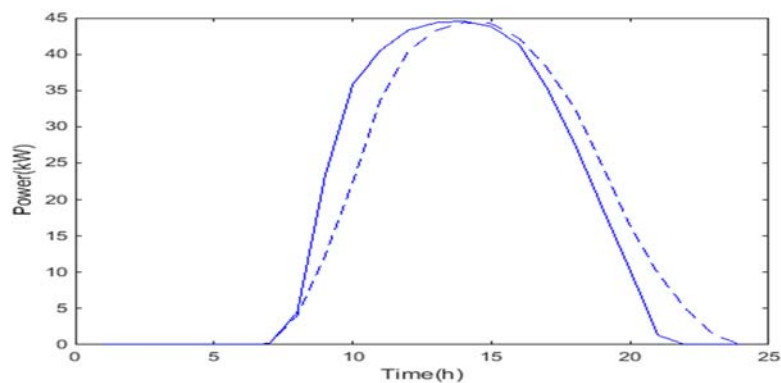
Εικόνα 106 : τυπική μέρα πάρκου GH2



Εικόνα 107 : Τυπική μέρα πάρκου GH3



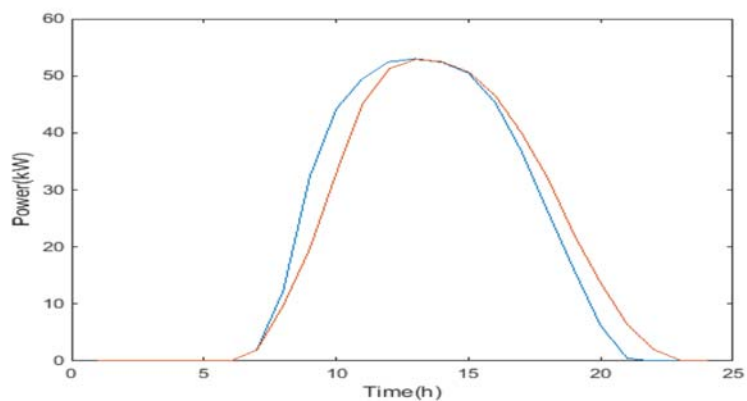
Εικόνα 108 : Τυπική μέρα πάρκου GH4



Εικόνα 109 : Τυπική μέρα πάρκου K&M

Σενάριο 2

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η τυπική ημερήσια παραγωγή του μέσου πάρκου χωρίς μπαταρία (μπλε γραμμή) και με την χρήση μπαταρίας χωρητικότητας 70kWh (κόκκινη γραμμή) για το δεύτερο σενάριο λειτουργίας.



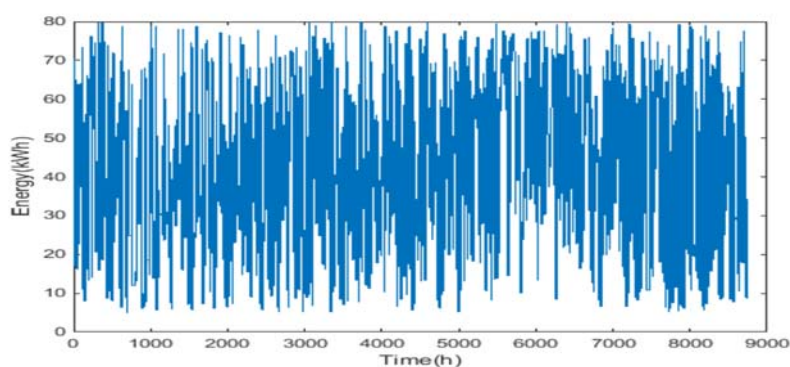
Εικόνα 110 : Τυπική μέρα μέσου πάρκου

Παρατηρούμε σε όλες τις περιπτώσεις των υπαρκτών πάρκων, ότι οι ώρες που το πάρκο παράγει ενέργεια έχουν αυξηθεί κατά περίπου τρεις ώρες και επίσης βλέπουμε την εξομάλυνση της καμπύλης παραγωγής καθώς δεν υπάρχουν απότομες αλλαγές στη παραγωγή. Για το μέσο πάρκο υπάρχει μικρότερη διαφορά στην καμπύλη, καθώς από τη φύση του δεν επιφέρει απότομα μέγιστα και ελάχιστα.

