

Διπλωματική εργασία

**ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ
ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

PV plant siting with the multicriteria optimization method



Υπεύθυνος φοιτητής: Λώλας Χρήστος

Εξάμηνο φοίτησης: Γ'

A.M: 18392074

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Κονδύλη Αιμιλία

Αθήνα, 2023

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΙΣΗΓΗΤΗ

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΑΙΜΙΛΙΑ Μ. ΚΟΝΔΥΛΗ	ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
2	ΚΟΣΜΑΣ ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΖΑΦΕΪΡΑΚΗΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λώλας Χρήστος του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 18392074 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Δρ. Αιμιλία Κονδύλη, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, καθώς και για την υπομονή της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους καθηγητές του εργαστηρίου Ηπίων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, καθώς αυτοί μου προσέφεραν απλόχερα το μάθημα της Μεθοδολογίας Επιστημονικής Έρευνας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την οικονομική τους στήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, και όλα τα φιλικά πρόσωπα που γνώρισα, για τις στιγμές που περάσαμε μαζί.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι να βρεθεί ένα βέλτιστο σημείο για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου με την χρήση της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι ένα μείζον ζήτημα τα τελευταία χρόνια και για αυτό, η Ελλάδα και η ΕΕ προσπαθούν να στραφούν σε αυτές. Ένας τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό, είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού. Για την εύρεση του βέλτιστου σημείου χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου, θα χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός της μεθόδου της Αναλυτικής Ιεράρχησης με το μοντέλο του Σταθμισμένου Αθροίσματος. Πιο συγκεκριμένα, θα επιλεγούν κριτήρια χωροθέτησης, τα οποία θα ιεραρχηθούν, και θα επιλεγούν υποψήφιες περιφέρειες της Ελλάδας και σημεία για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού εντός αυτών. Έπειτα, θα συλλεχθούν ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα για κάθε κριτήριο και σημείο. Τέλος, κάθε σημείο θα βαθμολογηθεί (σε σχέση με τα υπόλοιπα) με το μοντέλο του σταθμισμένου αθροίσματος. Από την βαθμολόγηση αυτή θα προκύψει το βέλτιστο σημείο.

Λέξεις κλειδιά: Φωτοβολταϊκά πάρκα, χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου, μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης, μέθοδος της Αναλυτικής Ιεράρχησης, μοντέλο του Σταθμισμένου Αθροίσματος.

ABSTRACT

The purpose of this project is to find an optimal location to site a PV plant to, using the multicriteria optimization method. The field of Renewable Energy Sources is of utmost importance nowadays, and that is the reason why Greece and the European Union intend to turn to them. Siting a solar farm is one of the ways that can help achieve this purpose. To find the optimal location for PV plant siting, the combination of the Analytic Hierarchy Process and the Weighted Sum Model will be used. In particular, multiple siting criteria will be taken under consideration, which will also be hierarched, and some Greek regions will be selected, including candidate solar farm siting positions located in those regions. Furthermore, quantitative and qualitative data will be gathered for every criterion and candidate PV plant siting position. Last but not least, every siting position will be valued (compared to the other positions) by using the Weighted Sum Model. The highest value represents the optimal siting position.

Key words: Solar farms, PV plant siting, multicriteria optimization method, Analytic Hierarchy Process, Weighted Sum Model.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή – Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας	9
1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας.....	9
1.2 Λίγα λόγια για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	9
1.2.1 Εθνικοί στόχοι	9
1.2.2 Ευρωπαϊκοί στόχοι	10
1.3 Ιστορική αναδρομή των φωτοβολταϊκών	10
1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών.....	11
1.5 Περιγραφή μεθοδολογίας	11
1.6 Περιεχόμενα της εργασίας.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Φωτοβολταϊκά πάρκα	13
2.1 Ηλιακή ενέργεια	13
2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά	14
2.2.1 Ηλιακό δυναμικό.....	14
2.2.2 Απαιτούμενη έκταση	15
2.2.3 Ανάγκες ποιότητας εδάφους.....	15
2.3 Σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις	16
2.3.1 Φωτοβολταϊκά σε διαστημικό δορυφόρο	16
2.3.2 Επίγεια φωτοβολταϊκά πάρκα	17
2.3.3 Φωτοβολταϊκά πάνω από υδάτινο κανάλι	17
2.3.4 Παράκτια φωτοβολταϊκά πάρκα	18
2.3.5 Πλωτά φωτοβολταϊκά πάρκα	18
2.3.6 Φωτοβολταϊκά πάρκα με ηλιακά trackers	18
2.4 Επιδοτήσεις.....	19
2.5 Ποσά εγκατεστημένης ισχύος.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων	23
3.1 Μέθοδοι.....	23
3.1.1 Αρχικός χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός του έργου.....	23
3.1.2 Διάθεση και προμήθεια πόρων	24
3.1.3 Έλεγχος της προόδου.....	25
3.1.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση ήδη εφαρμοσμένων μεθόδων χωροθέτησης Φ/Β πάρκου.....	25
3.2 Κριτήρια και δυσκολίες.....	25

3.3 Αδειοδότηση	26
3.3.1 Φωτοβολταϊκά ισχύος μικρότερης των 20 kW	26
3.3.2 Φωτοβολταϊκά ισχύος από 20 έως 150 kW.....	27
3.3.3 Φωτοβολταϊκά ισχύος από 150 kW έως 2 MW	28
3.3.4 Φωτοβολταϊκά ισχύος μεγαλύτερης των 2 MW	29
3.4 Τρέχουσα κατάσταση	31
3.5 Κοινωνικές αντιδράσεις.....	32
3.6 Τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα	32
3.7 Τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ευρώπη	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης	36
4.1 Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης στον τομέα της ενέργειας.....	36
4.2 Διαδικασία ιεράρχησης των κριτηρίων.....	37
4.3 Μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται	38
4.3.1 Η μέθοδος του σταθμισμένου αθροίσματος.....	38
4.3.2 Η μέθοδος του σταθμισμένου γινομένου	39
4.3.3 Η μέθοδος του προγραμματισμού στόχων	40
4.3.4 Η μέθοδος του φυσικού προγραμματισμού	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κριτήρια πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	42
5.1 Νομοθεσίες.....	42
5.1.1 Ο νόμος 3851/2010	42
5.1.2 Ο νόμος 3851/1986	42
5.1.3 Ο νόμος 4685/2020	43
5.2 Τεχνικά κριτήρια	44
5.2.1 Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία.....	44
5.2.2 Ενεργειακή παραγωγή.....	45
5.3 Χωροταξικά κριτήρια	45
5.3.1 Επιφάνεια έκτασης που θα αξιοποιηθεί για την εγκατάσταση του Φ/Β πάρκου	45
5.3.2 Απόσταση από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή.....	47
5.3.3 Κλιματική ζώνη περιοχής	48
5.4 Κοινωνικά κριτήρια	48
5.4.1 Αντανακλάσεις.....	48
5.4.2 Ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού.....	49
5.5 Οικονομικά κριτήρια	51
5.5.1 Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα.....	51

5.5.2 Οικονομικά οφέλη.....	52
5.6 Σύνοψη των κριτηρίων που θα μεγιστοποιηθούν και αυτών που θα ελαχιστοποιηθούν	52
5.7 Παραδοχές.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Εφαρμογή	54
6.1 Προσδιορισμός της βαρύτητας των κριτηρίων με την μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης.....	55
6.2 Επιλογή ευρύτερων υποψήφιων περιοχών για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου	56
6.3 Υπολογισμός της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας συναρτήσει της γωνίας τοποθέτησης	60
6.3.1 Υπολογισμός του ύψους h	60
6.3.2 Υπολογισμός της απόστασης x	60
6.3.3 Υπολογισμός του σκιαζόμενου μήκους από τα πάνελ και άθροισμά του με την απόσταση x	60
6.3.4 Υπολογισμός των ελάχιστων απαιτούμενων διαστάσεων και της ελάχιστης απαιτούμενης έκτασης.....	61
6.3.5 Πίνακας αποτελεσμάτων	61
6.4 Επιλογή των εκτάσεων γης των υποψήφιων περιοχών για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου .	61
6.5 Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα κριτηρίων	63
6.6 Κανονικοποίηση των δεδομένων.....	69
6.7 Αξιολόγηση όλων των λύσεων με το μοντέλο του σταθμισμένου αθροίσματος.....	69
6.8 Αποτελέσματα	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα	72
7.1 Κατάταξη της τελικής βαθμολογίας των σημείων που επιλέχθηκαν	73
7.2 Επόμενα βήματα – Εξέλιξη της εργασίας.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74
Ελληνική βιβλιογραφία.....	74
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή – Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

1.1 Σκοπός και αντικείμενο της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χρήση της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης, ώστε να βρεθεί το βέλτιστο σημείο πάνω στο οποίο θα χωροθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό πάρκο.

Το αντικείμενο της εργασίας είναι τα προβλήματα βελτιστοποίησης και ειδικότερα το πρόβλημα της χωροθέτησης, και η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

1.2 Λίγα λόγια για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας που ανανεώνονται με φυσικό τρόπο (Κοντογιάννης, 2013). Ενδεικτικά, ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να χαρακτηριστούν η αιολική ενέργεια, η βιομάζα, η ηλιακή ενέργεια κλπ. Η ηλιακή ενέργεια συγκεκριμένα, μπορεί να θεωρηθεί ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, καθώς ο ήλιος αναμένεται να σβήσει σε λίγα δισεκατομμύρια χρόνια (Κοντογιάννης, 2013).

1.2.1 Εθνικοί στόχοι

Σε εθνικά πλαίσια, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) έχει προτείνει την εκτέλεση παρεμβάσεων των ηλεκτρικών δικτύων, με σκοπό την διασύνδεση της νησιωτικής με την ηπειρωτική Ελλάδα, σε συνδυασμό με την αναβάθμιση του δικτύου διανομής ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό θα ενισχύσει την ασφάλεια του ενεργειακού συστήματος της χώρας και θα αυξήσει την δυναμικότητα παραγωγής από ΑΠΕ στα νησιά, καθώς έχουν αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ (Καλδέλλης και Καββαδίας, 2001). Ακόμα, προτείνεται η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σε υποσταθμούς μέσης και υψηλής τάσης ηλεκτρικού ρεύματος για σύνδεση νέων μονάδων παραγωγής ΑΠΕ, σε συνδυασμό με την ολοκλήρωση του Ειδικού Χωροταξικού πλαισίου της χώρας, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εγκαταστάσεις ΑΠΕ. Μαζί με τα παραπάνω, το ΥΠΕΝ προτείνει και την χρήση συσσωρευτών στις εγκαταστάσεις ΑΠΕ, προκειμένου να αποθηκεύεται το πλεόνασμα παραγόμενης ενέργειας. Τέλος, το ΥΠΕΝ αναφέρει ότι θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν ηλεκτρικές διασυνδέσεις της Ελλάδας με τα υπόλοιπα βαλκάνια, αλλά και με τις υπόλοιπες χώρες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Ως αποτέλεσμα, οι εν λόγω χώρες θα μπορούν να τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ και από την Ελλάδα. Αυτός ο στόχος είναι σημαντικός, καθώς η ενέργεια θα πωλείται από την Ελλάδα στις χώρες αυτές φθηνότερα σε σύγκριση με την τιμή πώλησης ενέργειας από άλλες χώρες της Ευρώπης.

Σε συνέχεια των προτάσεων του ΥΠΕΝ, κάποιοι από τους εθνικούς στόχους για στροφή στις ΑΠΕ έχουν αναθεωρηθεί από το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ). Πιο συγκεκριμένα, το ΥΠΕΝ είχε δηλώσει την συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της χώρας σε ποσοστό 65%, ενώ το ΕΣΕΚ αναθεώρησε τον εν λόγω στόχο, ανεβάζοντας το ποσοστό αυτό στο 80% (Λιάγγου, 2023). Η άνοδος του ποσοστού αυτού οφείλεται στην ανάγκη της Ελλάδας να συμβαδίσει με τους στόχους για στροφή στις ΑΠΕ που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Ειδικότερα, ως εθνικός στόχος έχει τεθεί η άνοδος της εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ στα 28 GW μέχρι το 2030 (Λιάγγου, 2023). Αξίζει να αναφερθεί ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στην Ελλάδα σήμερα είναι ίση με 10,2 GW, ενώ παρατηρήθηκε ότι το 2022, η συμβολή των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της χώρας μειώθηκε στο 26%, έναντι του 34% που σημειώθηκε το 2021 (Λιάγγου, 2023). Από αυτό το γεγονός, είναι αντιληπτό ότι η υλοποίηση των εθνικών στόχων είναι αναγκαία, αλλά ταυτόχρονα θα είναι και δύσκολη.

1.2.2 Ευρωπαϊκοί στόχοι

Κατά το έτος 2009 (Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, 2022), ορίστηκε από τους ηγέτες της ΕΕ ως στόχος η ενέργεια που καταναλώνεται από τους ευρωπαίους να αποτελείται κατά τουλάχιστον 20% από ΑΠΕ, έως το έτος 2020. Εννέα χρόνια αργότερα, το 2018, το ποσοστό αυτό αναθεωρήθηκε από 20% έως το 2020 σε 32% έως το 2030. Παρ' όλα αυτά, δεν άργησε να γίνει αναθεώρηση του εν λόγω στόχου, καθώς τον Ιούλιο του 2021 πραγματοποιήθηκε η τροποποίηση RED¹ II, κατά την οποία η ευρωπαϊκή επιτροπή πρότεινε ο στόχος που είχε τεθεί το 2018 να ανέλθει από 32% σε 40% έως το 2030. Όμως, με την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία, τον Φεβρουάριο του 2022, η ευρωπαϊκή επιτροπή πραγματοποίησε τον Μάιο του 2022 την τροποποίηση RED III, κατά την οποία προτάθηκε το ποσοστό καταναλισκόμενης ενέργειας από ΑΠΕ να ανέλθει από 40% σε 45% έως το 2030.

1.3 Ιστορική αναδρομή των φωτοβολταϊκών

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel. Αυτό επετεύχθη με την διεξαγωγή πειραμάτων από μέρος του Becquerel, στα οποία χρησιμοποίησε δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια, τα οποία ήταν ηλεκτρολυτικές επαφές (Κυρατζής, 2013). Το 1876, οι Adams και Day ανακάλυψαν την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το σεληνίο, όταν αυτό εκτίθεται στο φως του ήλιου,. Με την ανακάλυψη αυτή, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι το 1918 κατασκευάζονταν με την χρήση του σεληνίου και είχαν βαθμό απόδοσης από 1 έως 2%,. Το 1918, ο Czochralski έκανε περαιτέρω έρευνα για τα φωτοβολταϊκά και κάποια στιγμή ανακάλυψε ότι το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο μπορεί να παράγει περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα, όταν είναι εκτεθειμένο στο ηλιακό φως, συγκριτικά με το σεληνίο. Έτσι, το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο χρησιμοποιείται στις κατασκευές φωτοβολταϊκών μέχρι και σήμερα (Κυρατζής, 2013).

Μέχρι το 1954, τα φωτοβολταϊκά συστήματα εξακολουθούσαν να έχουν βαθμό απόδοσης της τάξης του 1 – 2%. Παρ' όλα αυτά, οι Chapin, Fuller και Pearson, ερευνητές στην Bell Laboratories, κατάφεραν να δημιουργήσουν το πρώτο φωτοβολταϊκό με βαθμό απόδοσης ίσο με 6% (Κυρατζής, 2013). Ως αποτέλεσμα, τα φωτοβολταϊκά άρχισαν από το 1958 να αξιοποιούνται και σε διαστημικές εφαρμογές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εφαρμογή τους στον διαστημικό δορυφόρο Vanguard I. Ο Vanguard I λειτουργούσε επί 8 χρόνια και θεωρείται μία από τις πρώτες εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων στην ιστορία. Με την συνεχή έρευνα και την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας, ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών αυξάνονταν, με αποτέλεσμα σήμερα ο βαθμός απόδοσής τους να κυμαίνεται από 13 έως 19%. Παράλληλα με την αύξηση αυτή του βαθμού απόδοσης, αναπτύσσονται καινοτόμες τεχνολογίες, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά μορφής λεπτής μεμβράνης (Κυρατζής, 2013).



Εικόνα 1: Φωτοβολταϊκό μορφής λεπτής μεμβράνης (Μαρινόπουλος, 2018)

¹ RED: Renewable Energy Directive

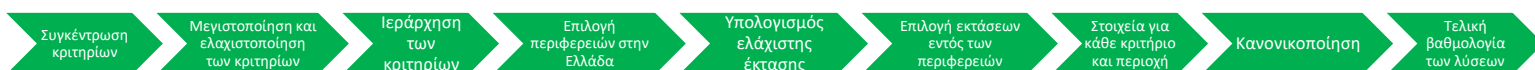
1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών

Όπως κάθε τεχνολογία, έτσι και τα φωτοβολταϊκά, έχουν θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με την Γάλλου (2011), τα φωτοβολταϊκά έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, είναι αξιόπιστα και έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, καθώς δεν υπάρχουν κινητά μέρη. Η απουσία αυτή των κινητών μερών από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, συνεπάγεται και μηδενικές εκπομπές ρύπων (Γάλλου, 2011). Αυτό ισχύει, διότι χωρίς κινητά μέρη, δεν εκπέμπονται τοξικές ουσίες στο περιβάλλον και δεν μπορεί να παραχθεί θόρυβος (Γάλλου, 2011). Ακόμα, εάν υπάρχει μία ήδη εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων (είτε σε οικιακό επίπεδο, είτε σε συλλογικό, μέσω των φωτοβολταϊκών σταθμών) είναι δυνατόν η ισχύς αυτή να επεκταθεί ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες του χρήστη, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση ακόμα περισσότερων φωτοβολταϊκών συστημάτων (Γάλλου, 2011). Όμως, ένα βασικό μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών είναι ο χαμηλός βαθμός απόδοσής τους. Για τον λόγο αυτόν, απαιτούνται σχετικά μεγάλες εκτάσεις για την χωροθέτησή τους. Αυτές οι υψηλές απαιτήσεις εκτάσεων γίνεται ένα μείζον ζήτημα όταν πρόκειται για χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων. Μαζί με αυτό, επειδή η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι σταθερή ανά το έτος (συννεφιά, βροχές, ομίχλη κλπ), η παραγωγή ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και η ζήτηση ενέργειας από τον καταναλωτή, πολλές φορές δεν συμπίπτουν (Γάλλου, 2011). Επομένως, στην περίπτωση πλεονάσματος ενέργειας, έγκειται η ανάγκη για χρήση συσσωρευτών, ώστε η περίσσεια αυτή να μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί στις ημέρες και ώρες εκείνες όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Η ανάγκη αυτή επιφέρει και αύξηση του κόστους αρχικής επένδυσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για την κάλυψη των μειονεκτημάτων, πραγματοποιούνται έρευνες για την αύξηση του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών, όπως επίσης παρατηρούνται και μειώσεις στις τιμές τους (Γάλλου, 2011).

1.5 Περιγραφή μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την εύρεση του βέλτιστου σημείου για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου ξεκινάει από την συγκέντρωση των κριτηρίων που θα ληφθούν υπόψιν πολυκριτηριακής ανάλυσης. Αφού συγκεντρωθούν τα κριτήρια, θα καθοριστεί ποια είναι αυτά που θα ελαχιστοποιηθούν και ποια θα μεγιστοποιηθούν. Ύστερα, θα πραγματοποιηθεί ιεράρχηση της βαρύτητας των κριτηρίων αναμεταξύ τους, με την χρήση της μεθόδου Αναλυτικής Ιεράρχησης. Μετά από την ιεράρχηση, θα επιλεγούν περιφέρειες εντός της Ελλάδας, και θα υπολογιστεί η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια έκτασης για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου συναρτήσει της γωνίας τοποθέτησης των πάνελ. Στη συνέχεια, θα επιλεγεί από μία έκταση υποψήφια για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού σε κάθε περιφέρεια και θα συλλεχθούν στοιχεία για κάθε κριτήριο και περιοχή. Έπειτα, τα στοιχεία αυτά θα κανονικοποιηθούν, ώστε να αναχθούν σε μία τάξη μεγέθους, και στο τέλος, θα υπολογιστεί η τελική βαθμολογία κάθε επιλεγμένης έκτασης, με την χρήση του μοντέλου του σταθμισμένου αθροίσματος.

Συνοπτικά, η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα διεργασιών:



Διάγραμμα διεργασιών 1: Ακολουθούμενη μεθοδολογία (ίδια επεξεργασία)

1.6 Περιεχόμενα της εργασίας

Η εργασία αυτή αποτελείται αρχικά από μία αναλυτική περιγραφή των φωτοβολταϊκών πάρκων. Η περιγραφή αυτή ξεκινάει με πληροφορίες για την ηλιακή ενέργεια και τους τρόπους αξιοποίησής της. Ύστερα, περιγράφονται κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία ακολουθούνται από εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Μετά από αυτά, παρατίθενται λίγα λόγια για τις επιδοτήσεις από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τέλος, παρουσιάζονται και σχολιάζονται στατιστικά στοιχεία για τα ποσά εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών, τα οποία αφορούν ήδη εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Μετά από την περιγραφή των φωτοβολταϊκών πάρκων, παρουσιάζονται κάποιες πληροφορίες για την χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Αναλυτικότερα, παρατίθενται οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την υλοποίηση έργων (οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν και για την χωροθέτηση φωτοβολταϊκών σταθμών) και μία βιβλιογραφική ανασκόπηση μεθόδων που έχουν ήδη εφαρμοστεί για την επίλυση του προβλήματος της χωροθέτησης φωτοβολταϊκών πάρκων. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν επίσης λίγα λόγια για τα κριτήρια και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται, τις διαδικασίες αδειοδότησης για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου, την επικρατούσα κατάσταση στην Ελλάδα και την αναφορά σε κοινωνικές αντιδράσεις που υπήρξαν σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, παρουσιάζονται κάποια από τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.

Ύστερα από τις πληροφορίες για την χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού, παρατίθενται πληροφορίες για την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Αρχικά, περιγράφεται η σημασία της εν λόγω μεθόδου στον τομέα της ενέργειας και αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο ιεραρχούνται τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη. Ύστερα, γίνεται αναφορά σε μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης που ήδη χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, μαζί με εφαρμογές αυτών. Προτού εφαρμοστεί η μέθοδος που θα ακολουθηθεί για την επίλυση του προβλήματος της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού, συγκεντρώνονται τα κριτήρια πολυκριτηριακής ανάλυσης που θα ληφθούν υπόψη στην παρούσα εργασία, συνοδευόμενα από πληροφορίες που τα αφορούν. Με βάση τις πληροφορίες αυτές, καθορίζεται αν το κάθε κριτήριο θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί.

Σε συνέχεια των παραπάνω, αναφέρονται οι μεθοδολογικές παραδοχές που θα ληφθούν και έπειτα, εφαρμόζεται η μεθοδολογία που περιεγράφηκε στην ενότητα 1.5. Με τον υπολογισμό της τελικής βαθμολογίας των επιλεγμένων σημείων, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε συνοπτικό πίνακα, από τον οποίο προκύπτει η βέλτιστη λύση. Κατόπιν σχολιασμού και σύγκρισης των αποτελεσμάτων, διεξάγονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν. Τέλος, γίνεται μία μικρή ανάλυση των επομένων βημάτων που μπορούν να υλοποιηθούν, προς εξέλιξη της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Φωτοβολταϊκά πάρκα

Ως φωτοβολταϊκό πάρκο μπορεί να οριστεί μια διάταξη φωτοβολταϊκών πάνελ, η οποία χρησιμοποιεί τον ήλιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Montgomery County Planning Commission, 2011). Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναλυθούν βασικές συνιστώσες που αφορούν τα φωτοβολταϊκά πάρκα. Αρχικά, θα γίνει μία αναφορά για την ηλιακή ενέργεια. Ύστερα, θα αναλυθούν κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Στη συνέχεια, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις των φωτοβολταϊκών. Ακόμα, θα αναλυθούν οι επιδοτήσεις που μπορούν να προκύψουν από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τέλος, θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν λίγα στατιστικά στοιχεία που αφορούν σε ήδη εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα στον ελλαδικό χώρο.



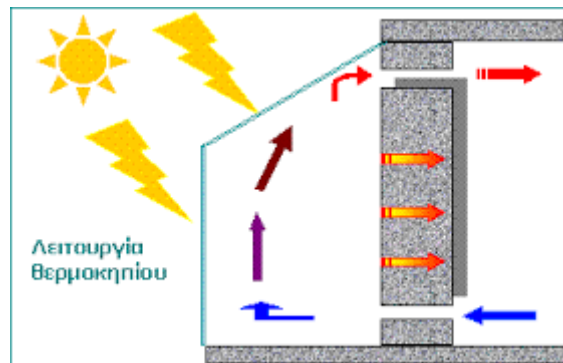
Εικόνα 2: Φωτοβολταϊκό πάρκο (Depositphotos)

2.1 Ηλιακή ενέργεια

Σύμφωνα με τους Turgeon και Morse (2022), η ηλιακή ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που πηγάζει από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Παράγεται από την βίαιη πυρηνική σύγκρουση περίπου 620 εκατομμυρίων τόνων υδρογόνου ανά δευτερόλεπτο. Τα πρωτόνια του υδρογόνου ενώνονται μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι ένα άτομο ηλίου (He). Ως αποτέλεσμα, παράγονται τεράστια ποσά ενέργειας, η οποία φτάνει στη Γη μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Σε ετήσια βάση, η συνολική ενέργεια που φτάνει από τον ήλιο στην επιφάνεια της Γης, ισούται με 121.000 TW περίπου. Από αυτό το ποσό που λαμβάνει η επιφάνεια της Γης ετησίως, αρκεί μόνο η αξιοποίηση των 121 GW για να καλυφθούν όλες οι ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπινου πληθυσμού (Κοντογιάννης, 2013).

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με τρεις τρόπους. Ο πρώτος είναι τα Παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία συναντώνται κυρίως σε κτήρια και απορροφούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, αποθηκεύοντάς την ως θερμότητα. Ως αποτέλεσμα, η θερμότητα αυτή κατανέμεται στον εσωτερικό χώρο και τον θερμαίνει.



Εικόνα 3: Παθητικό ηλιακό σύστημα (cres.gr)

Ο δεύτερος τρόπος είναι τα Ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία επίσης συναντώνται σε κτήρια, απορροφούν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται στον χώρο είτε με την χρήση κάποιου υγρού, είτε με την χρήση του αέρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες.



Εικόνα 4: Ενεργητικό ηλιακό σύστημα (Newsbomb, 2023)

Τέλος, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί και με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα τελευταία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την παροχή ηλεκτρισμού σε περιοχές μη εύκολα προσβάσιμες από το ηλεκτρικό δίκτυο. (Κοντογιάννης, 2013)



Εικόνα 5: Φωτοβολταϊκό σύστημα σε οροφή οικισμού (Olympic Engineering & Consulting)

2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

2.2.1 Ηλιακό δυναμικό

Η Ελλάδα, ιδίως στα νησιά της (Καλδέλλης και Καββαδίας, 2001), χαρακτηρίζεται από υψηλό ηλιακό δυναμικό. Σύμφωνα με την TOTEE 20701-3/2010, η Ελλάδα δέχεται από 1400 έως 1800 $\frac{kWh}{m^2}$

ηλιακής ενέργειας ετησίως. Σε ημερήσια βάση, η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία λαμβάνεται κατά τις μεσημβρινές ώρες, με την προϋπόθεση να υπάρχει ηλιοφάνεια. Σε ετήσια βάση, τα μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνονται κατά τους θερινούς μήνες, όπου κυριαρχεί η ηλιοφάνεια, ενώ τα χαμηλότερα ποσά λαμβάνονται κατά τον χειμώνα.

Σύμφωνα με στατιστική έρευνα που δημοσιεύτηκε από τον Τσαβδάρη (2020), η Μήλος, το καλοκαίρι, εμφάνισε 1213 ώρες ηλιοφάνειας (οι οποίες ήταν οι περισσότερες με διαφορά σε όλη την Ελλάδα), ενώ αν δεν υπήρχε συννεφιά, θα είχε εμφανίσει 1302 ώρες ηλιοφάνειας. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα, η Ιεράπετρα, το Τυμπάκι της Κρήτης και η Ρόδος εμφάνισαν περισσότερες από 3000 ώρες ηλιοφάνειας η καθεμία. Συγκεκριμένα η Ιεράπετρα, σε ετήσια βάση και παρουσία ημερών άνευ ηλιοφάνειας, εμφάνισε ηλιοφάνεια για περίπου 3110 ώρες. Εάν όλες οι ημέρες του έτους είχαν ηλιοφάνεια, εκτιμήθηκε ότι η Ιεράπετρα θα είχε εμφανίσει 4447 ώρες ηλιοφάνειας. Το ποσοστό επί τοις εκατό των ημερών ηλιοφάνειας που εμφάνισε η Ιεράπετρα υπολογίστηκε στο 70% των ωρών ηλιοφάνειας αν το έτος είχε συνέχεια ηλιοφάνεια. Βάσει της ίδιας έρευνας, τον χειμώνα του ίδιου έτους, η Μήλος εμφάνισε τις λιγότερες ημέρες ηλιοφάνειας, μετά την Σκύρο, και γενικότερα οι περιοχές που εξετάστηκαν εμφάνισαν πολύ λιγότερες ημέρες ηλιοφάνειας σε σχέση με το καλοκαίρι.

