



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ
ΕΡΓΩΝ Α.Π.Ε. ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π., ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΣ**

ΜΑΡΙΑ ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗ

ΑΜ : M061922002

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια :

Ευαγγελία Φαρσιρώτου

Βόλος, Ιούνιος 2025



UNIVERSITY OF THESSALY

INTERDEPARTMENTAL POSTGRADUATE STUDIES PROGRAMME

“Advanced Technologies for Environmental Risk Management”

POSTGRADUATE MASTER’S THESIS

**MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR THE OPTIMAL SITING
RENEWABLE SOURCES OF ENERGY USING G.I.S., CASE STUDY IN
THE REGION OF LARISSA**

MARIA ZOUMPOULAKI

PN : M061922002

Supervisor:

Evangelia Farsirotou

Volos, June 2025

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Σύγχρονες Τεχνολογίες Διαχείρισης Περιβαλλοντικών Κινδύνων»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ
ΕΡΓΩΝ Α.Π.Ε. ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π. , ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΣ**

**MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR THE OPTIMAL SITING
RENEWABLE SOURCES OF ENERGY USING G.I.S. , CASE STUDY IN
THE REGION OF LARISSA**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Ιούνιο του έτους 2025.

Επιβλέπουσα: Ευαγγελία Φαρσιρώτου

Καθηγήτρια Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου

Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου Θεσσαλίας/ Δρ Πολιτικός

Μηχανικός Α.Π.Θ.

.....
Σπυρίδων Κωστόπουλος

Καθηγητής Τμήματος Συστημάτων
Ενέργειας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

.....
Νικόλαος Αλαμανής

Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας-
Αγροτεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Βόλος, Ιούνιος 2025

.....
Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα : Μαρία Ζουμπουλάκη

Ιδιότητα : Πολιτικός Μηχανικός Τ.Ε.

Copyright © Μαρία Ζουμπουλάκη, (2025)

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στο συγγραφέα.

Το περιεχόμενο της διπλωματικής εργασίας εκφράζει τις απόψεις της συγγραφέα και ουδεμία ευθύνη για το περιεχόμενο φέρουν η επιβλέπουσα, και η εξεταστική επιτροπή για αυτό.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή.

Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης.

Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στη Διπλωματική μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Μεταπτυχιακού Τίτλου των Μεταπτυχιακών Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων.

Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Μ.Δ.Ε. προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ονοματεπώνυμο Συγγραφέα: Μαρία Ζουμπουλάκη

Υπογραφή:

Ημερομηνία:

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα. Ευαγγελία Φαρσιρώτου για την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή υποστήριξή της.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT	12
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1. Σκοπός και στόχοι εργασίας	1
1.2. Σημασία της έρευνας	2
Κεφάλαιο 2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)	4
2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.).....	4
2.1.1. Είδη και χαρακτηριστικά των Α.Π.Ε.....	6
2.1.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.	11
2.2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	14
2.2.1 Ορισμός των Γ.Σ.Π.	18
2.2.2 Συνιστώσες και λειτουργίες των ΓΣΠ	22
2.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΓΣΠ.....	27
2.2.4 Χρήσεις των Γ.Σ.Π. στην περιβαλλοντική διαχείριση	29
2.3. Πολυκριτηριακή Ανάλυση	32
2.3.1 Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση.....	32
2.3.2 Μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	34
2.3.2.1. Μέθοδος AHP (Analytic Hierarchy Process)	34
2.3.2.2. Μέθοδος Απλής Σταθμισμένης Άθροισης (Simple Additive Weighting - SAW)	35
2.3.2.3. Μέθοδος ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality).....	37
2.3.2.4. Μέθοδος MAUT (Multi-Attribute Utility Theory).....	37
2.3.3 Εφαρμογές της πολυκριτηριακής ανάλυσης στην χωροθέτηση	38
Κεφάλαιο 3: Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα.....	41
3.1 Ηλιακή ενέργεια και η αξιοποίησή της	41
3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα	48
3.2.1 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων	50
3.2.2 Σχεδιασμός και κατασκευή φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	59
3.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις Φ/Β συστημάτων	64
3.3.1. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων	64
3.3.2. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Κατά την Εγκατάσταση και Λειτουργία	

3.3.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λήξη της ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος και ανακύκλωση.....	65
3.4 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	66
3.4.1. ΕΙΔΙΚΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	68
3.4.2. ΑΡΜΟΔΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ.....	72
3.5 ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Φ/Β ΕΠΙ ΕΛΑΦΟΥΣ.....	74
4. Περιοχή Μελέτης και Μεθοδολογία	76
4.1 Περιοχή Μελέτης.....	76
4.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης	78
4.3. Προσανατολισμός εδάφους	80
4.4. Χρήσεις γης	81
4.5. Προστατευμένες περιοχές από το Δίκτυο Natura 2000.....	84
4.6. Υδρογραφικό Δίκτυο	87
4.7. Υφιστάμενες ΑΠΕ.....	89
4.8. Όριο Αιγιαλού	90
4.9. Πόλη και οικισμοί Λάρισας.....	92
4.10. Παραδοσιακοί οικισμοί	93
4.11 Αρχαιολογικοί χώροι.....	95
4.12 Δασικές εκτάσεις	97
4.13 Οδικό δίκτυο.....	100
Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα.....	103
5.2. Συμπεράσματα.....	104
5.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	105
Βιβλιογραφία.....	106
ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	117

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.....	15
Εικόνα 2.....	22
Εικόνα 3.....	33
Εικόνα 4.....	36
Εικόνα 5.....	43
Εικόνα 6.....	44
Εικόνα 7.....	44
Εικόνα 8.....	45
Εικόνα 9.....	46
Εικόνα 10.....	47
Εικόνα 11.....	59
Εικόνα 12.....	60
Εικόνα 13.....	62
Εικόνα 14.....	63
Εικόνα 15.....	63
Εικόνα 16.....	77
Εικόνα 17.....	77
Εικόνα 18.....	78
Εικόνα 19.....	80
Εικόνα 20.....	82
Εικόνα 21.....	83
Εικόνα 22.....	86
Εικόνα 23.....	87
Εικόνα 24.....	89
Εικόνα 25.....	90
Εικόνα 26.....	91
Εικόνα 27.....	92
Εικόνα 28.....	93
Εικόνα 29.....	94
Εικόνα 30.....	97
Εικόνα 31.....	99
Εικόνα 32.....	100
Εικόνα 33.....	102

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	11
Πίνακας 2	16
Πίνακας 3	19
Πίνακας 4	84
Πίνακας 5	94
Πίνακας 6	94

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η βέλτιστη χωροθέτηση έργων Α.Π.Ε. και πιο συγκεκριμένα φωτοβολταϊκών συστημάτων μέσω της εφαρμογής πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων σε περιβάλλον Γ.Σ.Π..

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Περιφέρεια Θεσσαλίας και πιο συγκεκριμένα η περιοχή της Λάρισας. Δεδομένου ότι τα τελευταία χρόνια στον Θεσσαλικό Κάμπο, λόγω των εκτεταμένων πεδινών εκτάσεων και της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, οι επενδύσεις από Φ/Β συστήματα έχουν αυξηθεί κατά κόρον, ενισχύοντας έτσι την τοπική οικονομία και προωθώντας την πράσινη ενέργεια. Αρχικά, θα πραγματοποιηθεί καθορισμός των κριτηρίων με βάση την ισχύουσα νομοθεσία αλλά και κάποια “λογικά” κριτήρια, όπως κόστος, αποστάσεις κ.λπ. Στη συνέχεια, θα πραγματοποιηθεί καταγραφή και ψηφιοποίηση όλων των κριτηρίων που θα καθοριστούν σε περιβάλλον Γ.Σ.Π., όπως για παράδειγμα (Δασικές εκτάσεις, προσβασιμότητα δικτύου ΔΕΔΔΗΕ, απόσταση από υποσταθμό (MYT), κ.ά..).

Σε επόμενο στάδιο, θα γίνει σύνθεση και ανάλυση ψηφιακού χάρτη ηλιακής ακτινοβολίας βάσει των διαθέσιμων ηλιακών δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης και θα δημιουργηθούν οι τελικές ζώνες καταλληλότητας και ακαταλληλότητας (ως προς τη θέση) με τη μορφή χαρτών. Τέλος βάσει των ανωτέρω θα γίνει προσπάθεια εκπαίδευσης ενός μηχανικής μάθησης με στόχο τον προσδιορισμό των βέλτιστων πιθανών κατάλληλων θέσεων χωροθέτησης έργων Α.Π.Ε.

Λέξεις κλειδιά : φωτοβολταϊκά, πολυκριτηριακή , Γ.Σ.Π., Α.Π.Ε

ABSTRACT

The objective of this postgraduate thesis is to determine the most suitable locations for renewable energy projects, with a particular focus on photovoltaic systems. To this end, multi-criteria decision analysis will be employed in a Geographic Information System (GIS) environment.

The region of Thessaly, and more specifically the region of Larissa, has been selected as the study area. This decision is informed by the observation that in recent years, Thessaly has experienced a significant increase in investments in PV systems, driven by the presence of extensive lowland areas and high solar radiation. This has resulted in a strengthening of the local economy and the promotion of green energy. Initially, the criteria will be defined based on current legislation and certain "reasonable" criteria, including costs and distances. Subsequently, all the criteria to be defined in a Geographic Information System (GIS) environment will be recorded and digitised, for example forest areas, the accessibility of the Trans-European Network (TEN-T) network and distance from a substation (MUT).

In the subsequent stage, a digital solar radiation map will be synthesised and analysed based on the available solar data from meteorological stations in the wider study area. The final suitability and unsuitability zones (in terms of location) will be created in the form of maps. Finally, based on the above, an attempt will be made to train a machine learning system to determine the optimal locations for siting RES projects.

Key words: photovoltaic, multi-criteria , G.I.S., R.E.S.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Σκοπός και στόχοι εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει τη διαδικασία βέλτιστης χωροθέτησης έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), εστιάζοντας ειδικότερα στην εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), με στόχο την αποτελεσματική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Μέσω της αξιοποίησης τεχνολογικών εργαλείων και μεθόδων, όπως η ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, επιδιώκεται η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου που θα επιτρέπει τη σωστή και αποδοτική χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων, προσδιορίζοντας τις περιοχές με τη μέγιστη καταλληλότητα για την εγκατάστασή τους.

Η περιοχή μελέτης της διπλωματικής είναι η Περιφέρεια Θεσσαλίας, και πιο συγκεκριμένα η περιοχή της Λάρισας, η οποία παρουσιάζει εξαιρετικές δυνατότητες για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων λόγω των εκτεταμένων πεδινών εκτάσεων και της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Η περιοχή αυτή έχει καταστεί κέντρο ανάπτυξης επενδύσεων Α.Π.Ε., ενισχύοντας την τοπική οικονομία και συμβάλλοντας στη μετάβαση στην πράσινη ενέργεια. Η συνεχής ανάπτυξη αυτών των έργων καθιστά επιτακτική την ανάγκη για τη συστηματική και επιστημονική επιλογή των πιο κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη απόδοση και να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η μεθοδολογία της διπλωματικής περιλαμβάνει αρχικά τον καθορισμό των κριτηρίων, λαμβάνοντας υπόψη την ισχύουσα νομοθεσία, αλλά και πρακτικά κριτήρια όπως το κόστος, οι αποστάσεις και οι λοιποί περιορισμοί που ενδέχεται να επηρεάσουν την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών έργων. Στη συνέχεια, μέσω της καταγραφής και ψηφιοποίησης αυτών των κριτηρίων σε περιβάλλον Γ.Σ.Π., δημιουργείται μια βάση δεδομένων που επιτρέπει τη χαρτογράφηση των περιοχών και την ανάλυση της καταλληλότητας. Η χρήση των ηλιακών δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή και τη σύνθεση ενός ψηφιακού χάρτη που θα καταδεικνύει τις πιο κατάλληλες περιοχές για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τέλος, η εργασία αποσκοπεί στην εκπαίδευση ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης που θα συνδυάζει τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης, με στόχο τον προσδιορισμό των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης έργων Α.Π.Ε. Στόχος της διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου εργαλείου που θα βοηθήσει τους φορείς και τις αρχές στην απόφαση και την εφαρμογή στρατηγικών για την επέκταση των Α.Π.Ε., προάγοντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος.

1.2. Σημασία της έρευνας

Η συγκεκριμένη έρευνα έγκειται στην ανάγκη για τη συστηματική και αποδοτική χωροθέτηση έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), με ιδιαίτερη έμφαση στα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Με την αυξανόμενη ζήτηση για καθαρές πηγές ενέργειας και την επιδίωξη της μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος, η αποτελεσματική ενσωμάτωση των Α.Π.Ε. στα ενεργειακά δίκτυα καθίσταται αναγκαία. Η μελέτη αυτή εστιάζει στην αξιοποίηση γεωχωρικών εργαλείων και πολυκριτηριακής ανάλυσης για τον καθορισμό των βέλτιστων περιοχών χωροθέτησης, παρέχοντας μια επιστημονικά τεκμηριωμένη και αποδοτική προσέγγιση στην τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η συγκεκριμένη έρευνα ενσωματώνει την τοπική πραγματικότητα της Περιφέρειας Θεσσαλίας και ειδικότερα της Λάρισας, μιας περιοχής με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις, καθιστώντας τη ιδανική για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών έργων. Με την αυξημένη δραστηριότητα στον τομέα των Α.Π.Ε. στην περιοχή, η σωστή χωροθέτηση αποκτά μεγάλη σημασία, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής ενέργειας, βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και μείωση της αρνητικής επίδρασης στο περιβάλλον και τις τοπικές κοινότητες. Η αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων ηλιακών πόρων, σε συνδυασμό με την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, εξασφαλίζει ότι η εγκατάσταση των έργων γίνεται με τον πιο αποδοτικό και βιώσιμο τρόπο.