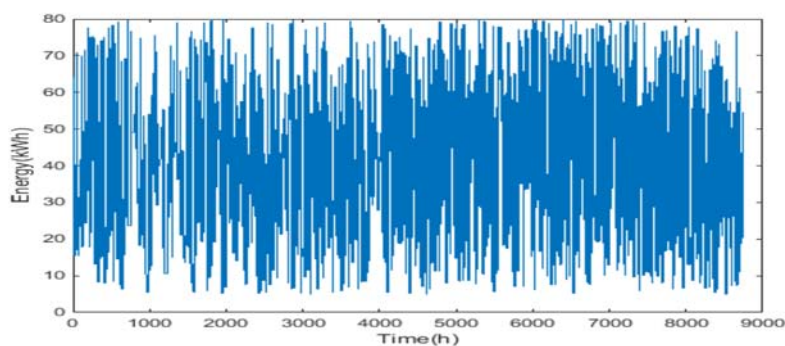
6.7.2 Αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία

Παρακάτω ακολουθούν διαγράμματα της αποθηκευμένης ενέργειας της μπαταρίας για κάθε ώρα του χρόνου. Όπως θα φανεί παρατηρούμε ότι η μπαταρία δεν αδειάζει ποτέ τελείως από τον περιορισμό που έχει προστεθεί στη εξίσωση (6.1). Ακόμη, βλέπουμε ότι η συμπεριφορά της ενέργειας της μπαταρίας στο μέσο πάρκο, κατά την περίοδο του καλοκαιριού ίσως λόγω της αυξημένης παραγωγής και της συνεχής τροφοδοσίας του δικτύου είναι ελάχιστες φορές πέφτει κάτω από τις 20kWh.