2.2.2 Απαιτούμενη έκταση

Ένα φωτοβολταϊκό πάρκο συνήθως εγκαθίσταται σε αγροτικές εκτάσεις, όπως είναι τα αγροτεμάχια, τα χωράφια και τα οικόπεδα (Heliosystems, 2022). Ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ που προβλέπεται να αποδίδει το πάρκο, είναι σημαντικό να προβλέπεται και η απαιτούμενη έκταση (σε στρέμματα) στην οποία το πάρκο πρόκειται να εγκατασταθεί. Πιο συγκεκριμένα, για την εγκατάσταση ενός πάρκου ισχύος 100 kW επαρκούν 2 στρέμματα έκτασης γης, ενώ για να εγκατασταθεί πάρκο ισχύος 500 kW απαιτούνται εκτάσεις γης ίσες με τουλάχιστον 6,5 στρέμματα (Heliosystems, 2022). Είναι αντιληπτό, λοιπόν, ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού σταθμού που πρόκειται να εγκατασταθεί, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απαιτούμενη έκταση γης, για την εγκατάστασή τους.

2.2.3 Ανάγκες ποιότητας εδάφους

Πέραν από την έκταση που απαιτείται κάθε φορά για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψιν και η ποιότητα του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψιν η γεωμορφολογική του αξία και τα γεωμορφολογικά του χαρακτηριστικά. Μία συνέπεια που μπορεί να προκληθεί από την χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού χωρίς να ληφθεί υπόψιν η ποιότητα του εδάφους, είναι να μειωθούν οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλή καλλιεργική δραστηριότητα, μαζί με την επιδείνωση της γεωμορφολογικής αξίας και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών τους (Αμπατζίδης, 2022).



Εικόνα 6: Έκταση καλλιέργειών (Offsite news, 2019)

Είναι προτιμότερο, λοιπόν, η ποιότητα του εδάφους στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό πάρκο να είναι σχετικά χαμηλότερη σε σύγκριση με αυτήν των εδαφών που χρησιμοποιούνται για καλλιέργειες (Αμπατζίδης, 2022), γιατί τέτοια εδάφη έχουν και μικρότερη γεωμορφολογική αξία. Τέτοιες περιοχές είναι, για παράδειγμα, οι εκτάσεις χαμηλής φυσικής βλάστησης, εκτάσεις με αραιή έως μηδενική βλάστηση ή που επλήγησαν από πυρκαγιές (ΕΛΣΤΑΤ, 2000) και ορυχεία που έχουν εγκαταλειφθεί (Βοριαζίδης, 2018). Είναι προτιμότερο, λοιπόν, για την χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού, να χρησιμοποιούνται εδάφη χαμηλής ποιότητας.



Εικόνα 7: Εγκαταλελειμμένο ορυχείο (pixabay.com)

2.3 Σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται διάφορες σύγχρονες καινοτομίες και τεχνολογικές εξελίξεις των φωτοβολταϊκών πάρκων. Στις καινοτομίες αυτές συμπεριλαμβάνονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε διαστημικό δορυφόρο, τα επίγεια φωτοβολταϊκά πάρκα τα φωτοβολταϊκά πάνω από υδάτινο κανάλι, τα φωτοβολταϊκά δίπλα στην ακτή (παράκτια), τα πλωτά φωτοβολταϊκά πάρκα (Θεοδοσιάδης, 2020) και τα φωτοβολταϊκά πάρκα με ηλιακά trackers (Yoshitake, 2023).

2.3.1 Φωτοβολταϊκά σε διαστημικό δορυφόρο

Η πρώτη τεχνολογική εξέλιξη παρατηρείται κατά το 1958, όπου τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιήθηκαν σε διαστημικές εφαρμογές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τοποθέτησή τους στον δορυφόρο Vanguard I (Κυρατζής, 2013).



Εικόνα 8: Φωτοβολταϊκά σε διαστημικό δορυφόρο (weebly.com)

2.3.2 Επίγεια φωτοβολταϊκά πάρκα

Τα πάρκα αυτά μπορούν να παράξουν μεγάλα ποσά ενέργειας, καθώς μπορούν να καλύψουν μεγάλες εκτάσεις της ηπειρωτικής Ελλάδας και άρα, να τοποθετηθούν πολλά πάνελ μαζί (Θεοδοσιάδης, 2020). Προκειμένου να έχουν την απαιτούμενη κλίση, τα πάνελ αυτά τοποθετούνται πάνω από πλαίσια, τα οποία με την σειρά τους, τοποθετούνται σε στηρικτικά υποστηρίγματα. Τα υποστηρίγματα αυτά έχουν το έδαφος της έκτασης που καλύπτει το πάρκο ως βάση (Θεοδοσιάδης, 2020).



Εικόνα 9: Επίγειο φωτοβολταϊκό πάρκο (Κουρουφέξη, 2022)

2.3.3 Φωτοβολταϊκά πάνω από υδάτινο κανάλι

Αυτά τα φωτοβολταϊκά πάρκα τοποθετούνται, με αμφίπακτες υποστηρικτικές δοκούς, πάνω από ποτάμια. Δεν καταλαμβάνουν τόσο μεγάλη έκταση όσο τα επίγεια και ταυτόχρονα, είναι μία ιδιαίτερα προτιμητέα λύση για να αποφευχθεί η περιβαλλοντική αλλοίωση των δασών, και παράλληλα για την προώθηση της αναδάσωσης (Θεοδοσιάδης, 2020).



Εικόνα 10: Φωτοβολταϊκό πάρκο πάνω από υδάτινο κανάλι (greenagenda.gr, 2017)

2.3.4 Παράκτια φωτοβολταϊκά πάρκα

Οι παράκτιες περιοχές λαμβάνουν υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο (Θεοδοσιάδης, 2020). Ακόμα, το χλωριούχο μαγνήσιο, που βρίσκεται σε υψηλή περιεκτικότητα στο θαλασινό νερό, μπορεί να αντικαταστήσει το χλωριούχο κάδμιο, το οποίο είναι ένα πολύ ακριβό και τοξικό συστατικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (Θεοδοσιάδης, 2020).



Εικόνα 11: Παράκτιο φωτοβολταϊκό πάρκο (Θεοδοσιάδης, 2020)

2.3.5 Πλωτά φωτοβολταϊκά πάρκα

Τα πλωτά φωτοβολταϊκά πάρκα είναι μία καινοτόμα ιδέα, η οποία αρχικά υλοποιούνταν σε έργα μικρής δυναμικότητας, αλλά λόγω υψηλότερης αποδοτικότητας σε σχέση με τα επίγεια, νοούνται σήμερα ως μία προτιμώμενη λύση για το πρόβλημα της χωροθέτησης φωτοβολταϊκών πάρκων σε περιοχές που δεν έχουν αρκετά μεγάλες εδαφικές εκτάσεις, όπως είναι τα νησιά (Θεοδοσιάδης, 2020). Η απόδοση αυτών των πάρκων είναι υψηλότερη, λόγω του ότι το νερό πάνω στο οποίο έχουν εγκατασταθεί τα πάνελ, μπορεί να τα ψύξει, μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας που τα φωτοβολταϊκά εμφανίζουν από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Θεοδοσιάδης, 2020).



Εικόνα 12: Πλωτό φωτοβολταϊκό πάρκο (energypress, 2023)

2.3.6 Φωτοβολταϊκά πάρκα με ηλιακά trackers

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει κάθετα σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, τότε αυτό παράγει περισσότερη ενέργεια από ένα πάνελ πάνω στο οποίο προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία που δεν είναι κάθετη (Yoshitake, 2023). Λόγω της συνεχούς αλλαγής της γωνίας της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, κυρίως από την ανατολή στην δύση του ηλίου αλλά και από εποχή σε εποχή του έτους (Yoshitake, 2023), τα φωτοβολταϊκά πάνελ δεν δέχονται πάντα κάθετη σε αυτά ηλιακή ακτινοβολία. Τα ηλιακά trackers, λοιπόν, εξασφαλίζουν την ευθυγράμμιση των φωτοβολταϊκών πάνελ με την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε αυτά να είναι πάντα κάθετα στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω περίπλοκων οργάνων που συγκροτούν το tracker, όπως υπολογιστές που

επεξεργάζονται αλγόριθμους εντοπισμού του ήλιου και αισθητήρες εντοπισμού του ήλιου, προκειμένου να υλοποιηθούν οι ελάχιστοι αλγόριθμοι (Yoshitake, 2023).



Εικόνα 13: Φωτοβολταϊκά με ηλιακά trackers (Olympic Engineering & Consulting)

2.4 Επιδοτήσεις

Οι επιδοτήσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων που λαμβάνει ο καταναλωτής, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: Στις επιδοτήσεις σε ιδιώτες, σε επιχειρήσεις και σε αγρότες (Μούρτζανος, 2022). Μέχρι το 2021, το πρόγραμμα «Εξοικονομώ – αυτονομώ» συμπεριλάμβανε το net metering για τους ιδιώτες, δηλαδή φωτοβολταϊκά αυτοπαραγωγής, και έδινε επιδότηση έως και 85% στον ιδιώτη (Μούρτζανος, 2022). Παρ' όλα αυτά, το νεότερο πρόγραμμα «Εξοικονομώ κατ' οίκον» δεν περιλαμβάνει επιδότηση για φωτοβολταϊκά, με αποτέλεσμα οι ιδιώτες να σταματήσουν να λαμβάνουν επιδότηση από αυτά (Μούρτζανος, 2022).

Όσον αφορά τις επιχειρήσεις, έχει ξεκινήσει το πρόγραμμα «Εξοικονομώ για επιχειρήσεις», το οποίο θα φέρει επιδότηση 40% στις μεσαίες επιχειρήσεις και 50% στις μικρές και στις πολύ μικρές (digital solutions, 2023). Ακόμα, οι επιδοτήσεις σε αγροτικά φωτοβολταϊκά είναι είτε το 40, είτε το 90 % του κόστους τους. Πιο συγκεκριμένα, η επιδότηση για αγροτικά φωτοβολταϊκά χωρίς την εγκατάσταση μπαταρίας είναι 40 %, ενώ είναι 90% εάν και εφόσον συμπεριληφθεί και η εγκατάσταση μπαταρίας (Agronews, 2023).

2.5 Ποσά εγκατεστημένης ισχύος

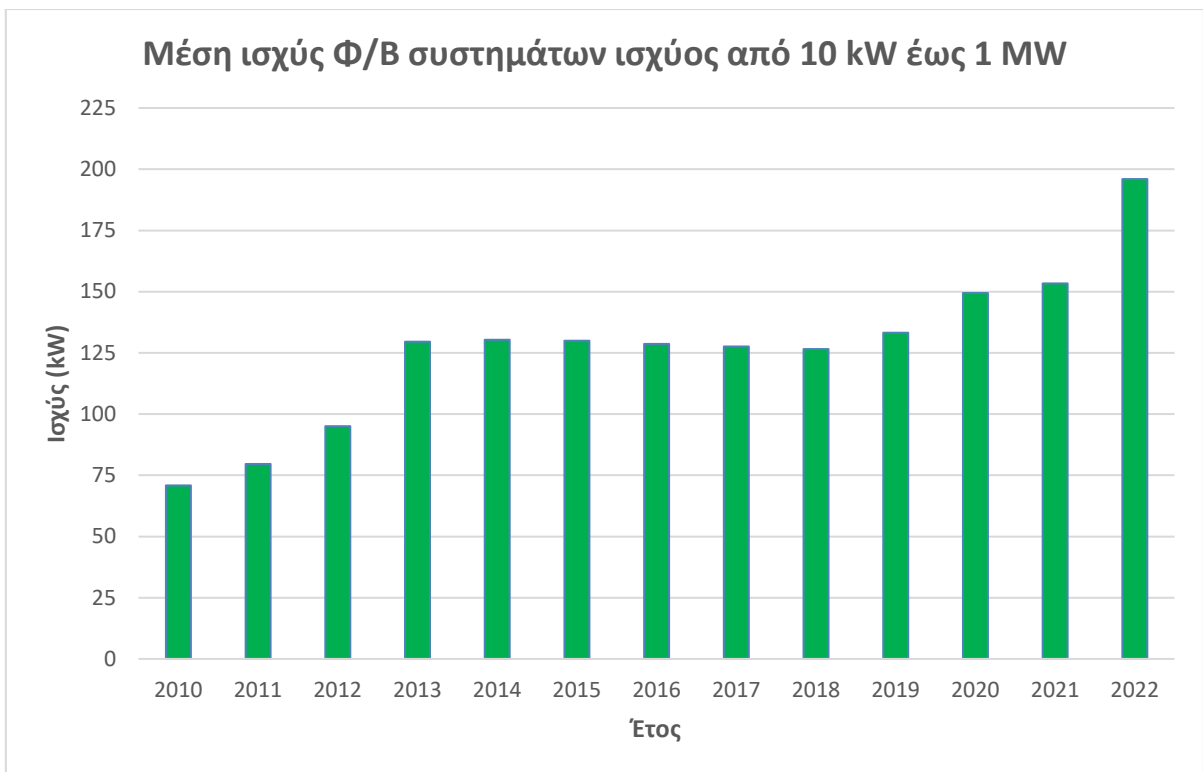
Ο Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) (2022) αναφέρει ότι από όλα τα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαταστάθηκαν την περίοδο 2010 – 2022, αυτά που έχουν εγκατασταθεί το 2010 είχαν μέση ισχύ ίση με 8,5 kW. Η μέση ισχύς των συστημάτων αυτών κορυφώθηκε στην περίοδο 2012 – 2015 στα 9.7 kW και εμφάνισαν μικρή πτωτική τάση από το 2016 μέχρι και το 2022, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 1:



Διάγραμμα 1: Μέση ισχύς Φ/Β συστημάτων ισχύος κάτω από 10 kW στην Ελλάδα (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2022)

Η μείωση της μέσης ισχύος των μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων οφείλεται στο ότι τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για αυτοπαραγωγή και δεν εγκαθίσταντο με την μεγαλύτερη επιτρεπόμενη ισχύ των 10 kW, που ίσχυε την δεκαετία 2009-2019. Αυτό σημαίνει ότι ο αυτοπαραγωγός ήταν αυτός που καθόριζε το εγκατεστημένο μέγεθος των συστημάτων αυτών (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2022), το οποίο, με το πέρασμα των χρόνων, μειωνόταν.

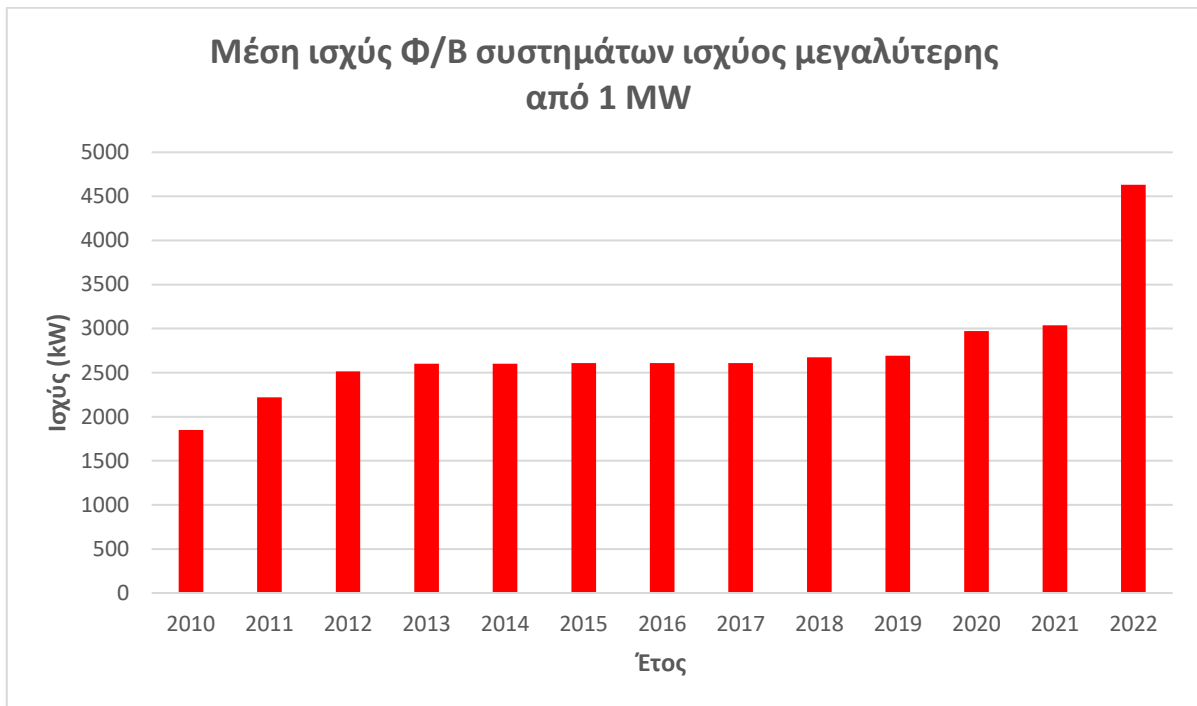
Ακόμα, σύμφωνα με τον ΣΕΦ, τα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος από 10 έως 1000 kW είχαν μέση ισχύ ίση με 70.8 kW το 2010, η οποία αυξανόταν συνεχώς, με αποτέλεσμα το 2022 η μέση ισχύς αυτών των συστημάτων να είναι ίση με 196 kW. Τα στοιχεία αυτά εμφανίζονται και στο Διάγραμμα 2:



Διάγραμμα 2: Μέση ισχύς Φ/Β συστημάτων ισχύος από 10 έως 1000 kW στην Ελλάδα (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2022)

Κατά τα πρώτα χρόνια, χρησιμοποιούνταν φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος χαμηλότερης των 100 kW, με αποτέλεσμα η μέση ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων αυτών να είναι χαμηλή. Αργότερα, όμως, άρχισαν να χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά μεγαλύτερης ισχύος, και συγκεκριμένα γύρω στα 500 kW, γεγονός που αιτιολογεί και την αύξηση της μέσης ισχύος (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2022). Ακόμα, το 2022 παρατηρείται μία απότομη αύξηση της μέσης ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτό ίσως οφείλεται στην κινητοποίηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την στροφή στις ΑΠΕ, μέσω της τροποποίησης RED III (Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, 2022). Μια από τις προτάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που προτάθηκαν κατά την εν λόγω τροποποίηση ήταν η αύξηση της δυναμικότητας των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος μεγαλύτερης από 1 MW είχαν μέση αποδιδόμενη ισχύ ίση με περίπου 1850 kW το 2010, η οποία επίσης αυξανόταν συνεχώς, με αποτέλεσμα το 2022 να αποδίδονται γύρω στα 4,6 MW ισχύος. Αυτό παρουσιάζεται και στο Διάγραμμα 3:



Διάγραμμα 3: Μέση ισχύς Φ/Β συστημάτων ισχύος μεγαλύτερης από 1 MW στην Ελλάδα (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2022)

Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων ισχύος 100 kW, αν αθροιστούν μεταξύ τους, δεν αποδίδουν μεγάλη μέση ισχύ. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο δεν παρατηρείται μεγάλη μέση ισχύς της τάξης των MW στα χρόνια από το 2010 μέχρι το 2012. Παρ' όλα αυτά, αργότερα άρχισαν να υλοποιούνται φωτοβολταϊκά έργα δυναμικότητας της κλάσης των MW, με αποτέλεσμα η μέση ισχύς των φωτοβολταϊκών αυτών να ανεβαίνει. Το 2022, παρατηρείται και εδώ απότομη αύξηση της μέσης ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, γεγονός που οφείλεται στην τροποποίηση RED III (Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων

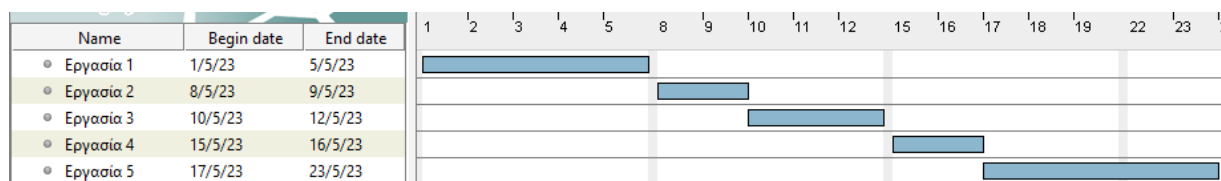
Στο παρόν κεφάλαιο, θα εξεταστούν οι τρόποι και τα ζητήματα που προκύπτουν κατά την χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, θα αναλυθούν, σε πρώτο στάδιο, οι διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την διάρκεια υλοποίησης του έργου της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σταθμών. Μετά, θα γίνει αναφορά στα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την υλοποίηση του εν λόγω έργου και θα δοθεί επιπλέον ανάλυση για τις διαδικασίες αδειοδότησης της χωροθέτησης φωτοβολταϊκών πάρκων. Ύστερα, θα γίνει αναφορά στις κοινωνικές αντιδράσεις που μπορούν να προκύψουν από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών, με μία σύντομη περιγραφή συγκεκριμένων περιστατικών. Τέλος, θα παρουσιαστούν κάποια από τα μεγαλύτερα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πάρκα, αρχικά στην Ελλάδα και, ύστερα, στην Ευρώπη.

3.1 Μέθοδοι

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού περιλαμβάνει διάφορες επιμέρους εργασίες. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τον αρχικό χρονικό και οικονομικό προγραμματισμό του έργου, την προμήθεια των πόρων που απαιτούνται για την κατασκευή του σταθμού, τον έλεγχο που αφορά στην πρόοδο του εν λόγω έργου (της εγκατάστασης του πάρκου) και την αδειοδότηση (Παυλίδου, 2020), για την οποία θα γίνει αναφορά στην ενότητα 3.3.

3.1.1 Αρχικός χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός του έργου

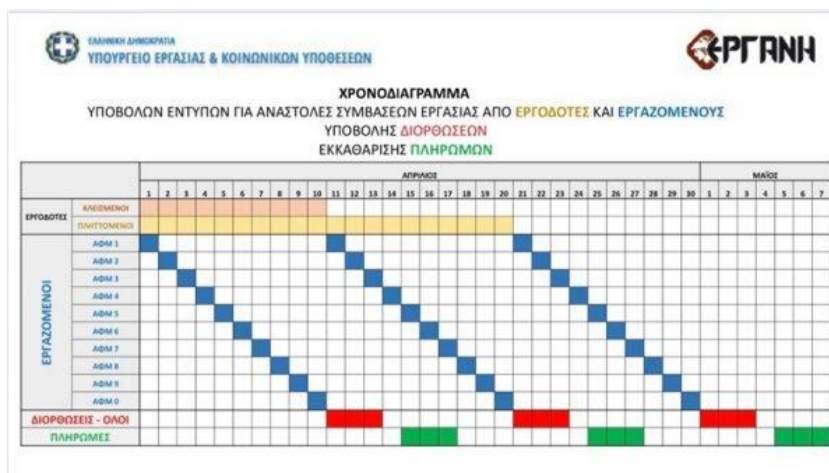
Σύμφωνα με την Παυλίδου (2020), κατά την διαδικασία αυτή εντοπίζονται όλες οι επιμέρους δραστηριότητες που θα πραγματοποιηθούν, καθώς και η σειρά με την οποία θα εκτελεστούν. Ύστερα, αναλύεται ο χρόνος που κάθε μία από αυτές τις δραστηριότητες χρειάζεται. Ο χρόνος αυτός προκύπτει από εκτίμηση των μελών που συμμετέχουν στο έργο. Μετά από την εκτίμηση του χρόνου αυτού διατυπώνεται αναλυτικά το χρονοδιάγραμμα όλου του έργου. Το χρονοδιάγραμμα αυτό, για να είναι πλήρες, θα πρέπει να περιλαμβάνει την ημερομηνία έναρξης και λήξης της κάθε δραστηριότητας του έργου, ξεχωριστά, την χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων, και τέλος, την συνολική διάρκεια του έργου. Με το πέρας του χρονικού προγραμματισμού, γίνεται έρευνα για την κατανομή των απαιτούμενων εργαλείων – υλικών (πόρων) σε κάθε δραστηριότητα. Για την έρευνα αυτή γίνεται λεπτομερέστερη αναφορά στο επόμενο εδάφιο.



Εικόνα 14: Χρονοδιάγραμμα έργου (ίδια επεξεργασία)

Με την ολοκλήρωση του χρονικού προγραμματισμού, πραγματοποιείται ο οικονομικός προγραμματισμός. Κατά αυτόν τον προγραμματισμό, προσδιορίζονται τα οικονομικά έξοδα κάθε δραστηριότητας. Στα έξοδα αυτά περιλαμβάνονται το κόστος των υλικών, η αμοιβή του εργατικού προσωπικού και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των μηχανημάτων (Παυλίδου, 2020). Ακόμα, σύμφωνα με την Παυλίδου (2020), στην ανάλυση κόστους συμπεριλαμβάνονται και άλλα έμμεσα κόστη, όπως αυτά είναι τα μεταφορικά, η οποιαδήποτε εκπαίδευση του προσωπικού, οι παροχές υπηρεσιών κλπ. Μετά από την ανάλυση κόστους του έργου, συντάσσεται ένα χρονοδιάγραμμα πληρωμών, τις οποίες εκτελεί το πρόσωπο για το οποίο θα υλοποιηθεί το έργο. Αφού ολοκληρωθεί

και ο οικονομικός προγραμματισμός του έργου, βγαίνει μία τελική έκδοση του προγράμματος εκτέλεσης του έργου και ξεκινάει η εκτέλεσή του. Κατά την διάρκεια της εκτέλεσης, επιβλέπονται και ελέγχονται το κόστος, ο χρόνος, οι πόροι που προμηθεύονται και η πρόοδος.

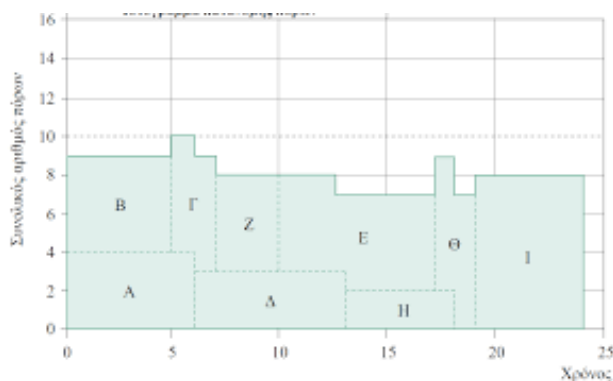


Εικόνα 15: Χρονοδιάγραμμα πληρωμών (Free Sunday, 2020)

3.1.2 Διάθεση και προμήθεια πόρων

Πέραν από τους χρονικούς και οικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν το έργο, είναι σημαντική και η διαθεσιμότητα των απαιτούμενων πόρων για την υλοποίηση του έργου. Πιο συγκεκριμένα, οι διαχειριστές του έργου έχουν την ευθύνη να καθοριστεί σωστά το είδος των πόρων, μαζί με την προέλευσή τους και το σημείο προμήθειας (Παυλίδου, 2020). Από την άλλη, για την έγκαιρη προμήθεια των πόρων, είναι απαραίτητο οι εταιρείες προμηθειών να έχουν τις λιγότερες δυνατές καθυστερήσεις. Για αυτό τον λόγο, οι εταιρείες αυτές φροντίζουν να λειτουργούν για το μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα, ενώ ταυτόχρονα σπεύδουν να έχουν μεγάλα ποσά αποθέματος (Harrison και van Hoek, 2021).

Προτού διατεθούν οι πόροι που απαιτούνται για όλες τις δραστηριότητες του έργου, καταγράφονται σε ένα χρονοδιάγραμμα, διαφορετικό από το χρονοδιάγραμμα του χρονικού και οικονομικού προγραμματισμού (Παυλίδου, 2020). Πολλές φορές, όμως, είναι απαραίτητη η χρονική μετατόπιση κάποιων ή όλων των δραστηριοτήτων του έργου. Σε αυτή την περίπτωση, είναι αναγκαίο είτε να επαναπροσδιοριστεί ο αρχικός χρονικός προγραμματισμός, ώστε να μην καθυστερήσει το έργο λόγω έλλειψης πόρων από την προμηθευτική εταιρεία (Παυλίδου, 2020), είτε οι συνεργαζόμενοι φορείς να ζητήσουν προμήθειες από άλλη εφοδιαστική αλυσίδα.



Εικόνα 16: Χρονοδιάγραμμα προμήθειας πόρων (Χασιακός και Τσινόπουλος)

3.1.3 Έλεγχος της προόδου

Σε συνδυασμό με την έλλειψη των απαιτούμενων πόρων, την καθυστέρηση έργων μπορούν να προκαλέσουν και διάφοροι άλλοι παράγοντες. Στους παράγοντες αυτούς περιλαμβάνονται η ποσότητα των λεπτομερειών που θα πρέπει να προσέξουν οι συνεργαζόμενοι στο έργο και το μέγεθος του ίδιου του έργου (Λυμπούσης, 2003). Ακόμα, καθυστέρηση σε έργο μπορούν να προκαλέσουν και προβλήματα περί συντονισμού των συνεργαζόμενων οργανισμών ή ομάδων, οι τεχνικές δυσκολίες ή/και η απροσδόκητη προσθήκη επιπλέον δραστηριοτήτων, ή η επανάληψη ήδη υπαρχουσών (κυρίως λόγω κάποιου λάθους στην εκτέλεση που δεν διαπιστώθηκε έγκαιρα) (Παυλίδου, 2020). Επιπλέον, μπορούν να προκληθούν καθυστερήσεις σε έργο και λόγω λανθασμένων αρχικών εκτιμήσεων όσον αφορά τον χρόνο και τον προϋπολογισμό (Παυλίδου, 2020). Με άλλα λόγια, υπάρχει η πιθανότητα να υποτιμηθεί ή υπερεκτιμηθεί ο συνολικός χρόνος και ο προϋπολογισμός του έργου. Για αυτούς του λόγους, είναι σημαντικός ο έλεγχος της προόδου του έργου.