Η σημαντικότητα της έρευνας είναι επίσης συνυφασμένη με την πρόοδο της τεχνολογίας και της επιστήμης, καθώς η εφαρμογή μηχανικής μάθησης για την εκπαίδευση μοντέλων που προσδιορίζουν τις πιο κατάλληλες θέσεις για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση στον τομέα των Α.Π.Ε. Η υιοθέτηση αυτής της μεθόδου επιτρέπει τη βελτίωση της ακρίβειας των

εκτιμήσεων, την εξοικονόμηση χρόνου και πόρων, και τη μείωση των κινδύνων που συνδέονται με την επιλεκτική χωροθέτηση των έργων. Η μελέτη, επομένως, προσφέρει εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο από τους φορείς διαχείρισης όσο και από τους επενδυτές για τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των Α.Π.Ε., συμβάλλοντας στην επίτευξη των εθνικών και διεθνών ενεργειακών στόχων.

Τέλος, η έρευνα αυτή ενισχύει τη συνειδητοποίηση γύρω από τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές προκλήσεις που συνδέονται με την ανάπτυξη έργων Α.Π.Ε. και τη σημασία της στρατηγικής χωροθέτησης για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων. Η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας μπορεί να λειτουργήσει ως πρότυπο για άλλες περιοχές της Ελλάδας ή και του εξωτερικού, ενισχύοντας τη συνεργασία μεταξύ των αρχών, των επιστημόνων και των επιχειρηματιών για τη δημιουργία ενός βιώσιμου και αποδοτικού ενεργειακού μέλλοντος.

Κεφάλαιο 2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

2.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Τα ζητήματα της ενέργειας, σε συνδυασμό με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τη ρύπανση, αποτελούν θέματα μείζονος σημασίας καθιστώντας την αναγκαιότητα επίλυσής τους επιτακτική σε παγκόσμια κλίμακα. Οι ανάγκες για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από παραδοσιακά καύσιμα, συνδέονται άμεσα με τις προσπάθειες περιορισμού των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα, καθώς και των αερίων του θερμοκηπίου, που θεωρούνται οι κύριοι υπεύθυνοι των ενδεχόμενων κλιματικών αλλαγών. Τόσο η εξοικονόμηση όσο και η αποδοτική χρήση ενέργειας είναι δυνατόν να επιτευχθούν χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά η ποιότητα ζωής. Παράλληλα, οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας είναι ευρείες και αφορούν κάθε τομέα της σύγχρονης πραγματικότητας, όπως τις μεταφορές, τη γεωργία, τη βιομηχανία αλλά και τον ενεργειακό τομέα όπως οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Με την αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογικών συστημάτων, την ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), τη βελτιωμένη σχεδίαση συστημάτων και τη χρήση αυτοματισμών, μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι της μείωσης της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και παράλληλα της προστασίας του περιβάλλοντος.

Ο ορισμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να έχει διαφορετικές ερμηνείες για διαφορετικά άτομα. Ενώ ο ορισμός της ενέργειας, ανεξαρτήτως από τις διάφορες μορφές της, εγείρει λιγότερη συζήτηση σχετικά με τον ορισμό της, ο ορισμός της ανανεώσιμης ενέργειας προκαλεί ένα πιο ευρύ φάσμα συνειρμών και συζητήσεων. Κάτι τέτοιο συμβαίνει καθώς, η ενέργεια είναι η ικανότητα ενός φυσικού συστήματος να εργάζεται ή να παράγει θερμότητα, αποτελώντας μία ιδιότητα της φυσικής ενός συστήματος. Από την άλλη, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναφέρονται στην πηγή της ενέργειας. Κατά συνέπεια, οι αντιλήψεις και οι πεποιθήσεις που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συγχέονται συχνά με τα δεδομένα, ή την παραπληροφόρηση, αναφορικά με την προέλευσή τους. [3]

Η φράση «ανανεώσιμη ενέργεια» δηλώνει την ενέργεια που λαμβάνεται από μία πηγή η οποία ανανεώνεται συνεχώς και με φυσικό τρόπο μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα [4]. Κατά συνέπεια, κάθε συζήτηση για την ανανεώσιμη ενέργεια αφορά τελικά τις ανανεώσιμες πηγές, οι οποίες προέρχονται από γεωφυσικές διεργασίες: ηλιακή

ακτινοβολία, άνεμος, υδροηλεκτρική ενέργεια, βιώσιμη βιομάζα, κυματική δυναμική, παλιρροιακές κινήσεις και γεωθερμική ενέργεια [3].

Τα τελευταία χρόνια, πλήθος επιστημόνων και επαγγελματιών έχουν αφιερωθεί στην έρευνα, την ανάπτυξη και τη χρήση αυτής της κρίσιμης ενέργειας, προκαλώντας την ανάγκη παρακολούθησης της παραγωγής της [5].

Οι δυνατότητες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εξαιρετικά μεγάλες, καθώς μπορούν να εξασφαλίζουν πολλαπλάσια της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) , συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας, του ανέμου, της υδροηλεκτρικής ενέργειας και της γεωθερμίας, μπορούν να παρέχουν βιώσιμες ενεργειακές υπηρεσίες χρησιμοποιώντας τους άμεσα διαθέσιμους, τοπικούς πόρους [1]. Τόσο οι παγκόσμιες όσο και οι περιφερειακές τάσεις, δείχνουν πως η ζήτηση ενέργειας θα ικανοποιηθεί προσεχώς μέσω της εκτενούς ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [2].

Είναι γεγονός πως, οι συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο, έχουν αποδειχθεί ισχυροί οικονομικοί μοχλοί. Όμως, παράλληλα, συνιστούν μεγάλους κινδύνους για το οικοσύστημα και την ανθρώπινη υγεία και ευημερία [1]. Η ρύπανση που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα έχει αυξήσει σημαντικά την ευαισθητοποίηση αναφορικά με την σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εδώ και πολλά χρόνια, τα ορυκτά καύσιμα καταναλώνονται σε μεγάλο βαθμό παγκοσμίως, με αποτέλεσμα την σταδιακή εξάντλησή τους, η οποία καθιστά τη χρήση τους όλο και πιο δύσκολη αλλά και δαπανηρή [5]. Επιπρόσθετα, φέρουν κυκλικό χαρακτήρα ως αποτέλεσμα της ολιγοπωλιακής παραγωγής αλλά και διανομής [1].

Συνεπώς, η μετάβαση σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας φαίνεται να είναι πιο πιθανή από ποτέ καθώς το κόστος ανανεώσιμων τεχνολογιών συνεχίζει να φθίνει, ενώ οι τιμές του πετρελαίου και του φυσικού αερίου παραμένουν σημαντικά μεταβαλλόμενες, στο σύγχρονο πλαίσιο των παγκόσμιων γεωπολιτικών εξελίξεων. Η μελλοντική ανάπτυξη του τομέα της ενέργειας είναι όλο και εμφανέστερη στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και, σε μικρότερο βαθμό, στα συστήματα που βασίζονται στο φυσικό αέριο, από ότι είναι στις παραδοσιακές πηγές πετρελαίου και άνθρακα [1].

Κατά συνέπεια, οι χρηματοπιστωτικές αγορές αναγνωρίζουν το προσεχές αναπτυξιακό δυναμικό των ανανεώσιμων και αναδυόμενων ενεργειακών τεχνολογιών, γεγονός που

υπογραμμίζει την οικονομική βιωσιμότητα των πραγματικά ανταγωνιστικών συστημάτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [1].

Ωστόσο, με σκοπό την πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της σημασίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι αναγκαίο να υπογραμμιστούν τα είδη και τα χαρακτηριστικά τους. Κάθε είδος Α.Π.Ε. έχει τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά, τις προκλήσεις και τα οφέλη, που το καθιστούν κατάλληλο για διαφορετικές εφαρμογές και περιοχές.

2.1.1. Είδη και χαρακτηριστικά των Α.Π.Ε.

Τόσο η κατηγοριοποίηση των ειδών, όσο και η ανάλυση των διαφορετικών χαρακτηριστικών των ποικίλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποτελούν σημαντικές συνιστώσες στην κατανόηση των τρόπων που μπορούν να αξιοποιηθούν για την βέλτιστη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της κοινωνίας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στην συγκεκριμένη ενότητα, εξετάζονται τα κύρια είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αναλύοντας τα χαρακτηριστικά τους, τις τεχνολογίες που τις υποστηρίζουν και τις δυνατότητες αξιοποίησής τους σε διάφορους τομείς. Οι τεχνολογίες που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιτρέπουν τη μετατροπή των φυσικών πόρων σε χρήσιμες ενεργειακές μορφές, όπως ηλεκτρισμό, θερμότητα και καύσιμα.

Επιγραμματικά, τα κύρια είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα εξής:

- A. Ηλιακή ενέργεια
- B. Αιολική ενέργεια
- C. Ενέργεια βιομάζας
- D. Παλιρροιακή ενέργεια
- E. Γεωθερμική ενέργεια

Παρακάτω, ακολουθεί η περιγραφή και η ανάλυση των χαρακτηριστικών των κύριων ειδών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- A. Ηλιακή ενέργεια

Ως ηλιακή ενέργεια, ορίζεται η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω των παθητικών και ενεργητικών συστημάτων που εκμεταλλεύονται την

εκπεμπόμενη από τον ήλιο θερμότητα και μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

Εμβαθύνοντας, η ηλιακή ενέργεια κατέχει το μεγαλύτερο δυναμικό για την παροχή καθαρής, ασφαλούς αλλά και αξιόπιστης ενέργειας. Το εύρος της ηλιακής ενέργειας που διαχέεται στις επιφάνειες των ηπείρων της Γης, είναι πάνω από διακόσιες φορές μεγαλύτερη από τη συνολική ετήσια εμπορική ενέργεια που χρησιμοποιείται σήμερα από τον άνθρωπο [6]. Πλήθος ερευνών υποδεικνύει πως, η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση είναι δυνατόν να καλυφθεί επαρκώς μέσω της ηλιακής ενέργειας, η οποία αποτελεί πόρο μη κοστοβόρο και είναι άφθονη στη φύση [9]. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη πηγή ενέργειας στον κόσμο, δίνοντας σταθερή και αυξανόμενη απόδοση παραγωγής συγκριτικά με άλλες πηγές ενέργειας [10].

Μεταξύ των κύριων ειδών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια βρίσκεται στην κορυφή του καταλόγου εξαιτίας της αφθονίας της, καθώς και της πιο ομοιόμορφης κατανομής της στη φύση συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο είδος ανανεώσιμης ενέργειας [7]. Πιο συγκεκριμένα, η ηλιακή ενέργεια εκπέμπεται από τον ήλιο με ρυθμό $3,8 \times 10^{23}$ kW, εκ των οποίων περίπου $1,8 \times 10^{14}$ kW αναχαιτίζεται από τη γη [8]. Η θερμότητα και το φως αποτελούν βασικούς τρόπους μεταξύ ποικίλων, με τους οποίους η ηλιακή ενέργεια φτάνει στην Γη. Γεγονός αποτελεί ότι, ένα κρίσιμο ποσοστό αυτής της ενέργειας χάνεται εξαιτίας της σκέδασης, της αντανάκλασης και της απορρόφησης από τα σύννεφα καθώς περνάει [9]. Δύο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την αποδοτικότητα της ηλιακής φωτοβολταϊκής βιομηχανίας, και μεταβάλλονται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των χωρών, είναι η κατανομή και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας [11].

Η ηλιακή ενέργεια, που παράγεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη, αξιοποιείται μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων ή ηλιακών θερμικών συλλεκτών. Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας κάνει χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ζεστού νερού μέσω ηλιοθερμικών συστημάτων ή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ηλιακών φωτοβολταϊκών (PV) αλλά και συστημάτων συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας (CSP) - τεχνολογίες που είναι τεχνικά επικυρωμένες, με πολλαπλά συστήματα να έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως κατά τα τελευταία έτη [12].

B. Αιολική ενέργεια

Ως αιολική ενέργεια, ορίζεται η ενέργεια που προέρχεται από τον άνεμο και αξιοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών που μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί πλέον έναν εκ των βασικών τρόπων παραγωγής καθαρής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα. Συγκεκριμένα, αποτελεί μία έμμεση μορφή ηλιακής ενέργειας, η οποία οφείλεται στην κινητική ενέργεια του ανέμου, το φυσικό φαινόμενο που δημιουργείται λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών στην επιφάνεια της γης. Η ανισοκατανομή της θέρμανσης των αέριων μαζών, προκαλεί και διαφορές στην βαρομετρική πίεση σε κοντινές περιοχές. Καθώς η ατμοσφαιρική πίεση σε περιοχές με χαμηλότερη θερμοκρασία είναι πιο υψηλή, εξαιτίας της πιο μεγάλης πυκνότητας και βαρύτητας της αέριας μάζας, ενώ σε πιο θερμές περιοχές είναι πιο χαμηλή, εξαιτίας της μειωμένης πυκνότητας και βαρύτητας, οι αέριες μάζες μετακινούνται από τις πιο ψυχρές περιοχές προς τις πιο θερμές περιοχές [14].