Σενάριο 1

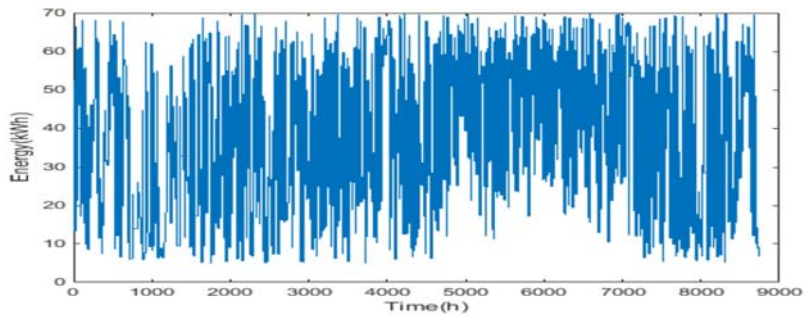


Εικόνα 111 : Ενέργεια Μπαταρίας πάρκου GH1



Εικόνα 112 : Ενέργεια Μπαταρίας πάρκου GH2

Σενάριο 2

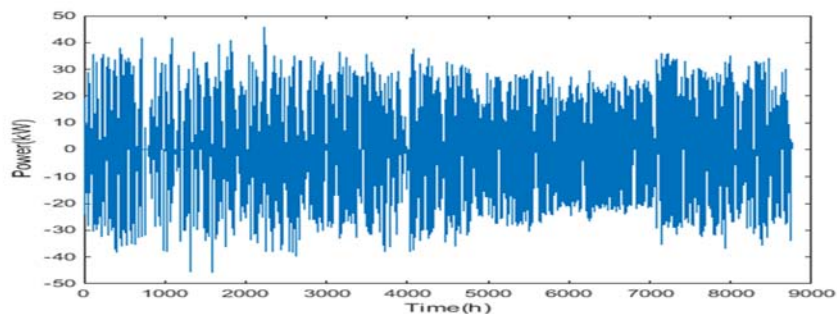


Εικόνα 113: Ενέργεια Μπαταρίας μέσου πάρκου

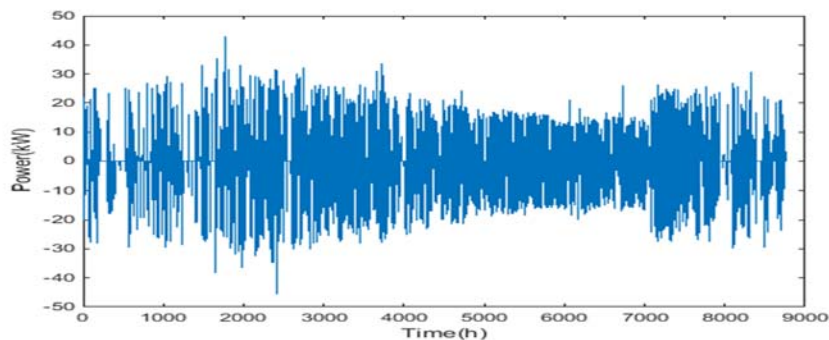
6.7.3 Ισχύς μπαταρίας

Ακολουθώντας, έγινε υπολογισμός της ισχύος που αντάλλαξε η μπαταρία με το δίκτυο η οποία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ ενός άνω και ενός κάτω ορίου. Δίνονται ενδεικτικά διαγράμματα 3 πάρκων για το σενάριο 1 και του μέσου πάρκου στο σενάριο 2. Ουσιαστικά αυτά τα διαγράμματα μας δείχνουν την σχέση φόρτισης /εκφόρτισης της μπαταρίας με την πάροδο του χρόνου. Παρατηρούμε ανάλογα με το πάρκο ότι το όριο αυτό κυμαίνεται από $[-50,50]$ σε ένα από τα πάρκα έως και από $[-30,30]$ σε κάποια άλλα.

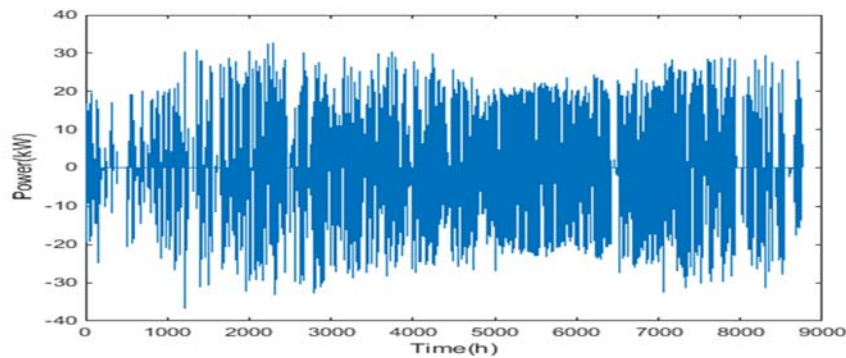
Σενάριο 1



Εικόνα 114 : Ισχύς Μπαταρίας πάρκου GH3

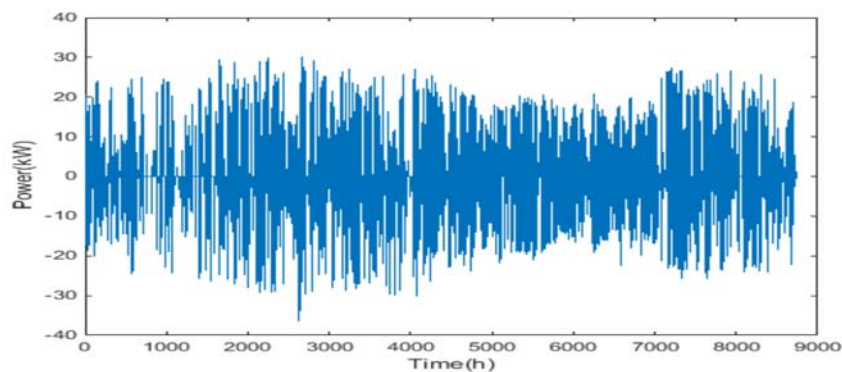


Εικόνα 115 : Ισχύς Μπαταρίας πάρκου GH4



Εικόνα 116 : Ισχύς Μπαταρίας πάρκου K&M

Σενάριο 2



Εικόνα 117: Ισχύς Μπαταρίας μέσω του πάρκου

6.8 Επιλογή μπαταρίας

Για τα υπό εξέταση πάρκα των 80 kW δεν υπάρχει μεγάλη ποικιλία μπαταριών που να καλύπτουν τις ανάγκες μας. Για το εξεταζόμενο σχέδιο αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας επιλέξαμε να δημιουργήσουμε συστοιχίες μπαταριών με ονομαστική τάση 400VDC και με δυνατότητα αποθήκευσης 9,8 kWh. Για να λειτουργήσει η μπαταρία απαιτείται η σύνδεση ενός ακόμη inverter στο σύστημα, που θα κάνει την μετατροπή ενέργειας που θα εισάγεται στη μπαταρία, ο οποίος όμως ήδη υπάρχει συνδεδεμένος στο κάθε Tracker και έτσι δεν θα μας επιβαρύνει με παραπάνω έξοδα.

Επίσης, ο φορτιστής της μπαταρίας θα συμπεριλαμβάνεται στην μπαταρία και συνεπώς δεν θα μας επιβαρύνει με παραπάνω έξοδα.