Για να είναι εφικτός αυτός ο έλεγχος, θα χρειαστεί να καταγράφεται, κατά το δυνατόν διαρκώς, ο τρόπος με τον οποίο διεξάγεται μία δραστηριότητα, σε συνδυασμό με το κατά πόσο έχει ολοκληρωθεί (Παυλίδου, 2020). Μαζί με αυτό, καλό είναι να καταγράφεται και η ποσότητα σε πόρους που χρησιμοποιείται και που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενη δραστηριότητα του έργου, καθώς και πόσοι και ποιοι εργαζόμενοι συνέβαλαν σε κάθε δραστηριότητα (Παυλίδου, 2020).

3.1.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση ήδη εφαρμοσμένων μεθόδων χωροθέτησης Φ/Β πάρκου

Το πρόβλημα της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον μεγάλου μέρους της επιστημονικής κοινότητας, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στις υπόλοιπες χώρες. Πιο συγκεκριμένα, ο Βοριαζίδης (2018) στην διπλωματική του εργασία, χρησιμοποίησε γεωπληροφοριακά συστήματα για να βρει σημεία ικανά για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού. Το ίδιο πράγμα έκαναν και οι Zambrano-Asanza et al. (2021), αλλά για να βρουν σημείο χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου στο Εκουαδόρ. Με τη σειρά του, ο Κωτούλας (2020) χρησιμοποίησε την μέθοδο Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) για να αξιολογήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί η διαδικασία χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου να επιφέρει. Ακόμα, η Παυλίδου (2020) έκανε το ίδιο, χρησιμοποιώντας όμως την μέθοδο ανάλυσης κύκλου ζωής. Τέλος, οι Ozdemir και Sahin (2018) αξιολόγησαν τρία ήδη εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Τουρκία, χρησιμοποιώντας μόνο την μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP). Οι τελευταίοι απέδειξαν ότι η μέθοδος της Αναλυτικής Ιεράρχησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εύρεση βέλτιστου σημείου για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου.

Στις εργασίες αυτές, διαπιστώνεται ότι δεν πραγματοποιείται επαρκής αναφορά για την μέθοδο του σταθμισμένου αθροίσματος. Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία θα βρεθεί βέλτιστη λύση για το πρόβλημα της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου, χρησιμοποιώντας ως μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης την μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης και το μοντέλο του σταθμισμένου αθροίσματος.

3.2 Κριτήρια και δυσκολίες

Σύμφωνα με την Παυλίδου (2020), η εκτέλεση του έργου πραγματοποιείται με έξι κριτήρια. Στα κριτήρια αυτά περιλαμβάνονται τα νομοθετικά κριτήρια, τα οποία αφορούν τις σχετικές νομοθεσίες περί υλοποίησης των έργων, τα κοινωνικά κριτήρια, δηλαδή τον κοινωνικό αντίκτυπο που μπορεί η πραγματοποίηση του έργου να έχει, και το διαθέσιμο εργατικό δυναμικό. Ιδίως το τελευταίο έχει

άμεση συσχέτιση με τον χρόνο υλοποίησης του έργου, ο οποίος είναι ένα ακόμα κριτήριο. Όσο μεγαλύτερο είναι το ανθρώπινο δυναμικό, τόσο λιγότερος θα είναι και ο χρόνος που θα απαιτηθεί για την ολοκλήρωσή του. Ακόμα, κατά την υλοποίηση του έργου, λαμβάνεται υπόψιν και η παράμετρος του κόστους. Ιδίως για τα έργα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, το κόστος αρχικής επένδυσης είναι μεγάλο (Γάλλου, 2011).

Το κόστος έχει άμεση σχέση με την ποιότητα του έργου (Παυλίδου, 2020), η οποία είναι ακόμα ένα κριτήριο που λαμβάνεται υπόψιν. Η έννοια της ποιότητας αναφέρεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των πόρων (υλικά, υπηρεσίες κλπ) που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του έργου. Όσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ποιότητα των πόρων, τόσο περισσότερο αυξάνεται και το κόστος του έργου (Παυλίδου, 2020).

3.3 Αδειοδότηση

Ο Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) (2006) αναφέρει ότι η αδειοδότηση φωτοβολταϊκών πάρκων πραγματοποιείται σε χρόνο ευθέως ανάλογο με την εγκατεστημένη ισχύ του πάρκου. Εκτός αυτού, οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την αδειοδότηση φωτοβολταϊκών πάρκων είναι πιο πολύπλοκες όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς τους. Ο ΣΕΦ διαχωρίζει τα φωτοβολταϊκά πάρκα, με βάση την εγκατεστημένη ισχύ τους, σε 4 κατηγορίες: τα φωτοβολταϊκά ισχύος μικρότερης των 20 kW, τα φωτοβολταϊκά από 20 έως 150 kW, τα φωτοβολταϊκά από 150 kW ως 2 MW και τα φωτοβολταϊκά ισχύος μεγαλύτερης των 2 MW. Οι χρόνοι αδειοδότησης που προβλέπονται από την νομοθεσία μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους 9 μήνες.

3.3.1 Φωτοβολταϊκά ισχύος μικρότερης των 20 kW

Πριν την εκτέλεση των φωτοβολταϊκών έργων τέτοιας ισχύος, η αδειοδότηση πραγματοποιείται σε διάστημα έως και 3 μηνών (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2006)

Ο ΣΕΦ αναφέρει ότι για τα πάρκα αυτά δεν απαιτούνται άδειες για την παραγωγή, την εγκατάσταση και την λειτουργία τους. Στην ηπειρωτική Ελλάδα και στα διασυνδεδεμένα νησιά δεν απαιτείται ούτε εξαίρεση από την άδεια παραγωγής. Ωστόσο, αν δεν εκδοθεί διαπιστωτική απόφαση της ΡΑΕ για τους σταθμούς αυτούς, οι υπεύθυνοι λειτουργίας των εν λόγω σταθμών οφείλουν να ενημερώσουν τον αρμόδιο διαχειριστή (ΔΕΣΜΗΕ/ΔΕΗ) πριν εγκατασταθούν οι σταθμοί.

Αν οι σταθμοί βρίσκονται σε περιοχές Natura 2000, εθνικούς δρυμούς, παραδοσιακούς χώρους ή χώρους αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, είναι απαιτητή η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), βάσει της εγκυκλίου ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8-2006. Σε άλλη περίπτωση, η ΕΠΟ δεν είναι απαραίτητη.

Η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων αποτελείται από δύο στάδια: Την Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και την Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Για την ΠΠΕΑ, ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος – Χωροταξίας (ΔΙΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας. Μέσα σε 10 ημέρες, η ΔΙΠΕΧΩ κρίνει αν το έργο θα ακολουθήσει τις διαδικασίες της κατηγορίας Α2 ή της Β4 (λιγότερο επίπονες). Συνήθως, τα φωτοβολταϊκά πάρκα ισχύος κάτω των 500 kW χαρακτηρίζονται ως μη οχλούσες δραστηριότητες, βάσει της ΚΥΑ της 4-11-2004, (Δ6/Φ1/Οικ.19500), οπότε ακολουθούνται οι εργασίες της υποκατηγορίας Β4.

Κατά την περίπτωση που ένα φωτοβολταϊκό πάρκο εντάσσεται στην υποκατηγορία Β4, θα πρέπει εντός 5 ημερών από την απόφαση της ΔΙΠΕΧΩ ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας να εκδώσει

σχετική απόφαση, η οποία διαβιβάζεται στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο, για την ενημέρωση των πολιτών. Η διαδικασία έγκρισης περιβαλλοντικών όρων είναι η εξής:

- Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας, η οποία τη διαβιβάζει στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας.
- Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος, ζητούνται συμπληρωματικά στοιχεία εντός 10 ημερών.
- Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς εντός 5 ημερών.
- Οι φορείς αυτοί, θα πρέπει να γνωμοδοτήσουν μέσα σε 15 ημέρες.
- Η απόφαση έγκρισης ή μη των περιβαλλοντικών όρων εκδίδεται από τον Νομάρχη εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Σε περίπτωση που το έργο ενταχθεί, για οποιονδήποτε λόγο, στην κατηγορία Α2, ακολουθούνται οι διαδικασίες που αναφέρονται στο εδάφιο 3.3.2.



Εικόνα 17: Φ/Β πάρκο 20 kW (ΝΑΪΣ)

3.3.2 Φωτοβολταϊκά ισχύος από 20 έως 150 kW

Πριν από την εκτέλεση φωτοβολταϊκών έργων ισχύος από 20 έως 150 kW, απαιτούνται 2,5 με 7 μήνες για την αδειοδότησή του (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2006)

Σύμφωνα με τον ΣΕΦ, για τα συστήματα αυτά απαιτούνται εξαίρεση από άδεια παραγωγής και Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Για την ΕΠΟ έγινε αναφορά στο εδάφιο 3.3.1. Εξαιρούνται από την άδεια παραγωγής, σύμφωνα με τον Ν. 3468/06, τα πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από σταθμούς που εγκαθίστανται σε ακίνητο ή όμορα ακίνητα, βρίσκονται νόμιμα στην κατοχή τους και πρόκειται για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος μέχρι και 150 kW.

Για το αν πρόκειται για περίπτωση εξαίρεσης από την λήψη άδειας παραγωγής αποφασίζει η ΡΑΕ. Μετά την υποβολή σχετικής αίτησης, η ΡΑΕ εκδίδει την απόφασή της εντός 10 εργάσιμων ημερών.

Ο Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών αναφέρει ότι η ΔΙΠΕΧΩ αποφασίζει εντός 10 ημερών από την υποβολή αίτησης διενέργειας ΠΠΕΑ από τους ενδιαφερόμενους, αν το έργο θα ενταχθεί στην κατηγορία Α2 ή στην Β4. Αν το έργο ενταχθεί στην κατηγορία Β4, πραγματοποιούνται οι διαδικασίες που αναφέρονται στο εδάφιο 3.3.1. Αντίθετα, αν ενταχθεί στην κατηγορία Α2, ακολουθούνται οι παρακάτω διαδικασίες για την έγκριση της ΠΠΕΑ:

- Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, η τελευταία ζητά συμπληρωματικά στοιχεία εντός 10 ημερών.
- Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει σε διάφορους φορείς, για την γνωμοδότησή τους.

- Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 20 ημερών.
- Η θετική ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Διευθυντή της ΔΠΠΕΧΩ της οικείας περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Μετά τις διαδικασίες έγκρισης της ΠΠΕΑ, οι διαδικασίες που ακολουθούνται για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων είναι:

- Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας, η οποία διαβιβάζεται στη ΔΠΠΕΧΩ.
- Αν ο φάκελος (ο οποίος απαιτεί και πλήρη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων) δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΠΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών, ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
- Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, τότε εντός 10 ημερών, η ΔΠΠΕΧΩ τον διαβιβάζει σε διάφορους φορείς, για γνωμοδότηση.
- Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν μέσα σε 40 ημέρες.
- Η θετική ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας εντός διαστήματος 10 ημερών από την εισήγηση.



Εικόνα 18: Φ/Β πάρκο 150 kW (Electrosun Hellas)

3.3.3 Φωτοβολταϊκά ισχύος από 150 kW έως 2 MW

Για φωτοβολταϊκά πάρκα που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή από τον ΣΕΦ, απαιτείται χρονικό διάστημα 5,5 έως 9 μηνών (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2006).

Από τον ΣΕΦ αναφέρεται ότι απαιτούνται άδειες τόσο πριν, όσο και μετά από την εγκατάσταση του πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, πριν από την εγκατάσταση απαιτούνται άδεια παραγωγής, ΕΠΟ και άδεια εγκατάστασης, ενώ μετά από την εγκατάσταση απαιτείται άδεια λειτουργίας.

Για την έκδοση άδειας παραγωγής, υποβάλλεται η σχετική αίτηση στην ΡΑΕ, αίτηση ΠΠΕΑ και σχετική Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ). Η εν λόγω προμελέτη αποστέλλεται από την ΡΑΕ στην αρμόδια αρχή για την περιβαλλοντική αδειοδότηση, προκειμένου η τελευταία να γνωμοδοτήσει εντός 60 ημερών από την πλήρη συμπλήρωση του φακέλου της ΠΠΕ. Ύστερα, η ΡΑΕ διαμορφώνει την δική της γνώμη και την υποβάλλει στον Υπουργό Ανάπτυξης μέσα σε τέσσερις ημέρες από την δημοσίευση της γνωμοδότησης της αρμόδιας αρχής. Τέλος, ο Υπουργός Ανάπτυξης προχωρά στην έκδοση της σχετικής απόφασης μέσα σε 15 ημέρες από την γνωστοποίηση της γνώμης της ΡΑΕ σε αυτόν.

Η άδεια εγκατάστασης ενός σταθμού παραγωγής ΑΠΕ, σύμφωνα με τον Ν. 3468/06 είναι απαιτητή. Για την έκδοση αυτής της άδειας αποφασίζει ο Γενικός Γραμματέας της οικείας Περιφέρειας (ΓΓΠ). Αυτό ισχύει για όλα τα έργα που εντάσσονται στις υποκατηγορίες Α2, Β3 και Β4, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 3 του ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α'). Παρ' όλα αυτά, η άδεια εγκατάστασης πρέπει να εκδοθεί αυστηρά εντός 15 ημερών από την υποβολή της σχετικής αίτησης

του ενδιαφερόμενου. Αν δεν τηρηθεί η προθεσμία αυτή, τότε αναλαμβάνει την αρμοδιότητα ο Υπουργός Ανάπτυξης. Σε αυτή την περίπτωση, ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει σχετική αίτηση σε αυτόν, μαζί με την απόφαση ΕΠΟ. Έτσι, ο Υπουργός Ανάπτυξης έχει υποχρέωση να εκδώσει την άδεια μέσα σε 30 ημέρες από την παραλαβή των εν λόγω εγγράφων, από τον ενδιαφερόμενο.

Κατά την άδεια ΕΠΟ, όπως και στις προηγούμενες κατηγορίες, έτσι και σε αυτή, η ΔΙΠΕΧΩ της οικείας περιφέρειας έχει 10 ημέρες προθεσμία να αποφασίσει αν το φωτοβολταϊκό έργο ανήκει στην κατηγορία Α2, όπου ακολουθούνται οι διαδικασίες που αναφέρθηκαν στο εδάφιο 3.3.2, ή στην κατηγορία Β4, όπου ακολουθούνται οι διαδικασίες που αναφέρθηκαν στο εδάφιο 3.3.1.

Μετά από την έκδοση όλων αυτών των αδειών και την εγκατάσταση του πάρκου, είναι απαραίτητο να εκδοθεί άδεια λειτουργίας (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2006). Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του αρμόδιου οργάνου για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού από τα αρμόδια όργανα, καθώς και έλεγχο της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού από το Κ.Α.Π.Ε. Εφόσον οι έλεγχοι αυτοί αποβούν θετικοί, η άδεια λειτουργίας εκδίδεται αυστηρά εντός προθεσμίας 15 ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων.



Εικόνα 19: Φ/Β πάρκο 2 MW (chalpin.gr)

3.3.4 Φωτοβολταϊκά ισχύος μεγαλύτερης των 2 MW

Προτού εκτελεστεί ένα φωτοβολταϊκό έργο αυτής της κατηγορίας, η αδειοδότησή του είναι μια διαδικασία που χρειάζεται 6 έως 9 μήνες για να υλοποιηθεί (Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, 2006).

Για αυτά τα συστήματα, ο ΣΕΦ (2006) αναφέρει ότι χρειάζονται άδεια παραγωγής και εγκατάστασης και ΕΠΟ πριν από την εγκατάστασή τους, καθώς και μια άδεια λειτουργίας μετά από την εγκατάστασή τους. Οι διαδικασίες για την έκδοση των αδειών αυτών έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα εδάφια, με την μόνη διαφορά ότι τα φωτοβολταϊκά έργα αυτά εντάσσονται από την ΔΙΠΕΧΩ στην κατηγορία Α2. Για την κατηγορία αυτή, ακολουθούνται οι διαδικασίες που αναφέρθηκαν στο εδάφιο 3.3.2.



Εικόνα 20: Φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος μεγαλύτερης των 2 MW (Βουτσαδάκης, 2018)

3.4 Τρέχουσα κατάσταση

Εξ αιτίας του χωροταξικού σχεδιασμού στην Ελλάδα, δεν είναι εφικτό ούτε να πραγματοποιηθούν με ασφάλεια οι διαδικασίες χωροθέτησης εγκαταστάσεων, ούτε είναι εφικτή η υλοποίηση της χωροθέτησης εγκαταστάσεων με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (WWF, 2022). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τοπολογικό ανάγλυφο όλης της Ελλάδας



Εικόνα 21: Τοπολογικό ανάγλυφο Ελλάδας (ArcGIS)

Στην παραπάνω εικόνα, παρατηρούνται πολλές περιοχές οι οποίες εμφανίζονται με σκούρο χρώμα. Αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές αυτές είναι ορεινές και εξ αιτίας αυτού, περιορίζονται τα διαθέσιμα σημεία για εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού. Ως αποτέλεσμα, καθίσταται δύσκολη και η επιλογή σημείων πάνω στα οποία θα εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό πάρκο.

Παρά την δυσκολία που η Ελλάδα αντιμετωπίζει στην επιλογή σημείων χωροθέτησης φωτοβολταϊκών σταθμών, ο WWF (2022) αναφέρει ότι οι οδηγίες της ΕΕ που ακολουθούνται για την διαδικασία εγκατάστασης σταθμών ΑΠΕ είναι ασαφείς. Η ΕΕ, ακόμα, έχει θέσει στόχους για κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ σε ποσοστό 45% έως το 2030 (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2022). Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι το πρώτο Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο (ΕΧΠ) της χώρας είχε εγκριθεί το 2008 (energypress, 2023), χωρίς να έχει εγκριθεί νέο ΕΧΠ σήμερα.

Από τα παραπάνω, προκύπτει το πρόβλημα ότι η Ελλάδα πρέπει να στραφεί στις ΑΠΕ, ώστε να επιτύχει τον παραπάνω στόχο που έχει θέσει η ΕΕ για τις ΑΠΕ, ενώ ταυτόχρονα είναι δύσκολο να βρεθούν σημεία για χωροθέτηση φωτοβολταϊκών σταθμών, και μάλιστα χωρίς κάποια πρόσφατη έγκριση ΕΧΠ.

3.5 Κοινωνικές αντιδράσεις

Όλες οι ΑΠΕ διαδίδονται όλο και περισσότερο ανά τον κόσμο. Παρ' όλα αυτά, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που κάθε χώρα έχει θέσει, η αποδοχή των εγκαταστάσεων ΑΠΕ από την κοινωνία, φαίνεται να είναι μικρή (Μαραϊδώνης, 2008). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάποιες τοπικές κοινωνίες, παρ' όλο που υπομένουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει επιφέρει η χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας (Αλβανού, 2016), έχουν συνηθίσει να αντλούν την ενέργειά τους από αυτές (Μαραϊδώνης, 2008). Χαρακτηριστικό παράδειγμα της αντίφασης αυτής είναι η αρνητική στάση των πολιτών της περιοχής της Μεγαλόπολης και της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας στην απολιγνιτοποίηση, σύμφωνα με σχετικό ερωτηματολόγιο που πραγματοποιήθηκε το 2021, όπως αυτό παρουσιάζεται σε άρθρο του 12^{ου} Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας.

Εντός της Ελλάδας, έχουν παρατηρηθεί διάφορες κοινωνικές αντιδράσεις κατά της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάρκων. Μία από αυτές είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου στις Σέρρες, έκτασης 4.100 στρεμμάτων (Λυκεσάς, 2022). Το έργο αυτό είχε εγκριθεί από την ΡΑΕ και τον Δεκέμβριο του 2021 ήταν να διαβιβαστεί από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας στο Δήμο Σερρών. Παρ' όλα αυτά, ο Φορέας Διαχείρισης της Λίμνης Κερκίνης είχε αρνητική στάση απέναντι στο έργο αυτό, με αποτέλεσμα στο τέλος του 2021 να αποφασιστεί να μην υλοποιηθεί το έργο. Την ίδια στάση είχε και ο Σύλλογος Προστασίας Περιβάλλοντος Σερρών, καθώς αυτός ανέφερε και την αρνητική στάση του δημάρχου του Δήμου Εμμανουήλ Παππά. Ο εν λόγω Σύλλογος ανέφερε επίσης ότι η δημιουργία οδοστρωμάτων, η επέκταση του δικτύου ηλεκτροδότησης και το άνοιγμα τρυπών για να εγκατασταθούν τα πάνελ θα διαταράζουν περιβαλλοντικά την περιοχή.

Ένα άλλο παράδειγμα κοινωνικών αντιδράσεων είναι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού στην περιοχή των Σιδερών Κοζάνης (Odu και Charles-Owaba, 2013), έκτασης 440 στρεμμάτων. Η περιοχή στην οποία επρόκειτο να εγκατασταθεί το πάρκο, όπως ανέφερε και ο πρόεδρος του Γεωργοκτηνοτροφικού Συλλόγου Κοζάνης, αποτελείται από βοσκοτόπους, παρ' όλο που η δασική υπηρεσία, παρά την κοπή πολλών δένδρων, είχε θετική γνώμη. Η αντίδραση αυτή οδήγησε σε μήνυση στην Εισαγγελία Κοζάνης, προκειμένου να ανακληθεί η σχετική απόφαση για την υλοποίηση της εγκατάστασης του πάρκου.

Είναι εύκολα αντιληπτό, λοιπόν, ότι οι κοινωνικές αντιδράσεις που θα προκύψουν από την χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού, δεν είναι αμελητέες και ότι θα πρέπει να επιλεγεί ένας χώρος τέτοιος, ώστε οι κοινωνικές αντιδράσεις να είναι οι λιγότερες δυνατές.

3.6 Τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα

Μέχρι σήμερα, το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο εντός της Ελλάδας έχει εγκατασταθεί στην Κοζάνη (Θερίου, 2022). Το εν λόγω πάρκο έχει ισχύ 204 MW και χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών όλης της Δυτικής Μακεδονίας, καθώς εκτιμάται ότι παράγονται τουλάχιστον 300.000 MWh ετησίως, μία ποσότητα που είναι υπεραρκετή για την κάλυψη των αναγκών των εν λόγω κατοίκων. Τα πάνελ που χρησιμοποιούνται είναι διπλής όψεως, που σημαίνει ότι παράγουν ενέργεια από οποιαδήποτε μεριά προσπέσει η ηλιακή ακτινοβολία. Η έκταση γης που καλύπτει είναι περίπου ίση με 4000 στρέμματα, αποτελούμενα από δημόσιες εκτάσεις (Θερίου, 2022).



Εικόνα 22: Φ/Β πάρκο Κοζάνης (Euractiv, 2020)

Μετά από το πάρκο στην Κοζάνη, ακολουθεί το πάρκο στον δήμο Προσοτσάνης του Νομού Δράμας (agro24, 2021). Έχει εγκατεστημένη ισχύ 100 MW και χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών περίπου 30.000-40.000 νοικοκυριών. Καταλαμβάνει ένα μέρος των 7500 στρεμμάτων που χρησιμοποιούνται συνολικά για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων σε δήμους, ανάμεσα στους οποίους συμπεριλαμβάνεται και ο δήμος Προσοτσάνης του Νομού Δράμας.



Εικόνα 23: Φ/Β πάρκο στην Προσοτσάνη Δράμας (ergasia-press.gr)

Στη συνέχεια ακολουθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο στην Σκάλα Λακωνίας (Report24, 2011). Το πάρκο αυτό είχε ήδη αδειοδοτηθεί από την ΡΑΕ, το 2011, και έχει εγκατεστημένη ισχύ 70 MW. Καταλαμβάνει έκταση 1500 στρεμμάτων και χρηματοδοτείται εξ ολοκλήρου από την Enterprise Europe Network, η οποία συνεργάζεται με την Γαλλική EDF Energies Nouvelles



Εικόνα 24: Φ/Β πάρκο Σκάλας Λακωνίας (Report24, 2011)

Ύστερα, ανάμεσα στα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα βρίσκεται και αυτό της Μεγαλόπολης (Business Daily, 2021). Το πάρκο αυτό έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ αποτελείται από δύο μικρότερα φωτοβολταϊκά πάρκα, εκ των οποίων το ένα έχει ισχύ 39 MW, ενώ το άλλο έχει ισχύ 11 MW. Τα πάρκα αυτά χρησιμοποιούν πάνελ διπλής όψης (Χρυσανθοπούλου, 2021) και καλύπτουν συνολική έκταση ίση με 2000 στρέμματα (Ελευθερία Online, 2023).



Εικόνα 25: Φ/Β πάρκο Μεγαλόπολης (Ελευθερία Online, 2014)

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί το εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό πάρκο στο αεροδρόμιο «Ελ. Βενιζέλος» (Ημερήσια, 2023). Έχει εγκατεστημένη ισχύ ίση με 16 MW και εκτιμάται ότι παράγονται 27.500 MWh ενέργειας ανά έτος, οι οποίες σκοπό έχουν την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών. Το εν λόγω πάρκο, μέχρι στιγμής, καλύπτει περίπου το 45% των αναγκών του Αερολιμένα, και με την εγκατάσταση περισσότερων φωτοβολταϊκών συνολικής ισχύος εκτιμώμενης στα 45 MW, το 2025, οι ανάγκες του Αεροδρομίου «Ελ. Βενιζέλος» θα καλύπτονται στο 100% μέχρι το 2046 (Ημερήσια, 2023).



Εικόνα 26: Φ/Β πάρκο αεροδρομίου "Ελ. Βενιζέλος" (Newsroom, 2023)

3.7 Τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ευρώπη

Σήμερα, το μεγαλύτερο εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Ευρώπη είναι το Francisco Pizarro στην περιοχή Εξτρεμαδούρα της Ισπανίας (energypress, 2022). Έχει εγκατεστημένη ισχύ ίση με 590 MW και αποτελείται από ενάμισι εκατομμύρια πάνελ και χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τουλάχιστον 334.000 νοικοκυριών.



Εικόνα 27: Φ/Β πάρκο Ισπανίας (Newsroom, 2022)

Πριν τεθεί σε λειτουργία το πάρκο της Εξτρεμαδούρα, ήδη λειτουργούσε το φωτοβολταϊκό πάρκο Nunez de Balboa, το οποίο επίσης είναι εγκατεστημένο στην Ισπανία και έχει ισχύ 500 MW. Η έκταση

που καλύπτουν τα εν λόγω φωτοβολταϊκά πάρκα της Ισπανίας είναι μέρος των 31.000 στρεμμάτων που χρησιμοποιεί η Ισπανία για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων.



Εικόνα 28: Φ/Β πάρκο Nunez de Balboa (Power Technology, 2020)

Στη συνέχεια, ακολουθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο της Γαλλίας (energypress, 2015). Η εγκατεστημένη ισχύς του είναι ίση με 300 MW και εκτιμάται ότι καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες 250.000 κατοίκων. Το πάρκο αυτό αποτελείται από 25 μικρότερα φωτοβολταϊκά πάρκα ισχύος 12 MW έκαστο. Η συνολική έκταση που καλύπτεται είναι ίση με 2.500 στρέμματα.



Εικόνα 29: Φ/Β πάρκο Γαλλίας (left.gr, 2015)

Μετά το πάρκο της Γαλλίας ακολουθεί το εγκατεστημένο πάρκο στην Κοζάνη, ισχύος 204 MW, για το οποίο έγινε αναφορά στην προηγούμενη ενότητα.

Τέλος, έχει γίνει αναφορά για την κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή Viterbo της Ιταλίας (World Energy News, 2023). Το εν λόγω πάρκο θα είναι το μεγαλύτερο της χώρας, με εγκατεστημένη ισχύ ίση με 170 MW. Όταν τεθεί σε λειτουργία, αναμένεται να παράγει 280 GWh ενέργειας, προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες περίπου 111.000 νοικοκυριών.



Εικόνα 30: Φ/Β πάρκο Ιταλίας (World Energy News, 2023)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης

Στην μηχανική συναντάται πολλές φορές ο κλάδος της βελτιστοποίησης. Είναι ένας κλάδος, στον οποίο λαμβάνονται υπόψιν πολλά κριτήρια ταυτόχρονα, τα οποία αντικρούονται μεταξύ τους (Odu και Charles-Owaba, 2013), σημαίνοντας ότι κατά την βελτιστοποίηση, χρησιμοποιείται η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η μέθοδος αυτή είναι μία διαδικασία που διευκολύνει την λήψη αποφάσεων, η οποία βασίζεται σε πλήθος κριτηρίων, αντικρουόμενων μεταξύ τους (Odu και Charles-Owaba, 2013), η οποία, επίσης, είναι κλάδος της επιχειρησιακής έρευνας (Ramanathan, 2004). Η βέλτιστη λύση που μπορεί να προκύψει με την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, εξαρτάται πάντα από τις προτιμήσεις αυτού που αξιοποιεί την εν λόγω μέθοδο, με αποτέλεσμα η βέλτιστη λύση να είναι διαφορετική από άνθρωπο σε άνθρωπο (Odu και Charles-Owaba, 2013). Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορεί να εφαρμοστεί στα περισσότερα προβλήματα της μηχανολογίας (Statnikov et al., 2005), συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών προβλημάτων, όπως είναι αυτό της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης, η καθεμία εκ των οποίων επεξεργάζεται τα κριτήρια και τις πληροφορίες με διαφορετικό τρόπο, αλλά η μεθοδολογία που ακολουθείται για την κατασκευή των πινάκων αποφάσεων και την ιεράρχηση των κριτηρίων είναι παρεμφερής (Odu και Charles-Owaba, 2013). Στο παρόν κεφάλαιο, λοιπόν, πέραν από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης σε ενεργειακά ζητήματα, θα αναλυθούν και οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που εφαρμόζονται και στη συνέχεια, θα περιγραφεί η διαδικασία με την οποία τα κριτήρια ιεραρχούνται μεταξύ τους.