Πιο αναλυτικά, η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε χρήσιμη μορφή επιτυγχάνεται μέσω τεχνολογιών, όπως η χρήση ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανεμόμυλων για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας, ανεμογεννητριών για την άντληση νερού ή την αποχέτευση ή πανιών για την κίνηση πλοίων. Η πρώτη εμφάνιση των τεχνολογιών των ανεμογεννητριών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συνέβη κατά τις αρχές του 20ού αιώνα. Η συγκεκριμένη τεχνολογία βελτιώθηκε προοδευτικά στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και έπειτα, όπου έως τα τέλη της δεκαετίας του 1990, η αιολική ενέργεια αναδείχθηκε εκ νέου ως ένας από τους πιο σημαντικούς βιώσιμους ενεργειακούς πόρους [13].

C. Ενέργεια Βιομάζας

Ως ενέργεια βιομάζας, ορίζεται η ενέργεια που προέρχεται από οργανική ύλη (ξύλεια, γεωργικά παραπροϊόντα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά απόβλητα, κ.α.) και μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη διαφόρων ενεργειακών αναγκών είτε μέσω καύσης, είτε μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών.

Η βιομάζα αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς εκπροσώπους των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την αξιοποίησή της στην παραγωγή ενέργειας να αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Η χρήση της βιομάζας διευρύνεται εκθετικά τα τελευταία χρόνια, καθώς επιφέρει πολλά οικονομικά οφέλη, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει κατά

πολύ στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της εκπομπής αέριων ρύπων [17].

Η βιομάζα αποτελεί την πιο σημαντική πηγή παραγωγής ενέργειας που παρέχεται από τη γεωργία. Η αποτελεσματική αξιοποίηση της βιοενέργειας είναι δυνατόν να τροφοδοτήσει ολόκληρο το αγροτικό περιβάλλον σε μια χώρα όπως η Ινδία, που η φύση προσφέρει ποικίλους και διάφορους τύπους βιομάζας.

Αυτή η ενέργεια διατίθεται επίσης μέσω βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων, που αποτελούν τα απορρίμματα που προκύπτουν από τη βιομάζα [15].

Η προερχόμενη από τη βιομάζα ενέργεια, αφορά καύσιμα που έχουν πηγή τα φυτικά και ζωικά απόβλητα. Η βιομάζα αποτελεί οργανική ύλη που συγκρατεί την ηλιακή ενέργεια μέσα από χημικούς δεσμούς. Όταν αυτοί οι δεσμοί, που συνδέουν τα μόρια άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου, σπάνε κατά την πέψη, καύση ή αποσύνθεση, απελευθερώνεται η ενέργεια που ήταν αποθηκευμένη [16].

Μερικές από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, περιλαμβάνουν:

Καύση της βιομάζας (Combustion): Χρησιμοποιείται στην παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα απορρίμματα βιομάζας καίγονται σε λέβητες για την παραγωγή ατμού, ο οποίος κινεί μηχανισμούς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [18].

Αεριοποίηση (Gasification): Αποτελεί μία διαδικασία όπου η βιομάζα υποβάλλεται σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και περιορισμένου οξυγόνου για την παραγωγή αέριων καυσίμων, όπως μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο, αέρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή να μετατραπούν σε άλλα καύσιμα [19].

Πυρόλυση (Pyrolysis): Είναι η θερμική διάσπαση της βιομάζας σε απουσία οξυγόνου, από την οποία παράγονται βιομάζα, υγρά καύσιμα, συγκεκριμένα βιολάδι, και αέρια, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν σαν καύσιμα ή σε άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.

D. Παλιρροιακή ενέργεια

Ως παλιρροιακή ενέργεια, ορίζεται η ενέργεια που προέρχεται από την περιοδική μεταβολή της στάθμης του νερού (ανύψωση και πτώση ή πλημμυρίδα και άμπωτη) και

αξιοποιείται μέσω στροβίλων και συστημάτων παλινδρομικής κίνησης που μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια του νερού σε ηλεκτρική. Αποτελεί μία μορφή υδρενέργειας όπου η ενέργεια των παλirroιών μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή σε άλλες χρήσιμες ενεργειακές μορφές. Καθώς οι γήινες παλίρροιες οφείλονται στις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις με το φεγγάρι, τον ήλιο και τη γήινη περιστροφή, η παλιρροιακή ενέργεια αποτελεί σχεδόν ανεξάντλητη μορφή ενέργεια και ταξινομείται στους ανανεώσιμους πόρους ενέργειας [20].

Γεωγραφικά, οι ωκεανοί καλύπτουν τα δύο τρίτα στην επιφάνεια της Γης. Ολη αυτή η ποσότητα νερού αποτελεί ένα σημαντικό απόθεμα ανανεώσιμης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η κινητική ενέργεια της ροής του νερού κοντά στην παράκτια διεπιφάνεια είναι δυνατόν να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χρήση ταλαντευόμενων στηλών νερού που αξιοποιούν τη δύναμη των κυμάτων που δρουν σε μία σταθερή συσκευή για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί την πιο οικονομική προσέγγιση στα πλαίσια της αξιοποίησης της παλιρροιακής ενέργειας. Τα κύματα που δέχεται το αγκυροβολημένο όχημα, συμπιέζουν τον αέρα εντός ενός κατακόρυφου σωλήνα. Αυτός ο συμπιεσμένος αέρας μπορεί να αξιοποιηθεί στην λειτουργική κίνηση μιας στροβιλογεννήτριας από όπου και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Το καίριο ζήτημα με τις εγκαταστάσεις κυματικής ενέργειας είναι οι κυκλώνες και οι ισχυρές καταιγίδες, καθώς αυτές οι εγκαταστάσεις δεν μπορούν να λειτουργήσουν υπό αυτές τις συνθήκες [15].

Ε. Γεωθερμική ενέργεια

Ως γεωθερμική ενέργεια, ορίζεται η ενέργεια που προέρχεται από τα εσωτερικά στρώματα της γης και μεταφέρεται υπό μορφή θερμότητας είτε με αγωγή είτε με ρεύματα μεταφοράς, ενώ η υψηλότερης θερμοκρασιακής στάθμης ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω στροβίλων και γεννητριών.

Ουσιαστικά, η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα της Γης - καθαρή και βιώσιμη [15]. Αποτελεί ανεξάντλητη πηγή τόσο θερμικής όσο και ηλεκτρικής ενέργειας σε ανθρώπινη χρονική κλίμακα. Η αξιοποίησή της έχει ποικίλα πλεονεκτήματα, μερικά των οποίων είναι η φιλική προς το περιβάλλον φύση της που παρέχει ενέργεια βασικού φορτίου, το ότι δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και η παροχή της 24 ώρες την ημέρα κατά τη διάρκεια 7 ημερών την εβδομάδα. Οι βαθιές γεωθερμικές πηγές

εξασφαλίζουν θερμική και ηλεκτρική - μετατρεπόμενη θερμική- ενέργεια, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο αξιόπιστη και βιώσιμη μορφή ενέργειας για το μέλλον [21].

Η γεωθερμική ενέργεια, είτε σαν πηγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε σαν πηγή θέρμανσης/ψύξης κτιρίων, έχει σημαντικές προοπτικές ως είδος ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Τα βασικά πλεονεκτήματα των γεωθερμικών σταθμών που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, περιλαμβάνουν την αξιόπιστη παροχή ενέργειας για βασικά φορτία, τη δυνατότητα ευέλικτης χρήσης ως ανανεώσιμη πηγή, την συμβολή στη διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος καθώς και την προστασία έναντι των διακυμάνσεων και της αύξησης των τιμών στην αγορά ενέργειας [22].

2.1.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.

Η αξιοποίηση των φυσικών, ανεξάντλητων ενεργειακών πόρων του πλανήτη για την παραγωγή ενέργειας προσδίδει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πολλαπλά οφέλη, ειδικά όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Κάτι τέτοιο γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό από το γεγονός ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ευθύνονται για σχεδόν μηδενικό ποσοστό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και άλλων ρύπων στην ατμόσφαιρα [23].

Μετά την περιγραφή των ποικίλων κύριων ειδών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα πρέπει να υπογραμμιστεί πως κάθε πηγή ανανεώσιμης ενέργειας έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, όπως συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κύριων ειδών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [24], [25], [26].

Πηγή ενέργειας	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ηλιακή ενέργεια	Δυναμικά απεριόριστη παροχή ενέργειας Δεν προκαλεί ρύπανση του αέρα ή των υδάτων	Ενδέχεται να μην είναι οικονομικά αποδοτική Υψηλά αρχικά κόστη εγκατάστασης

	Ευκολία εγκατάστασης: Τα ηλιακά πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν σχεδόν οπουδήποτε, είτε σε κτίρια, είτε σε μεγάλες εκτάσεις γης, όπως οι ηλιακοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Χαμηλά λειτουργικά κόστη	Η αποθήκευση και η δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας είναι απαραίτητες Η αξιοπιστία εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του ηλιακού φωτός
Αιολική ενέργεια	Ανανεώσιμη και καθαρή πηγή ενέργειας Δεν παράγει ρύπανση του νερού ή του αέρα Χαμηλά λειτουργικά κόστη Ευκολία Εγκατάστασης, μπορούν να τοποθετηθούν τόσο σε χερσαίες όσο και σε θαλάσσιες περιοχές	Υψηλά αρχικά κόστη εγκατάστασης Απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης Απαιτεί σταθερή και σημαντική ποσότητα ανέμου Αρνητικές επιδράσεις στην άγρια ζωή - οι ανεμογεννήτριες ενδέχεται να προκαλούν οπτική ρύπανση σε ορισμένες περιοχές και να επηρεάζουν την τοπική πανίδα
Ενέργεια βιομάζας	Άφθονη και ανανεώσιμη	Η καύση βιομάζας μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπές ρύπων

	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καύση αποβλήτων Ευέλικτη χρήση ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια/θέρμανση/παραγωγή βιοκαυσίμων για μεταφορές) Μείωση αερίων του θερμοκηπίου	Υψηλά κόστη υποδομών Οι μονάδες βιομάζας απαιτούν σημαντική ποσότητα χώρου για την αποθήκευση και επεξεργασία των υλικών, κάτι που μπορεί να αποτελέσει περιορισμό για κάποιες περιοχές Η ενεργειακή απόδοση της βιομάζας μπορεί να είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια, λόγω της ανάγκης για καύση και μετατροπή σε ενέργεια.
Παλιρροιακή ενέργεια	Ιδανική για παράκτιες περιοχές Συλλέγει ενέργεια που διαφορετικά δεν θα συλλέγονταν Ανανεώσιμη και καθαρή ενέργεια Προβλεψιμότητα, σταθερή και αξιόπιστη μορφή ενέργειας Μακροχρόνια αποδοτικότητα των	Υψηλά αρχικά κόστη. Η κατασκευή μπορεί να είναι δαπανηρή Αντιτίθεται από ορισμένες περιβαλλοντικές ομάδες, καθώς έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις Περιορισμένη γεωγραφική εφαρμογή Σύνθετη συντήρηση εγκαταστάσεων και

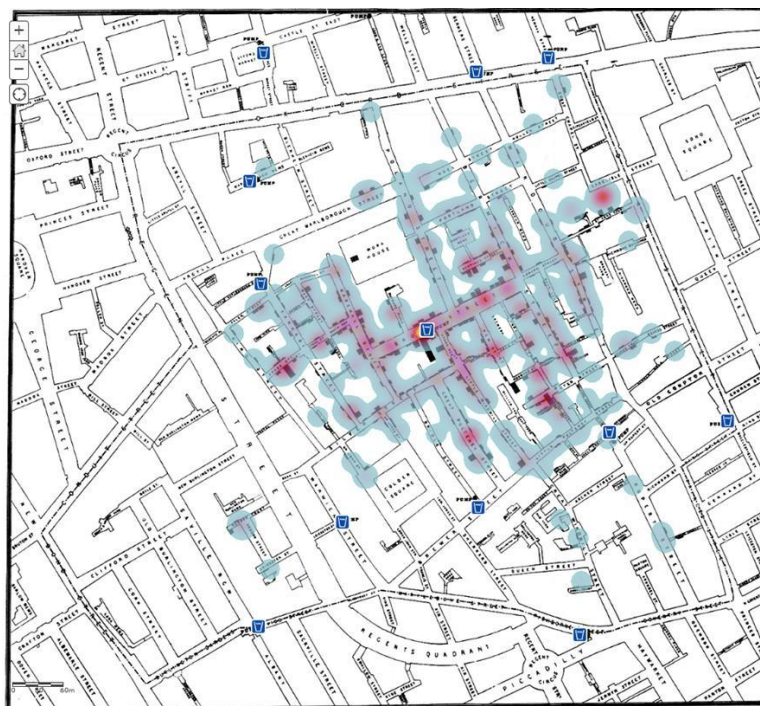
	συστημάτων παλιρροιακής ενέργειας	αυξημένα συντήρησης κόστη
Γεωθερμική ενέργεια	Παρέχει απεριόριστο ανεφοδιασμό ενέργειας - είναι ανεξάντλητη και σταθερή ενέργεια Χαμηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου Υψηλή ενεργειακή απόδοση Μειωμένο κόστος λειτουργίας	Το κόστος εκκίνησης/ανάπτυξης μπορεί να είναι ακριβό - υψηλά αρχικά κόστη Το κόστος συντήρησης, λόγω διάβρωσης, μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα Περιορισμένη γεωγραφική διαθεσιμότητα Περιορισμένη απόδοση σε χαμηλή θερμοκρασία

2.2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) αποτελούν συστήματα υπολογιστών τα οποία παράγουν συνδεδεμένες απεικονίσεις γεωχωρικών δεδομένων - ως εκ τούτου δεδομένων με χωρική αναφορά στη Γη. Εκτός της δημιουργίας οπτικοποιήσεων, τα ΓΣΠ έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν, να αποθηκεύουν, να αναλύουν αλλά και να διαχειρίζονται γεωχωρικά δεδομένα [27]. Ο βασικός σκοπός τους είναι να υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με χωρικά δεδομένα, όπως οι φυσικές τοποθεσίες και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Με τη χρήση των ΓΣΠ, οι χρήστες έχουν πολλαπλές δυνατότητες όπως η δημιουργία διαδραστικών ερωτημάτων, η ανάλυση χωρικών πληροφοριών, η επεξεργασία δεδομένων, η ενσωμάτωση χαρτών και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών των εργασιών. Τα ΓΣΠ αποτελούν κομμάτι της Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών, που αποτελεί και τον γενικό τομέα που ασχολείται με όλες τις πτυχές των ΓΣΠ - πτυχές όπως το υλικό και το λογισμικό, οι γλώσσες προγραμματισμού, τα γεωχωρικά δεδομένα και το πως

όλες αυτές οι πτυχές συνεργάζονται [27]. Η χαρτογράφηση και η ανάλυση μέσω των ΓΣΠ, δίνει την δυνατότητα στους οργανισμούς να είναι σε θέση να βελτιώσουν την λήψη αποφάσεων, να βελτιστοποιήσουν τη διαχείριση πόρων, περιουσιακών στοιχείων, εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μάρκετινγκ, διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας και ποικίλων ακόμα δραστηριοτήτων.