Πιο συγκεκριμμένα, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία της μπαταρίας που έχουμε επιλέξει.

Παράμετροι Μπαταρίας	Τιμή
Συνολική ενέργεια(Kwh)	9.8
Ενέργεια που χρησιμοποιεί(Kwh)	9.3
Χωρητικότητα (Ah)	63
Τάση (V)	385-550
Μέγιστη ισχύς (kW)	5
Άνω όριο ισχύος (kW)	7
Διαστάσεις (WxHxD, mm)	744 x 907 x 206
Βάρος (kg)	99.8

Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί μια εκτίμηση του κόστους του συστήματος αποθήκευσης για τα δύο σενάρια λειτουργίας. Για το πρώτο σενάριο, θα χρειαστούν εννέα μπαταρίες του παραπάνω τύπου ώστε να καλυφθούν η ενέργεια και η ισχύς του κάθε πάρκου, πλην του πάρκου GH3 το οποίο θα χρειαστεί δέκα μπαταρίες ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της ισχύος. Για το δεύτερο σενάριο, εφόσον η συνολική χωρητικότητα της μπαταρίας που ζητάμε είναι 350 kWh και η ισχύς 175 kW σε κάθε πάρκο θα αντιστοιχεί χωρητικότητα 70 kWh και ισχύς 35 kW. Επίσης και σε αυτό το πλάνο θα πρέπει να τηρούνται οι περιορισμοί που δίνονται στις εξισώσεις (6.1)-(6.6) .

Η ονομαστική αξία που θα μας κοστίσει η μία μπαταρία παραπάνω τύπου σύμφωνα με έλεγχο που έγινε στην αγορά είναι περίπου 6.000 ευρώ.

Για το πρώτο πλάνο όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, θα χρειαστούν σαράντα έξι μπαταρίες. Η συνολική αξία του εξοπλισμού αυτού θα ανέλθει στο ποσό των 276.000 ευρώ.

Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε το κόστος στην περίπτωση που θα θεωρούσαμε όλα τα πάρκα σαν μια μονάδα παραγωγής, ένα χαρτοφυλάκιο. Η απαιτούμενη χωρητικότητα της μπαταρίας θα έπρεπε να είναι 350 kW όπως προαναφέρθηκε και συνεπώς θα χρειαζόταν τριάντα έξι μπαταρίες και συνεπώς θα χρειαζόταν 216.000 ευρώ. Συνεπώς, παρατηρούμε την μεγάλη διαφορά της τάξης του 22% που προκύπτει στο οικονομικό κόστος υλοποίησης των δύο υπό εξέταση πλάνων λειτουργίας.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μια στατιστική ανάλυση της λειτουργίας πέντε φωτοβολταϊκών πάρκων, που βρίσκονται στο νησί της Κρήτης, ισχύος 80 kW το κάθε ένα. Θεωρήσαμε αυτά τα πάρκα, ως μια ομάδα παραγωγής ενέργειας και δημιουργήσαμε ένα εικονικό μέσο πάρκο όπου η ωριαία παραγωγή του είναι η μέση τιμή της παραγωγής των υπολοίπων πάρκων.

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας, ήταν η σύγκριση της παραγωγής και οι διαφορές που παρουσιάζεται, ανάμεσα στα υπαρκτά πάρκα και το υποτιθέμενο μέσο πάρκο. Επίσης, εξετάστηκε η αποθήκευση ενέργειας στα φωτοβολταϊκά πάρκα ως επικουρικό μέσο του δικτύου και έγινε σύγκριση κόστους για το ενδεχόμενο ότι κάθε πάρκο θα έχει το δικό του σύστημα αποθήκευσης, αλλά και ότι όλα τα πάρκα θα έχουν ένα κοινό σύστημα αποθήκευσης.

Το βασικό συμπέρασμα που εξάγεται όσον αφορά τη θεώρηση ενός ενιαίου χαρτοφυλακίου πάρκων, είναι ότι η δημιουργία του συγκεκριμενοποίησε κατά το δυνατόν την παραγωγή και ταυτόχρονα ελαχιστοποίησε την ύπαρξη απότομων αλλαγών στην παραγωγή, που παρατηρούνται κυρίως λόγω καιρικών συνθηκών και βλαβών. Για την αποθήκευση ενέργειας, παρατηρήθηκε ότι για ιδιοκτήτες πολλών σε αριθμό φωτοβολταϊκών πάρκων, η θεώρηση των πάρκων ως ομάδα παραγωγής ενέργειας, ανεξάρτητα από την τοποθεσία τους, έχει οικονομικά οφέλη.