4.1 Η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης στον τομέα της ενέργειας

Σε θέματα ενέργειας, η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι σημαντική. Αυτό ισχύει, διότι, κατά κύριο λόγο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορούν να προκληθούν από ενεργειακά έργα (πχ χωροθέτηση σταθμών παραγωγής ενέργειας) τα οποία έχει αποφασιστεί να υλοποιηθούν, γίνονται όλο και σημαντικότερες (Ramanathan, 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, να δίνεται όλο και περισσότερη έμφαση σε περιβαλλοντικά κριτήρια, όπως είναι οι εκπομπές ρύπων ή η πρόκληση όξινης βροχής (Ramanathan, 2004). Εκτός από περιβαλλοντικά κριτήρια, λαμβάνονται υπόψιν και άλλα κριτήρια, όπως είναι τα τεχνικά και τα οικονομικά κριτήρια, γεγονός που κάνει την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης ακόμη πιο αναγκαία για την λήψη αποφάσεων ενεργειακού χαρακτήρα.

Για τον τομέα της ενέργειας, η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορεί να εφαρμοστεί και από ομάδες ανθρώπων που λαμβάνουν αποφάσεις (Ramanathan, 2004). Τέτοιες ομάδες μπορούν να είναι κυβερνητικές και μη κυβερνητικές οργανώσεις, εταιρείες, επενδυτές, περιβαλλοντικές οργανώσεις και άλλοι (Ramanathan, 2004). Κάθε ομάδα από αυτές εκδηλώνει και το δικό της ενδιαφέρον για την λήψη αποφάσεων, γεγονός που συγκροτεί μία πλήρη εικόνα τόσο για την αξιολόγηση της βαρύτητας των κριτηρίων μεταξύ τους, όσο και για την τελική απόφαση που θα ληφθεί με την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Ramanathan, 2004). Πιο συγκεκριμένα, οι κυβερνητικές οργανώσεις θα θεωρήσουν τις νομοθεσίες ως τα σημαντικότερα κριτήρια, ενώ οι επενδυτές θα απαιτήσουν να δοθεί προσοχή στις οικονομικές δαπάνες, ενώ ταυτόχρονα οι περιβαλλοντικές οργανώσεις θεωρούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως τις σημαντικότερες. Τα κριτήρια αυτά, όμως, ιδίως σε ενεργειακά θέματα, αντικρούουν μεταξύ τους, κάνοντας δύσκολη, και αρκετές φορές αδύνατη, την ομόφωνη τελική απόφαση (Ramanathan, 2004).

4.2 Διαδικασία ιεράρχησης των κριτηρίων

Η ιεράρχηση των κριτηρίων που επιλέγονται για την πολυκριτηριακή ανάλυση πραγματοποιείται με την μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process, AHP) (Saaty, 1987). Κατά την μέθοδο αυτή, συγκρίνονται δύο από τα συνολικά κριτήρια για την λύση του προβλήματος και προσδιορίζεται το πόσο σημαντικότερο είναι το ένα κριτήριο σε σχέση με το άλλο. Η σύγκριση δύο κριτηρίων ανάμεσα στα συνολικά επαναλαμβάνεται μέχρι να προσδιοριστεί η βαρύτητα όλων των κριτηρίων αναμεταξύ τους (Saaty, 1987).

Ο προσδιορισμός της σημαντικότητας του κάθε κριτηρίου σε σχέση με τα άλλα, πραγματοποιείται με την χρήση μίας σκάλας σημαντικότητας (Ramanathan, 2004). Με άλλα λόγια, κάθε κριτήριο μπορεί να προσδιοριστεί ως εξίσου σημαντικό, λίγο σημαντικότερο, αρκετά σημαντικότερο ή πολύ σημαντικότερο κλπ συγκριτικά με ένα άλλο κριτήριο (Ramanathan, 2004). Αυτή η σύγκριση ποσοτικοποιείται με την χρήση ακεραίων αριθμών. Πιο συγκεκριμένα, το 1 δηλώνει την εξίσου σημαντικότητα των δύο κριτηρίων και οι υπόλοιποι αριθμοί (2, 3 κλπ) σαυξάνονται όσο περισσότερο σημαντικό είναι το ένα κριτήριο σε σχέση με το άλλο (Ramanathan, 2004, Saaty, 1987).

Βαθμολογία σημαντικότητας	Ερμηνεία της βαθμολογίας
1	Εξίσου σημαντικό
2	Λίγο σημαντικότερο
3	Σημαντικότερο
4	Αρκετά σημαντικότερο
5	Πολύ σημαντικότερο

Πίνακας 1: Βαθμολογία σημαντικότητας κριτηρίων αναμεταξύ τους (ίδια επεξεργασία)

Αν, για παράδειγμα, θεωρηθούν τα κριτήρια Α και Β και πρέπει να προσδιοριστεί η σημαντικότητα του κριτηρίου Α σε σχέση με το Β, εάν το κριτήριο Α σε σχέση με το Β βαθμολογηθεί με έναν από τους αριθμούς του πίνακα 1 (για παράδειγμα με 4), τότε το κριτήριο Β, σε σχέση με το Α, θα βαθμολογηθεί με τον αντίστροφο του αριθμού αυτού, δηλαδή με $\frac{1}{4}$

Αφού προσδιοριστεί η σημαντικότητα κάθε κριτηρίου σε σχέση με τα άλλα, παρουσιάζεται συνοπτικός πίνακας (Saaty, 1987), με δομή παρόμοια με τον παρακάτω:

	Κριτήριο Α	Κριτήριο Β	Κριτήριο Γ	Κριτήριο Δ	Κριτήριο Ε
Κριτήριο Α	1	4	2	3	4
Κριτήριο Β	1/4	1	1/4	5	2
Κριτήριο Γ	1/2	4	1	1/3	1
Κριτήριο Δ	1/3	1/5	3	1	1/3
Κριτήριο Ε	1/4	1/2	1	3	1

Πίνακας 2: Πίνακας ιεράρχησης των κριτηρίων αναμεταξύ τους (ίδια επεξεργασία)

Τέλος, προσδιορίζεται η συνολική βαρύτητα κάθε κριτηρίου ξεχωριστά, αθροίζοντας τους αριθμούς κάθε γραμμής και κανονικοποιώντας το άθροισμα, διαιρώντας το με το σύνολο των αθροισμάτων (Saaty, 1987). Το αποτέλεσμα που προκύπτει θα είναι σαν τον παρακάτω πίνακα:

	Κριτήριο Α	Κριτήριο Β	Κριτήριο Γ	Κριτήριο Δ	Κριτήριο Ε	Άθροισμα γραμμής	Συνολική βαρύτητα
Κριτήριο Α	1	4	2	3	4	14	0,3504
Κριτήριο Β	1/4	1	1/4	5	2	8,5	0,2128
Κριτήριο Γ	1/2	4	1	1/3	1	6,83	0,171
Κριτήριο Δ	1/3	1/5	3	1	1/3	4,87	0,1218
Κριτήριο Ε	1/4	1/2	1	3	1	5,75	0,1439
						Σύνολο:	39,95
							1

Πίνακας 3: Ιεράρχηση των κριτηρίων και τελική τους βαρύτητα (ίδια επεξεργασία)

4.3 Μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης με πολυκριτηριακή ανάλυση που χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων της μηχανικής είναι ποικίλλες. Σύμφωνα με τους Odu και Charles-Owaba (2013), οι εν λόγω μέθοδοι μπορούν να χωριστούν, με βάση τον τρόπο ιεράρχησης των κριτηρίων που λαμβάνονται υπόψιν κατά την πολυκριτηριακή ανάλυση, σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη είναι η κατηγορία των μεθόδων που εφαρμόζονται μετά την ιεράρχηση των κριτηρίων. Οι μέθοδοι που θα αναλυθούν στην ενότητα αυτή, οι οποίες ανήκουν στην πρώτη κατηγορία είναι η μέθοδος του σταθμισμένου αθροίσματος (Weighted Sum Method), του σταθμισμένου γινομένου (Weighted Product Method) και του προγραμματισμού στόχων (Goal Programming Method). Η δεύτερη κατηγορία μεθόδων είναι οι μέθοδοι που επιτρέπουν στον χρήστη να επιλέξει λύση ανάμεσα σε πλήθος λύσεων, χωρίς αυτός να έχει μία ξεκάθαρη εικόνα για τις προτιμήσεις του. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει η μέθοδος του φυσικού προγραμματισμού (Physical Programming Method). Μία από τις μεθόδους που ανήκουν στην τρίτη κατηγορία, δηλαδή στις μεθόδους που δεν απαιτούν ιεράρχηση των κριτηρίων, είναι η μέθοδος του καθολικού κριτηρίου (Global Criterion Method).

4.3.1 Η μέθοδος του σταθμισμένου αθροίσματος

Η μέθοδος αυτή (Odu και Charles-Owaba, 2013) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την λύση προβλημάτων, θέτοντας μία βαρύτητα για κάθε κριτήριο και μεγιστοποιώντας την αντικειμενική συνάρτηση $U = \sum_{i=1}^k w_i F_i(x)$ (1), όπου U είναι η τελική βαθμολογία της λύσης, w_i είναι η βαρύτητα του κριτηρίου και $F_i(x)$ είναι η μεταβλητή ικανοποίησης του κριτηρίου από την λύση. Αν κάποιο κριτήριο πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, τότε η τιμή $F_i(x)$ λαμβάνει το πρόσημο (-), ενώ σε αντίθετη περίπτωση, λαμβάνει το πρόσημο (+). Η μέγιστη τιμή U αντιστοιχεί στην βέλτιστη λύση.

Παρ' όλα αυτά, όταν πρόκειται για επίλυση πολυδιάστατου προβλήματος (δηλαδή οι μεταβλητές έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης αναμεταξύ τους), είναι αναγκαία η κανονικοποίηση όλων των μεταβλητών, έτσι ώστε το πρόβλημα να μετατραπεί σε μονοδιάστατο ή αδιάστατο (Odu και Charles-Owaba, 2013). Στην παρούσα εργασία, η κανονικοποίηση των μεταβλητών θα πραγματοποιηθεί αθροίζοντας τις μεταβλητές κάθε λύσης, που αντιστοιχούν σε κάθε κριτήριο και διαιρώντας την καθεμία με το άθροισμα, όπως στους παρακάτω πίνακες:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ					
	Κριτήριο Α	Κριτήριο Β	Κριτήριο Γ	Κριτήριο Δ	Κριτήριο Ε
Λύση 1	0,2	200	4	1300	20
Λύση 2	0,3	300	6	1200	30
Λύση 3	0,3	150	2	1800	10
Λύση 4	0,1	200	3	2000	60
Λύση 5	0,5	200	1	1500	40
Σύνολο:	1,4	1050	16	7800	160

Πίνακας 4: Πίνακας μεταβλητών που χαρακτηρίζουν κάθε λύση (ίδια επεξεργασία)

ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ					
	Κριτήριο Α	Κριτήριο Β	Κριτήριο Γ	Κριτήριο Δ	Κριτήριο Ε
Λύση 1	0,14	0,19	0,25	0,17	0,13
Λύση 2	0,21	0,29	0,38	0,15	0,19
Λύση 3	0,21	0,14	0,13	0,23	0,06
Λύση 4	0,07	0,19	0,19	0,26	0,38
Λύση 5	0,36	0,19	0,06	0,19	0,25
Σύνολο:	1	1	1	1	1

Πίνακας 5: Κανονικοποιημένος πίνακας μεταβλητών που χαρακτηρίζουν κάθε λύση (ίδια επεξεργασία)

Η μέθοδος του σταθμισμένου αθροίσματος συναντά αρκετές εφαρμογές. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται η εφαρμογή της στην επιλογή του βέλτιστου κράματος τιτανίου για εφαρμογές στην βιοϊατρική, όπως αναφέρουν οι Pesode et al. (2023). Ακόμα, παρατηρούνται εφαρμογές και στον καθορισμό προτεραιοτήτων ανάπτυξης αγροτικών περιοχών, προκειμένου να καθοριστεί η βέλτιστη ανάπτυξή τους (Perwira και Arriani, 2020). Τέλος, η μέθοδος του σταθμισμένου αθροίσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων για τον καθορισμό της προτεραιότητας των θέσεων περιοδείας του πανεπιστημίου SMB Telkom (Naufal et al., 2016).

4.3.2 Η μέθοδος του σταθμισμένου γινομένου

Η μέθοδος του σταθμισμένου γινομένου είναι παρόμοια με αυτή του σταθμισμένου αθροίσματος, με τις διαφορές ότι το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι διαφορετικό και δεν χρειάζεται κανονικοποίηση των μεταβλητών (Odu και Charles-Owaba, 2013), διότι τα κριτήρια πολλαπλασιάζονται αντί να αθροίζονται. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο που καλείται να μεγιστοποιηθεί είναι η εξίσωση: $U = \prod_{i=1}^k [F_i(x)]^{w_i}$ (2). Αν κάποιο κριτήριο πρέπει να μεγιστοποιηθεί, τότε η τιμή του εκθέτη είναι θετική, ενώ αν πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, η τιμή του εκθέτη είναι αρνητική.

Όμως, κατά την μέθοδο αυτή, είναι δυνατόν να εμφανιστούν μη γραμμικά σημεία στην αντικειμενική συνάρτηση, και άρα, δυσκολίες στους υπολογισμούς (Odu και Charles-Owaba, 2013). Για τον λόγο αυτόν, η μέθοδος αυτή δεν έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς (Odu και Charles-Owaba, 2013).

Η μέθοδος του σταθμισμένου γινομένου εφαρμόστηκε για την ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για μαγειρικά σύνεργα στην πόλη Kudus της Ινδονησίας (Wardhani και Lutfina, 2020). Επιπλέον, η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε και για την αξιολόγηση διεργασιών κατασκευών, όπως αναφέρει και ο Wao (2018).

4.3.3 Η μέθοδος του προγραμματισμού στόχων

Η μέθοδος του προγραμματισμού στόχων (Goal Programming Method) είναι μία μέθοδος λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιείται στην περίπτωση εκείνη, όπου δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη ικανοποίηση όλων των κριτηρίων πολυκριτηριακής ανάλυσης, ενώ είναι αναγκαία (Kaur et al., 2023). Όλα τα κριτήρια μετατρέπονται σε στόχους, οι οποίοι είναι αντικειμενικές συναρτήσεις, η καθεμία εκ των οποίων καλείται να ικανοποιηθεί σε ένα επίπεδο, συγκριτικά με τις υπόλοιπες (Odu και Charles-Owaba, 2013, Kaur et al., 2023). Αυτό σημαίνει ότι τα κριτήρια έχουν μία σειρά ιεράρχησης, και άρα, το καθένα θα πρέπει να ικανοποιηθεί ως έναν βαθμό, που καθορίζεται από την θέση του στην ιεράρχηση αυτή.

Κάθε στόχος που λαμβάνεται υπόψιν κατά αυτή την μέθοδο, μπορεί να θεωρηθεί ένας ελαστικός περιορισμός του προβλήματος βελτιστοποίησης (Kaur et al., 2023). Πιο συγκεκριμένα, οι περιορισμοί αυτοί καθορίζονται από μεταβλητές απόκλισης, οι οποίες καθορίζουν την απαιτούμενη υπερεπίτευξη ή την υποεπίτευξη κάθε στόχου, προκειμένου να ικανοποιηθεί το αντίστοιχο κριτήριο (Odu και Charles-Owaba, 2013, Kaur et al., 2023). Ο μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιείται στην μέθοδο προγραμματισμού στόχων είναι ο τύπος $\sum_{i=1}^k |d_i|$ (3) (Odu και Charles-Owaba, 2013), όπου $|d_i| = d_i^+ + d_i^-$, με τις μεταβλητές d_i^+ και d_i^- να αντιπροσωπεύουν την υπερεπίτευξη και την υποεπίτευξη αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εν λόγω μεταβλητές πρέπει να είναι μη αρνητικές και επειδή δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη υπερεπίτευξη και υποεπίτευξη ενός στόχου, πρέπει να ισχύει $d_i^+ * d_i^- = 0$. Η ελάχιστη τιμή της εξίσωσης (3) αντιστοιχεί στην βέλτιστη λύση (Odu και Charles-Owaba, 2013).

Η βέλτιστη λύση που προκύπτει με την χρήση της μεθόδου αυτής, πολλές φορές δεν ικανοποιεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλα τα κριτήρια (Kaur et al., 2023), γεγονός που συνεπάγεται ότι η βέλτιστη λύση που προκύπτει είναι μία λύση συμβιβαστική. Επίσης, η μέθοδος του προγραμματισμού στόχων βρίσκει πολλαπλές λύσεις σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, με σκοπό την εύρεση της λύσης εκείνης που ικανοποιεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους περισσότερους στόχους που έχουν τεθεί, ή, με άλλα λόγια, της λύσης που παραβιάζει κατά το ελάχιστο δυνατό του στόχους (Kaur et al., 2023).

Η μέθοδος του προγραμματισμού στόχων εφαρμόζεται στον έλεγχο νέων προϊόντων, όπως αναφέρουν οι Wang και Chin (2008), σε συνδυασμό με την μέθοδο της αναλυτικής ιεράρχησης. Σύμφωνα με τους Kaur et al. (2023), μία άλλη εφαρμογή είναι στην ανάπτυξη λογισμικών κατανομής πόρων.

4.3.4 Η μέθοδος του φυσικού προγραμματισμού

Η μέθοδος του Φυσικού Προγραμματισμού (Physical Programming Method) είναι μια μέθοδος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση των λύσεων ενός προβλήματος βελτιστοποίησης (Odu και Charles-Owaba, 2013), χωρίς την ανάγκη ιεράρχησης της σημαντικότητας των κριτηρίων. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι αντικειμενικές συναρτήσεις, κριτήρια, περιορισμοί και στόχοι του προβλήματος αντιμετωπίζονται ως ένα μετρικό σχέδιο (Odu και Charles-Owaba, 2013). Συνδυάζοντας τα λεγόμενα των Odu και Charles-Owaba (2013) και των Yatsuka et al. (2019), η μέθοδος αυτή αποτελείται από τέσσερα βήματα. Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την δημιουργία μίας συνάρτησης κλάσεων, $\bar{F}_i[F_i(\mathbf{x})]$, για κάθε μετρικό σχέδιο. Έστερα, παρουσιάζονται σε αριθμούς τα εύρη προτιμήσεων των αντικειμενικών συναρτήσεων, με τους μικρότερους αριθμούς να αντιπροσωπεύουν καλύτερα αποτελέσματα. Ένα τυπικό παράδειγμα πάνω στο βήμα αυτό είναι ο παρακάτω πίνακας:

Λύση	Εύρος τιμών
Ιδανική	≤ 10
Επιθυμητή	11 – 20
Ανεκτή	21 – 30
Μη ανεκτή	31 – 40
Ανεπιθύμητη	> 40

Πίνακας 6: Παράδειγμα εύρους προτιμήσεων τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων (ίδια επεξεργασία)

Μετά, δημιουργούνται οι συναρτήσεις προτιμήσεων, με βάση τις προτιμήσεις των αντικειμενικών συναρτήσεων, και τέλος, προσδιορίζεται η λύση με την αντικειμενική συνάρτηση που βρίσκεται πιο κοντά στους στόχους που έχουν τεθεί για την λύση του προβλήματος.

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται σε αυτή την μέθοδο είναι η $\sum_{i=1}^n \sum_{s=2}^{n_s} (\tilde{w}_{is}^+ * d_{is}^+ + \tilde{w}_{is}^- * d_{is}^-)$ (4), όπου n είναι ο αριθμός των στόχων, n_s είναι οι τιμές κάθε στόχου, d_{is}^+ και d_{is}^- είναι μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν την υπερεπίτευξη και υποεπίτευξη του στόχου αντίστοιχα, και \tilde{w}_{is}^+ και \tilde{w}_{is}^- είναι οι συντελεστές βαρύτητας κάθε στόχου. Η λύση που αντιστοιχεί στην ελάχιστη τιμή της εξίσωσης (4) αντιστοιχεί στην βέλτιστη (Yatsuka et al., 2019).

Μία από τις εφαρμογές της μεθόδου του φυσικού προγραμματισμού αφορά την εφαρμογή στην βελτιστοποίηση της τροχιάς διαστημικού αεροσκάφους, όπως αναφέρουν οι Chai et al. (2016), και στην διαμόρφωση σχεδιαστικών διεργασιών, σύμφωνα με τους Lee et al. (1994).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Κριτήρια πολυκριτηριακής ανάλυσης

Στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μία περιγραφή των κριτηρίων της πολυκριτηριακής ανάλυσης που θα ληφθούν υπόψιν στην παρούσα εργασία, για την χωροθέτηση του φωτοβολταϊκού σταθμού. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει αναφορά σε νομοθεσίες σχετικές με τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ, και μετά θα ακολουθήσει η περιγραφή των υπόλοιπων κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά χωρίζονται στα τεχνικά, τα χωροταξικά, τα κοινωνικά και τα οικονομικά κριτήρια. Παράλληλα με την περιγραφή των κριτηρίων, θα προσδιοριστεί το αν θα πρέπει το κάθε ένα από αυτά να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί. Τέλος, θα παρουσιαστούν οι παραδοχές που θα ληφθούν κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

5.1 Νομοθεσίες

5.1.1 Ο νόμος 3851/2010

Στην παρ. 2 του Άρθρου 9 του ν. 3851/2010 αναφέρεται ότι λαμβάνονται μόνο χωροταξικά, ρυθμιστικά, πολεοδομικά ή άλλα σχέδια χρήσεων γης που έχουν εγκριθεί, μαζί με εγκεκριμένες μελέτες που συμφωνούν με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) για τις ΑΠΕ και αιτιολογούν την λήψη μέριμνας και έχουν διασφαλίσει την μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του δυναμικού ΑΠΕ που διατίθεται. Σε περίπτωση απουσίας τέτοιων σχεδίων, ακολουθούνται οι οδηγίες που υποδεικνύει το ΕΠΧΣΑΑ για τις ΑΠΕ, για την έγκριση εγκατάστασης των εν λόγω σταθμών (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, 2010).

5.1.2 Ο νόμος 3851/1986

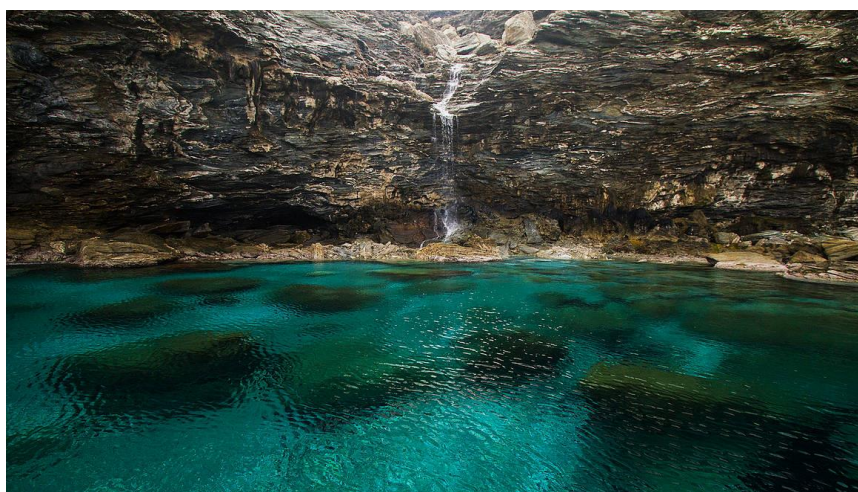
Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου, λαμβάνονται υπόψιν αυτά που αναφέρονται στην παρ. 1 του Άρθρου 19 του νόμου αυτού. Η παράγραφος αυτή αναφέρεται στις περιοχές προστασίας της βιοποικιλότητας, οι οποίες είναι οποιουδήποτε είδους περιοχή (χερσαία, υδάτινη, θαλάσσια, μικτού χαρακτήρα, φυσική ή ημιφυσική) στην οποία έχει καταγραφεί παρουσία φυσικών οικοτόπων και ειδών διεθνούς ή/και ελληνικού ενδιαφέροντος που έχουν ανάγκη προστασίας. Άλλες περιοχές προστασίας της βιοποικιλότητας θεωρούνται και οι περιοχές που εντάσσονται στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000 (δηλαδή ζώνες ειδικής προστασίας) και, σύμφωνα με την παρ. 2 του ίδιου Άρθρου, εθνικά πάρκα, καταφύγια άγριας ζωής, τοπία και φυσικοί σχηματισμοί που προστατεύονται (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, 1986).



Εικόνα 31: Χερσαίος οικότοπος (dreamstime.com)



Εικόνα 32: Υδάτινος οικότοπος (Cretalive News, 2019)



Εικόνα 33: Τυπικό παράδειγμα προστατευόμενης περιοχής (WWF, 2020)

5.1.3 Ο νόμος 4685/2020

Ειδικά για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών πάνω στο έδαφος δημόσιων και δημοτικών εκτάσεων, η παρ. 2 του Άρθρου 13 αναφέρει ότι το πολύγωνο του πάρκου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 στρέμματα ανά 1 MW εγκατεστημένης ισχύος. Σε αντίθετη περίπτωση υποβάλλεται αίτηση τεκμηρίωσης του δικαιώματος νόμιμης χρήσης μη δημόσιας ή μη δημοτικής έκτασης για τα στρέμματα της έκτασης εκείνα που δεν εντάσσονται στο όριο των 40 στρ./MW, σύμφωνα με αυτά που ορίζονται ειδικότερα στον Κανονισμό Βεβαιώσεων (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, 2020).

5.2 Τεχνικά κριτήρια

5.2.1 Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία

Στην ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010 παρουσιάζονται πίνακες, με τιμές της προσπίπτουσας μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, για όλους τους μήνες του έτους. Ενδεικτικά, παρουσιάζεται παρακάτω ένας πίνακας τιμών της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο τεσσάρων διαφορετικών περιοχών:

ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ - ΚΛ. ΖΩΝΗ Α' ΒΑΣΕΙ ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010		ΚΕΡΚΥΡΑ - ΚΛ. ΖΩΝΗ Β' ΒΑΣΕΙ ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010		ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ - ΚΛ. ΖΩΝΗ Γ' ΒΑΣΕΙ ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010		ΚΑΣΤΟΡΙΑ - ΚΛ. ΖΩΝΗ Δ' ΒΑΣΕΙ ΤΟΤΕΕ 20701-3	
Μήνας	Μέση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Μήνας	Μέση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Μήνας	Μέση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Μήνας	Μέση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)
ΙΑΝ	65,6	ΙΑΝ	57,7	ΙΑΝ	52,6	ΙΑΝ	22,5
ΦΕΒ	81,6	ΦΕΒ	73,5	ΦΕΒ	67,5	ΦΕΒ	29,7
ΜΑΡ	125	ΜΑΡ	116,7	ΜΑΡ	103,2	ΜΑΡ	48,1
ΑΠΡ	166,5	ΑΠΡ	149,9	ΑΠΡ	140,7	ΑΠΡ	64,3
ΜΑΪ	207,3	ΜΑΪ	195,4	ΜΑΪ	179,1	ΜΑΪ	81,7
ΙΟΥΝ	222,4	ΙΟΥΝ	213,6	ΙΟΥΝ	198,6	ΙΟΥΝ	86,6
ΙΟΥΛ	227,1	ΙΟΥΛ	221	ΙΟΥΛ	209,5	ΙΟΥΛ	86
ΑΥΓ	207	ΑΥΓ	197,8	ΑΥΓ	184,7	ΑΥΓ	73,2
ΣΕΠ	163	ΣΕΠ	148,2	ΣΕΠ	136,7	ΣΕΠ	53,7
ΟΚΤ	117,3	ΟΚΤ	103,1	ΟΚΤ	91,4	ΟΚΤ	37,4
ΝΟΕ	78,6	ΝΟΕ	64,4	ΝΟΕ	56,6	ΝΟΕ	23,5
ΔΕΚ	61,2	ΔΕΚ	50,7	ΔΕΚ	45,5	ΔΕΚ	19,1

Πίνακας 7: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε περιοχές της Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010)

Εάν αθροιστούν οι μέσες μηνιαίες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις περιοχές που θα επιλεγούν για την χωροθέτηση του φωτοβολταϊκού πάρκου, αυτό που θα προκύψει είναι η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο το καλύτερο για το φωτοβολταϊκό πάρκο, καθώς αυτό θα μπορεί να αξιοποιήσει μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς, η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία είναι ένα κριτήριο που, κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί.

5.2.2 Ενεργειακή παραγωγή

Η ενεργειακή παραγωγή από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο εξαρτάται τόσο από την εγκατεστημένη ισχύ του, όσο και από τις ώρες ηλιοφάνειας, για τις οποίες έγινε αναφορά στην ενότητα 5.2.2. Αυτό σημαίνει ότι για σταθερή ισχύ του φωτοβολταϊκού πάρκου, όσες περισσότερες είναι οι ώρες ηλιοφάνειας, τόσο περισσότερη είναι και η ενεργειακή παραγωγή του πάρκου. Η ενεργειακή παραγωγή αποδίδεται από την εξίσωση $E_{PV} = P_{PV} * \Delta t * CF$, (Καλδέλλης και Καββαδίας, 2001), όπου P_{PV} είναι η εγκατεστημένη ισχύς του φωτοβολταϊκού πάρκου, Δt είναι ο χρόνος ηλιοφάνειας ανά το έτος και CF είναι ο συντελεστής φορτίου (Capacity Factor) των πάνελ, ο οποίος χρησιμοποιείται για να δηλώσει την τεχνική διαθεσιμότητα (Καλδέλλης και Καββαδίας, 2001).