Στην ιστορία των ΓΣΠ, μία εκ των πρώτων περιπτώσεων χωρικής ανάλυσης έλαβε θέση το 1854, όπου ο Βρετανός γιατρός John Snow κατάφερε να χαρτογραφήσει τις θέσεις των κρουσμάτων χολέρας στο Λονδίνο και επιπλέον γεωγραφικά δεδομένα, ανακαλύπτοντας πως τα κρούσματα χολέρας εμφανίζονταν κατά μήκος των υδάτινων γραμμών [27]. Παρακάτω, στην Εικόνα 1, απεικονίζεται ο αρχικός χάρτης του Dr. Jon Snow με ανάλυση του χάρτη θερμότητας που δείχνει το ξέσπασμα της χολέρας σε σχέση με τη θέση των αντλιών νερού.



Εικόνα 1: Ο αρχικός χάρτης του Dr. Jon Snow με ανάλυση του χάρτη θερμότητας που δείχνει το ξέσπασμα της χολέρας σε σχέση με τη θέση των αντλιών νερού [27].

Ωστόσο, κατά τη δεκαετία του 1960 εμφανίστηκαν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και η υπολογιστική γεωγραφία, όπου και ο τομέας των ΓΣΠ απέκτησε τον ρυθμό του. Σε αυτή την περίοδο, ιδρύθηκε και η Esri που αποτελεί πρωτοπόρο στη βιομηχανία

αναφορικά με την ανάπτυξη λογισμικού ΓΣΠ - ανέπτυξε πολλές από τις τεχνολογίες ΓΣΠ που χρησιμοποιούνται σήμερα, όπως το ArcGIS [28]. Κατά τη δεκαετία του 1970, ξεκίνησε η εμπορική διάθεση του ΓΣΠ λογισμικού, εξαιτίας των πλέον ταχύτερων, πιο προηγμένων και πιο οικονομικών υπολογιστών. Συνδυαστικά με την άνοδο των δορυφόρων και της τεχνολογίας τηλεπισκόπησης, οι κυβερνήσεις, οι επιχειρήσεις και τα ακαδημαϊκά ιδρύματα ξεκίνησαν να υιοθετούν τα ΓΣΠ. Τα σύγχρονα ΓΣΠ είναι πλέον πανταχού παρόντα, πιο ισχυρά και σημαντικά από κάθε άλλη φορά. Οι άνθρωποι κατασκευάζουν δισεκατομμύρια χάρτες καθημερινά με την χρήση των ΓΣΠ. Πάνω από το 95 % των πανεπιστημίων παγκοσμίως προσφέρουν μαθήματα ή προγράμματα ΓΣΠ. Η πλειοψηφία των εταιρειών του Fortune 500, εθνικές και τοπικές κυβερνητικές υπηρεσίες καθώς και μη κερδοσκοπικά ιδρύματα χρησιμοποιούν ΓΣΠ [29]. Παρακάτω, στον Πίνακα 2, παρουσιάζεται μία σύνοψη της εξέλιξης των ΓΣΠ ανά τα χρόνια.

Πίνακας 2: Εξέλιξη του ΓΣΠ στον χρόνο [31].

Στάδιο εξέλιξης	Τα χρόνια της διαμόρφωσης	Εδραίωση της τεχνολογίας	Υποδομές ΓΣΠ
Χρονική περίοδος	1960 - 1980	1980 (μέσα) - 1990	1990 (μέσα) - Τώρα
Τεχνικό περιβάλλον	Mainframes και μικροϋπολογιστές. Ιδιόκτητο λογισμικό. Ιδιόκτητη δομή δεδομένων. Κυρίως raster based	Mainframes και μικροϋπολογιστές. Γεω-σχεσιακές δομές δεδομένων. Γραφική διεπαφή χρήστη. Νέες τεχνολογίες απόκτησης δεδομένων όπως GPS, τηλεπισκόπηση	Σταθμοί εργασιών και υπολογιστές. Δίκτυο/Διαδίκτυο. Σχεδιασμός ανοικτού συστήματος. Ολοκλήρωση δεδομένων. Επιχειρησιακός υπολογισμός. Μοντέλο αντικειμενικών-

			σχεσιακών δεδομένων
Κύριοι χρήστες	Κυβερνήσεις, Πανεπιστήμια, Στρατός	Κυβερνήσεις, Πανεπιστήμια, Στρατός, Υπηρεσίας κοινής ωφέλειας, Επιχειρήσεις	Κυβερνήσεις, Πανεπιστήμια και σχολεία, Στρατός, Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, Επιχειρή σεις, Γενικό Δημόσιο
Κύριοι τομείς εφαρμογών	Διαχείριση γης και πόρων, απογραφή, τοπογράφηση και χαρτογράφηση	Διαχείριση γης και πόρων, απογραφή, τοπογράφηση και χαρτογράφηση, διαχείριση εγκαταστάσεων, ανάλυση αγοράς	Διαχείριση γης και πόρων, απογραφή, τοπογραφικές εργασίες και χαρτογράφηση, διαχείριση εγκαταστάσεων, ανάλυση αγοράς, υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, περιήγηση σε γεωγραφικά δεδομένα

Η τεχνολογία των ΓΣΠ συνεχίζει στην σύγχρονη πραγματικότητα να εξελίσσεται ραγδαία με νέες καινοτομίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση και τα μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων (big data), που προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια στη γεωχωρική πληροφόρηση αλλά και ακόμα πιο σύνθετες αναλύσεις.

2.2.1 Ορισμός των Γ.Σ.Π.

Υπάρχουν ποικίλοι και διαφορετικοί ορισμοί για το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, εκ των οποίων ο καθένας αναπτύχθηκε από διαφορετική οπτική γωνία ή επιστημονική προέλευση.

Κάποιοι από τους ορισμούς δίνουν έμφαση στην σύνδεση με τους χάρτες, άλλοι επικεντρώνονται στις βάσεις δεδομένων ή στην εργαλειοθήκη λογισμικού και άλλοι δίνουν έμφαση σε εφαρμογές όπως η υποστήριξη λήψης αποφάσεων. Οι ορισμοί ενός ΓΣΠ κατηγοριοποιούνται είτε εξηγώντας τι μπορούν να κάνουν, δηλαδή τις λειτουργίες, είτε εξετάζοντας τα συστατικά τους. Και οι δύο σκοπιές είναι εξίσου σημαντικές για την ουσιαστική κατανόηση ενός ΓΣΠ και την καλύτερη δυνατή χρήση του. Μία ανάλυση των τριών γραμμμάτων στο ακρωνύμιο του ΓΣΠ δίνει μία ξεκάθαρη εικόνα του τι είναι τα ΓΣΠ.

Γ - Γεωγραφικό: Υποδηλώνει το ενδιαφέρον για τη χωρική ταυτότητα ή την τοποθεσία συγκεκριμένων οντοτήτων είτε στην επιφάνεια, κάτω ή πάνω από την επιφάνεια της γης.

Σ - Σύστημα: Δείχνει τις ανάγκες σε προσωπικό, πόρους και διαδικασίες συνιστώντας ένα σύνολο που μπορεί να παράγει τις απαιτούμενες για τη λήψη αποφάσεων πληροφορίες, δηλαδή την συλλογή, επεξεργασία καθώς και παρουσίαση των δεδομένων.

Π - Πληροφορίες: Υπονοεί τις ανάγκες για ενημέρωση στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Τα δεδομένα ή τα γεγονότα ερμηνεύονται με σκοπό να δημιουργηθούν οι απαραίτητες πληροφορίες που είναι χρήσιμες για τη λήψη αποφάσεων. [30] Στην συνέχεια, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 διάφοροι ορισμοί των ΓΣΠ.

Πίνακας 3: Ορισμοί του ΓΣΠ.

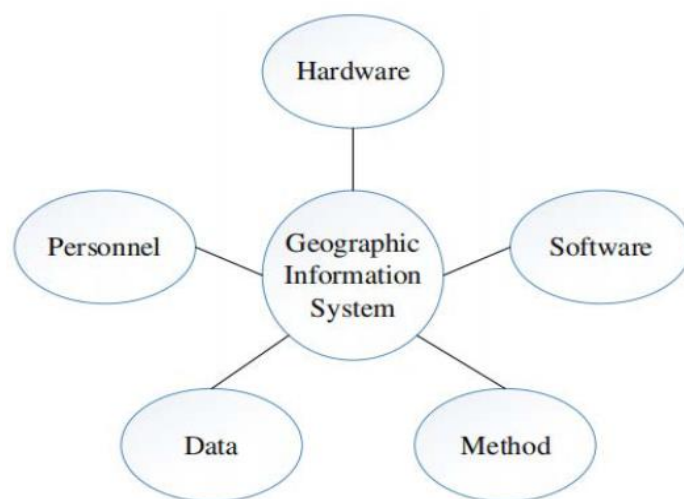
Ορισμός	Πηγή
Το ΓΣΠ αποτελεί ένα σύστημα υποβοηθούμενο από υπολογιστή με στόχο την συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση, ανάλυση αλλά και αναπαράσταση δεδομένων με γεωγραφική αναφορά για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων.	Mr. Ershad Ali (2020)
Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (ΓΣΠ) αποτελεί ένα εργαλείο που βασίζεται σε υπολογιστή ώστε να χαρτογραφεί και να αναλύει τα πράγματα που υπάρχουν και τα γεγονότα που συμβαίνουν στη γη. Η τεχνολογία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών συνδυάζει λειτουργίες βάσεων δεδομένων, όπως η αναζήτηση και η στατιστική ανάλυση, με τις εξαιρετικές δυνατότητες οπτικοποίησης και γεωχωρικής ανάλυσης που παρέχουν οι χάρτες.	Environmental Systems Research Institute- ESRI
Σαν ΓΣΠ ορίζεται ένα ηλεκτρονικό σύστημα που μπορεί να συλλέξει, αποθηκεύσει, ανακτήσει, αναλύσει αλλά και να προβάλει χωρικά δεδομένα που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά της γης και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά για μια συγκεκριμένη γεωγραφική	Thurgood, 1995

περιοχή, χρησιμοποιώντας σύγχρονη τεχνολογία πληροφοριών. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, ένα ΓΣΠ εκτός από υπολογιστικές δυνατότητες και δεδομένα, περιλαμβάνει επιπλέον διαχειριστές και χρήστες, τον οργανισμό στον οποίο λειτουργούν καθώς και τις θεσμικές σχέσεις που διέπουν τη διαχείριση και τη χρήση των πληροφοριών.	
Τα ΓΣΠ είναι συστήματα υλικού, λογισμικού και διαδικασιών που έχουν σχεδιαστεί για την υποστήριξη της συλλογής, της διαχείρισης, του χειρισμού, της ανάλυσης, της μοντελοποίησης αλλά και της προβολής των δεδομένων με χωρική αναφορά, προς επίλυση σύνθετων προβλημάτων διαχείρισης και σχεδιασμού.	Rhind, 1989
Το ΓΣΠ ορίζεται σαν ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων το οποίο εμπεριέχει την ενσωμάτωση δεδομένων με χωρική αναφορά σε ένα περιβάλλον επίλυσης προβλημάτων.	Cowen, 1988
Τα ΓΣΠ περιγράφονται ως ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων που επιτρέπουν την συλλογή, αποθήκευση, ανάκτηση, μετατροπή και οπτικοποίηση χωρικών δεδομένων από τον φυσικό κόσμο.	Burrough, 1986

Τα ΓΣΠ αποτελούν κάθε χειροκίνητο ή ηλεκτρονικό σύνολο διαδικασιών που χρησιμοποιούνται προς αποθήκευση και χειρισμό δεδομένων γεωγραφικής αναφοράς.	Aronoff, 1989
Τα ΓΣΠ αποτελούν μία θεσμική οντότητα, η οποία αναπαριστά μία οργανωτική δομή που περικλείει την τεχνολογία με μια βάση δεδομένων, τεχνογνωσία και συνεχή οικονομική υποστήριξη σε βάθος χρόνου.	Carter, 1989
Σε πιο αυστηρή έννοια, ένα ΓΣΠ αποτελεί σύστημα υπολογιστών που μπορεί να συγκεντρώνει, να αποθηκεύει, να επεξεργάζεται και να εμφανίζει πληροφορίες με γεωγραφική αναφορά - δεδομένα που προσδιορίζονται σύμφωνα με τις τοποθεσίες τους. Επιπλέον, οι επαγγελματίες θεωρούν πως στο σύνολο το ΓΣΠ περιλαμβάνει το προσωπικό λειτουργίας και τα δεδομένα που εισέρχονται στο σύστημα.	United States Geological Survey- USGS
Τα ΓΣΠ αποτελεί ολοκληρωμένο σύστημα υλικού υπολογιστών, λογισμικού και εκπαιδευμένου προσωπικού που συνδέει τοπογραφικά, δημογραφικά, κοινωνικά δεδομένα, εγκαταστάσεις, εικόνες και άλλα στοιχεία πόρων με γεωγραφική αναφορά.	National Aeronautics and space Administration- NASA

2.2.2 Συνιστώσες και λειτουργίες των ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ αποτελούνται κυρίως από 5 συνιστώσες: Hardware, Software, Δεδομένα, Χρήστες και Μέθοδοι [32]. Στην Εικόνα 2, υπάρχει η απεικόνιση αυτών των στοιχείων σε διάγραμμα.