Οι οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της εποχής μας έχουν ως συνέπεια την αναθεώρηση πολλών πραγμάτων που πριν από καιρό θεωρούσαμε δεδομένα. Η αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων, σε συνδυασμό με την αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων της κοινωνίας, οδηγούν σε οικονομικό αδιέξοδο και καταστροφή του περιβάλλοντος. Σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των παραπάνω, μπορούν να διαδραματίσουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν έναν από τους βασικούς κλάδους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνεχής βελτίωση του τρόπου παραγωγής και η μείωση του κόστους κατασκευής με την πάροδο των χρόνων σε συνδυασμό με τη μορφολογία του εδάφους και το κλίμα της Ελλάδας θα μπορούσαν να κάνουν τον τομέα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στη χώρα μας, άκρως ανταγωνιστικό. Επίσης, η λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα ενδυνάμωνε ακόμη περισσότερο τον κλάδο αυτό.

Παράρτημα

1. ΤΥΠΙΚΕΣ ΜΕΡΕΣ

Ακολουθούν πίνακες με τα δεδομένα των τυπικών ημερών ανά μήνα και Φ/Β πάρκο. Η στήλη average αντιστοιχεί στην μέση τυπική μέρα του χρόνου για το μέσο πάρκο που δημιουργήσαμε.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.1: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (KW))ΠΑΡΚΟΥGOODHAWK1

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Average
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0,0346	0,0129	0,2736	0,3849	0,1760	0,0076	0	0,0218	0,0122	0,0771
7:00	0,1649	0,0648	0,7402	9,8214	1,8009	17,2883	23,4785	21,3528	11,0344	6,1990	2,0080	7,7293	8,5013
8:00	24,3472	16,6760	27,6235	35,7005	20,5934	35,5397	41,1970	38,9445	35,9470	28,4467	18,3802	30,0869	29,4601
9:00	45,5413	32,7098	47,2276	52,8276	45,7127	47,4796	48,3596	47,5923	46,8149	45,6331	39,0822	45,3608	45,3417
10:00	56,8962	33,8784	45,2168	56,9065	54,0589	53,8840	52,7098	52,3294	51,2031	51,1328	49,1850	52,3547	51,0785
11:00	59,4505	34,8829	50,2728	58,7084	55,5664	53,7493	56,2036	54,7666	53,3998	53,9652	54,1375	56,3788	53,4516
12:00	55,8277	37,5644	58,8831	59,3267	59,1317	52,8345	56,8520	55,6283	53,5360	55,6055	57,0994	55,4339	54,7667
13:00	54,6330	40,5694	57,1334	55,4176	61,3587	55,0430	54,2944	55,6918	51,9705	54,1412	55,6012	52,9378	54,0316
14:00	51,0635	39,3007	56,1993	56,7449	60,3506	56,8075	54,4882	54,4351	52,4653	53,7677	54,2093	48,6648	53,1796
15:00	40,9123	33,5495	49,2412	48,3742	60,6450	52,9695	55,5807	53,3959	50,7450	51,3412	51,5347	36,8654	48,7346
16:00	16,6012	18,5612	35,3603	40,5160	55,9305	49,4757	51,8720	50,0397	48,8855	48,9227	45,0473	15,8897	39,7454
17:00	0,1902	1,7636	11,6116	24,4802	49,0158	43,2759	45,8873	43,5251	44,2236	40,7040	30,6202	1,3753	28,0783
18:00	0	0	0,0849	5,5867	30,6954	32,3880	36,2624	35,9150	33,3946	22,6874	8,2926	0	17,1440
19:00	0	0	0	0,6597	6,2698	12,9340	16,6426	21,4522	12,3074	3,1000	0,1777	0	6,1580
20:00	0	0	0	0	0,0143	0,4665	1,1408	2,3507	0,0858	0	0	0	0,3406
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.2: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΧΥΟΣ (kW) ΠΑΡΚΟΥ GOODHAWK2