Βάσει της εξίσωσης $E_{PV} = P_{PV} * \Delta t * CF$, η ενεργειακή παραγωγή από το φωτοβολταϊκό πάρκο αυξάνει με την αύξηση των ωρών ηλιοφάνειας, περισσότερο προτιμητέες είναι οι περιοχές εκείνες με τις περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας, γεγονός που συνεπάγεται ότι το κριτήριο της ενεργειακής παραγωγής θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί κατά την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

5.3 Χωροταξικά κριτήρια

5.3.1 Επιφάνεια έκτασης που θα αξιοποιηθεί για την εγκατάσταση του Φ/Β πάρκου

Όσον αφορά το κριτήριο αυτό, λαμβάνονται δύο περιορισμοί. Ο ένας είναι η έκταση που είναι αρκετή για το φωτοβολταϊκό πάρκο και εξαρτάται από την εγκατεστημένη ισχύ του. Πιο συγκεκριμένα, για ένα πάρκο ισχύος 100 kW αρκεί έκταση ίση με περίπου 2 στρέμματα (2000 m²), ενώ όσο μεγαλώνει η εγκατεστημένη ισχύς, αυξάνεται και η έκταση πάνω στην οποία θα εγκατασταθεί, με αποτέλεσμα να χρειάζονται πάνω από 6,5 στρέμματα (6500 m²) (Heliosystems, 2022). Ο λόγος για τον οποίο είναι καλό αυτές οι εκτάσεις να μην ξεπεραστούν, είναι επειδή αν ξεπεραστούν, τότε θα καταληφθούν παραπάνω εκτάσεις χωρίς ουσιαστική αιτία, με αποτέλεσμα να υποβιβαστεί το περιβάλλον και η παραγωγικότητα της εν λόγω έκτασης (Αμπατζίδης, 2022) περισσότερο από όσο πρέπει, χωρίς λόγο.

Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται εκτάσεις συγκεκριμένου εμβαδού, προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η κατάληψη εδαφών με εμβαδό 2 και 6,5 στρέμματα:



Εικόνα 34: Έκταση περίπου 2 στρεμμάτων σε σχέση με έκταση περίπου 176 - 177 στρεμμάτων (ArcGIS)



Εικόνα 35: Έκταση 6,5 στρεμμάτων σε σχέση με έκταση περίπου 176 – 177 στρεμμάτων (ArcGIS)

Ο δεύτερος περιορισμός είναι η ελάχιστη έκταση που απαιτείται για την χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού. Ο περιορισμός αυτός οφείλεται στο ότι κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ που συγκροτεί το πάρκο, έχει και το δικό του εμβαδό. Επομένως, όλα τα πάνελ που συγκροτούν το πάρκο, θα έχουν ένα συνολικό εμβαδό. Εκτός αυτού, λαμβάνεται υπόψιν και η γωνία τοποθέτησης των πάνελ, καθώς από αυτή εξαρτάται η απόσταση των παράλληλων συστοιχιών πάνελ συνδεδεμένων εν σειρά, προς αποφυγή των σκιάσεων (Παπαχριστοδούλου, 2014). Τέλος, λαμβάνεται υπόψιν και η απόσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων από την περιήφραξη του πάρκου και αναμεταξύ τους, γεγονός που αυξάνει την ελάχιστη απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση του πάρκου.

Παρακάτω παρουσιάζονται, ενδεικτικά, κάποιες περιοχές της Ελλάδας, με το γεωγραφικό τους πλάτος:

Περιοχή	Γεωγραφικό πλάτος (μοίρες)
Αλεξανδρούπολη	40° 51'
Θεσσαλονίκη	40° 31'
Πάτρα	38° 15'
Ζάκυνθος	37° 47'
Χανιά	35° 29'
Ηράκλειο	35° 02'
Χίος	38° 28'
Ρόδος	36° 24'
Σύρος	37° 25'
Λαμία	38° 51'

Πίνακας 8: Γεωγραφικό πλάτος ενδεικτικών περιοχών (ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010)

Επειδή περισσότερη κατάληψη έκτασης για φωτοβολταϊκό πάρκο σημαίνει και μεγαλύτερη περιβαλλοντική υποβάθμιση (Αμπατζίδης, 2022), το κριτήριο της επιφάνειας της έκτασης που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου, θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.

5.3.2 Απόσταση από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή

Η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να χωρίζει τον φωτοβολταϊκό σταθμό από κατοικημένες περιοχές ορίζεται στα 500 μέτρα (Αμπατζίδης, 2022). Για τον λόγο αυτόν, λοιπόν, θα ληφθεί υπόψιν η απόσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή, καθώς αν αυτή είναι μεγαλύτερη ή ίση των 500 μέτρων, τότε θα είναι ακόμα μεγαλύτερη η απόσταση του σταθμού από τις υπόλοιπες κατοικημένες περιοχές. Παρακάτω παρουσιάζεται μία εικόνα με ένα σημείο που βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή, και μία εικόνα με ένα σημείο σε ικανοποιητική απόσταση από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή:



Εικόνα 36: Υπερβολικά κοντινή απόσταση Φ/Β πάρκου από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή (ArcGIS)



Εικόνα 37: Ικανοποιητική απόσταση Φ/Β πάρκου από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή (ArcGIS)

Κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, η απόσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή είναι ένα κριτήριο που θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί.

5.3.3 Κλιματική ζώνη περιοχής

Βάσει της TOTEE 20701-3/2010, η Ελλάδα χωρίζεται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες: Την κλιματική ζώνη Α', την Β', την Γ' και την Δ'. Από αυτές τις ζώνες, η ζώνη Α' είναι η θερμότερη και η ζώνη Δ' είναι η ψυχρότερη. Οι περιοχές εκείνες που ανήκουν στις θερμότερες κλιματικές ζώνες έχουν, σε γενικές γραμμές, καλύτερο ηλιακό δυναμικό από αυτές που ανήκουν στις ψυχρότερες κλιματικές ζώνες, γεγονός που μαρτυρείται και από τον πίνακα 7. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με του νομούς της Ελλάδας και την κλιματική ζώνη στην οποία ανήκουν:

Κλιματική ζώνη	Νομοί
Α'	Αργολίδας, Αρκαδίας (πεδινή), Αττικής (Κύθηρα - νησιά Σαρωνικού), Δωδεκανήσου, Ζακύνθου, Ηρακλείου, Κεφαλληνίας - Ιθάκης, Κυκλάδων, Λακωνίας, Λασιθίου, Μεσσηνίας, Ρεθύμνου, Σάμου, Χανίων
Β'	Αιτωλοακαρνανίας, Άρτας, Αττικής (εκτός Κυθήρων και νησιών Σαρωνικού), Αχαΐας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Ηλείας, Θεσπρωτίας, Κέρκυρας, Κορινθίας, Λέσβου, Λευκάδας, Μαγνησίας, Πρεβέζης, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Χίου
Γ'	Αρκαδίας (ορεινή), Έβρου, Ευρυτανίας, Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Ιωαννίνων, Καβάλας, Καρδίτσας, Κιλκίς, Λαρίσης, Ξάνθης, Πέλλης, Πιερίας, Ροδόπης, Σερρών (εκτός του ΒΑ τμήματος), Τρικάλων, Χαλκιδικής
Δ'	Γρεβενών, Δράμας, Καστοριάς, Κοζάνης, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Φλωρίνης

Πίνακας 9: Κλιματικές ζώνες Ελλάδας και οι νομοί που ανήκουν σε αυτές (TOTEE 20701-3/2010)

Όσο θερμότερη είναι η κλιματική ζώνη στην οποία θα εγκατασταθεί το πάρκο, τόσο περισσότερο είναι και το ηλιακό δυναμικό που θα μπορεί να αξιοποιηθεί από αυτό. Άρα, είναι προτιμητέες οι θερμότερες κλιματικές ζώνες.

5.4 Κοινωνικά κριτήρια

5.4.1 Αντανακλάσεις

Λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο προστατευτικό γυαλί των φωτοβολταϊκών, κάποιο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας αυτής αντανακλάται (Αμπατζίδης, 2022). Αυτό μπορεί να επιφέρει διάφορες αρνητικές συνέπειες, όπως είναι για παράδειγμα η μείωση της παραγόμενης ενέργειας από τα ίδια τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Sarkin et al., 2020). Αυτό συμβαίνει, καθώς η προσπίπτουσα ακτινοβολία θερμαίνει το προστατευτικό γυαλί, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται απώλειες θερμότητας, οι οποίες είναι οι μεγαλύτερες απώλειες που παρουσιάζονται σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και είναι ο κυριότερος λόγος για τον οποίο τα φωτοβολταϊκά έχουν χαμηλό βαθμό απόδοσης (Θεοδοσιάδης, 2020). Ακόμα, οι αντανακλάσεις που προκαλούνται από τα φωτοβολταϊκά μπορούν και να προκαλέσουν τροχαία δυστυχήματα (Αμπατζίδης, 2022). Αυτό μπορεί να συμβεί με την τοποθέτηση του φωτοβολταϊκού πάρκου σε αποστάσεις μικρότερες των 500 μέτρων

από κύρια οδικά δίκτυα και σε αποστάσεις μικρότερες των 200 μέτρων από δευτερεύοντα (Αμπατζίδης, 2022).

Οι αντανάκλασεις από τα φωτοβολταϊκά μπορούν να προκαλέσουν επιπτώσεις και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού σε αγροτική έκταση, όπως γίνεται συνήθως (Heliosystems, 2022), μπορεί να προκληθεί δίωξη της πανίδας και υποβάθμιση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος στο οποίο θα έχει εγκατασταθεί (Αμπατζίδης, 2022).



Εικόνα 38: Αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από το φωτοβολταϊκό σύστημα (Energy Intel, 2021)

Με βάση τα παραπάνω, είναι αντιληπτό ότι οι αντανάκλασεις που προκαλούνται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ (και κατ' επέκταση, από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο) είναι ανεπιθύμητες και σαν κριτήριο, θα πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές.

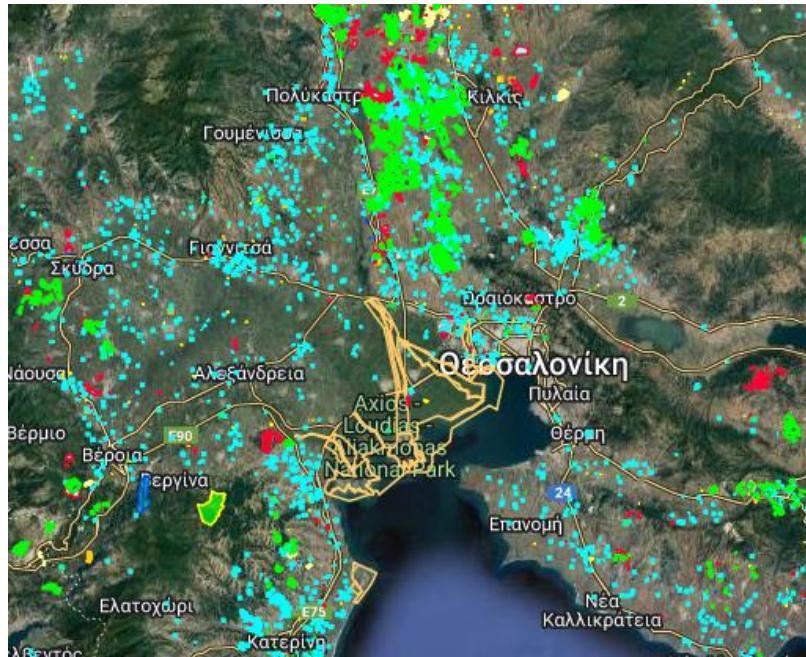
5.4.2 Ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού

Η ενεργειακή φτώχεια είναι ένα ζήτημα που επηρεάζει πολλούς ανθρώπους ανά τον κόσμο. Ως αποτέλεσμα, η καθαρή ενέργεια δεν είναι εύκολα προσβάσιμη από όλους, γεγονός που αποτελεί εμπόδιο για την ανάπτυξη των χωρών ανά τον κόσμο (Parada και Kaliampakos, 2020). Κατά την περίοδο της οικονομικής κρίσης (2009-2014), η ενεργειακή φτώχεια ήταν ένα όλο και πιο σοβαρό πρόβλημα για τα νοικοκυριά της Ελλάδας. Έτσι, σήμερα, η χώρα έχει καταλήξει να είναι μία από τις ευρωπαϊκές χώρες με τις μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες (Parada και Kaliampakos, 2020).

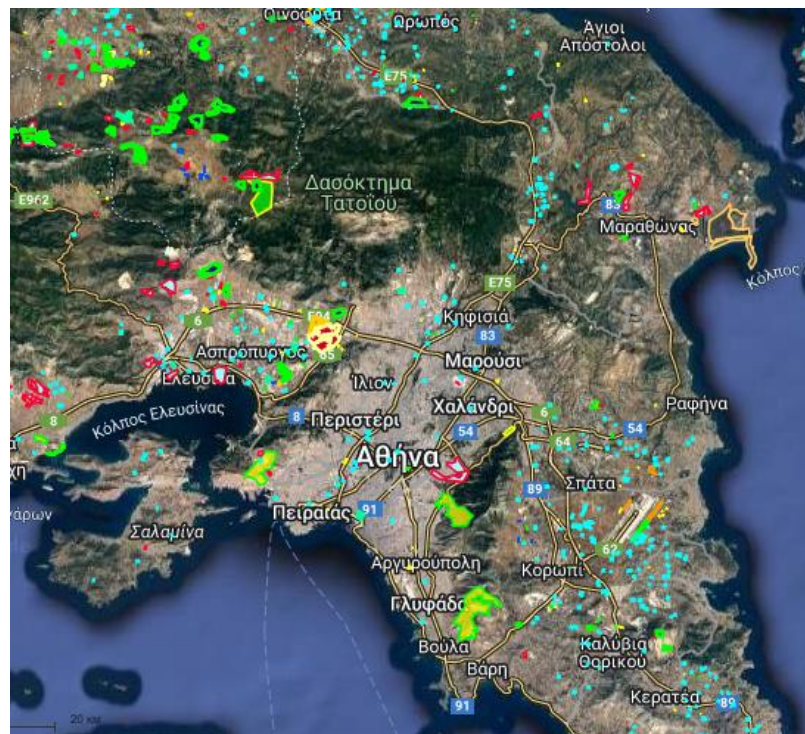
Η οικονομική κρίση στην Ελλάδα ξέσπασε για διάφορους λόγους. Ένας από αυτούς ήταν η απότομη αύξηση στις τιμές του πετρελαίου θέρμανσης, με ταυτόχρονη μείωση του μέσου ετήσιου εισοδήματος (Parada και Kaliampakos, 2020). Ακόμα, προτού η Ελλάδα ενταχθεί στην Ευρωζώνη, η οικονομία της ήταν αρκετά μεγαλύτερη από τον μέσο όρο της Ευρωζώνης και είχε μία ανταγωνιστικότητα, η οποία υποβιβάστηκε με την ένταξη της χώρας στην Ευρωζώνη (Τσούτσουρα, 2014). Τέλος, σε συνδυασμό με την οικονομία της, ο πληθωρισμός της Ελλάδας ήταν επίσης υψηλότερος από τον μέσο όρο της Ευρωζώνης, και μάλιστα ο πληθωρισμός αυτός ήταν μικρότερος σε σχέση με τον πληθωρισμό που είχε η χώρα το 2000 (Αντζουλάτος, 2011).

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι οι ενεργειακές ανάγκες της Ελλάδας είναι αυξημένες. Παρ' όλα αυτά, το ηλιακό δυναμικό της είναι τέτοιο, που θα μπορούσε να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες.

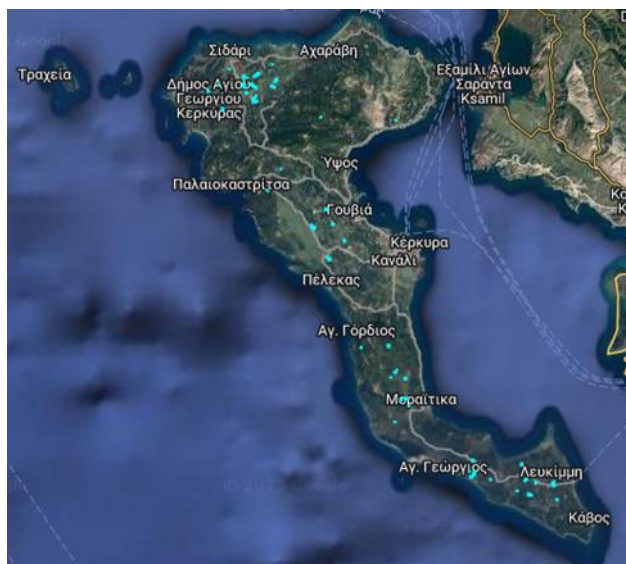
Όμως, κάποιες περιοχές της Ελλάδας έχουν ήδη πολλούς εγκατεστημένους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, κάποιες έχουν λιγότερους και κάποιες άλλες έχουν πολύ λίγους, όπως φαίνεται, και στις παρακάτω εικόνες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν ενδεικτικά κάποιες περιοχές:



Εικόνα 39: Υψηλή πυκνότητα Φ/Β σταθμών (ΡΑΕ GeoPortal)



Εικόνα 40: Μέτρια πυκνότητα Φ/Β σταθμών (ΡΑΕ GeoPortal)



Εικόνα 41: Χαμηλή πυκνότητα Φ/Β σταθμών (ΡΑΕ GeoPortal)

Για τον λόγο ότι η πυκνότητα των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών πάρκων δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την χώρα, θα δοθεί προτεραιότητα στις περιοχές με τους λιγότερους εγκατεστημένους σταθμούς ΑΠΕ. Με άλλα λόγια, οι περιοχές εκείνες με την μεγαλύτερη ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού είναι πιο προτιμητέες από τις υπόλοιπες.

5.5 Οικονομικά κριτήρια

Επειδή η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου αποτελεί μία οικονομική επένδυση, είναι απαραίτητο, κατά την πολυκριτηριακή ανάλυση, να ληφθούν υπόψιν και οικονομικά κριτήρια, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι οι οικονομικές επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά συστήματα διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο (Δαμιανίδης, 2010).

5.5.1 Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Eurostat (2023), το κόστος αγοράς γης της Ελλάδας ποικίλλει ανάλογα με την περιφέρεια. Οι εν λόγω τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιφέρεια	Κόστος αγοράς γης (€/στρέμμα)	Περιφέρεια	Κόστος αγοράς γης (€/στρέμμα)
Ανατ. Μακεδονίας - Θράκης	797,3	Δυτικής Ελλάδας	1763,4
Κεντρ. Μακεδονίας	983,7	Ιονίων νησιών	900
Δυτικής Μακεδονίας	655	Στερεάς Ελλάδας	2098,2
Ηπείρου	1934,6	Αττικής	6260,7
Θεσσαλίας	1292,7	Πελοποννήσου	2375,3
Βορείου Αιγαίου	3792,6	Νοτίου Αιγαίου	5566,4
Κεντρ. Ελλάδα	1651,6	Κρήτης	2379,4

Πίνακας 10: Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα και περιφέρεια της Ελλάδας (Eurostat, 2023)

Από τον παραπάνω πίνακα, προκύπτει ότι το υψηλότερο κόστος αγοράς γης είναι αυτό της περιφέρειας Αττικής, ενώ το χαμηλότερο είναι αυτό της περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Όσο

χαμηλότερο είναι το κόστος αγοράς της γης που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού, τόσο πιο προτιμητέα είναι η έκταση της γης αυτής. Για τον λόγο αυτόν, το κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα είναι ένα κριτήριο που θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.

5.5.2 Οικονομικά οφέλη

Η ενεργειακή παραγωγή από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο συνεπάγεται και κάποιο οικονομικό όφελος. Με άλλα λόγια, όσο περισσότερη είναι η ενέργεια που παράγεται από έναν φωτοβολταϊκό σταθμό, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το οικονομικό κέρδος από την παραγόμενη ενέργεια. Η παραγόμενη ενέργεια από το πάρκο εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την εγκατεστημένη ισχύ του, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατεστημένη ισχύς, τόσο μεγαλύτερη είναι και η οικονομική παραγωγή (mp energy). Ένας άλλος παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η παραγωγή είναι και οι ώρες ηλιοφάνειας του έτους, για τις οποίες έγινε αναφορά σε προηγούμενη ενότητα. Αυτό ισχύει, διότι κατά τις ώρες ηλιοφάνειας, τα φωτοβολταϊκά πάνελ δέχονται ηλιοφάνεια, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ώρες του έτους, και άρα, τότε είναι που παράγουν ενέργεια.

Τα οικονομικά κέρδη είναι ένα κριτήριο το οποίο, κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί.

5.6 Σύνοψη των κριτηρίων που θα μεγιστοποιηθούν και αυτών που θα ελαχιστοποιηθούν

Από τα κριτήρια που θα ληφθούν υπόψιν για την λύση του προβλήματος, παρουσιάζονται παρακάτω τα κριτήρια που θα μεγιστοποιηθούν (που θα λάβουν, δηλαδή, το πρόσημο (+) στην εξίσωση (1)) και τα κριτήρια που θα ελαχιστοποιηθούν (τα οποία, αντίστοιχα, στην εξίσωση (1) θα λάβουν το πρόσημο (-)):

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΘΑ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΘΟΥΝ		ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΥ ΘΑ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΘΟΥΝ
Ηλιακή ακτινοβολία	Οικονομικά κέρδη	Όχληση από τις αντανακλάσεις
Ανάγκη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου	Κλιματική ζώνη	Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα
Ενεργειακή παραγωγή	Απόσταση από κατοικημένη περιοχή	Επιφάνεια έκτασης

Πίνακας 11: Κριτήρια που θα μεγιστοποιηθούν και που θα ελαχιστοποιηθούν (ίδια επεξεργασία)

5.7 Παραδοχές

Για την ευκολότερη επίλυση του προβλήματος, το φωτοβολταϊκό πάρκο που θα χωροθετηθεί, θα έχει εγκατεστημένη ισχύ ίση με 100 kW. Με βάση αυτό, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα προκληθούν από το πάρκο θα θεωρηθούν ίδιες και δεν θα ληφθούν ως κριτήριο. Ακόμα, επειδή πρόκειται για φωτοβολταϊκό πάρκο 100 kW, τα κόστη αρχικής επένδυσης, αδειοδότησης και συντήρησής τους θα θεωρηθούν ίσα μεταξύ τους και επίσης δεν θα ληφθούν ως κριτήρια πολυκριτηριακής ανάλυσης. Παρ' όλα αυτά, για τον υπολογισμό των οικονομικών κερδών από την παραγωγή ενέργειας, η τιμή πώλησης θα θεωρηθεί ίση με 0,075 €/kWh (Green System)

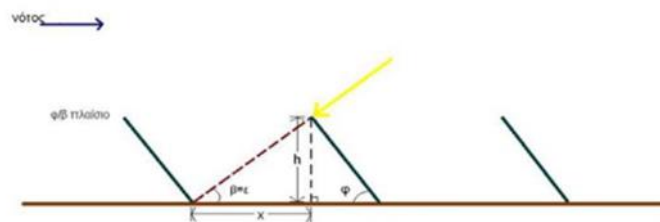
Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι διαστάσεων 158cm x 80,8cm, τάσης 24V, αποδιδόμενη ισχύς 200W και μονοκρυσταλλικά, της Amerisolar (Olympic Engineering & Consulting). Για την συγκρότηση του φωτοβολταϊκού σταθμού, θα χρειαστούν 500 τέτοια πάνελ.

Επειδή, λόγω της ισχύος των 100 kW, ο απαιτούμενος αριθμός πάνελ θα είναι ο ίδιος και δεν θα ληφθεί ως κριτήριο.



Εικόνα 42: Φωτοβολταϊκό πάνελ 200W (Aria Shop)

Ακόμα, ο προσανατολισμός όλων των πάνελ θα θεωρηθεί Νότιος, καθώς η Ελλάδα βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο της Γης, και η γωνία τοποθέτησης των πάνελ σε σχέση με το έδαφος θα είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής πάνω στην οποία θα εγκατασταθεί το πάρκο. Η γωνία τοποθέτησης αυτή θεωρείται η βέλτιστη (Παπαχριστοδούλου, 2014) και από αυτή θα εξαρτηθεί το πόση θα είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές συστοιχίες και άρα, το πόση θα είναι η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια που χρειάζεται το φωτοβολταϊκό πάρκο για να εγκατασταθεί. Εφόσον οι συστοιχίες χωριστούν από αυτή ή μεγαλύτερη απόσταση, οι σκιάσεις θα ελαχιστοποιηθούν. Για τον λόγο αυτόν, οι σκιάσεις δεν θα ληφθούν ως κριτήριο πολυκριτηριακής ανάλυσης.



Εικόνα 43: Γωνία τοποθέτησης Φ/Β πάνελ και σκιάσεις (Παπαχριστοδούλου, 2014)

Τέλος, ανεξάρτητα από την τοποθεσία εγκατάστασης του πάρκου, ο βαθμός απόδοσης των πάνελ που το συγκροτούν και ο συντελεστής φορτίου (Capacity Factor) του (Καλδέλλης και Καββαδίας, 2001), θα θεωρηθούν σταθεροί. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής φορτίου των φωτοβολταϊκών θα θεωρηθεί ίσος με 30%, για να μπορεί να υπολογιστεί η ενεργειακή παραγωγή του φωτοβολταϊκού σταθμού κατά τις ώρες ηλιοφάνειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Εφαρμογή

Στο κεφάλαιο αυτό, θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για να βρεθεί το βέλτιστο σημείο για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού, όπως αυτή περιγράφεται στην ενότητα 1.5. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, συγκεντρώθηκαν ήδη τα κριτήρια πολυκριτηριακής ανάλυσης που θα ληφθούν υπόψιν. Επίσης, έχουν ήδη καθοριστεί τα κριτήρια που θα μεγιστοποιηθούν και αυτά που θα ελαχιστοποιηθούν (βλ. ενότητα 5.6).

Στο κεφάλαιο αυτό, λοιπόν, θα εφαρμοστούν τα υπόλοιπα βήματα της μεθοδολογίας. Με την ιεράρχηση των κριτηρίων, θα παρουσιαστεί σχετικός πίνακας, από τον οποίο θα προσδιοριστεί η βαρύτητα κάθε κριτηρίου. Μετά από το στάδιο αυτό, θα επιλεγεί ένα πλήθος διαφορετικών περιφερειών εντός της Ελλάδας, οι οποίες θα είναι υποψήφιες για την χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού και θα παρουσιαστεί σε πίνακα το γεωγραφικό τους πλάτος, από το οποίο θα προσδιοριστεί και η γωνία τοποθέτησης των πάνελ, ώστε να υπολογιστεί η ελάχιστη απαιτούμενη έκταση.

Σε συνέχεια του υπολογισμού της ελάχιστης απαιτούμενης έκτασης, θα επιλεγεί από μία έκταση γης σε κάθε περιφέρεια (η οποία θα ξεπερνάει την ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια) και θα συλλεχθούν ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία για κάθε κριτήριο και περιοχή. Μετά από αυτό, τα στοιχεία αυτά θα κανονικοποιηθούν (θα αναχθούν δηλαδή σε μία τάξη μεγέθους). Οι κανονικοποιημένες τιμές θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο του σταθμισμένου αθροίσματος, σε συνδυασμό με τις βαρύτητες των κριτηρίων. Τέλος, με την εφαρμογή του μοντέλου του σταθμισμένου αθροίσματος, τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν σε έναν συνοπτικό πίνακα, από τον οποίο θα προκύψει η κατάταξη των λύσεων, και άρα, η βέλτιστη λύση.

Συνοπτικά, τα περιεχόμενα του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα διεργασιών:



Διάγραμμα διεργασιών 2: Μεθοδολογία επίλυσης του προβλήματος (ίδια επεξεργασία)

6.1 Προσδιορισμός της βαρύτητας των κριτηρίων με την μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης

Με την χρήση της μεθόδου της Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP), η ιεράρχηση των κριτηρίων αναμεταξύ τους παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

	Ηλιακή ακτινοβολία	Ανάγκη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου	Όχληση από τις αντανακλάσεις	Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα	Ενεργειακή παραγωγή	Οικονομικά κέρδη	Επιφάνεια έκτασης	Απόσταση από κατοικημένη περιοχή	Κλιματική ζώνη	Σύνολο	Ποσοστιαία βαρύτητα
Ηλιακή ακτινοβολία	1	0,5	0,25	0,25	0,33	1	0,2	0,33	5	8,86	7,16%
Ανάγκη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου	2	1	0,33	0,25	1	3	1	0,5	4	13,08	10,57%
Όχληση από τις αντανακλάσεις	4	3	1	1	2	3	1	3	5	23,00	18,59%
Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα	4	4	1	1	4	1	2	1	5	23,00	18,59%
Ενεργειακή παραγωγή	3	1	0,5	0,25	1	1	0,5	0,5	4	11,75	9,50%
Οικονομικά κέρδη	1	0,33	0,33	1	1	1	0,5	1	4	10,16	8,21%
Επιφάνεια έκτασης	5	1	1	0,5	2	2	1	1	3	16,50	13,34%
Απόσταση από κατοικημένη περιοχή	3	2	0,33	1	2	1	1	1	3	14,33	11,59%
Κλιματική ζώνη	0,2	0,25	0,2	0,2	0,25	0,25	0,33	0	1	3,01	2,43%
									Αθροιστικό σύνολο:	123,69	100%

Πίνακας 12: Ιεράρχηση των κριτηρίων (ίδια επεξεργασία)

Οι βαθμολογίες ιεράρχησης όλων των κριτηρίων αναμεταξύ τους, πραγματοποιήθηκε με την χρήση ακεραίων αριθμών από το 1 έως το 5, όπως φαίνεται και στον πίνακα 1.