Εικόνα 2: Απεικόνιση των βασικών συνιστωσών του ΓΣΠ [32].

Στην συνέχεια, αναλύονται οι 5 βασικές συνιστώσες που συντελούν τα ΓΣΠ [32], [30].

Hardware: Είναι το μέσο, ο υπολογιστής, στον οποίο το ΓΣΠ λειτουργεί. Το λογισμικό ΓΣΠ είναι συμβατό με διάφορους τύπους hardware (υλικού), συμπεριλαμβανομένων κεντρικών διακομιστών, επιτραπέζιων υπολογιστών, καθώς και αυτόνομων και δικτυακών ρυθμίσεων. Το υλικό αφορά τις συσκευές που χρησιμοποιούνται από τους τελικούς χρήστες, συμπεριλαμβανομένων των γραφικών συσκευών, των plotters και των σαρωτών. Η αποθήκευση και ο χειρισμός των δεδομένων εκτελούνται με τη χρήση διαφόρων επεξεργασιών.

Software: Το Software (λογισμικό) του ΓΣΠ παρέχει τις λειτουργίες και τα εργαλεία που είναι απαραίτητα για την αποθήκευση, ανάλυση και εμφάνιση γεωγραφικών πληροφοριών. Μερικά στοιχεία του λογισμικού είναι τα εργαλεία εισαγωγής και χειρισμού των γεωγραφικών πληροφοριών, το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS), τα εργαλεία που υποστηρίζουν γεωγραφικών ερωτημάτων αλλά και ανάλυσης και οπτικοποίησης, η γεωγραφική διεπαφή χρήστη (GUI) για εύκολη πρόσβαση στα εργαλεία.

Δεδομένα: Πιθανότατα το πιο σημαντικό στοιχείο ενός ΓΣΠ είναι τα δεδομένα. Τα γεωγραφικά δεδομένα και τα σχετικά δεδομένα στους πίνακες είναι δυνατόν είτε να συλλεχθούν εσωτερικά, είτε να αγοραστούν από κάποιον εμπορικό πάροχο δεδομένων. Το ΓΣΠ θα ενσωματώσει τα χωρικά δεδομένα μαζί με άλλους πόρους δεδομένων, και επιπλέον είναι σε θέση ακόμη και να χρησιμοποιήσει ένα DBMS, το οποίο και χρησιμοποιείται από τους περισσότερους οργανισμούς για την οργάνωση και τη διατήρηση των δεδομένων τους, στη διαχείριση των χωρικών δεδομένων.

Χρήστες: Η τεχνολογία των ΓΣΠ είναι περιορισμένης αξίας δίχως τους ανθρώπους που διαχειρίζονται τα συστήματά τους και αναπτύσσουν σχέδια για τις εφαρμογές τους στα πραγματικά προβλήματα. Η πραγματική δύναμη ενός ΓΣΠ πηγάζει από τους ανθρώπους που το χρησιμοποιούν. Οι χρήστες των ΓΣΠ κυμαίνονται από τους τεχνικούς ειδικούς που σχεδιάζουν και συντηρούν το σύστημα έως εκείνους που το χρησιμοποιούν για να τους βοηθήσει να εκτελέσουν την καθημερινή τους εργασία. Πλέον τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται από άτομα που δραστηριοποιούνται σε ποικίλους διαφορετικούς τομείς, σαν εργαλείο που επιτρέπει την πιο αποτελεσματική εκτέλεση των εργασιών τους.

Μέθοδοι: Ένα επιτυχημένο ΓΣΠ λειτουργεί βάσει ενός καλά σχεδιασμένου πλάνου και επιχειρηματικών κανόνων, οι οποίοι είναι τα μοντέλα και οι πρακτικές λειτουργίας που είναι μοναδικές για κάθε οργανισμό. Υπάρχουν ποικίλες τεχνικές που χρησιμοποιούνται τόσο για τη δημιουργία χαρτών όσο και για την περαιτέρω χρήση τους σε κάθε έργο.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα βασικά στάδια λειτουργίας των ΓΣΠ:

Συλλογή και Εισαγωγή Δεδομένων: Όλες οι υπόλοιπες λειτουργίες των ΓΣΠ όπως η αποθήκευση πληροφοριών, η διαχείριση, η έρευνα, η ανάλυση και η περιγραφή εξαρτώνται από τα δεδομένα [33]. Τα ΓΣΠ συγκεντρώνουν δεδομένα από συγκεκριμένες πηγές όπως είναι οι δορυφόροι, τα GPS, οι χάρτες και οι αισθητήρες. Τα δεδομένα που συλλέγονται και εισάγονται στο σύστημα περιλαμβάνουν πληροφορίες για τα εδάφη, τα υδάτινα σώματα, τις υποδομές και πολλές επιπλέον γεωγραφικές λεπτομέρειες.

Αποθήκευση και Διαχείριση Δεδομένων: Τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων των ΓΣΠ διαχωρίζουν την επεξεργασία από την αποθήκευση των δεδομένων και επιβάλλουν τις αλλαγές στα άμεσα επηρεαζόμενα προγράμματα [34].

Τα δεδομένα οργανώνονται σε βάσεις δεδομένων, όπου και διατηρούνται στη μορφή γεωγραφικών χαρακτηριστικών, όπως σημεία, γραμμές, πολυγωνικά σύνολα, και είναι εφικτό να συνδεθούν με άλλες διαφορετικές μορφές δεδομένων, όπως πληθυσμιακά ή περιβαλλοντικά δεδομένα.

Ανάλυση Δεδομένων: Ένα ΓΣΠ παρέχει μια δυναμική συλλογή εργαλείων για τη διαχείριση, την ανάλυση και την οπτικοποίηση χωρικών δεδομένων. Τα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων που παρέχουν τα ΓΣΠ, επιτρέπουν τη χωρική ανάλυση και την ανίχνευση μοτίβων ή τάσεων [35]. Για παράδειγμα, διευκολύνουν την αξιολόγηση της ευαισθησίας μιας περιοχής σε φυσικές καταστροφές ή τη μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ σημείων ενδιαφέροντος.

Οπτικοποίηση και Παρουσίαση Δεδομένων: Οι ικανότητες του GIS έχουν επεκταθεί ώστε να συμπεριλαμβάνονται η μοντελοποίηση και η απεικόνιση των χαρακτηριστικών του εδάφους, ώστε οι αρμόδιοι λήψης αποφάσεων να είναι σε θέση τόσο να δουν την τρέχουσα κατάσταση των πόρων που διέπραξαν όσο και τις επιπτώσεις των αποφάσεών τους καθώς και τη μελλοντική κατάσταση αυτών[36]. Τα δεδομένα παρουσιάζονται με τη μορφή χαρτών, γραφημάτων ή διαγραμμάτων, διευκολύνοντας την κατανόηση και τη λήψη αποφάσεων. Τέτοιες οπτικοποιήσεις συμβάλλουν στην εντόπιση προβλημάτων και την εφαρμογή λύσεων.

Υποστήριξη Λήψης Αποφάσεων: Το σύστημα του ΓΣΠ παρέχει βασικές λύσεις μάρκετινγκ και πληροφόρησης πελατών που κατευθύνουν προς βελτιωμένες επιχειρηματικές αποφάσεις [37]. Τα ΓΣΠ συμβάλλουν σημαντικά στη λήψη αποφάσεων, καθώς παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες σχετικές με το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την ανάπτυξη στρατηγικών σχεδιασμού αλλά και την αξιολόγηση τυχόν επιπτώσεων. Ποικίλα χωρικά προβλήματα είναι ιδιαίτερα πολύπλοκα, απαιτώντας τη χρήση αναλύσεων, μοντέλων και μία διεπιστημονική και ομαδική προσέγγιση προς επίλυσή τους [38].

Παρακάτω, παρουσιάζονται παραδείγματα Χρήσεων των Γ.Σ.Π.

Ποικίλες εκ των πιο πιεστικών προκλήσεων της σύγχρονης πραγματικότητας μπορούν να επωφεληθούν από τα εργαλεία ΓΣΠ και τις πληροφορίες που βάσει τοποθεσίας, όπως φυσικές καταστροφές και η κλιματική αλλαγή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η δυνατότητα που δίνουν τα ΓΣΠ στους διαχειριστές εγκαταστάσεων ώστε να αξιολογούν πιο αναίμακτα τις επιπτώσεις στα περιουσιακά στοιχεία των

εγκαταστάσεων σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Επιπλέον, οι χάρτες ΓΣΠ μπορούν να συμβάλλουν στην κατανόηση των γεωγραφικών θέσεων, με ακρίβεια, χώρων ρύπανσης σχετικών με τα υδάτινα σώματα και τους υδροβιότοπους, ώστε να εντοπιστούν τα αποθέματα νερού που κινδυνεύουν [27].

Πιο συγκεκριμένα, τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται για την ανάλυση χωρικών δεδομένων σε πολλούς τομείς όπως:

Πολεοδομικός και Χωροταξικός Σχεδιασμός: Ο πολεοδομικός σχεδιασμός αποτελεί μία από τις βασικές εφαρμογές των ΓΣΠ. Οι πολεοδόμοι χρησιμοποιούν τα ΓΣΠ τόσο ως χωρική βάση δεδομένων όσο και ως εργαλείο ανάλυσης και μοντελοποίησης. Τα ΓΣΠ αποτελούν θεμελιώδη εργαλεία τόσο για τη χωροταξική ανάλυση όσο και για τον σχεδιασμό αστικών περιοχών. Συμβάλλουν στην κατανομή γης, τις μελέτες κυκλοφορίας, τη βελτιστοποίηση υποδομών και τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με τη χωροθέτηση κτιρίων και δημόσιων χώρων [39].

Περιβαλλοντική Διαχείριση: Βασική εφαρμογή των ΓΣΠ είναι η χρήση τους στην παρακολούθηση και την προστασία του περιβάλλοντος, όπως στην ανίχνευση αποψίλωσης δασών, τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, την ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και την αντιμετώπιση της ρύπανσης [30].

Υγεία και Κοινωνική Ευημερία: Η καταγραφή και η παρακολούθηση της εξάπλωσης επιδημιών, η ανάλυση παραγόντων κινδύνου υγείας και ο εντοπισμός περιοχών υψηλής ανάγκης για υγειονομική φροντίδα, είναι μερικές σημαντικές εφαρμογές χρήσης του ΓΣΠ. Τέτοιου είδους εφαρμογές του ΓΣΠ συμβάλλουν στην άμεση ανταπόκριση σε υγειονομικές κρίσεις και στη βελτίωση υπηρεσιών δημόσιας υγείας [30].

Γεωργία και Διαχείριση Γης: Η γεωργία πλέον έχει μετατραπεί σε βιομηχανία υψηλής τεχνολογίας, με τα ΓΣΠ να έχουν συμβάλει σημαντικά σε αυτό. Τα ΓΣΠ υποστηρίζουν την ανάλυση εδαφών, την καταγραφή καλλιεργειών και την παρακολούθηση της παραγωγής, όπως επίσης και την αξιολόγηση της υγρασίας και της ποιότητας του εδάφους. Όλες αυτές οι λειτουργίες, και πολλές επιπλέον, επιτρέπουν στους επαγγελματίες του κλάδου να βελτιστοποιούν τις καλλιέργειες και να αυξάνουν την απόδοσή τους, ταυτόχρονα με βιώσιμο τρόπο [40].

Διαχείριση Καταστροφών και Αντιμετώπιση Κρίσεων: Τα ΓΣΠ συνεχίζουν να αποκτούν σημαντική αναγνώριση από τους επαγγελματίες και τους ακαδημαϊκούς που

ασχολούνται με τη διαχείριση καταστροφών. Σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, όπως σεισμοί, πλημμύρες ή πυρκαγιές, τα ΓΣΠ είναι σε θέση να παρέχουν πληροφορίες για την βέλτιστη αντίδραση και διάσωση. Συμβάλλουν στο σχεδιασμό εκκένωσης, στην τοποθέτηση υποδομών έκτακτης ανάγκης καθώς και στην αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών [41].