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Average
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	1,0819	0,1303	0,8421	1,0722	0,4931	0,1104	0	0,0093	0,0671	0,3189
8:00	4,7539	1,6929	6,5874	18,7746	8,1703	12,4367	13,7863	10,5783	8,5124	7,2352	3,0912	12,5844	9,0147
9:00	35,3526	20,1111	32,2138	41,9980	35,4729	41,3787	43,9173	44,3249	36,0631	36,5579	28,2415	36,2772	35,9905
10:00	54,7049	34,3543	49,6359	54,1345	47,6826	50,0880	52,8307	54,2980	50,1443	49,9701	48,2534	47,2648	49,4458
11:00	60,1442	40,5630	56,9535	56,2134	55,0158	54,4745	56,2542	58,2987	55,2199	56,1589	56,1632	53,5976	54,9067
12:00	61,6645	41,3844	61,7091	59,0728	59,4375	56,0435	59,2697	59,5729	57,6168	58,9403	59,9086	55,8991	57,5113
13:00	62,8375	41,5095	61,0766	55,8986	61,3350	58,5864	59,9113	60,5752	58,7786	60,1041	61,8473	56,5189	58,2195
14:00	60,3794	41,5192	58,9479	54,9346	61,2481	56,5565	59,9927	60,3385	58,4578	59,0544	59,8678	56,2017	57,2625
15:00	57,2375	41,7639	57,3186	56,9064	61,4381	56,4449	59,6812	59,5906	57,3773	58,9340	58,4904	51,9705	56,4074
16:00	47,0607	34,5907	50,6060	49,9134	61,1863	52,5658	58,1945	58,5123	56,4402	54,5805	55,2367	42,0999	51,7304
17:00	25,2523	22,7671	38,7434	42,3509	56,0284	48,4896	56,2604	55,2123	53,8001	52,6173	47,7433	20,5432	43,3091
18:00	1,9426	4,5496	17,3021	27,0431	48,7740	44,3676	51,0320	50,4241	49,3877	45,3511	34,7094	2,1333	31,4361
19:00	0	0	0,5376	8,3438	34,5632	34,1773	44,4195	44,0608	39,7564	27,9832	10,7201	0	20,4191
20:00	0	0	0	1,3403	9,5218	16,0641	25,2905	30,4818	17,3791	3,7549	0,0194	0	8,6908
21:00	0	0	0	0	0,0209	0,5685	1,8294	2,4083	0,3174	0	0	0	0,4307
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.3: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΧΥΟΣ (kW) ΠΑΡΚΟΥ GOODHAWK3

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Average
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	1,4970	0,1387	1,0112	1,5470	0,6162	0,2418	0	0,0078	0,0174	0,4254
8:00	5,7356	2,0110	8,2760	20,3674	11,0057	21,9629	25,2102	24,8074	15,0809	9,6389	4,4815	12,1245	13,4077
9:00	33,1923	19,7847	33,1086	41,4543	36,2914	42,8755	45,2050	45,2232	40,2654	35,7024	30,6977	32,9949	36,4050
10:00	51,0536	34,1170	49,9275	54,6008	47,5546	49,7276	53,1825	53,7309	51,5952	49,4305	48,2603	44,9218	49,0061
11:00	56,8096	39,8013	56,8259	55,5398	54,7597	53,7217	55,8255	56,9552	55,7740	55,2326	55,7174	51,4305	54,0145
12:00	57,4093	41,0470	61,2761	58,5854	59,1013	55,4968	58,4974	58,4812	57,6328	57,9586	59,2263	54,0168	56,5259
13:00	58,7077	41,1557	60,3798	54,7968	60,9622	57,9389	59,1221	59,5301	58,1814	58,9533	61,0291	54,7478	57,0932
14:00	56,6961	41,2071	58,0551	54,3530	60,7731	55,9174	59,2414	59,4246	57,6468	58,0798	58,9819	54,3090	56,1932
15:00	52,5677	41,4464	57,0521	55,7616	61,1512	55,7929	58,7890	58,2377	56,5581	57,9856	57,8314	49,6288	55,2055
16:00	44,5508	34,2911	49,7383	49,6406	60,6656	51,8587	57,3794	57,6197	55,8030	53,7765	54,4372	39,8846	50,7864
17:00	22,7864	22,2359	37,7526	41,6505	55,9069	47,6219	55,4109	54,2685	53,6252	51,6161	47,2325	18,2110	42,3530
18:00	1,6882	4,2930	16,1886	25,4554	49,0044	43,2072	50,3543	49,4912	49,4320	44,3578	34,1513	1,6110	30,7884
19:00	0	0	0,4517	7,5839	33,8614	32,7190	43,5399	43,0745	39,8227	26,7809	10,1561	0	19,8705
20:00	0	0	0	0,9747	6,2007	10,7861	20,2781	23,1298	11,0029	2,7492	0,0171	0	6,2843
21:00	0	0	0	0	0,0157	0,3811	1,2799	1,2547	0,2007	0	0	0	0,2617
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.4: ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΥΟΣ (KW) ΠΑΡΚΟΥ GOODHAWK4