Η συνολική βαθμολογία κάθε κριτηρίου, όπως αυτή παρουσιάζεται στην προτελευταία στήλη του πίνακα 13 προκύπτει με το άθροισμα των αριθμών κάθε γραμμής, που αντιστοιχεί σε κάθε κριτήριο. Ως παράδειγμα υπολογισμού θα χρησιμοποιηθούν οι αριθμοί της γραμμής που αντιστοιχούν στο κριτήριο της ηλιακής ακτινοβολίας:

$$\sum \text{Ηλιακή ακτινοβολία} = 1 + 1 + 0,5 + 0,25 + 0,25 + 0,33 + 1 + 0,2 + 0,33 + 5 = \mathbf{9,86}$$

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η συνολική βαθμολογία καθενός από τα υπόλοιπα κριτήρια (βλ. Παράρτημα).

Για να προσδιοριστεί η ποσοστιαία βαρύτητα κάθε κριτηρίου, θα χρειαστεί να αθροιστούν οι συνολικές βαθμολογίες για όλα τα κριτήρια (καταλήγοντας έτσι σε ένα αθροιστικό σύνολο, όπως αυτό παρουσιάζεται στον πίνακα 13) και μετά, κάθε συνολική βαθμολογία για κάθε κριτήριο θα πρέπει να διαιρεθεί με το αθροιστικό σύνολο. Το τελευταίο υπολογίζεται ως εξής: Αθροιστικό σύνολο = 9,86 + 10,83 + 15,08 + 24 + 25 + 13,75 + 12,16 + 18,5 + 17,33 + 3,21 = **149,72**

Για τον προσδιορισμό της ποσοστιαίας βαρύτητας των κριτηρίων, ως παράδειγμα υπολογισμού θα ληφθεί η βαρύτητα του κριτηρίου της ηλιακής ακτινοβολίας:

$$W_{\text{Ηλιακή ακτινοβολία}} = \frac{9,86}{149,72} = 0,0659 \text{ ή } \mathbf{6,59\%}$$

Με την ίδια εξίσωση υπολογίζεται η ποσοστιαία βαρύτητα και των υπόλοιπων κριτηρίων (βλ. Παράρτημα).

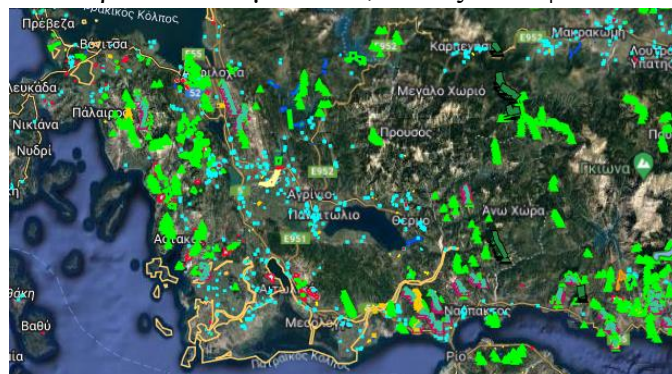
6.2 Επιλογή ευρύτερων υποψήφιων περιοχών για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου

Οι ευρύτερες περιοχές που επιλέχθηκαν για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού είναι ο νομός ο νομός Αιτωλοακαρνανίας, ο νομός Έβρου, ο νομός Ηρακλείου και η Ρόδος. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα τοπολογικά ανάγλυφα κάθε περιοχής, συνοδευόμενα από εικόνες με ήδη εγκατεστημένους σταθμούς ΑΠΕ:



Εικόνα 44: Ανάγλυφο νομού Αιτωλοακαρνανίας (ArcGIS)

Ο νομός Αιτωλοακαρνανίας φαίνεται ότι είναι η πιο ορεινή περιοχή εκ των τεσσάρων. Αυτό περιορίζει τα σημεία που μπορούν να επιλεγούν για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού, με αποτέλεσμα η επιλογή σημείου να είναι δύσκολη. Εκτός αυτού, υπάρχουν ήδη αρκετά σημεία στα οποία έχουν ήδη εγκατασταθεί αρκετοί σταθμοί ΑΠΕ, καθώς αυτό φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



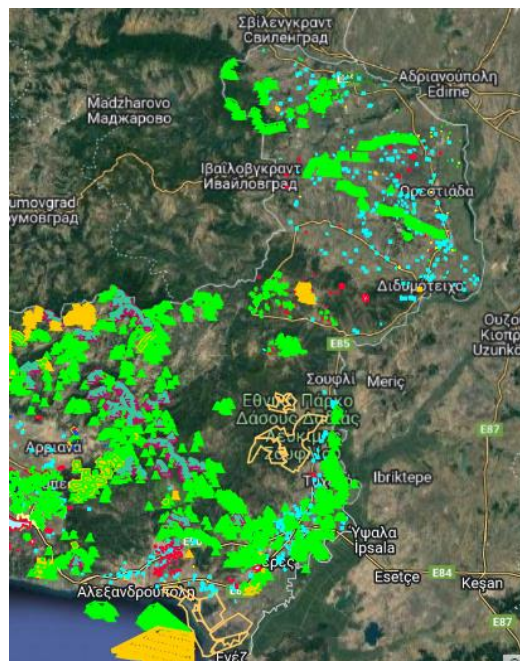
Εικόνα 45: Σταθμοί ΑΠΕ στον νομό Αιτωλοακαρνανίας (PAE GeoPortal)

Για τον λόγο ότι υπάρχουν ήδη αρκετοί σταθμοί ΑΠΕ στον νομό Αιτωλοακαρνανίας, η ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού εκεί δεν είναι μεγάλη.



Εικόνα 46: Ανάγλυφο νομού Έβρου (ArcGIS)

Από την εικόνα 46, μπορεί να ειπωθεί ότι ο νομός Έβρου είναι η λιγότερο ορεινή περιοχή εκ των τεσσάρων. Άρα, η επιλογή σημείου για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού δεν είναι τόσο περιορισμένη όσο στον νομό Αιτωλοακαρνανίας. Όμως, στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ότι υπάρχουν πολλοί εγκατεστημένοι σταθμοί ΑΠΕ, που σημαίνει ότι η ανάγκη εγκατάστασης ενός ακόμα σταθμού είναι χαμηλή:



Εικόνα 47: Σταθμοί ΑΠΕ στον νομό Έβρου (PAE GeoPortal)



Εικόνα 48: Ανάγλυφο νομού Ηρακλείου (ArcGIS)

Παρατηρείται ότι το ορεινό κομμάτι του νομού Ηρακλείου είναι κατανεμημένο έτσι, ώστε η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού να είναι εύκολη μόνο στο νότιο κομμάτι του νομού. Ακόμα, στην παρακάτω εικόνα, παρατηρείται ότι υπάρχουν ήδη αρκετοί εγκατεστημένοι σταθμοί ΑΠΕ, γεγονός που σημαίνει ότι η ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού δεν είναι μεγάλη:

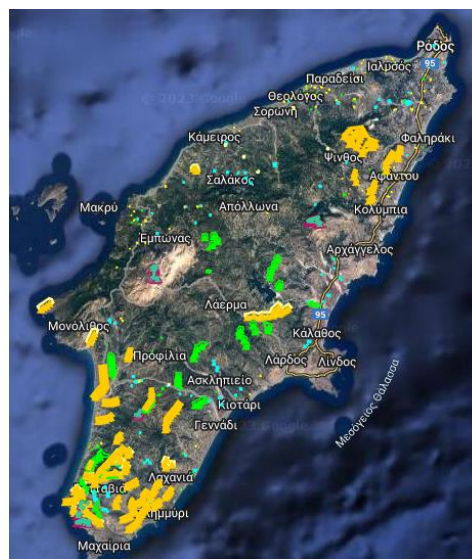


Εικόνα 49: Σταθμοί ΑΠΕ στον νομό Ηρακλείου (PAE GeoPortal)



Εικόνα 50: Ανάγλυφο Ρόδου (ArcGIS)

Στην εικόνα 50, παρατηρείται ότι η Ρόδος είναι επί το πλείστον ένα ορεινό νησί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυσκολία επιλογής σημείου για εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, παρ' όλο που υπάρχουν αρκετοί εγκατεστημένοι σταθμοί ΑΠΕ, η Ρόδος είναι η περιοχή εκ των τεσσάρων με τους λιγότερους εγκατεστημένους φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Άρα, η ανάγκη εγκατάστασης ενός τέτοιου σταθμού στην Ρόδο είναι η μεγαλύτερη εκ των τεσσάρων επιλεγμένων περιοχών.



Εικόνα 501: Σταθμοί ΑΠΕ στην Ρόδο (ΡΑΕ GeoPortal)

6.3 Υπολογισμός της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας συναρτήσει της γωνίας τοποθέτησης

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας πάνω στην οποία θα εγκατασταθεί το πάρκο (βλ. εικόνα 42), θα ακολουθηθεί η παρακάτω μεθοδολογία:



Διάγραμμα διεργασιών 3: Υπολογισμός ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας (ίδια επεξεργασία)

Τα γεωγραφικά πλάτη των περιοχών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή	Γεωγρ. Πλάτος φ (μοίρες)
N. Αιτωλ/νίας	38,62
N. Έβρου	40,85
N. Ηρακλείου	35,33
Ρόδος	36,4

Πίνακας 13: Γεωγραφικά πλάτη των επιλεγμένων περιοχών (TOTEE 20701-3/2010)

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης απαιτούμενης έκτασης για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου, ως παράδειγμα υπολογισμών θα ληφθεί ο N. Αιτωλοακαρνανίας (για τις υπόλοιπες περιοχές, οι υπολογισμοί εμφανίζονται στο Παράρτημα).

6.3.1 Υπολογισμός του ύψους h

Το ύψος h (βλ. εικόνα 43) μπορεί να υπολογιστεί με βάση την εξίσωση: $\sin(\varphi) = \frac{h(m)}{1,58 m}$ (2) όπου 1,58 m είναι η διάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν (βλ. ενότητα 5.6). Η εξίσωση (2), ως προς το ύψος h, γίνεται: $h(m) = \sin(\varphi) * 1,58 m$. Αν $\varphi=38,62^\circ$, τότε: $h = \sin(38,62^\circ) * 1,58 m = 0,624 * 1,58 m \approx 0,98 m$.

6.3.2 Υπολογισμός της απόστασης x

Θεωρώντας ότι η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει κάθετα στα πάνελ και ότι όλες οι συστοιχίες των εν σειρά συνδεδεμένων πάνελ θα τοποθετηθούν σε γωνία φ (βλ. εικόνα 41), η γωνία που θα σχηματιστεί από την ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος, β (βλ. εικόνα 41), θα είναι ίση με: $\beta = 180^\circ - 90^\circ - \varphi \Rightarrow \beta = 90^\circ - \varphi$ (3). Συνεπώς, στην περίπτωση του N. Αιτωλοακαρνανίας, η γωνία β είναι: $\beta = 90^\circ - \varphi = 90^\circ - 38,62^\circ = 51,38^\circ$.

Για τον υπολογισμό της γωνίας x, όπως φαίνεται στην εικόνα 41, θα χρειαστεί η εξίσωση: $\tan(\beta) = \frac{h(m)}{x(m)}$ (4). Λύνοντας την εξίσωση (4) ως προς x, για τον νομό Αιτωλοακαρνανίας, θα ισχύει: $x(m) = \frac{h(m)}{\tan(\beta)} \Rightarrow x = \frac{0,98 m}{\tan(51,38^\circ)} = \frac{0,98 m}{1,25} = 0,79 m$.

6.3.3 Υπολογισμός του σκιαζόμενου μήκους από τα πάνελ και άθροισμά του με την απόσταση x

Το σκιαζόμενο μήκος από τα πάνελ, έστω L, (βλ. εικόνα 41) υπολογίζεται από την σχέση: $\cos(\varphi) = \frac{L(m)}{1,58 m}$ (5). Λύνοντας ως προς L, θα ισχύει: $L(m) = \cos(\varphi) * 1,58 m$. Εφόσον $\varphi = 38,62^\circ$, το σκιαζόμενο μήκος από την συστοιχία των εν σειρά πάνελ θα είναι: $L(m) = \cos(38,62^\circ) * 1,58 m = 0,78 * 1,58 m = 1,23 m$. Επομένως, η ελάχιστη

απαιτούμενη απόσταση ανάμεσα σε δύο παράλληλες συστοιχίες θα είναι:
 $L + x = 1,23 \text{ m} + 0,79 \text{ m} = 2,02 \text{ m}$.

6.3.4 Υπολογισμός των ελάχιστων απαιτούμενων διαστάσεων και της ελάχιστης απαιτούμενης έκτασης

Επειδή το πάρκο θα έχει δυναμικότητα 100 kW και θα χρησιμοποιηθούν πάνελ ισχύος 200 kW έκαστο, απαιτούνται $\frac{100000}{200} = 500$ πάνελ. Τα πάνελ αυτά μπορούν να συστοιχηθούν σε 25 συστοιχίες, αποτελούμενες από 20 πάνελ συνδεδεμένα εν σειρά. Ακόμα, επειδή το πλάτος των πάνελ είναι 0,808 m, το πλάτος του πάρκου θα είναι τουλάχιστον $0,808 \text{ m} * 20 = 16,16 \text{ m}$. Με την σειρά του, το μήκος του πάρκου θα είναι $2,02 \text{ m} * 25 = 50,56 \text{ m}$. Συνεπώς, η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια πάνω στην οποία θα εγκατασταθεί ο φωτοβολταϊκός σταθμός θα είναι ίση με: $16,16 \text{ m} * 50,56 \text{ m} = 816,99 \text{ m}^2$ ή $\approx 0,82$ στρ.

6.3.5 Πίνακας αποτελεσμάτων

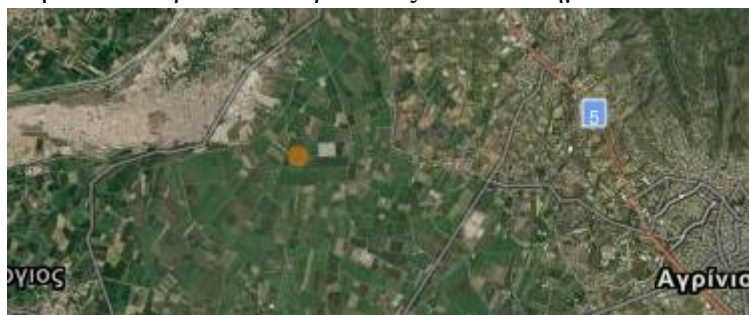
Με την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας και για τις υπόλοιπες περιοχές (βλ. Παράρτημα), προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Περιοχή	Γεωγρ. Πλάτος φ (μοίρες)	Υψος h (m)	Μήκος σκιαζόμενο από συστοιχία (m)	Γωνία ακτινοβολίας-εδάφους, β (rad)	Απόσταση x (m)	Άθροισμα σκιαζόμενου μήκους και απόστασης x (m)	Ελάχιστο απαιτούμενο μήκος πάρκου (m)	Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια πάρκου (στρ.)
N. Αιτωλ/νίας	38,62	0,99	1,23	0,90	0,79	2,02	50,56	0,82
N. Έβρου	40,85	1,03	1,20	0,86	0,89	2,09	52,22	0,84
N. Ηρακλείου	35,33	0,91	1,29	0,95	0,65	1,94	48,42	0,78
Ρόδος	36,4	0,94	1,27	0,94	0,69	1,96	49,07	0,79

Πίνακας 14: Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια (ίδια επεξεργασία)

6.4 Επιλογή των εκτάσεων γης των υποψήφιων περιοχών για χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου

Για την χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού, επιλέχθηκε μία έκταση γης σε κάθε περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο προσανατολισμός των πάνελ που θα συγκροτήσουν το πάρκο είναι νότιος, όπως έχει θεωρηθεί στην ενότητα 5.6. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σημεία αυτά:



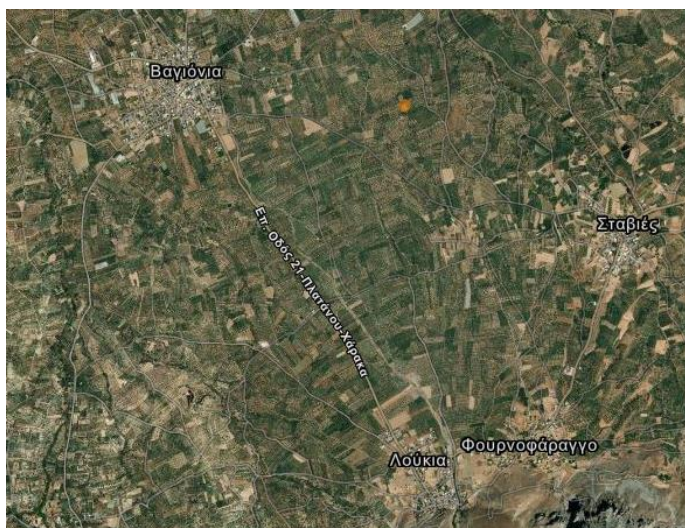
Εικόνα 512: Επιλεγμένο σημείο στον νομό Αιτωλ/νίας (ArcGIS)

Όπως παρατηρείται στην παραπάνω εικόνα, το σημείο που επιλέχθηκε στον νομό Αιτωλοακαρνανίας δεν έχει κάποια κατοικημένη περιοχή Νότια του. Συνεπώς, δεν προκαλείται όχληση των κατοίκων περιοχών από αντανάκλασεις.



Εικόνα 52: Επιλεγμένο σημείο στον νομό Έβρου (ArcGIS)

Όπως στην εικόνα 52, έτσι και στην εικόνα 53, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει κατοικημένη περιοχή Νότια του επιλεγμένου σημείου. Συνεπώς και εδώ δεν θα υπάρξει όχληση από τις αντανακλάσεις.



Εικόνα 53: Επιλεγμένο σημείο στον νομό Ηρακλείου (ArcGIS)

Το σημείο που επιλέχθηκε στον νομό Ηρακλείου, έχει Νότιά του δύο κατοικημένες περιοχές: Τα Λούκια και το Φουρνοφάραγγο. Για τον λόγο αυτόν, οι οχλήσεις των κατοίκων από τις αντανακλάσεις που προκαλούνται από τα πάνελ δεν είναι αμελητέες.



Εικόνα 54: Επιλεγμένο σημείο στην Ρόδο (ArcGIS)

Από την εικόνα 55, παρατηρείται ότι το επιλεγμένο σημείο δεν έχει στα Νότια του κάποια κατοικημένη περιοχή, που σημαίνει ότι δεν θα υπάρξει όχληση από τις αντανάκλασεις.

6.5 Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα κριτηρίων

Το ηλιακό δυναμικό κάθε μίας από τις πέντε επιλεγμένες περιοχές παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα²:

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (kWh/m ²)				
	Ν. Αιτωλοακαρνανίας	Ν. Έβρου	Ν. Ηρακλείου	Ρόδος
ΙΑΝ	63,5	50,7	65,6	69,9
ΦΕΒ	78,3	68,9	81,6	85,1
ΜΑΡ	119,4	107,3	125	130,8
ΑΠΡ	148,4	141,8	166,5	164
ΜΑΪ	189,9	182,8	207,3	203
ΙΟΥΝ	214,1	205,8	222,4	217,2
ΙΟΥΛ	224,2	211,6	227,1	225,1
ΑΥΓ	200,3	192,3	207	204,3
ΣΕΠ	151,3	144,2	163	158,9
ΟΚΤ	109,8	99,4	117,3	120,2
ΝΟΕ	69,8	57,8	78,6	79,2
ΔΕΚ	55,1	43,7	61,2	61,2
ΕΤΗΣΙΑ	1624,1	1506,3	1722,6	1718,9

Πίνακας 15: Μέση μηνιαία και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία των επιλεγμένων περιοχών (ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010)

Ακόμα, οι περιοχές που επιλέχθηκαν ανήκουν σε διαφορετικές περιφέρειες της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, ο Ν. Αιτωλοακαρνανίας ανήκει στην περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας, ο Ν. Έβρου στην περιφέρεια Ανατ. Μακεδονίας – Θράκης, ο Ν. Ηρακλείου στην περιφέρεια Κρήτης και η Ρόδος στην

² Η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία προκύπτει από το άθροισμα των μέσων μηνιαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε επιλεγμένη περιοχή (δηλ. το άθροισμα των αριθμών κάθε στήλης του πίνακα 16).

περιφέρεια Δωδεκανήσου. Συνεπώς, σύμφωνα με τον πίνακα 11, το κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα στις εν λόγω περιοχές θα είναι:

Περιοχή	Κόστος αγοράς γης (€/στρέμμα)
Ν. Αιτωλοακαρνανίας	1763,4
Ν. Έβρου	797,3
Ν. Ηρακλείου	2379,4
Ρόδος	5566,4

Πίνακας 16: Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα επιλεγμένων περιοχών (ίδια επεξεργασία)

Δεδομένου ότι το φωτοβολταϊκό πάρκο που θα εγκατασταθεί θα έχει ισχύ 100 kW, μπορεί να υπολογιστεί η ενεργειακή παραγωγή του πάρκου. Για αυτό, θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση $E = P * \Delta t * CF$ (6), όπου E είναι η ενεργειακή παραγωγή, P είναι η εγκατεστημένη ισχύς του πάρκου (δηλαδή 100 kW), Δt είναι οι ώρες ηλιοφάνειας ανά έτος και CF είναι ο συντελεστής φορτίου όλων των πάνελ, ο οποίος έχει θεωρηθεί ίσος με 30% (βλ. ενότητα 5.7).

Σύμφωνα με τον Τσαβδάρη (2020) οι ώρες ηλιοφάνειας που παρουσίασε κάθε περιοχή παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή	Ώρες ηλιοφάνειας (Δt)
Ν. Αιτωλ/νίας	2625
Ν. Έβρου	2794,3
Ν. Ηρακλείου	2838,3
Ρόδος	3043,2

Πίνακας 17: Ώρες ηλιοφάνειας ανά περιοχή (Τσαβδάρης, 2020)

Ως παράδειγμα υπολογισμού θα ληφθεί η ενεργειακή παραγωγή του πάρκου, αν αυτό εγκατασταθεί στον νομό Αιτωλοακαρνανίας:

$$E_{\text{Αιτωλοακαρνανίας}} = P * \Delta t * CF = 100 \text{ kW} * 2625 * 0,3 = 78750 \text{ kWh}$$

Εφαρμόζοντας την σχέση (6) για τις υπόλοιπες περιοχές (βλ. Παράρτημα), προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Περιοχή	Ενεργειακή παραγωγή (kWh)
Ν. Αιτωλ/νίας	78750
Ν. Έβρου	83829
Ν. Ηρακλείου	85149
Ρόδος	91296

Πίνακας 18: Ενεργειακή παραγωγή του φωτοβολταϊκού σταθμού ανάλογα με την περιοχή (ίδια επεξεργασία)

Για τον υπολογισμό των οικονομικών κερδών από το πάρκο, ανάλογα με την περιοχή στην οποία θα εγκατασταθεί, θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση: $\text{Κέρδη} = E * 0,075 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ (7), όπου $0,075 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ είναι η τιμή πώλησης της ενέργειας, για την οποία γίνεται αναφορά στην ενότητα 5.6.

Για την περίπτωση του νομού Αιτωλοακαρνανίας, τα οικονομικά κέρδη θα είναι:
 $78750 \text{ kWh} * 0,075 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 5906,25 \text{ €}$.

Με την εφαρμογή της εξίσωσης (7) και στις υπόλοιπες περιοχές (βλ. Παράρτημα), προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Περιοχή	Οικονομικά κέρδη
Ν. Αιτωλ/νίας	5906,25
Ν. Έβρου	6287,18
Ν. Ηρακλείου	6386,18
Ρόδος	6847,2

Πίνακας 19: Οικονομικά κέρδη ανά περιοχή (ίδια επεξεργασία)

Τα εμβαδά των εκτάσεων που επιλέχθηκαν, ένα σε κάθε περιοχή, παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 55: Έκταση γης στον νομό Αιτωλοακαρνανίας (ArcGIS)



Εικόνα 567: Έκταση γης στον νομό Έβρου (ArcGIS)

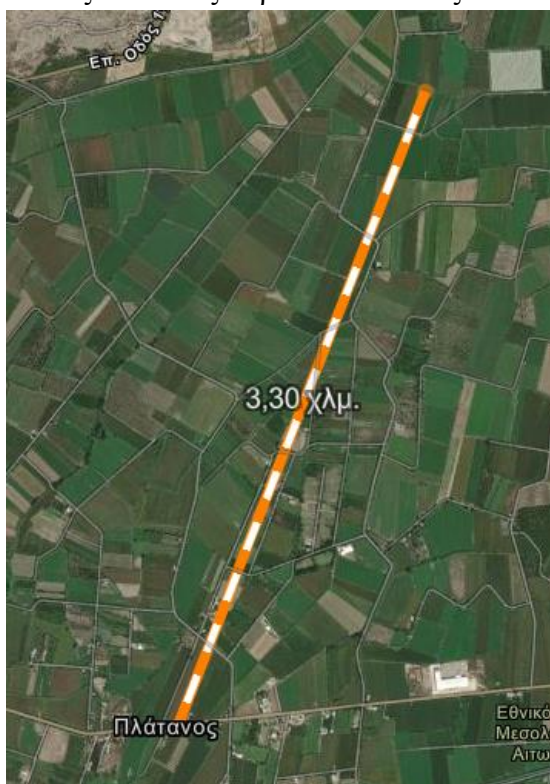


Εικόνα 578: Έκταση γης στον νομό Ηρακλείου (ArcGIS)



Εικόνα 59: Έκταση γης στην Ρόδο (ArcGIS)

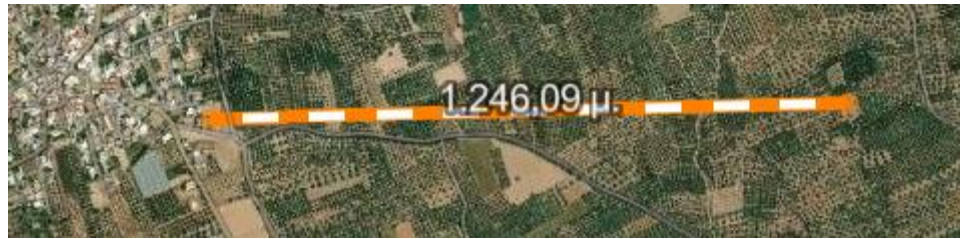
Οι αποστάσεις των επιλεγμένων σημείων από την πλησιέστερη σε αυτά κατοικημένη περιοχή κάθε περιοχής που επιλέχθηκε, παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



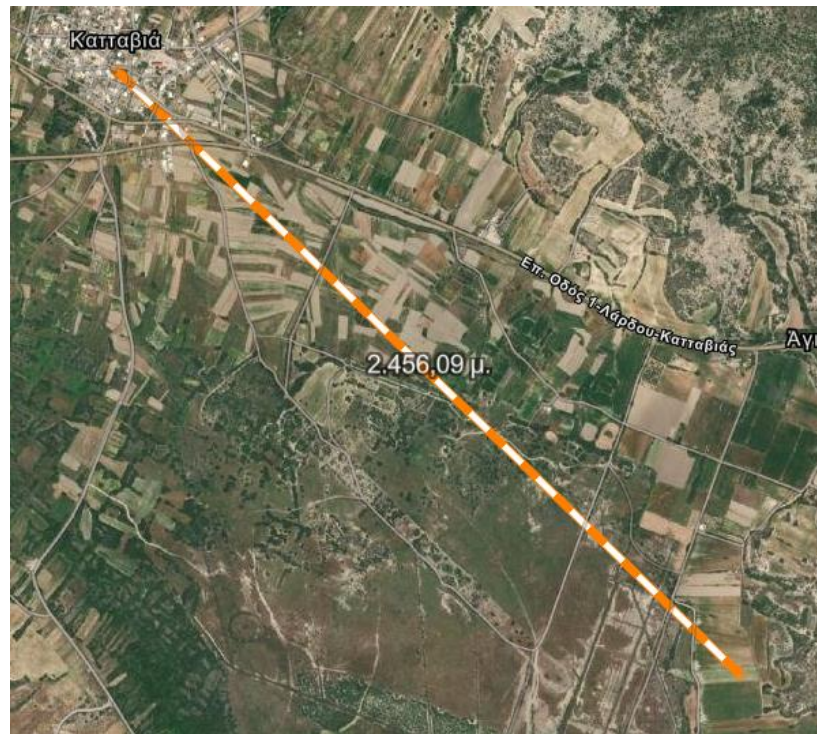
Εικόνα 60: Απόσταση του επιλεγμένου σημείου από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή - νομός Αιτωλοακαρνανίας (ArcGIS)



Εικόνα 61: Απόσταση του επιλεγμένου σημείου από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή - νομός Έβρου (ArcGIS)



Εικόνα 62: Απόσταση του επιλεγμένου σημείου από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή - νομός Ηρακλείου (ArcGIS)



Εικόνα 583: Απόσταση του επιλεγμένου σημείου από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή - Ρόδος (ArcGIS)

Τέλος, βάσει της TOTEE 20701-3/2010, η κλιματική ζώνη στην οποία ανήκει κάθε επιλεγμένη περιοχή, παρουσιάζεται παρακάτω:

Περιοχή	Κλιματική ζώνη
N. Αιτωλοακαρνανίας	B'
N. Έβρου	Γ'
N. Ηρακλείου	A'
Ρόδος	A'

Πίνακας 20: Κλιματική ζώνη επιλεγμένων περιοχών (TOTEE 20701-3/2010)

Με την συλλογή όλων των ποσοτικών και ποιοτικών στοιχείων που αφορούν τα κριτήρια πολυκριτηριακής ανάλυσης που λήφθηκαν υπόψιν, παρακάτω παρουσιάζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με όλα τα στοιχεία κάθε κριτηρίου, για κάθε περιοχή:

	Ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ²)	Ανάγκη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου	Όχληση από τις αντανάκλασεις	Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα (€/στρ)	Ενεργειακή παραγωγή (kWh)	Οικονομικά κέρδη (€)	Επιφάνεια έκτασης (στρ)	Απόσταση από κατοικημένη περιοχή (km)	Κλιματική ζώνη
N. Αιτωλ/νίας	1624,1	Χαμηλή	OXI	1763,4	78750	5906,25	1	3,3	B'
N. Έβρου	1506,3	Χαμηλή	OXI	797,3	83829	6287,2	1,01	1,37	Γ'
N. Ηρακλείου	1722,6	Μέτρια	ΝΑΙ	2379,4	85149	6386,18	0,84	1,25	A'
Ρόδος	1718,9	Υψηλή	OXI	5566,4	91296	6847,2	1,17	2,46	A'