Μεταφορές και Λογιστική Υποστήριξη: Τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται στη βελτίωση της κυκλοφορίας, την οργάνωση των δημόσιων μεταφορών καθώς και τη διαχείριση στόλων οχημάτων. Συμβάλλουν στην εξοικονόμηση κόστους και χρόνου στον τομέα των μεταφορών καθώς επιτρέπουν την βελτιστοποίηση των διαδρομών και την παρακολούθηση της κίνησης [30].

Αρχαιολογία και Ιστορία : Τα ΓΣΠ έχουν βρει το δρόμο τους σε πολλούς τομείς αρχαιολογικών ερευνών, ιδίως στον τομέα της Διαχείρισης Πολιτιστικών Πόρων (CRM). Τα ΓΣΠ συμβάλλουν στον εντοπισμό αρχαιολογικών χώρων και την ανάλυση ιστορικών τοποθεσιών. Χρησιμοποιούνται τόσο στη χαρτογράφηση αρχαίων πόλεων όσο και στην ανασύνθεση παλαιών γεωγραφικών δεδομένων, διευκολύνοντας με αυτό τον τρόπο την κατανόηση της πολιτιστικής κληρονομιάς [42].

Τουρισμός και Ψυχαγωγία: Τα ΓΣΠ αποτελούν ένα ανεκτίμητο σύνολο εργαλείων με τεχνικές και τεχνολογίες ευρείας εφαρμογής για την επίτευξη βιώσιμης τουριστικής ανάπτυξης. Τα ΓΣΠ, μέσω της χαρτογράφησης και της ανάλυσης δεδομένων, προωθούν τον τουρισμό, συμβάλλοντας στην βελτιωμένη οργάνωση διαδρομών καθώς και στην προβολή αξιοθέατων, γεγονός που βελτιώνει σημαντικά την εμπειρία των τουριστών [30].

2.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΓΣΠ.

ΠΑΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΣΠ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) έχουν ποικίλα πλεονεκτήματα που τα καθιστούν εξαιρετικά χρήσιμα σε ένα ευρύ φάσμα τομέων. Τα καίρια πλεονεκτήματα των ΓΣΠ μπορούν να γενικευθούν όπως φαίνεται στην συγκεκριμένη ενότητα:

1. Ακρίβεια και Αξιοπιστία στα Δεδομένα

Τα ΓΣΠ παρέχουν ακριβείς χωρικές πληροφορίες, και συμβάλλουν στην καλύτερη τήρηση αρχείων γεωγραφικών πληροφοριών, βοηθώντας τους χρήστες να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις. Γεγονός χρήσιμο σε τομείς όπως η πολεοδομία, η δημόσια υγεία και η διαχείριση φυσικών πόρων, όπου η ακρίβεια των δεδομένων είναι κρίσιμη [30].

2. Οπτικοποίηση και Χωρική Ανάλυση

Με τα ΓΣΠ, η οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω χαρτών είναι βασική λειτουργία για τους χρήστες, που με αυτό το μέσο διευκολύνεται σημαντικά η κατανόηση των χωρικών σχέσεων και μοτίβων. Γεγονός χρήσιμο στην ανάλυση τάσεων και στη λήψη αποφάσεων, όπως αποτελούν η χαρτογράφηση περιοχών με υψηλή πυκνότητα κτιρίων ή οι ζώνες υψηλού κινδύνου για φυσικές καταστροφές [43].

3. Βελτίωση στη Διαχείριση Πόρων και Υποδομών

Τα ΓΣΠ συνδράμουν στην καλύτερη διαχείριση των πόρων, καθώς επιτρέπουν τόσο την παρακολούθηση όσο και την αξιολόγηση των διαθέσιμων υποδομών και φυσικών πόρων. Αξιοποιούνται στην πρόβλεψη και στην αποτροπή περιβαλλοντικών καταστροφών, στον εντοπισμό περιοχών για αναδάσωση, καθώς και στη διαχείριση υδάτινων πόρων [43].

4. Εξοικονόμηση Χρόνου και Κόστους

Τα ΓΣΠ συμβάλλουν στη μείωση του χρόνου και του κόστους που απαιτείται για την ανάλυση γεωγραφικών πληροφοριών, μέσω λειτουργιών αυτοματοποίησης της συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων. Γεγονός χρήσιμο για τους

οργανισμούς που χρειάζονται ταχύτερη και οικονομικότερη ανάλυση δεδομένων στον στρατηγικό τους σχεδιασμό, και όχι μόνο [44].

5. Ευελιξία και Δυνατότητα Συνδυασμού Δεδομένων

Τα ΓΣΠ προσφέρουν στον χρήστη δυνατότητες για τον συνδυασμό διαφόρων τύπων δεδομένων όπως, κοινωνικοοικονομικά και γεωγραφικά, από ποικίλες πηγές, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο μία ολοκληρωμένη ανάλυση του χώρου. Γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό στις σύνθετες μελέτες, όπως η ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων [43].

6. Υποστήριξη στη Λήψη Αποφάσεων και Σχεδιασμός Στρατηγικής

Οι δυνατότητες και τα εργαλεία ανάλυσης που παρέχουν τα ΓΣΠ, τα καθιστούν ικανά να υποστηρίξουν τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε οργανισμούς και δημόσιους φορείς. Τα δεδομένα των ΓΣΠ χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην στρατηγική τοποθέτηση υποδομών, στη βελτίωση των δημοτικών υπηρεσιών και στον πολεοδομικό σχεδιασμό [30]

Τα ΓΣΠ μπορούν να οδηγήσουν σε καινούριους τρόπους σκέψης και αντιμετώπισης προβλημάτων, καθώς τα δεδομένα συνδέονται με ένα κοινό σύστημα αναφοράς, και συνεπώς είναι πιο απλό να χρησιμοποιηθούν τα ίδια δεδομένα σε διάφορες εφαρμογές καθώς και να συσχετιστούν διαφορετικά σύνολα δεδομένων τα οποία παρελθοντικά δεν ήταν διαθέσιμα για κοινή ανάλυση. Όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν, και πολλά επιπλέον, καθιστούν τα ΓΣΠ σημαντικά εργαλεία σε ποικίλους τομείς, εφόσον επιτρέπουν την αποτελεσματική και λεπτομερή ανάλυση και κατανόηση του γεωγραφικού χώρου με ευκολία [30].

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΣΠ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) προσφέρουν αναμφισβήτητα πολλά οφέλη, ωστόσο πρέπει να ληφθούν υπόψη από τους χρήστες και ορισμένα αντίστοιχα μειονεκτήματα:

1. Υψηλά κόστη υλοποίησης και συντήρησης: Η εγκατάσταση ενός ΓΣΠ μπορεί να είναι δαπανηρή εξαιτίας του κόστους που αφορά τις άδειες λογισμικού, το υλικό καθώς και την εκπαίδευση του προσωπικού. Στα έξοδα προστίθενται και τα κόστη

συντήρησης, καθιστώντας το ΓΣΠ μια σημαντική επένδυση για τους οργανισμούς. Επιπλέον, η συλλογή, επεξεργασία και συντήρηση των συνόλων δεδομένων μπορεί να είναι χρονοβόρα και περίπλοκη. Τα ανακριβή ή ξεπερασμένα δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε προβληματικές αναλύσεις και λανθασμένη λήψη αποφάσεων [43].

2.Τεχνολογική εξάρτηση: Το ΓΣΠ εξαρτάται από την τεχνολογική υποδομή, κάποιοι εκ των οποίων είναι οι διακομιστές, το λογισμικό και η ποιότητας συνδεσιμότητας στο διαδίκτυο. Αστοχίες σε οποιοδήποτε από αυτές τις συνιστώσες μπορούν να αναστατώσουν την πρόσβαση σε καίριας σημασίας δεδομένα και λειτουργίες, επηρεάζοντας επομένως τη διαδικασία λήψης αποφάσεων [45].

3. Κίνδυνοι απορρήτου και ασφάλειας: Τα ΓΣΠ ενδέχεται να οδηγήσουν στην ανάλυση ευαίσθητων γεωγραφικών και προσωπικών δεδομένων, γεγονός που προκαλεί ανησυχία σε θέματα απορρήτου και ασφάλειας των δεδομένων. Η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή η παραβίαση δεδομένων μπορεί να θέσει σε κίνδυνο ευαίσθητες πληροφορίες, οδηγώντας σε νομικά και ηθικά ζητήματα [46].

4.Ενδεχόμενο παραπλανητικών αποτελεσμάτων: Αν τα δεδομένα ΓΣΠ δεν αναλυθούν σωστά ή αν γίνουν λάθος, οι χάρτες και οι αναλύσεις που προκύπτουν μπορούν να παραπλανήσουν τους χρήστες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα και εσφαλμένη λήψη αποφάσεων [44].

2.2.4 Χρήσεις των Γ.Σ.Π. στην περιβαλλοντική διαχείριση

Οι ικανότητες ανάλυσης, απεικόνισης και διαχείρισης πληθώρας χωρικών δεδομένων, καθώς και αμέτρητες ακόμα δυνατότητες, καθιστούν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) βάλτιστα εργαλεία στη διαχείριση του περιβάλλοντος, μέσω ποικίλων εφαρμογών. Στην συνέχεια, αναλύονται ορισμένες βασικές εφαρμογές των ΓΣΠ στην περιβαλλοντική διαχείριση.

1. Διαχείριση φυσικών πόρων : Η ολοκληρωμένη χρήση των ΓΣΠ δίνει τη δυνατότητα σε αρμόδιους συμβούλους και διαχειριστές φυσικών πόρων, ερευνητές, κυβερνητικές υπηρεσίες και βιομηχανίες να προάγουν σχέδια διαχείρισης για ποικίλες εφαρμογές διαχείρισης φυσικών πόρων [47]. Ένα ΓΣΠ αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο σε μελέτες θεμάτων που αφορούν αλλαγές της κάλυψης γης, την πυκνότητα των δασών, την μορφολογία των ακτών, την κατάσταση των υφάλων και τη βιοποικιλότητα των

νησιών, ακόμη και αν βρίσκονται σε απομακρυσμένα σημεία [48]. Σαν εργαλείο, διευκολύνει τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των δασών, του νερού και των ορυκτών, συμβάλλοντας στην παρακολούθηση της διαθεσιμότητας των πόρων, των αλλαγών με το πέρασμα του χρόνου καθώς και στον σχεδιασμό βιώσιμων πρακτικών εξόρυξης [49].

2. Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ): Τα ΓΣΠ μπορούν να χρησιμεύσουν ως πολύτιμα εργαλεία για την ανάπτυξη εκτιμήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων χάρις στην ευρεία εφαρμογής τους και την ευελιξία τους [51]. Αυτά τα χαρακτηριστικά, αντικατοπτρίζονται στις δυνατότητες:

Αποθήκευσης μεγάλων, διεπιστημονικών συνόλων δεδομένων.

Προσδιορισμού πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών.

Αξιολόγησης των αλλαγών με την πάροδο του χρόνου.

Συστηματικής ενημέρωσης και χρήσης για περισσότερα από ένα έργα.

Χρησιμότητας ως σύνολο δεδομένων για πληθώρα μαθηματικών μοντέλων.

Αποθήκευσης και χειρισμού τρισδιάστατων, πέρα από δισδιάστατων, διαστάσεων [51].

Η χρήση των ΓΣΠ όχι μόνο βελτιώνει τη συνολική διαδικασία εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ), αλλά επιπλέον παρέχει πολύτιμες στρατηγικές χαρτογράφησης, συμπεριλαμβανομένης και της ολοκληρωμένης προσέγγισης του περιβαλλοντικού συστήματος [50]. Επιτρέπουν τη χωρική ανάλυση των πιθανών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, τα υδάτινα σώματα και τις χρήσεις γης, καθώς και διαδραματίζουν καίριο ρόλο στις εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων για αναπτυξιακά έργα.

3. Ενδιαίτηματα και διατήρηση της άγριας πανίδας και χλωρίδας : Η τεχνολογία των ΓΣΠ είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, διαδραματίζοντας ζωτικό ρόλο στην ανάλυση της άγριας ζωής [52]. Η χρήση των ΓΣΠ συμβάλλει στη χαρτογράφηση των ενδιαιτημάτων της άγριας ζωής και στην παρακολούθηση της κατανομής των ειδών, γεγονός ύψιστης σημασίας στον προσδιορισμό των προτεραιοτήτων διατήρησης. Με την ανάλυση χωρικών δεδομένων, οι συντηρητές

είναι σε θέση να δημιουργήσουν αποτελεσματικά σχέδια διαχείρισης για την προστασία των απειλούμενων ειδών και των ενδιαιτημάτων τους [53].

4. Παρακολούθηση και διαχείριση της ρύπανσης: Η διαχείριση και η παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα και των υδάτων μέσω της χρήσης της τεχνολογίας των ΓΣΠ αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο. Τα δεδομένα προς μέτρηση μπορούν να λαμβάνονται συνεχώς, με ταχύτητα και ακρίβεια σε σταθμούς σε οποιαδήποτε περιοχή, συμπεριλαμβανομένων και περιοχών με πολύπλοκο έδαφος, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση του απαιτούμενου αριθμού εργαζομένων αλλά και στην αυτόματη και αδιάκοπη διαχείριση μεγάλου αριθμού δεδομένων [54]. Με την ενσωμάτωση δεδομένων από διάφορες πηγές, τα ΓΣΠ είναι σε θέση να εντοπίσουν πηγές και εστίες ρύπανσης, συμβάλλοντας στην ενημέρωση για ρυθμιστικές δράσεις και στρατηγικές περιβαλλοντικής αποκατάστασης [55].