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Average
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0,1883		0,0270	0,4870	0,9371	0,3472	0,0242	0	0	0,0051	0
8:00	0,3444	0,1807	1,2263	6,4941	4,5206	12,2082	15,2208	13,2135	5,5951	1,7511	0,4932	2,1956	0,1650
9:00	4,8351	5,0408	14,5967	25,5775	24,6535	33,4580	33,7271	34,0110	25,6094	18,7018	9,4018	15,3732	4,4560
10:00	15,4960	21,3127	34,9893	41,0022	41,6501	44,3915	45,2138	46,1698	39,7919	35,6709	26,0838	29,6959	23,0999
11:00	25,7551	33,7980	48,4159	47,4165	51,6473	50,9947	52,5500	54,0630	49,1748	43,0959	38,4739	39,7882	35,7013
12:00	33,3856	37,7333	53,0397	50,9103	58,2360	53,9055	57,0241	58,9029	54,1528	50,2297	46,1808	43,0326	40,4134
13:00	34,6847	36,2366	54,9110	47,9810	61,2873	57,6682	58,9819	60,5346	55,7532	51,9566	49,6712	41,3296	43,1967
14:00	34,4226	33,1770	53,0138	49,2919	61,5167	56,0867	58,3258	60,4487	57,4853	53,2804	49,4890	38,6433	44,2238
15:00	28,8104	28,4055	46,1927	46,3090	61,3403	54,3433	59,3022	60,6387	56,9257	51,2173	48,3606	34,5439	44,4464
16:00	21,6983	21,2675	37,2666	44,6073	57,0198	50,2126	57,0309	59,5084	54,8410	49,2849	43,7721	21,2502	43,6930
17:00	8,5198	10,5962	27,6383	32,2519	50,3226	44,5145	50,4126	54,5675	50,3569	41,2587	34,8341	9,3145	41,2231
18:00	0,3841	1,2349	8,3214	16,3661	41,3564	35,4994	43,0747	46,6043	39,7532	29,8757	19,7858	0,5658	35,2622
19:00	0	0	0,2006	4,8070	24,6699	24,9880	32,8086	34,7847	26,8158	14,8314	3,5169	0	27,5546
20:00	0	0	0	0,5384	5,3085	10,3844	16,0962	18,8285	8,2136	1,1946	0,0053	0	18,8062
21:00	0	0	0	0	0,0098	0,4585	1,4299	1,4138	0,1971	0	0	0	10,2579
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3240
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.5: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (KW)ΠΑΡΚΟΥ Κ&Μ

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Average
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0,0766	0,0101	0,4599	1,0455	0,3811	0,0087	0	0	0	0,9749
8:00	0,1059	0,0522	1,6077	8,3390	4,2049	8,7571	12,3875	8,9119	4,7205	1,7087	0,2992	2,2826	8,5486
9:00	9,5671	5,4117	19,7947	26,5057	22,9299	33,2169	37,8420	37,1249	27,6468	22,9187	13,8788	20,5293	27,1358
10:00	18,1523	17,7652	33,1079	40,3398	36,8698	42,2859	45,8527	48,6824	41,1881	40,0191	32,4506	31,9168	41,0356
11:00	20,1830	22,2383	42,4601	43,4136	43,5547	46,4399	50,4028	52,1812	45,5765	42,2724	41,0671	35,6331	48,2531
12:00	23,8204	26,2041	43,9246	46,4263	49,8055	48,6964	50,9117	53,5128	46,4068	45,7235	45,4281	37,9201	51,4499
13:00	27,1805	29,0961	45,3122	47,4054	51,4617	48,8244	52,4226	55,7204	48,4558	46,5895	44,2329	34,3087	51,2758
14:00	26,0471	27,3954	45,3122	45,4540	52,1302	51,4178	53,0003	56,1136	48,5896	49,5706	45,1883	34,5110	50,0647
15:00	23,6069	28,9583	44,3817	43,2412	52,9741	47,5255	52,6865	55,9079	49,1854	51,0153	43,4978	31,8222	46,5445
16:00	18,3547	26,1763	42,3275	39,2771	54,0693	46,8736	51,6218	55,2769	48,0036	50,2380	40,9319	22,0192	39,2180
17:00	7,4597	12,2717	32,9288	34,0726	49,8333	42,9778	49,1602	54,3002	47,5362	48,8592	35,6280	8,4606	35,6228
18:00	0,2501	1,7962	9,7398	19,4125	44,6861	44,1620	48,0426	51,5728	44,9762	42,3106	22,7499	0,6280	22,6508
19:00	0	0,0011	0,4899	5,8725	33,3525	33,0103	41,8450	47,4289	36,6329	21,9724	4,5947	0	18,9644
20:00	0	0	0	0,9817	12,8034	18,5192	29,5694	35,3846	20,7297	4,5218	0,1126	0	5,5482
21:00	0	0	0	0	0,2194	1,6739	5,4318	7,1599	1,3277	0,0013	0	0	0,9754
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0,0001	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΠΙΝΑΚΑΣ Π.6: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ (kW) ΜΕΣΟΥ ΠΑΡΚΟ