Πίνακας 21: Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων των κριτηρίων για κάθε περιοχή (ίδια επεξεργασία)

Προτού γίνει κανονικοποίηση των στοιχείων του πίνακα 21, είναι απαραίτητο να ποσοτικοποιηθούν τα στοιχεία που αφορούν το κριτήριο της ανάγκης εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πάρκου, της όχλησης από τις αντανάκλασεις και της κλιματικής ζώνης. Για την ποσοτικοποίηση των εν λόγω στοιχείων, θα χρειαστούν οι παρακάτω πίνακες:

ΑΝΑΓΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ	
Βαθμολογία	Ερμηνεία
1	Χαμηλή
2	Μέτρια
3	Υψηλή

Πίνακας 22: Ποσοτικοποίηση των στοιχείων του κριτηρίου της ανάγκης εγκατάστασης Φ/Β πάρκου (ίδια επεξεργασία)

ΟΧΛΗΣΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ	
Βαθμολογία	Ερμηνεία
0	OXI
1	ΝΑΙ

Πίνακας 23: Ποσοτικοποίηση των στοιχείων του κριτηρίου της όχλησης από τις αντανάκλασεις (ίδια επεξεργασία)

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	
Βαθμολογία	Ερμηνεία
1	Γ'
2	B'
3	A'

Πίνακας 24: Ποσοτικοποίηση των στοιχείων του κριτηρίου της κλιματικής ζώνης (ίδια επεξεργασία)

Με την ποσοτικοποίηση των κριτηρίων βάσει των πινάκων 22, 23 και 24, ο πίνακας που προκύπτει είναι ο εξής:

	Ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ²)	Ανάγκη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου	Όχληση από τις αντανάκλασεις	Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα (€/στρ)	Ενεργειακή παραγωγή (kWh)	Οικονομικά κέρδη (€)	Επιφάνεια έκτασης (στρ)	Απόσταση από κατοικημένη περιοχή (km)	Κλιματική ζώνη
Ν. Αιτωλ/νίας	1624,1	1	0	1763,4	78750	5906,25	1	3,3	2
Ν. Έβρου	1506,3	1	0	797,3	83829	6287,2	1,01	1,37	1
Ν. Ηρακλείου	1722,6	2	1	2379,4	85149	6386,18	0,84	1,25	3
Ρόδος	1718,9	3	0	5566,4	91296	6847,2	1,17	2,46	3
Σύνολο:	6571,9	7	1	10506,5	339024	25426,83	4,02	8,38	9

Πίνακας 25: Συνοπτικός πίνακας των στοιχείων κάθε κριτηρίου και επιλεγμένης περιοχής, ποσοτικοποιημένος (ίδια επεξεργασία)

6.6 Κανονικοποίηση των δεδομένων

Η κανονικοποίηση των στοιχείων που παρουσιάζονται στον πίνακα 25, πραγματοποιείται με την διαίρεση κάθε στοιχείου που αντιστοιχεί στην στήλη με το άθροισμα της στήλης. Εάν στον πίνακα 25 προστεθεί μία επιπλέον γραμμή με τα αθροίσματα των αριθμών κάθε στήλης, ο πίνακας που προκύπτει είναι ο παρακάτω³:

	Ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m ²)	Ανάγκη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου	Όχληση από τις αντανάκλασεις	Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα (€/στρ)	Ενεργειακή παραγωγή (kWh)	Οικονομικά κέρδη (€)	Επιφάνεια έκτασης (στρ)	Απόσταση από κατοικημένη περιοχή (km)	Κλιματική ζώνη
Ν. Αιτωλ/νίας	1624,1	1	0	1763,4	78750	5906,25	1	3,3	2
Ν. Έβρου	1506,3	1	0	797,3	83829	6287,2	1,01	1,37	1
Ν. Ηρακλείου	1722,6	2	1	2379,4	85149	6386,18	0,84	1,25	3
Ρόδος	1718,9	3	0	5566,4	91296	6847,2	1,17	2,46	3
Σύνολο:	6571,9	7	1	10506,5	339024	25426,83	4,02	8,38	9

Πίνακας 26: Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων των κριτηρίων με το άθροισμα κάθε στήλης (ίδια επεξεργασία)

Διαιρώντας κάθε στοιχείο κάθε στήλης με το άθροισμα της στήλης (ως παράδειγμα υπολογισμού θα ληφθεί το στοιχείο που αφορά στην ηλιακή ακτινοβολία στον νομό Αιτωλοακαρνανίας), θα ισχύει:

$$\frac{1624,1 \frac{kWh}{m^2}}{6571,9 \frac{kWh}{m^2}} \approx 0,25.$$

Εφαρμόζοντας την διαίρεση αυτή για όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

	Ηλιακή ακτινοβολία	Ανάγκη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου	Όχληση από τις αντανάκλασεις	Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα	Ενεργειακή παραγωγή	Οικονομικά κέρδη	Επιφάνεια έκτασης	Απόσταση από κατοικημένη περιοχή	Κλιματική ζώνη
Ν. Αιτωλ/νίας	0,25	0,14	0	0,17	0,23	0,23	0,25	0,39	0,22
Ν. Έβρου	0,23	0,14	0	0,08	0,25	0,25	0,25	0,16	0,11
Ν. Ηρακλείου	0,26	0,29	1	0,23	0,25	0,25	0,21	0,15	0,33
Ρόδος	0,26	0,43	0	0,53	0,27	0,27	0,29	0,29	0,33
Σύνολο:	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Πίνακας 27: Κανονικοποιημένος πίνακας των στοιχείων (ίδια επεξεργασία)

6.7 Αξιολόγηση όλων των λύσεων με το μοντέλο του σταθμισμένου αθροίσματος

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου του σταθμισμένου αθροίσματος (βλ. εξίσωση (1)), ως βαρύτητες (μεταβλητή w_i) θα ληφθούν οι ποσοστιαίες βαρύτητες των κριτηρίων, όπως αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 12. Ως μεταβλητές $F_i(x)$ θα ληφθούν όλες οι τιμές κάθε γραμμής (εκτός της τελευταίας) του πίνακα 27. Τέλος, τα κριτήρια που θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν (βλ. ενότητα 5.6) είναι η όχληση από τις αντανάκλασεις, το κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα και η επιφάνεια έκτασης.

³Η τελευταία γραμμή του πίνακα προκύπτει από το άθροισμα των αριθμών κάθε στήλης του.

Ως παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου του σταθμισμένου αθροίσματος, θα ληφθεί η επιλεγμένη περιοχή στον νομό Αιτωλοακαρνανίας:

$$U_{\text{Αιτωλοακαρνανίας}} = \sum_{i=1}^k w_i F_i(x) = w_{\text{Ηλ. Ακτ.}} F_{\text{Ηλ.Ακτ.}} + w_{\text{Αν. Εγκ.}} F_{\text{Αν. Εγκ}} - w_{\text{Όχλ.}} F_{\text{Όχλ}} - w_{\text{Κόστος γης}} F_{\text{Κόστος γης}} + w_{\text{Εν. Παρ.}} F_{\text{Εν. Παρ.}} + w_{\text{Οικ. Κέρδη}} F_{\text{Οικ. Κέρδη}} - w_{\text{Επιφ.}} F_{\text{Επιφ.}} + w_{\text{Απόστ.}} F_{\text{Απόστ.}} + w_{\text{Κλ. Ζώνη}} F_{\text{Κλ. Ζώνη}} = 0,0659 * 0,25 + 0,1007 * 0,14 - 0,1603 * 0 - 0,167 * 0,17 + 0,0918 * 0,23 + 0,0812 * 0,23 - 0,1236 * 0,25 + 0,1157 * 0,39 + 0,0214 * 0,22 = 0,062$$

6.8 Αποτελέσματα

Με την εφαρμογή του μοντέλου του σταθμισμένου αθροίσματος και για τις υπόλοιπες περιοχές (βλ. Παράρτημα), τα αποτελέσματα που προκύπτουν, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Περιοχή	Τελική βαθμολογία
N. Αιτωλ/νίας	0,062
N. Έβρου	0,05
N. Ηρακλείου	-0,11
Ρόδος	0,024

Πίνακας 28: Τελική βαθμολογία των λύσεων (ίδια επεξεργασία)

Επειδή η τελική βαθμολογία του σημείου στον νομό Αιτωλοακαρνανίας είναι η μεγαλύτερη εκ των τεσσάρων, το σημείο αυτό είναι το βέλτιστο (Odu και Charles-Owaba, 2013). Για να γίνει περισσότερο αντιληπτός ο λόγος για τον οποίο συνέβη αυτό, παρατίθεται παρακάτω ένα διάγραμμα στηλών, στο οποίο παρίσταται η ιεράρχηση της βαρύτητας των κριτηρίων:



Διάγραμμα 4: Ιεράρχηση της βαρύτητας των κριτηρίων (ίδια επεξεργασία)

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρατηρείται ότι το κριτήριο με την μεγαλύτερη βαρύτητα είναι αυτό του κόστους αγοράς γης ανά στρέμμα. Ο νομός Έβρου, εφόσον ανήκει στην αποκεντρωμένη διοίκηση Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης, έχει το χαμηλότερο κόστος αγοράς γης ανάμεσα στις τέσσερις περιοχές, όπως φαίνεται και στον πίνακα 16. Όμως, όπως φαίνεται στον πίνακα 21, ο νομός Αιτωλοακαρνανίας έχει μεγαλύτερη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία από τον νομό Έβρου και ανήκει σε θερμότερη κλιματική ζώνη. Εκτός αυτού, η απόσταση του σημείου που επιλέχθηκε εντός του νομού Αιτωλοακαρνανίας από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή έχει απόσταση σχεδόν δυόμιση φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την εν λόγω απόσταση από το σημείο στον νομό Έβρου, ενώ το κριτήριο της απόστασης από κατοικημένη περιοχή είναι το τέταρτο κριτήριο με την μεγαλύτερη βαρύτητα. Ακόμα, η επιφάνεια στον νομό Αιτωλοακαρνανίας (πάνω στην οποία θα χωροθετηθεί το φωτοβολταϊκό πάρκο) είναι μικρότερη από αυτή στον νομό Έβρου. Στο διάγραμμα 4, όμως, το κριτήριο της επιφάνειας έκτασης είναι το τρίτο κριτήριο με την μεγαλύτερη βαρύτητα. Με λίγα λόγια, το επιλεγμένο σημείο στον νομό Αιτωλοακαρνανίας υπερνικά το σημείο στον νομό Έβρου σε κριτήρια με μεγαλύτερες βαρύτητες από τα κριτήρια στα οποία το σημείο στον νομό Έβρου υπερνικά το σημείο στον νομό Αιτωλοακαρνανίας.

Ο λόγος για τον οποίο το σημείο στο Ηράκλειο Κρήτης βγήκε το χειρίστο, ίσως είναι το ότι είναι το μόνο επιλεγμένο σημείο στο οποίο θα υπάρξει όχληση από τις αντανάκλασεις (οι οποίες, σαν κριτήριο, έχουν την δεύτερη μεγαλύτερη βαρύτητα). Εκτός αυτού, το κόστος αγοράς γης στην Κρήτη είναι σχετικά υψηλό, αλλά όχι τόσο όσο αυτό της Ρόδου (βλ. πίνακα 16). Παρ' όλα αυτά, η Ρόδος υπερνίκησε το Ηράκλειο Κρήτης, διότι σύμφωνα με τον πίνακα 17, εμφανίζει περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας ετησίως και έχει μεγαλύτερη ανάγκη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού (που σαν κριτήριο, έχει μία αρκετά σημαντική βαρύτητα). Ακόμα, το σημείο που επιλέχθηκε στην Ρόδο χωρίζεται από αρκετά μεγαλύτερη απόσταση από την πλησιέστερη κατοικημένη περιοχή σε σύγκριση με αυτό στην Κρήτη (που είναι το τέταρτο κριτήριο με την μεγαλύτερη βαρύτητα) και είναι πιο οικονομικά κερδοφόρα, λόγω μεγαλύτερης ενεργειακής παραγωγής. Όμως, το σημείο στη Ρόδο έλαβε την τρίτη θέση, λόγω του υψηλού κόστους αγοράς γης (που είναι το κριτήριο με την μεγαλύτερη βαρύτητα) και λόγω του ότι η έκταση που επιλέχθηκε είναι η μεγαλύτερη όλων (η οποία είναι το τρίτο κριτήριο με την μεγαλύτερη βαρύτητα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μια διαδικασία εύρεσης σημείου ικανού για χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Προτού ξεκινήσει η εν λόγω διαδικασία, όμως, έγινε πρώτα μία γενική εισαγωγή στις ΑΠΕ, συνοδευόμενη από αναφορά στους εθνικούς και στους ευρωπαϊκούς στόχους για στροφή σε αυτές. Έπειτα, περιεγράφηκε η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εύρεση του σημείου πάνω στο οποίο θα εγκατασταθεί ο φωτοβολταϊκός σταθμός.

Σε συνέχεια των παραπάνω, παρουσιάστηκαν κάποιες πληροφορίες ειδικά για την ηλιακή ενέργεια, μαζί με κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ύστερα, παρατέθηκαν κάποιες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών πάρκων, ακολουθούμενες από τις επιδοτήσεις. Ακόμα, παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν κάποια στατιστικά στοιχεία που αφορούν την μέση ισχύ φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα.

Μετά τις πληροφορίες αυτές για τα φωτοβολταϊκά πάρκα, έγινε μία αναφορά στο πρόβλημα της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού πάρκου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκαν μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν για το πρόβλημα της χωροθέτησης (σε γενικά πλαίσια), μαζί με τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται κατά την χωροθέτηση φωτοβολταϊκού σταθμού. Μετά από αυτά, παρουσιάστηκε η διαδικασία αδειοδότησης εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού, ακολουθούμενη από κοινωνικές αντιδράσεις που υπήρξαν στο παρελθόν. Ύστερα, παρουσιάστηκαν τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα εντός της Ελλάδας και εντός της Ευρώπης.

Πρόσθετα, παρουσιάστηκαν κάποιες πληροφορίες για την μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης, ενώ στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν κάποιες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται. Μετά από τις πληροφορίες αυτές, παρουσιάστηκαν και περιεγράφηκαν τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψιν κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης και εφαρμόστηκε η μεθοδολογία για την οποία έγινε περιγραφή στην εισαγωγή.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικότερα στάδια της εργασίας:



Διάγραμμα διεργασιών 4: Βασικά σημεία της εργασίας (ίδια επεξεργασία)

7.1 Κατάταξη της τελικής βαθμολογίας των σημείων που επιλέχθηκαν

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης, η τελική βαθμολογία των περιοχών που επιλέχθηκαν, έχει την παρακάτω κατάταξη:

Περιοχή	Τελική βαθμολογία	Κατάταξη
Ν. Αιτωλνίας	0,062	1 ^η
Ν. Έβρου	0,05	2 ^η
Ρόδος	0,024	3 ^η
Ν. Ηρακλείου	-0,11	4 ^η

Πίνακας 29: Κατάταξη των σημείων (ίδια επεξεργασία)

Από την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης που εφαρμόστηκε για την επίλυση του προβλήματος της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού, η βέλτιστη λύση βρέθηκε να είναι το επιλεγμένο σημείο στον νομό Αιτωλοακαρνανίας. Το αποτέλεσμα αυτό όμως, προέκυψε με βάση συγκεκριμένα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψιν και συγκεκριμένη ιεράρχησή τους. Ακόμα, το σημείο στον νομό Αιτωλοακαρνανίας συγκρίθηκε με άλλα τρία. Αυτό σημαίνει ότι θα μπορούσαν είτε να είχαν ληφθεί άλλα κριτήρια, είτε τα κριτήρια που ήδη λήφθηκαν υπόψιν να είχαν ιεραρχηθεί αλλιώς, είτε να είχαν ληφθεί περισσότερα σημεία (χωρίς απαραίτητα να συμπεριλαμβάνονται αυτά που εξετάστηκαν σε αυτή την εργασία), είτε να είχε χρησιμοποιηθεί ακόμα και διαφορετική μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης, είτε κάποιος συνδυασμός των παραπάνω. Με τις αλλαγές αυτές, είναι δυνατόν ως βέλτιστη λύση να χαρακτηριστεί κάποιο άλλο σημείο, αντί αυτού που επιλέχθηκε στον νομό Αιτωλοακαρνανίας. Είναι δυνατόν, επίσης, παρ' όλες τις αλλαγές που προαναφέρθηκαν, να κριθεί πάλι το σημείο στον νομό Αιτωλοακαρνανίας ως το βέλτιστο. Σε κάθε περίπτωση πάντως, το σημείο χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού που θα κριθεί βέλτιστο, εξαρτάται τόσο από τα κριτήρια που θα ληφθούν υπόψιν, την ιεράρχησή τους και την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθεί, όσο και από το πλήθος και την ταυτότητα των περιοχών που θα εξεταστούν.

7.2 Επόμενα βήματα – Εξέλιξη της εργασίας

Στην παρούσα εργασία, βρέθηκε ένα βέλτιστο σημείο για το πρόβλημα της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού. Σαν επόμενο βήμα, θα μπορούσε κανείς να επιλέξει μία βέλτιστη τεχνολογία με την οποία θα λειτουργεί το πάρκο, δηλαδή να γίνει μία πολυκριτηριακή ανάλυση για την επιλογή τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών πάνελ που θα το συγκροτήσουν. Ακόμα, ως εξέλιξη της παρούσας εργασίας, θα μπορούσε να είναι πάλι η χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου, αλλά χωρίς τον περιορισμό σε μία μόνο ισχύ. Με άλλα λόγια, θα μπορούσε να βρεθεί βέλτιστο σημείο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου, συμπεριλαμβάνοντας όχι μόνο πάρκα ισχύος 100 kW, αλλά και πάρκα ισχύος 200, 300, 400 και 500 kW. Τέλος, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί διαφορετική μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης για να βρεθεί βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- 12ο ΕΘΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, «ΟΙ ΑΠΟΨΕΙΣ ΚΑΤΟΙΚΩΝ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΛΙΓΝΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ ΤΟΥ 2019», 2021 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://ikee.lib.auth.gr/record/297850/files/ALVANOYEE_607.pdf) (Ανακτήθηκε στις 7 Μαΐου 2023)
- agro24, «Πλήθος προβλημάτων από την προώθηση μεγάλων επενδύσεων φωτοβολταϊκών σε δασικές εκτάσεις και βοσκότοπους», 2021 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/plithos-provlimaton-apo-tin-proothisi-megalon-ependyseon>) (Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2023)
- Agronews, «Έως 10.000 ευρώ ανά αγρότη η επιδότηση για φωτοβολταϊκά, μπαταρίες», 2023 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.agronews.gr/programmata/ependuseis/205267/eos-10000-ana-agroti-i-epidotisi-gia-fotovoltaika-sta-adliostasia/>) (Ανακτήθηκε στις 29 Απριλίου 2023)
- ARIA SHOP (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://ariashop.gr/solar-panel/278--panel-200w.html>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- BUSINESS DAILY, «Στην ΤΕΡΝΑ «πέρασε» το φωτοβολταϊκό πάρκο της ΔΕΗ σε Μεγαλόπολη», 2021 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://www.businessdaily.gr/epiheiriseis/43236_stin-terna-perase-fotovoltaiko-parko-tis-dei-se-megalopoli) (Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2023)
- chalpin.gr, «Φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 2 MW στο Ν. Θεσπρωτίας» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.chalpin.gr/project/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C-%CF%80%CE%AC%CF%81%CE%BA%CE%BF-%CE%B9%CF%83%CF%87%CF%8D%CE%BF%CF%82-2-mw-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CE%BD-%CE%B8%CE%B5%CF%83%CF%80/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- cres.gr, «ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΩΡΟΣ (ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ)» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos_iliakos_xoros.htm) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- CRETALIVE NEWS 2019, «Οικότοπος προτεραιότητας ο ποταμός Κοιλιάρης», Ηράκλειο 23 Σεπτεμβρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.cretalive.gr/kriti/oikotopos-proteraiotitas-o-potamos-koiliaris>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- digital solutions, ««Εξοικονομώ» για επιχειρήσεις – Επιδότηση έως 500.000 ευρώ», 2023 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://digital-solutions.gr/eksoikonomo-epixeiriseis-epidotisi-fotovoltaika/>) (Ανακτήθηκε στις 29 Απριλίου 2023)
- ELECTROSUN HELLAS, «Φωτοβολταϊκό πάρκο 150kw στην Παλέστρα Φλώρινας» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://electrosun.gr/fotovoltaiko-parko-150kw-stin-palestra-florinas/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Energy Intel 2021, «Φωτοβολταϊκά συστήματα: καταρρίπτουμε τους 8 πιο συχνούς μύθους», 6 Αυγούστου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.energyintel.com.cy/fotovoltaika-systimata-katarriptoume-tous-8-pio-sychnous-mythous/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- energypress 2023, «Για "δυνατούς λύτες" η χωροθέτηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας», 13 Μαρτίου, προβολή 14 Μαΐου 2023, <https://energypress.gr/news/gia-dynatoys-lytes-i-horothetisi-ton-ananeosimon-pigon-energeias>

- energypress 2023, «Ερώτηση ΣΥΡΙΖΑ για πλωτό φωτοβολταϊκό σε υγροβιότοπο της Μαγνησίας», 8 Φεβρουαρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://energypress.gr/news/erotisi-syriza-gia-ploto-fotovoltaiko-se-ygrobio-topo-tis-magnisias>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- energypress, «Σε λειτουργία από την Iberdrola το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Ευρώπη - 590 MW και ρεύμα σε 334,000 νοικοκυριά», 2022 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://energypress.gr/news/se-leitoyrgia-apo-tin-iberdrola-megalytero-fotovoltaiko-parko-stin-eyropi-590-mw-kai-reυμα-se>) (Ανακτήθηκε στις 3 Μαΐου 2023)
- energypress, «Σε λειτουργία το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο της Ευρώπης», 2015 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://energypress.gr/news/se-leitoyrgia-megalytero-fotovoltaiko-parko-tis-eyropis>) (Ανακτήθηκε στις 3 Μαΐου 2023)
- ergasia-press.gr, «Δράμα: Φωτοβολταϊκό πάρκο στην Προσοτσάνη από τη Macquarie με 60 εκ. ευρώ» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://ergasia-press.gr/drama-fotovoltaiko-parko-stin-prosotsani-apo-ti-macquarie-me-60-ek-evro/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- EURACTIV 2020, «Στην Κοζάνη το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο της χώρας», 17 Φεβρουαρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.euractiv.gr/section/energia/news/stin-kozani-to-megalytero-fotovoltaiko-parko-tis-choras/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- FREE SUNDAY 2020, «Το χρονοδιάγραμμα των πληρωμών (πίνακας)», 6 Απριλίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://freesunday.gr/ellada/item/35383-to-chronodiagramma-twn-plhrwmwn-pinakas>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Green System, «Φωτοβολταϊκά για αγρότες» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.fotovoltaika-systems.gr/fotovoltaika-gia-agrotes/>) (Ανακτήθηκε στις 26 Μαΐου 2023)
- greenagenda.gr 2017, «ΜΕΓΑΛΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ», 29 Νοεμβρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://greenagenda.gr/%CE%BC%CE%B5%CE%B3%CE%AC%CE%BB%CE%B1-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AC-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Harrison A. και van Hoek R., «Logistics, μάνατζμεντ & στρατηγική, 2η ανανεωμένη έκδοση», Εκδόσεις Rosili, Αθήνα, 2021
- HELIOSYSTEMS 2022, «Φωτοβολταϊκά πάρκα» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CF%81%CE%BA%CE%B1/>) (Ανακτήθηκε στη 1 Ιουνίου 2023)
- left.gr 2015, «Γαλλία: Σε λειτουργία το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Ευρώπη», 26 Νοεμβρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://left.gr/news/gallia-se-leitoyrgia-megalytero-fotovoltaiko-parko-stin-eyropi>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- mp energy, «ΠΡΟΣΦΟΡΕΣ ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΡΚΑ – TIMEΣ» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.mp-energy.gr/%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B5%CF%83/%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%BA%CE%B1.html>) (Ανακτήθηκε στις 31 Μαρτίου 2023)
- NEWSBOMB 2023, «Ανακυκλώνω - Αλλάζω Θερμοσίφωνα: Συνεχίζονται οι αιτήσεις στο allazothermosifona.gov.gr», 31 Μαΐου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.newsbomb.gr/oikonomia/story/1432587/anakyklono-allazo-thermosifona-synexizontai-oi-aitiseis-sto-allazothermosifona-gov-gr>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Newsroom 2022, «Iberdrola: Βάζει στην «πρίζα» το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στην Ευρώπη (pic)», 14 Αυγούστου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.newmoney.gr/roh/palmos->

- oikonomias/energeia/iberdrola-vazi-stin-priza-to-megalitero-fotovolteko-parko-stin-evropi-pic/) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Newsroom 2023, «Στο Ελ. Βενιζέλος το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό 16 MW για αυτοπαραγωγή», 5 Απριλίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://energymag.gr/news/energeia/ape/sto-el-venizelos-to-megalytero-fotovoltaiko-gia-aftoparagogi/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Offsite news 2019, «Μειώθηκε η έκταση καλλιεργειών κόκας στην Κολομβία», 3 Αυγούστου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.offsite.com.cy/eidiseis/diethni/meiothike-i-ektasi-kalliergeion-kokas-stin-kolombia>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Olympic Engineering & Consulting, «Αυτόνομα φωτοβολταϊκά – Έτοιμα κιτ», Πύργος Ηλείας (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.oleng.eu/autonoma-fotovoltaika-systimata/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Olympic Engineering & Consulting, «Φωτοβολταϊκά πάνελ 24V τιμές – διαστάσεις», Πύργος Ηλείας (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.oleng.eu/fvtoboltaika-panel-24v-aytonoma/>) (Ανακτήθηκε στις 18 Μαΐου 2023)
- Olympic engineering & Consulting, «Φωτοβολταϊκό Πάρκο 100kWp με Trackers στον Πύργο Ηλείας» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.oleng.eu/fotovoltaiko-parko-100kwp-trackers-pyrgos-iliias/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- REPORT24, «Σκάλα: Το δεύτερο μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο της χώρας 70 MW», 2011 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.report24.gr/skala-to-deftero-megalitero-fwtovoltaiko-parko-tis-xwras-70-mw/>) (Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2023)
- THE POWER GAME 2021, «Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο της χώρας ανήκει σε 500 οικογένειες», 5 Μαΐου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.powergame.gr/green-power/66145/to-megalytero-fotovoltaiko-parko-tis-choras-anikei-se-500-oikogeneies/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Weather Online, προβολή 18 Ιουνίου 2023, <https://www.weatheronline.gr/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2020&LMM=12&LYY=2020&WMO=16627&CONT=grgr®ION=0005&LAND=G07&ART=SOS&R=0&NOREGION=0&LEVEL=162&LANG=gr&MOD=tab>
- weebly.com, «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://fwtovoltaikaa.weebly.com/phiomegatauomicronbetaomicronlambdataualphaiotakappaomicron-sigmatauomicroniotachiepsiloniotaomicron-epsilonphialpharhomuomicrongammaepsilonsigma.html>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- WORLD ENERGY NEWS 2023, «Enel: Φωτοβολταϊκές διπλής όψεως στο μεγαλύτερο αγροβολταϊκό πάρκο της Ιταλίας 170 MW», 27 Μαρτίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.worldenergynews.gr/ananeosimes/articles/542916/enel-kataskevazei-to-megalytero-agrovoltaiko-ergo-tis-italias-pou-tha-filoksenei-kalliergeies>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- WORLD ENERGY NEWS, «Enel: Φωτοβολταϊκές διπλής όψεως στο μεγαλύτερο αγροβολταϊκό πάρκο της Ιταλίας 170 MW», 2023 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.worldenergynews.gr/ananeosimes/articles/542916/enel-kataskevazei-to-megalytero-agrovoltaiko-ergo-tis-italias-pou-tha-filoksenei-kalliergeies>) (Ανακτήθηκε στις 3 Μαΐου 2023)
- WWF 2020, «ΠΕΡΙΟΧΕΣ NATURA» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://www.wwf.gr/ti_kanoume/fysh/prostaeuomenes_perioxes/perioxes_natura/) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- WWF 2022, «Πρόταση για μία νέα χωροταξία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα», προβολή 6 Μαΐου 2023, <https://www.wwf.gr/?uNewsID=8221291>
- Αλβανού, Αδαμαντία, «ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ», 2016 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://ikee.lib.auth.gr/record/297850/files/ALVANOUYEE_607.pdf) (Ανακτήθηκε στις 7 Μαΐου 2023)