5. Διαχείριση καταστροφών: Ο ρόλος των ΓΣΠ στην κατανόηση του γεωγραφικού πλαισίου των καταστάσεων καταστροφών και στην υποστήριξη της συνειδητοποίησης της κατάστασης είναι ιδιαίτερα κρίσιμος. Η συνεχιζόμενη αναγκαία επέμβαση των ΓΣΠ στη διαχείριση καταστροφών καταδεικνύεται από μία πληθώρα προβλημάτων, όπως οι φυσικές καταστροφές, η κλιματική αλλαγή, οι ανθρωπιστικές κρίσεις και οι παγκόσμιες πανδημίες, με κάποιες χαρακτηριστικές μελέτες περίπτωσης που η χρήση των ΓΣΠ ήταν καίρια να αποτελούν ο τυφώνας Harvey, οι προσφυγικές κρίσεις των Rohingya, της Συρίας και του Κονγκό και η πανδημία COVID-19 [56]. Στα πλαίσια των φυσικών καταστροφών, τα ΓΣΠ αποτελούν ανεκτίμητο μέσο εκτίμησης του κινδύνου αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών, επιτρέποντας την ανάλυση των ευάλωτων περιοχών, συμβάλλοντας στον σχεδιασμό των διαδρομών εκκένωσης και στην κατανομή των πόρων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, μπορούν να αξιοποιηθούν στη μοντελοποίηση πιθανών σεναρίων καταστροφών, βοηθώντας στις προσπάθειες ετοιμότητας και μετριασμού [57].

6. Ανάλυση της κλιματικής αλλαγής: Ένα κατάλληλο πλαίσιο των ΓΣΠ έχει τη δυνατότητα να παρέχει μια αναβαθμισμένη ικανότητα αξιολόγησης των πιθανών απαντήσεων μιας σειράς στρατηγικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή [59]. Τα ΓΣΠ υποστηρίζουν τις μελέτες για την κλιματική αλλαγή, μοντελοποιώντας τις επιπτώσεις που πιθανόν να επέλθουν τόσο σε ποικίλα οικοσυστήματα όσο και στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Με την ενσωμάτωση κλιματικών δεδομένων με

γεωγραφικές πληροφορίες, οι ερευνητές και οι επαγγελματίες του κλάδου είναι σε θέση να αναλύουν τους τρόπους που η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τις χρήσεις γης, τη μετανάστευση των ειδών και την καταλληλότητα των ενδιαιτημάτων [58].

7. Σχεδιασμός χρήσεων γης: Μία από τις πιο χρήσιμες εφαρμογές των ΓΣΠ για το σχεδιασμό και τη διαχείριση είναι η χαρτογράφηση και ανάλυση της καταλληλότητας της χρήσης γης [61], [60], [62]. Τα ΓΣΠ βοηθούν σημαντικά τους επαγγελματίες του κλάδου στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων αναφορικά με τη χρήση γης. Αναλύοντας την τρέχουσα κάλυψη γης, τους κανονισμούς χωροθέτησης και τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, τα ΓΣΠ μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη στρατηγικών που προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [63].

2.3. Πολυκριτηριακή Ανάλυση

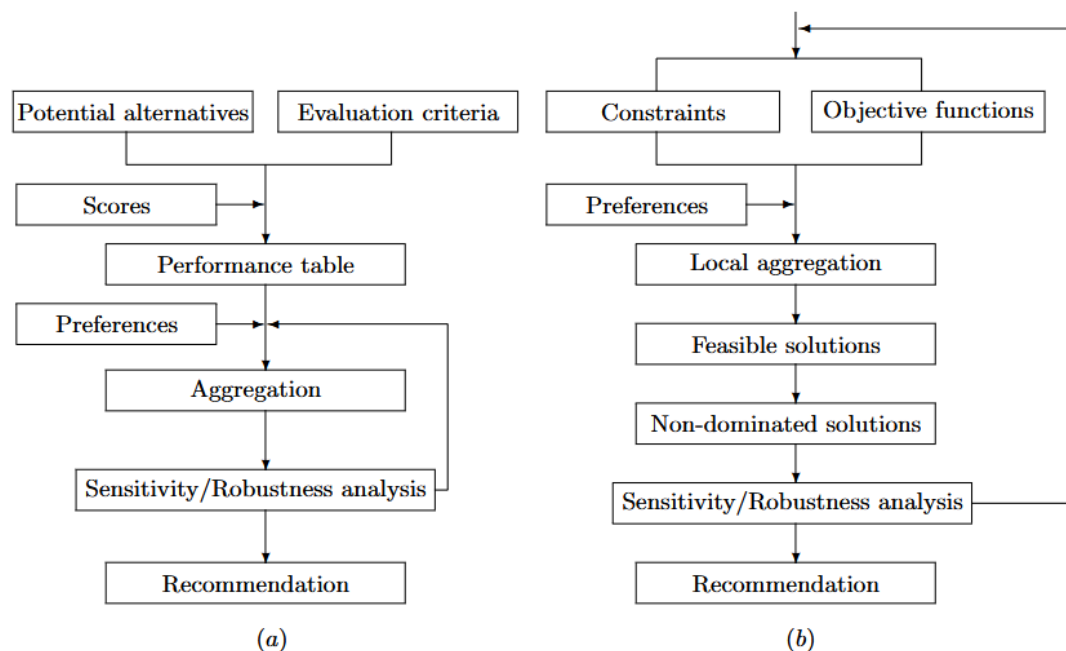
Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα σύνολο συστηματικών διαδικασιών για τον σχεδιασμό, την αξιολόγηση καθώς και την επιλογή εναλλακτικών λύσεων απόφασης με βάση αντικρουόμενα και ασυμβίβαστα κριτήρια. Το βασικό κίνητρο ενσωμάτωσης των ΓΣΠ και της πολυκριτηριακής ανάλυσης προέρχεται από την ανάγκη να καταστεί η τεχνολογία γεωγραφικών πληροφοριών σημαντικότερη για την ανάλυση προβλημάτων στη λήψη αποφάσεων (σχεδιασμός, διαχείριση) [111]. Η πολυκριτηριακή ανάλυση έχει ποικίλους ορισμούς, με τον πιο κοινό εξ αυτών ότι είναι μία δομημένη προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των συνολικών πιθανών εναλλακτικών λύσεων και προτιμήσεων και την ταυτόχρονη αξιολόγησή τους με βάσει διαφορετικών κριτηρίων [112].

2.3.1 Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αναπτύχθηκε με σκοπό να αντιμετωπίσει προβλήματα που οι πιο παραδοσιακές μέθοδοι λήψης αποφάσεων δεν επαρκούν (όπως η μονοκριτηριακή βελτιστοποίηση). Η πολυκριτηριακή ανάλυση επιτρέπει την παράλληλη αξιολόγηση ποικίλων παραμέτρων έναντι της εστίασης σε ένα μοναδικό κριτήριο [113]. Οι παράμετροι που αναλύονται ταυτόχρονα μπορεί να είναι οικονομικοί παράγοντες όπως το κόστος και η αποδοτικότητα, κοινωνικοί παράγοντες όπως η κοινωνική αποδοχή, περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η βιωσιμότητα,

χωροταξικοί παράγοντες όπως η καταλληλότητα του εδάφους και πολλές ακόμα παράμετροι [114]. Η ύψιστη σημασία των κοινωνικών αποφάσεων ειδικά σε καταστάσεις που είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη πολλαπλά και συχνά αντικρουόμενα κριτήρια, έχει οδηγήσει στην ανάγκη χρήσης κατάλληλων μεθόδων υποστήριξης της πολυκριτηριακής ανάλυσης [115].

Βιβλιογραφικά, υπάρχουν διάφορες κατηγορίες μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης. Οι πολυκριτήριες μέθοδοι κατηγοριοποιούνται συνήθως ως διακριτές ή συνεχείς, ανάλογα με τον τομέα εναλλακτικών λύσεων. Η πρώτη κατηγορία μεθόδων περιλαμβάνει μεθόδους που ασχολούνται με έναν διακριτό, συνήθως περιορισμένο, αριθμό προκαθορισμένων εναλλακτικών λύσεων. Η δεύτερη κατηγορία μεθόδων περιλαμβάνει μεθόδους που ασχολούνται με μεταβλητές τιμές απόφασης που θα πρέπει να προσδιοριστούν σε ένα συνεχές ή ακέραιο πεδίο άπειρου ή μεγάλου αριθμού επιλογών. Ποικίλοι συγγραφείς ταξινομούν τις κατηγορίες μεθόδων σε λήψη αποφάσεων πολλαπλών χαρακτηριστικών (MADM) και σε λήψη αποφάσεων πολλαπλών στόχων (MODM). Παρακάτω, στην Εικόνα 3, δίνεται το γενικό σχήμα των διακριτών και συνεχών πολυκριτηριακών μεθόδων [126].



Εικόνα 3: Γενικό σχήμα διακριτών (α) και συνεχών (β) πολυκριτηριακών μεθόδων [126].

2.3.2 Μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης

Ανάλογα με την φύση του προβλήματος που εξετάζεται, υπάρχουν ποικίλες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που αξίζει να αναφερθούν. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι πιο βασικές εξ αυτών.

2.3.2.1. Μέθοδος AHP (Analytic Hierarchy Process)

Η Μέθοδος AHP αποτελεί μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης, και βασίζεται στην ανάλυση ιεραρχιών και την σύγκριση ζευγών. Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytic Hierarchy Process - AHP) αποτελεί μια μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης την οποία ανέπτυξε ο Thomas L. Saaty κατά την δεκαετία του 1970. Είναι κατάλληλη για την λήψη αποφάσεων σε σύνθετα προβλήματα, καθώς επιτρέπει την ιεράρχηση εναλλακτικών λύσεων βάσει πολλαπλών κριτηρίων [116]. Επιπλέον, η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει μια μεθοδολογία για τη βαθμονόμηση της αριθμητικής κλίμακας στη μέτρηση ποσοτικών καθώς και ποιοτικών επιδόσεων. Η κλίμακα κυμαίνεται από 1/9 για το «λιγότερο πολύτιμο από», έως 1 για το «ίσο» και έως 9 για το «απολύτως σημαντικότερο από», καλύπτοντας όλο το φάσμα της σύγκρισης.

Μερικά σημαντικά βασικά βήματα που ακολουθούνται σε αυτή τη μεθοδολογία είναι τα παρακάτω:

- Ο καθορισμός του προβλήματος.
- Διερεύνηση των στόχων του προβλήματος ή εξέταση όλων των φορέων, των στόχων και των αποτελεσμάτων του.
- Προσδιορισμός των τα κριτηρίων επηρεασμού.
- Δόμηση του προβλήματος σε μια ιεραρχία διαφορετικών επιπέδων τα οποία συντελούν τον στόχο, τα κριτήρια, τα υποκριτήρια καθώς και τις εναλλακτικές λύσεις.
- Σύγκριση όλων των στοιχείων στο αντίστοιχο επίπεδο και βαθμολόγηση τους στην αριθμητική κλίμακα. Κάτι τέτοιο απαιτεί $n(n - 1)/2$ φορές συγκρίσεων, όπου n είναι ο αριθμός των στοιχείων με τις σκέψεις ότι τα διαγώνια στοιχεία

είναι ίσα ή «1» και τα άλλα στοιχεία θα είναι απλώς τα αντίστροφα των προηγούμενων συγκρίσεων.

- Εκτέλεση υπολογισμών για να βρεθούν η μέγιστη τιμή Eigen, ο δείκτης συνέπειας CI, ο λόγος συνέπειας CR και οι κανονικοποιημένες τιμές κάθε κριτηρίου ή εναλλακτικής λύσης. Εάν η μέγιστη τιμή Eigen, το CI και το CR είναι ικανοποιητικά, τότε η απόφαση λαμβάνεται με βάση τις κανονικοποιημένες τιμές. Σε αντίθετη περίπτωση, η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι οι τιμές αυτές να βρεθούν σε ένα επιθυμητό εύρος. [117]. Η Μέθοδος AHP έχει εφαρμοστεί σε ποικίλους τομείς, όπως η διαχείριση έργων για την ιεράρχηση αλλά και επιλογή έργων ενός χαρτοφυλακίου, και η αξιολόγηση της παραγωγικότητας σαν εργαλείο αξιολόγησης απόδοσης και παραγωγικότητας [118].

2.3.2.2. Μέθοδος Απλής Σταθμισμένης Άθροισης (Simple Additive Weighting - SAW)

Η Μέθοδος SAW αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης στη λήψη αποφάσεων απόφασης. Χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση και κατάταξη εναλλακτικών λύσεων βάσει πολλαπλών κριτηρίων, και συνδυάζει τις τιμές αυτών με τα αντίστοιχα βάρη τους [119].