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Average
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0,1480	0,0069	0,0026	0,0547	0,0770	0,0352	0,0015	0	0,0044	0,0024	0,0154
7:00	0,0330	0,0130	9,0642	2,5331	0,4214	4,0177	5,6160	4,6381	2,2839	1,2398	0,4050	1,5638	1,9157
8:00	7,0574	4,1226	29,3883	17,9351	9,6990	18,1809	21,5604	19,2911	13,9712	9,7561	5,3491	11,8548	12,3281
9:00	25,6977	16,6116	42,5755	37,6726	33,0121	39,6817	41,8102	41,6553	35,2799	31,9028	24,2604	30,1071	32,2510
10:00	39,2606	28,8855	50,9856	49,3968	45,5632	48,0754	49,9579	51,0421	46,7845	45,2447	40,8466	41,2308	44,0645
11:00	44,4685	34,2567	55,7665	52,2583	52,1088	51,8760	54,2472	55,2529	51,8290	50,1450	49,1118	47,3657	49,4679
12:00	46,4215	36,7866	55,7626	54,8643	57,1424	53,3953	56,5110	57,2196	53,8691	53,6915	53,5687	49,2605	52,3368
13:00	47,6087	37,7135	54,1027	52,2999	59,2810	55,6122	56,9465	58,4104	54,6279	54,3489	54,4763	47,9686	52,8871
14:00	45,7218	36,5199	50,8373	52,1557	59,2037	55,3572	57,0097	58,1521	54,9290	54,7506	53,5473	46,4660	52,2944
15:00	40,6269	34,8247	43,0597	50,1185	57,7743	53,4152	57,2079	57,5542	54,1583	54,0987	51,9430	40,9662	50,4088
16:00	29,6531	26,9773	29,7349	44,8126	52,2214	50,1973	55,2197	56,1914	52,7947	51,3605	47,8851	28,2287	45,3281
17:00	12,8417	13,9269	10,3273	35,0640	42,9033	45,3759	51,4263	52,3747	49,9084	47,0110	39,2116	11,5809	36,7194
18:00	0,8530	2,3747	0,3359	18,8426	26,5434	39,9248	45,7532	46,8015	43,3887	36,9165	23,9378	0,9876	26,1096
19:00	0	0,0002	0	5,4534	6,7697	27,5657	35,8511	38,1602	31,0671	18,9336	5,8331	0	15,8471
20:00	0	0	0	0,7670	0,0532	11,2440	18,4750	22,0351	11,4822	2,4441	0,0309	0	6,1284
21:00	0	0	0	0	0	0,6164	1,9942	2,4473	0,4086	0,0003	0	0	0,4619
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. SMA Solar Technology
2. Σύγγραμμα: «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι., 2013, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
3. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, 2009.
4. www.deddie.gr
5. Εγχειρίδιο Συναρμολόγησης για το σύστημα διαξονικής ιχνηλάτισης ATLAS 150 SOLARTRACKER, www.mechatron.eu, (MECHATRON ABEE)
6. www.plasisgroup.com (PLASIS ENEPΓEIAKH A.E.)
7. Εγχειρίδιο Suntech, Pluto 255-250-245, EN-STD-Wdm-NO1.01-Rev 2012, www.suntech-power.com.
8. el.wikipedia.org
9. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΚΑΡΑΦΙΝΑ , «Στατιστική ανάλυση ενεργειακών δεδομένων Πολυτεχνείου Κρήτης» , Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, 2014.
10. ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ , «Μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 80KW», Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης ,2013.
11. ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Χ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, «Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών-αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, 2015.
12. MATLAB (<https://in.mathworks.com/products/matlab.html>)
13. Ιστοσελίδα (<http://www.windandsun.co.uk/>)