- Αμπατζίδης, Χαράλαμπος, «ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΟΥΣΕΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ: Η περίπτωση του Δήμου Αμυνταίου», 2022 (Προσβάσιμη από τον παρακάτω σύνδεσμο: http://ikee.lib.auth.gr/record/337621/files/AMPATZIDHS_DE.pdf?version=1) (Ανακτήθηκε στις 23 Μαρτίου 2023)
- Αντζουλάτος, Άγγελος, «Τραπεζική – Τάσεις (Πριν) & Προοπτικές (Μετά την Κρίση)», 2011 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://bankfin.unipi.gr/wp-content/uploads/2007/06/Banking-Trends-amp-Prospects.pdf>) (Ανακτήθηκε στις 28 Μαρτίου 2023)
- Βοριαζίδης, Θεόδωρος, «Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών Πάρκων με τη Χρήση Γεωπληροφοριακών Συστημάτων (GIS)», 2018 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://apothesis.eap.gr/archive/item/80443>) (Ανακτήθηκε στις 10 Ιανουαρίου 2023)
- Βουτσαδάκης, Κ. 2018, «ΕΛΠΕ: Μεγάλο φωτοβολταϊκό πάρκο στους Σοφάδες Καρδίτσας», 5 Δεκεμβρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://ecopress.gr/elpe-fotovoltaiko-parko-mamouth-stous/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Γάλλου, Παρασκευή, «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΤΕΓΗ», 2011 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://libguides.library.usyd.edu.au/ld.php?content_id=50827391) (Ανακτήθηκε στις 5 Μαΐου 2023)
- Γιώργος Τσαβδάρης, «Στατιστικά Ηλιοφάνειας για την Ελλάδα», 2020 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.meteology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto>) (Ανακτήθηκε στις 27 Απριλίου 2023)
- Δαμιανίδης, Κωνσταντίνος, «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΟΦΕΛΟΥΣ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ», 2010 (Προσβάσιμη από τον ακόλουθο σύνδεσμο: <http://ikee.lib.auth.gr/record/125877/files/GRI-2011-6284.pdf>) (Ανακτήθηκε στις 31 Μαρτίου 2023)
- ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ, προβολή 18 Ιουνίου 2023, http://www.emy.gr/emy/el/agriculture/agriculture_city
- ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ online 2014, «225.264 φωτοβολταϊκά σε "πάρκο" στη Μεγαλόπολη», 8 Απριλίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://eleftheriaonline.gr/local/oikonomia/item/35741-fotovoltaika-megalopoli>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ Online 2023, «Επιπλέον 400 στρέμματα για επενδύσεις στη Μεγαλόπολη», (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://eleftheriaonline.gr/local/politiki/aftodioikisi/perifereia/item/287504-eripleon-400-stremmata-gia-ependyseis-sti-megalopoli>) (Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2023)
- ΕΛΣΤΑΤ, «ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΠΙΝΑΚΑ Ι», 2000 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.statistics.gr/documents/20181/4fd151d1-325c-4f77-b92f-1c83aea7c2e0>) (Ανακτήθηκε στις 28 Απριλίου 2023)
- Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, «Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας», 2022 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/70/renewable-energy>) (Ανακτήθηκε στις 4 Μαΐου 2023)
- ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ 1986, «ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 1650 Για την προστασία του περιβάλλοντος», ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ, Αρ. φύλλου 160, σσ. 3257-3272, 16 Οκτωβρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/269310/nomos-1650-1986>) (Ανακτήθηκε στις 30 Μαΐου 2023)
- ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ 2010, «ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3851 Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ, Αρ. φύλλου 85, σσ. 1753-1780, 4 Ιουνίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο:

- <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/55724/nomos-3851-2010>) (Ανακτήθηκε στις 30 Μαΐου 2023)
- ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ 2020, «ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4685 Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ, Αρ. φύλλου 92, 7 Μαΐου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/618405/nomos-4685-2020>) (Ανακτήθηκε στις 30 Μαΐου 2023)
- ΗΜΕΡΗΣΙΑ, «Αεροδρόμιο «Ελ. Βενιζέλος»: Σε λειτουργία το νέο φωτοβολταϊκό πάρκο 16 MW», 2023 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://www.imerisia.gr/epiheiriseis/70163_aerodromio-el-benizelos-se-leitourgia-neo-fotovoltaiko-parko-16-mw) (Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2023)
- Θεοδοσιάδης, Εμμανουήλ, «ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΛΩΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ», 2020 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: http://ikee.lib.auth.gr/record/325416/files/THEODOSIADISEMM_EE.pdf) (Ανακτήθηκε στις 13 Μαΐου 2023)
- Θεριού, Μπέλλα, «Κοζάνη: Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στη Νοτιοανατολική Ευρώπη», 2022 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.ertnews.gr/roi-idiseon/kozani-to-megalytero-fotovoltaiko-parko-sti-notioanatoliki-eyropi/>) (Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2023)
- Καλδέλλης Ι. και Καββαδίας Κ., «Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας», Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα, 2001
- Κοντογιάννης, Ανδρέας, «ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΟΜΟΣ ΑΡΤΑΣ», 2013 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/8000/kontogianisa_photovoltaiics.pdf?sequence=1) (Ανακτήθηκε στις 17 Ιανουαρίου 2023)
- Κουρουφέξη, Μ. 2022, «Σχέδια μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων δημιούργησαν υπερκέρδη για λίγους», 17 Ιανουαρίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.alphanews.live/economy/shedia-megalon-fotovoltaikon-parkon-dimioyrgisan-uperkerdi-gia-ligoys>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Κυρατζής, Αντώνης, «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», 2013 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://hellenic-college.gr/wp-content/uploads/works/helcolpedia/projects/energy/production/photovoltaic-kiratzis-2013.pdf>) (Ανακτήθηκε στις 27 Απριλίου 2023)
- Κωτούλας, Ε. 2020, «Αξιολόγηση και εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με την μέθοδο RIAM στον δήμο Πολυγύρου» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://ikee.lib.auth.gr/record/335545/files/KOTOYLASEYRIP_DE.pdf) (Ανακτήθηκε στις 3 Μαΐου 2023)
- Λιάγγου, Χ. 2023, «Φιλόδοξος στόχος τριπλασιασμού της πράσινης ενέργειας έως το 2030», 17 Ιανουαρίου, προβολή 14 Μαΐου 2023, <https://www.kathimerini.gr/economy/562228726/filodoxos-stochos-triplasiasmoy-tis-prasinis-energeias-eos-to-2030-k/>
- Λυκεσάς, Απόστολος, «Αντιδράσεις για το φαραωνικό φωτοβολταϊκό πάρκο», 2022 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://www.efsyn.gr/ellada/koinonia/327937_antidraseis-gia-faraoniko-fotovoltaiko-parko) (Ανακτήθηκε στις 7 Μαΐου 2023)
- Λυμπούσης, Δημήτριος Νικόλαος, «ΟΙ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΣΥΜΒΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ», 2003 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/1323283/theFile>) (Ανακτήθηκε στις 4 Μαΐου 2023)
- Μαραϊδώνης, Θεόδωρος, «ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΧΗ & ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: Η περίπτωση της Νότιας Εύβοιας», 2008 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο:

- https://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esta/T2/027/10112.pdf) (Ανακτήθηκε στις 7 Μαΐου 2023)
- Μαρινόπουλος, Θεόδωρος, «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕΣΩ ΧΗΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ», 2018 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: file:///C:/Users/-/Downloads/Marinopoulos_Theodoros_Dip_2018.pdf) (Ανακτήθηκε στις 25 Ιουνίου 2023)
- Μούρτζανος, Κώστας, «Επιδότησεις για φωτοβολταϊκά», 2022 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://solarway.gr/epidotiseis-gia-fwtonvoltaika/>) (Ανακτήθηκε στις 29 Απριλίου 2023)
- ΝΑΪΣ, «Φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος έως 20 kW» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: http://www.nais.com.gr/lang_el/projects/view_details/17) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Παπαδημητρίου, Ιωάννα, «Δ.Κοζάνης: Αντιδράσεις για τα 440 στρέμματα φωτοβολταϊκών», 2020 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.aftodioikisi.gr/ota/dimoi/d-kozanis-antidraseis-gia-ta-440-stremmata-fotonvoltaikon/>) (Ανακτήθηκε στις 7 Μαΐου 2023)
- Παπαχριστοδούλου, Παντελεήμων, «ΣΚΙΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ», 2014 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39493/papachristodouloup_photonovoltaics.pdf?sequence=1) (Ανακτήθηκε στις 18 Μαΐου 2023)
- Παυλίδου, Αναστασία, «ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ», 2020 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://hellenicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/22034/PV_PROJECT_LCA-PAVLIDOU.pdf?sequence=1) (Ανακτήθηκε στις 4 Μαΐου 2023)
- ΡΑΕ GeoPortal (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://geo.rae.gr/?lon=25.224047414999205&lat=35.196096775858884&zoom=10>) (Ανακτήθηκε στις 25 Μαΐου 2023)
- Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, «Διαδικασίες αδειοδότησης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων», 2006 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://www.arcmeletitiki.gr/images/uploads/pdf/arc_ape4.pdf) (Ανακτήθηκε στις 4 Μαΐου 2023)
- Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, «Μία “ακτινογραφία” της ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών 2021-2022», 2022 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://helarco.gr/wp-content/uploads/Greek_PV_Market_Snapshot_HELARCO_23Nov2022-1.pdf) (Ανακτήθηκε στις 28 Απριλίου 2023)
- TOTEE 20701-3/2010 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ – Β' ΕΚΔΟΣΗ (Προσβάσιμη από τον ακόλουθο σύνδεσμο: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tpree/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf>) (Ανακτήθηκε στις 18 Μαρτίου 2023)
- Τσοῦτσουρα, Ευγενία, «Η ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΡΙΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. ΑΙΤΙΑ & ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΡΑΠΕΖΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ», 2014 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: http://oceanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2405/log_201400089.pdf?sequence=1) (Ανακτήθηκε στις 28 Μαρτίου 2023)
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας 2022, Ετήσιο σχέδιο δράσης 2023 (επιτελική σύνοψη), προβολή 4 Μαΐου 2023, https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2023/01/%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%A4%CE%95%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%97_%CE%A3%CE%A5%CE%9D%CE%9F%CE%A8%CE%97_%CE%95%CE%A3%CE%94_2023_%CE%A5%CE%A0%CE%95%CE%9D.pdf
- Χασιακός, Α. & Τσινόπουλος, Σ., «Προγραμματισμός διάθεσης πόρων - Οικονομικός προγραμματισμός έργου - Έλεγχος προόδου έργου», ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ, Πανεπιστήμιο Πατρών (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1529/2.4%20%CE%A0%CE%B1%CF%>

81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%83%CE%B7%20IV%20-%20%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AE%20%CF%80%CF%8C%CF%81%CF%89%CE%BD%2C%20%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CF%80%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82%2C%20%CE%AD%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CF%87%CE%BF%CF%82%20%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8C%CE%B4%CE%BF%CF%85%20%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%BF%CF%85.pdf) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)

Χρυσανθοπούλου, Λαλέλα, «ΔΕΗ Ανανεώσιμες: Η ΤΕΡΝΑ ανάδοχος του φωτοβολταϊκού cluster 50 MW στη Μεγαλόπολη», 2021 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.moneyreview.gr/green-economy/33390/dei-ananeosimes-i-terna-anadochos-toy-fotovoltaikoy-cluster-50-mw-sti-megalopoli/>) (Ανακτήθηκε στις 2 Μαΐου 2023)

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Chai, R., Savvaris, A. & Tsourdos, A. 2016, « Fuzzy physical programming for Space Manoeuvr Vehicles trajectory optimization based on hp-adaptive pseudospectral method», Acta Astronautica, vol. 123, σσ. 62-70, Ιούνιος-Ιούλιος, doi: 10.1016/j.actaastro.2016.02.020 (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)

Andrew Turgeon, Elizabeth Morse, 2022, «Solar energy» (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://education.nationalgeographic.org/resource/solar-energy/>) (Ανακτήθηκε στις 27 Απριλίου 2023)

ArcGIS (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html>) (Ανακτήθηκε στις 18 Μαΐου 2023)

Eurostat 2023, «Agricultural land prices by region», 20 Μαρτίου, Eurostat dataset (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/apri_lprc/default/table?lang=en) (Ανακτήθηκε στις 18 Μαΐου 2023)

Kaur, J., Singh, O., Anand, A. & Agarwal, M. 2023, « A goal programming approach for agile-based software development resource allocation», Decision Analytics Journal, vol. 6, Μάρτιος, doi: 10.1016/j.dajour.2022.100146 (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)

Lee, J. S., Hong, S. S., Lee, S. H., Cho, N.C. & Kim, N. H. 1994, « Application of physical modeling, FEM and knowledge-based process planning program to forging process design», Journal of Materials Processing Technology, vol. 45, no. 1-4, σσ. 709-714, doi: 10.1016/0924-0136(94)90422-7

Montgomery County Planning Commission, «What is a solar farm?», 2011 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://www.montcopa.org/DocumentCenter/View/5049/Renewable-Energy_Solar-Farms?bidId=) (Ανακτήθηκε στις 12 Μαρτίου 2023)

Naufal, A., Kurniawati, A. & Hasibuan, M. A. 2016 «Decision support system of SMB telkom university roadshow location prioritization with weighted sum model method», 2016 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering (ICIMECE), Yogyakarta, Indonesia, pp. 107-111, doi: 10.1109/ICIMECE.2016.7910428 (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)

Odu, G. O. και Charles-Owaba, O. E. 2013, « Review of Multi-criteria Optimization Methods – Theory and Applications», IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), vol.3, no. 10, σσ 01-14 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: [A031020114.pdf](https://www.iosrjen.org/A031020114.pdf)) (Ανακτήθηκε στις 14 Μαΐου 2023)

Ozdemir, S. & Sahin, G. 2018, «Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP», Measurement, ScienceDirect, vol. 129, pp. 218-226, προβολή 2 Μαΐου 2023, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224118306134>

Papada, L. & Kaliampakos, D. 2020, «Being forced to skimp on energy needs: A new look at energy poverty in Greece», Energy Research & Social Science, vol. 64, Ιούνιος (Προσβάσιμη από τον

- σύνδεσμο:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S221462962030027X?token=A6406417FB8DB02733392CCD831774B0A4343672C43C6A3454D8B452122A7519BAAA5128F29E5F1FE80ED6865ACD7FC3&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230328121108>) (Ανακτήθηκε στις 28 Μαρτίου 2023)
- Perwira, Y. and Apriani, W. (2020) «Application of Weighted Sum Model (WSM) for Determining Development Priorities in Rural» *Jurnal Teknik Informatika C.I.T Medicom*, 12(2), pp. 72–87. doi: 10.35335/cit.Vol12.2020.37.pp72-87 (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)
- Pesode, P., Barve, S., Wankhede, S. V., Jadhav, D. R. & Pawar, S.K. 2023, «Titanium alloy selection for biomedical application using weighted sum model methodology», *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, no. 3, σσ. 724-728 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322057297?via%3Dihub>) (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)
- pixabay.com, (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://pixabay.com/el/photos/%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%BC%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%BF-%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF-%CE%B2%CE%BF%CF%85%CE%BD%CF%8C-7309713/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Power Technology 2020, «Nunez de Balboa Solar Project, Badajoz», 15 Απριλίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.power-technology.com/projects/nunez-de-balboa-solar-project-badajoz/>) (Ανακτήθηκε στις 3 Ιουνίου 2023)
- Ramanathan, R. 2004, «Multicriteria Analysis of Energy», *Encyclopedia of Energy*, vol. 4, σσ 77-88 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/B012176480X002400?token=C4A267C65CC45D6C109E1302EDB0E2AD312D0B99CA30F8C5C43F5F16550E5CD6BE0C2774A9D52F2F40C787D598474E15&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230514164302>) (Ανακτήθηκε στις 14 Μαΐου 2023)
- Saaty, R. W. 1987, «THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS-WHAT IT IS AND HOW IT IS USED», *Math Modelling*, vol. 9, no. 3-5, σσ. 161-176, (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: https://www.researchgate.net/publication/247759937_The_Analytic_Hierarchy_Process_-_What_It_Is_and_How_It_Is_Used) (Ανακτήθηκε στις 16 Μαΐου 2023)
- Sarkin, A. S., Ekren, N. & Sağlam, Ş. 2020, «A review of anti-reflection and self-cleaning coatings on photovoltaic panels», *Solar Energy, Science Direct*, vol. 199, σσ. 63-73, 15 Μαρτίου (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X20300918>) (Ανακτήθηκε στις 23 Μαρτίου 2023)
- Statnikov, R.B., Bordetsky, A., Statnikov, A. 2005, « Multicriteria analysis of real-life engineering optimization problems: statement and solution», *Nonlinear Analysis*, vol. 63, no. 5-7, σσ 685-696 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0362546X05000428?token=9E4B62EB8B7411BF40A8D6DE97B194E053A5A2B399658382AD908C71E7C21946A610E3CE4F1DDEF532C5CD6DA72EB2A9&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230514172149>) (Ανακτήθηκε στις 14 Μαΐου 2023)
- Wang, Y. & Chin, K. 2008, «A linear goal programming priority method for fuzzy analytic hierarchy process and its applications in new product screening», *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 49, no. 2, σσ. 451-465, Οκτώβριος, doi: 10.1016/j.ijar.2008.04.004 (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)
- Wao, J. O. 2018, «Weighted Product Method in the Value Engineering Process for Construction Project», *International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM)*, vol. 6, no. 12, σσ. 153-161, Δεκέμβριος, DOI: 10.18535/ijprm/v6i12.ec03 (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)

- Wardhani, A. K. & Lutfina. E. 2020, «Application Culinary Decision Support System in Kudus City with Weighted Product Method Based on Mobile Phone», *Journal of Computer Science and Engineering*, vol. 1, no. 1, σσ. 10-16, Φεβρουάριος (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <http://icsejournal.com/index.php/JCSE/>) (Ανακτήθηκε στις 4 Ιουνίου 2023)
- Yatsuka, T., Ishigaki, A., Kinoshita, Y. Yamada, T., Inoue, M. 2019, «Linear Physical Programming Iteration Method of Multi-Player Multi-Objective Decision Making Supply Chain», *Procedia Manufacturing*, vol. 39, σσ. 1649-1657 (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2351978920303401?token=198EBE56EBD89B70A4F0E7EEA4E11D9B432D4F2400739812925A9F4778BB75295AF27249EA42965E0CC155A7A9128E58&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230522093442>) (Ανακτήθηκε στις 22 Μαΐου 2023)
- Yoshitake, J., "solar tracker." *Encyclopedia Britannica*, 2023,17 Μαρτίου, (Προσβάσιμη από τον σύνδεσμο: <https://www.britannica.com/technology/solar-tracker>) (Ανακτήθηκε στις 13 Μαΐου 2023)
- Zambrano-Asanza, S., Quirros-Tortos, J. & Franco, J. F. 2021, «Optimal site selection for photovoltaic power plants using a GIS-based multi-criteria decision making and spatial overlay with electric load», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, προβολή 3 Μαΐου 2023, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121001477>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Υπολογισμός της συνολικής βαθμολογίας των κριτηρίων:

$$\begin{aligned} \sum \text{Ανάγκη εγκατάστασης } \Phi/B &= 2 + 2 + 1 + 0,33 + 0,25 + 1 + 3 + 1 + 0,5 + 4 = \mathbf{15,08} \\ \sum \text{Όχληση από αντανακλάσεις} &= 4 + 1 + 3 + 1 + 1 + 2 + 3 + 1 + 3 + 5 = \mathbf{24} \\ \sum \text{Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα} &= 4 + 2 + 4 + 1 + 1 + 4 + 1 + 2 + 1 + 5 = \mathbf{25} \\ \sum \text{Ενεργειακή παραγωγή} &= 3 + 2 + 1 + 0,5 + 0,25 + 1 + 1 + 0,5 + 1 + 4 = \mathbf{9,86} \\ \sum \text{Οικονομικά κέρδη} &= 1 + 2 + 0,33 + 0,33 + 1 + 1 + 1 + 0,5 + 1 + 4 = \mathbf{12,16} \\ \sum \text{Επιφάνεια έκτασης} &= 5 + 2 + 1 + 1 + 0,5 + 2 + 2 + 1 + 1 + 3 = \mathbf{18,5} \\ \sum \text{Απόσταση από κατοικημένη περιοχή} &= 3 + 3 + 2 + 0,33 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 3 = \mathbf{17,33} \\ \sum \text{Κλ. ζώνη} &= 0,2 + 0,2 + 0,25 + 0,2 + 0,2 + 0,25 + 0,25 + 0,33 + 0,33 + 1 = \mathbf{3,21} \end{aligned}$$

Υπολογισμός της ποσοστιαίας βαρύτητας των κριτηρίων:

$$\begin{aligned} W_{\text{Ανάγκη εγκατάστασης } \Phi/B} &= \frac{15,08}{149,72} = 0,1007 \text{ ή } \mathbf{10,07\%} \\ W_{\text{Όχληση από αντανακλάσεις}} &= \frac{24}{149,72} = 0,1603 \text{ ή } \mathbf{16,03\%} \\ W_{\text{Κόστος αγοράς γης ανά στρέμμα}} &= \frac{25}{149,72} = 0,167 \text{ ή } \mathbf{16,7\%} \\ W_{\text{Ενεργειακή παραγωγή}} &= \frac{13,75}{149,72} = 0,0918 \text{ ή } \mathbf{9,18\%} \\ W_{\text{Οικονομικά κέρδη}} &= \frac{12,16}{149,72} = 0,0812 \text{ ή } \mathbf{8,12\%} \\ W_{\text{Επιφάνεια έκτασης}} &= \frac{18,5}{149,72} = 0,1236 \text{ ή } \mathbf{12,36\%} \\ W_{\text{Απόσταση από κατοικημένη περιοχή}} &= \frac{17,33}{149,72} = 0,1157 \text{ ή } \mathbf{11,57\%} \\ W_{\text{Κλ.ζώνη}} &= \frac{3,21}{149,72} = 0,0214 \text{ ή } \mathbf{2,14\%} \end{aligned}$$

Υπολογισμός της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας με βάση την γωνία τοποθέτησης των πάνελ:

Για τον νομό Έβρου:

$$\mathbf{6.3.1} \quad \mathbf{h(m)} = \sin(\varphi) * 1,58 \text{ m} = \sin(40,85^\circ) * 1,58 \text{ m} = 0,654 * 1,58 \text{ m} \approx \mathbf{1,03 \text{ m}}$$

$$\mathbf{6.3.2} \quad \mathbf{\beta} = 90^\circ - \varphi = 90^\circ - 40,85^\circ = \mathbf{49,15^\circ}$$

$$\mathbf{x(m)} = \frac{h(m)}{\tan(\beta)} \Rightarrow \mathbf{x} = \frac{1,03 \text{ m}}{\tan(49,15^\circ)} = \frac{1,03 \text{ m}}{1,16} = \mathbf{0,89 \text{ m}}$$

$$\mathbf{6.3.3} \quad \mathbf{L(m)} = \cos(\varphi) * 1,58 \text{ m} = \cos(40,85^\circ) * 1,58 \text{ m} = 0,756 * 1,58 \text{ m} \approx \mathbf{1,2 \text{ m}}$$

$$\mathbf{L + x} = 1,2 \text{ m} + 0,89 \text{ m} = \mathbf{2,09 \text{ m}}$$

$$\mathbf{6.3.4} \quad \mathbf{Μήκος πάρκου: 2,09 \text{ m} * 25 = \mathbf{52,22 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια: 16,16 \text{ m} * 52,22 \text{ m} = 843,88 \text{ m}^2 \text{ ή } \approx \mathbf{0,84 \text{ στρ.}}$$

Για τον νομό Ηρακλείου:

$$\mathbf{6.3.1} \quad \mathbf{h(m)} = \sin(\varphi) * 1,58 \text{ m} = \sin(35,33^\circ) * 1,58 \text{ m} = 0,58 * 1,58 \text{ m} \approx \mathbf{0,91 \text{ m}}$$

$$6.3.2 \quad \beta = 90^\circ - \varphi = 90^\circ - 35,33^\circ = 54,67^\circ$$

$$x \text{ (m)} = \frac{h(m)}{\tan(\beta)} \Rightarrow x = \frac{0,91 \text{ m}}{\tan(54,67^\circ)} = \frac{0,91 \text{ m}}{1,41} = 0,65 \text{ m}$$

$$6.3.3 \quad L \text{ (m)} = \cos(\varphi) * 1,58 \text{ m} = \cos(35,33^\circ) * 1,58 \text{ m} = 0,82 * 1,58 \text{ m} \approx 1,29 \text{ m}$$

$$L + x = 1,29 \text{ m} + 0,65 \text{ m} \approx 1,94 \text{ m}$$

$$6.3.4 \quad \text{Μήκος πάρκου: } 1,94 \text{ m} * 25 = 48,42 \text{ m}$$

$$\text{Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια: } 16,16 \text{ m} * 48,42 \text{ m} = 782,47 \text{ m}^2 \text{ ή } \approx 0,78 \text{ στρ.}$$

Για την Ρόδο:

$$6.3.1 \quad h \text{ (m)} = \sin(\varphi) * 1,58 \text{ m} = \sin(36,4^\circ) * 1,58 \text{ m} = 0,59 * 1,58 \text{ m} \approx 0,93 \text{ m}$$

$$6.3.2 \quad \beta = 90^\circ - \varphi = 90^\circ - 36,4^\circ = 53,6^\circ$$

$$x \text{ (m)} = \frac{h(m)}{\tan(\beta)} \Rightarrow x = \frac{0,93 \text{ m}}{\tan(53,6^\circ)} = \frac{0,93 \text{ m}}{1,36} \approx 0,69 \text{ m}$$

$$6.3.3 \quad L \text{ (m)} = \cos(\varphi) * 1,58 \text{ m} = \cos(36,4^\circ) * 1,58 \text{ m} = 0,8 * 1,58 \text{ m} \approx 1,27 \text{ m}$$

$$L + x = 1,26 \text{ m} + 0,68 \text{ m} \approx 1,96 \text{ m}$$

$$6.3.4 \quad \text{Μήκος πάρκου: } 1,96 \text{ m} * 25 \approx 49,07 \text{ m}$$

$$\text{Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια: } 16,16 \text{ m} * 49,07 \text{ m} = 792,97 \text{ m}^2 \text{ ή } \approx 0,79 \text{ στρ.}$$

Υπολογισμός ενεργειακής παραγωγής:

$$E_{\text{Έβρου}} = P * \Delta t * CF = 100 \text{ kW} * 2794,3 * 0,3 = 83829 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{Ηρακλείου}} = P * \Delta t * CF = 100 \text{ kW} * 2838,3 * 0,3 = 85149 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{Ρόδου}} = P * \Delta t * CF = 100 \text{ kW} * 3043,2 * 0,3 = 91296 \text{ kWh}$$

Υπολογισμός οικονομικών κερδών:

$$\text{Για τον νομό Έβρου: } 83829 \text{ kWh} * 0,075 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 6287,18 \text{ €.}$$

$$\text{Για τον νομό Ηρακλείου: } 85149 \text{ kWh} * 0,075 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 6386,18 \text{ €.}$$

$$\text{Για την Ρόδο: } 91296 \text{ kWh} * 0,075 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 6847,2 \text{ €.}$$

Επίλυση της εξίσωσης (1):

$$\begin{aligned} U_{\text{Έβρου}} &= \sum_{i=1}^k w_i F_i(x) = w_{\text{Ηλ. Ακτ.}} F_{\text{Ηλ.Ακτ.}} + w_{\text{Αν. Εγκ.}} F_{\text{Αν. Εγκ}} - w_{\text{Οχλ.}} F_{\text{Οχλ}} - \\ &w_{\text{Κόστος γης}} F_{\text{Κόστος γης}} + w_{\text{Εν. Παρ.}} F_{\text{Εν. Παρ.}} + w_{\text{Οικ. Κέρδη}} F_{\text{Οικ. Κέρδη}} - w_{\text{Επιφ.}} F_{\text{Επιφ.}} + \\ &w_{\text{Απόστ.}} F_{\text{Απόστ.}} + w_{\text{Κλ. Ζώνη}} F_{\text{Κλ. Ζώνη}} = 0,0659 * 0,23 + 0,1007 * 0,14 - 0,1603 * \\ &0 - 0,167 * 0,08 + 0,0918 * 0,25 + 0,0812 * 0,25 - 0,1236 * 0,25 + 0,1157 * \\ &0,16 + 0,0214 * 0,11 = 0,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{\text{Ηρακλείου}} &= \sum_{i=1}^k w_i F_i(x) = w_{\text{Ηλ. Ακτ.}} F_{\text{Ηλ.Ακτ.}} + w_{\text{Αν. Εγκ.}} F_{\text{Αν. Εγκ}} - w_{\text{Οχλ.}} F_{\text{Οχλ}} - \\ &w_{\text{Κόστος γης}} F_{\text{Κόστος γης}} + w_{\text{Εν. Παρ.}} F_{\text{Εν. Παρ.}} + w_{\text{Οικ. Κέρδη}} F_{\text{Οικ. Κέρδη}} - w_{\text{Επιφ.}} F_{\text{Επιφ.}} + \\ &w_{\text{Απόστ.}} F_{\text{Απόστ.}} + w_{\text{Κλ. Ζώνη}} F_{\text{Κλ. Ζώνη}} = 0,0659 * 0,26 + 0,1007 * 0,29 - 0,1603 * \\ &1 - 0,167 * 0,23 + 0,0918 * 0,25 + 0,0812 * 0,25 - 0,1236 * 0,21 + 0,1157 * \\ &0,15 + 0,0214 * 0,33 = -0,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{\text{Ρόδου}} &= \sum_{i=1}^k w_i F_i(x) = w_{\text{Ηλ. Ακτ.}} F_{\text{Ηλ.Ακτ.}} + w_{\text{Αν. Εγκ.}} F_{\text{Αν. Εγκ}} - w_{\text{Οχλ.}} F_{\text{Οχλ}} - \\ &w_{\text{Κόστος γης}} F_{\text{Κόστος γης}} + w_{\text{Εν. Παρ.}} F_{\text{Εν. Παρ.}} + w_{\text{Οικ. Κέρδη}} F_{\text{Οικ. Κέρδη}} - w_{\text{Επιφ.}} F_{\text{Επιφ.}} + \\ &w_{\text{Απόστ.}} F_{\text{Απόστ.}} + w_{\text{Κλ. Ζώνη}} F_{\text{Κλ. Ζώνη}} = 0,0659 * 0,26 + 0,1007 * 0,43 - 0,1603 * \end{aligned}$$

$$0 - 0,167 * 0,53 + 0,0918 * 0,27 + 0,0812 * 0,27 - 0,1236 * 0,29 + 0,1157 * 0,29 + 0,0214 * 0,33 = 0,024$$