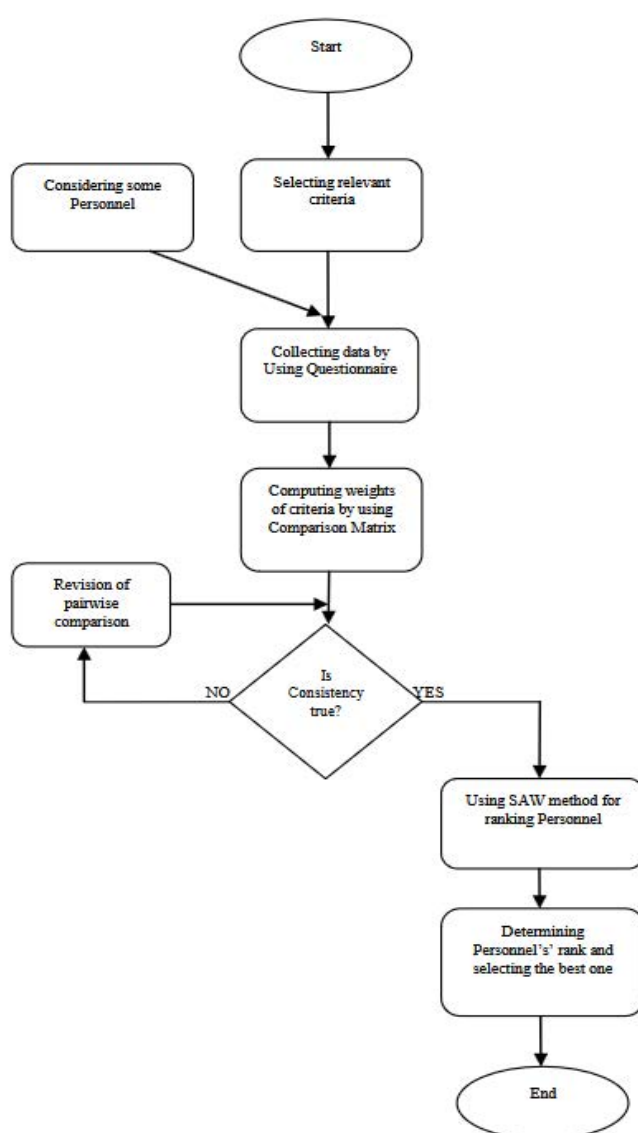
Μερικά σημαντικά βασικά βήματα που ακολουθούνται στην συγκεκριμένη μεθοδολογία, συνοψίζονται παρακάτω:

Η κανονικοποίηση των τιμών των κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, καθώς τα κριτήρια είναι πιθανό να έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης, είναι απαραίτητη η κανονικοποίηση των τιμών τους ώστε να μπορούν να είναι συγκρίσιμες. Συνηθίζεται να επιτυγχάνεται κάτι τέτοιο μέσω της γραμμικής κανονικοποίησης, όπου οι τιμές μετατρέπονται σε μια κοινή κλίμακα, όπως το [0,1].

Σταθμισμένη Άθροιση. Αναλυτικά, αφού γίνει η κανονικοποίηση, κάθε τιμή κριτηρίου πολλαπλασιάζεται με το αντίστοιχο βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου, το οποίο αντικατοπτρίζει την σημασία του. Σε επόμενη φάση, οι σταθμισμένες τιμές αθροίζονται για όλες τις εναλλακτικές λύσεις, ώστε να γίνει ο υπολογισμός της συνολικής βαθμολογίας.

Στην συνέχεια, οι εναλλακτικές λύσεις κατατάσσονται βάσει των συνολικών τους βαθμολογιών. Η εναλλακτική λύση που έχει την μεγαλύτερη βαθμολογία θεωρείται η πλέον προτιμητέα [120].

Η Μέθοδος SAW βρίσκει εφαρμογή σε ποικίλους τομείς, όπως είναι η αξιολόγηση έργων για την κατάταξη και επιλογή είτε έργων είτε επενδύσεων βάσει οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων, αλλά και η επιλογή του προσωπικού. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται η διαδικασία των βημάτων της μεθοδολογίας για το πρόβλημα της επιλογής του προσωπικού.



Εικόνα 4: Flowchart του προβλήματος αναζήτησης προσωπικού σε βήματα της μεθόδου SAW [121].

2.3.2.3. Μέθοδος ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality)

Η μέθοδος ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality) αποτελεί μία ομάδα πολυκριτηριακών μεθόδων λήψης αποφάσεων και αναπτύχθηκε στη Γαλλία κατά την δεκαετία του 1960 από τον Bernard Roy και την ομάδα συνεργατών του. Στόχος της συγκεκριμένη μεθόδου είναι η υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε προβλήματα όπου υπάρχουν ποικίλα και συχνά αντικρουόμενα κριτήρια [122].

Οι μέθοδοι ELECTRE περιλαμβάνουν δύο κύριες διαδικασίες:

- Μία διαδικασία συνάθροισης πολλαπλών κριτηρίων, που επιτρέπει την κατασκευή μιας ή περισσότερων σχέσεων υπεροχής που στοχεύει στην συνολική σύγκριση κάθε ζεύγους δράσεων.
- Μία διαδικασία αξιοποίησης η οποία κατευθύνει στην παραγωγή αποτελεσμάτων ανάλογα με τη φύση του προβλήματος.

Επομένως, η κάθε μέθοδος ELECTRE χαρακτηρίζεται από τις διαδικασίες κατασκευής και αξιοποίησής της [123].

Οι μέθοδοι ELECTRE βρίσκουν εφαρμογή σε πραγματικά προβλήματα λήψης αποφάσεων και απαιτούν πακέτα λογισμικού. Ορισμένα από αυτά τα πακέτα λογισμικού χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε μεγάλες επιχειρήσεις όσο και σε πανεπιστήμια, ιδιαίτερα τα λογισμικά ELECTRE IS, ELECTRE III-IV, ELECTRE TRI και IRIS [123]. Μερικές από τις εφαρμογές της μεθόδου αφορούν τομείς όπως η περιβαλλοντική διαχείριση, στην αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την βιωσιμότητα, ο ενεργειακός σχεδιασμός για την επιλογή τεχνολογιών, αλλά και η διαχείριση έργων για την αξιολόγηση και ιεράρχηση έργων βάσει πολλαπλών κριτηρίων.

2.3.2.4. Μέθοδος MAUT (Multi-Attribute Utility Theory).

Η Θεωρία Πολυκριτηριακής Χρησιμότητας (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT) αποτελεί μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη λήψη αποφάσεων στις περιπτώσεις όπου εμπλέκονται πολλαπλά κριτήρια και χρήζουν πολυκριτηριακής ανάλυσης. Στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η ποσοτικοποίηση των

προτιμήσεων του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων μέσω συναρτήσεων χρησιμότητας, με σκοπό την σύγκριση και την κατάταξη εναλλακτικών λύσεων [124].

Αν και η πρακτική εφαρμογή μιας MAUT μπορεί να διαφέρει, όλες οι διαδικασίες που την αφορούν περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βήματα:

Ο καθορισμός των εναλλακτικών λύσεων και των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την αξία τους.

- Η αξιολόγηση όλων των εναλλακτικών λύσεων χωριστά για το κάθε χαρακτηριστικό.
- Η εκχώρηση των σχετικών με τα χαρακτηριστικά βαρών.
- Η συγκέντρωση των βαρών των χαρακτηριστικών και των αξιολογήσεων των εναλλακτικών λύσεων βάσει ενός μόνο χαρακτηριστικού ώστε να προκύψει μία συνολική αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων.
- Η εκτέλεση αναλύσεων ευαισθησίας και η διατύπωση συστάσεων [125].

Η μέθοδος MAUT βρίσκει εφαρμογή σε ποικίλους τομείς, όπως στην περιβαλλοντική διαχείριση σε προβλήματα βιωσιμότητας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, στον ενεργειακό σχεδιασμό, όπως στην επιλογή ενεργειακών τεχνολογιών και στην ανάλυση ενεργειακών πολιτικών, καθώς και στις μεταφορές και στην πολεοδομία, όπως στην επιλογή σχεδίων για την ανάπτυξη δικτύων μεταφορών και στην ανάλυση επιλογών για βιώσιμη ανάπτυξη πόλεων και διαχείριση πόρων.

2.3.3 Εφαρμογές της πολυκριτηριακής ανάλυσης στην χωροθέτηση

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί πλέον ακρογωνιαίο λίθο στον τομέα του χωροταξικού σχεδιασμού, καθώς προσφέρει ένα συστηματικό πλαίσιο στη λήψη αποφάσεων πολύπλοκων προβλημάτων και περιβαλλόντων που πρέπει να συμπεριληφθούν πολλά διαφορετικά κριτήρια. Η πολυκριτηριακή ανάλυση ενσωματώνει περιβαλλοντικές, κοινωνικές, οικονομικές και τεχνικές συνιστώσες, βοηθώντας τους επαγγελματίες του κλάδου να αντιμετωπίσουν τις ανταγωνιστικές απαιτήσεις [126]. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι πιο βασικοί τομείς εφαρμογών της πολυκριτηριακής ανάλυσης στην χωροθέτηση.

Χωροταξικός σχεδιασμός: προσδιορισμός της βέλτιστης χρήσης γης για βιομηχανικούς, γεωργικούς καθώς και οικιστικούς σκοπούς. Οι επαγγελματίες

αρμόδιοι σχεδιαστές των φυσικών πόρων πρέπει να έχουν στη διάθεσή τους εργαλεία που μπορούν να συμβάλλουν αντικειμενικά στην ιεραρχημένη κατανομή των χρήσεων γης [127]. Ένα παράδειγμα αποτελεί η προτεραιοποίηση περιοχών για γεωργικές δραστηριότητες με ταυτόχρονη τη διατήρηση της βιοποικιλότητας

Πολεοδομικός σχεδιασμός και ανάπτυξη: Ο πολεοδομικός σχεδιασμός αποτελεί την διαδικασία ανάπτυξης μακροπρόθεσμων πολιτικών για το μέλλον μιας περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη ποικίλες τεχνικές, πολιτικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνιστώσες. Οι ανάγκες ενσωμάτωσης αυτών των συνιστωσών συνέβαλαν στην αυξανόμενη χρήση πολυκριτηριακών προσεγγίσεων και μεθόδων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής που αποτελεί ένα από τα πιο συνηθισμένα προβλήματα σχεδιασμού της αστικής ανάπτυξης, είναι η επιλογή μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών σχεδίων [128].

Σχεδιασμός μεταφορών: Ο προσδιορισμός της μεταφορικής ικανότητας (οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές) αποτελεί ένα ιδιαίτερα κρίσιμο έργο που μπορεί να προσδιορίσει αν το δίκτυο είναι σε θέση να υποστηρίξει τον σημερινό όγκο κυκλοφορίας και αν είναι ικανό να διαχειριστεί τη μελλοντική προβλεπόμενη κυκλοφοριακή ροή [129]. Ο σχεδιασμός των μεταφορών αποδίδεται ως ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα λήψης αποφάσεων, δεδομένου ότι τα έργα σχεδιασμού έχουν συνήθως δύο ή περισσότερους αντικρουόμενους στόχους. Οι διαδικασίες του σχεδιασμού των μεταφορών συνεπάγονται και την αξιολόγηση ενός διακριτού συνόλου εναλλακτικών λύσεων, αναφορικά με αυτούς τους αντικρουόμενους στόχους. Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει και στην εγκατάσταση έργων ΑΠΕ καθώς πολλές φορές για την διεκπεραίωσή τους, απαιτείται η δημιουργία σύνοδων έργων με απώτερο σκοπό την μεταφορά του εξοπλισμού στο χώρο εγκατάστασης. [130].

Χωροθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Οι στρατηγικές λήψης αποφάσεων με την εφαρμογή μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλείς στη λήψη αποφάσεων για την επιλογή τόπων εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαιτίας του ότι λαμβάνουν υπόψη πολλαπλούς αντικρουόμενους στόχους αλλά και προτιμήσεις των υπευθύνων λήψης αποφάσεων. Η επιλογή τόπου εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θεωρείται ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο πρόβλημα λήψης αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια, που

οδηγεί στην εφαρμογή ολοένα και περισσότερων μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης [131].

Κεφάλαιο 3: Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα

3.1 Ηλιακή ενέργεια και η αξιοποίησή της

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία εκ των πιο σημαντικών και άφθονων πηγών ανανεώσιμης ενέργειας που διαθέτει ο πλανήτης μας. Όπως προαναφέρθηκε, η ηλιακή ενέργεια, είναι η ενέργεια που προέρχεται από την ακτινοβολία του ήλιου και αξιοποιείται μέσω διαφόρων τεχνολογιών είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε θερμότητας. Η αξιοποίηση και χρήση της ηλιακής ενέργειας, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αλλά και στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει μακροχρόνια οφέλη τόσο για το περιβάλλον όσο και για την οικονομία [64].

Ένας πολύ σημαντικό παράγοντας στην εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού (Φ/Β) συστήματος αποτελεί ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το αγροτεμάχιο ή η περιοχή ενδιαφέροντος [65]. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα για την αποδοτικότητα και την παραγωγική ικανότητα του φωτοβολταϊκού σταθμού. Πιο συγκεκριμένα, η σωστή εκτίμηση της ακτινοβολίας μπορεί να συμβάλλει σε:

- Ακριβείς προβλέψεις για την ετήσια παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος.
- Υπολογισμό της χρονικής περιόδου της οικονομικής απόσβεσης της επένδυσης.
- Λήψη αποφάσεων για τον τύπο και λεπτομέρειες του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί [64].

Είναι πολύ σημαντική η σωστή εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας στα αρχικά στάδια της μελέτης, καθώς μπορεί να συμβάλλει στην αποφυγή μη αποδοτικών εγκαταστάσεων αλλά και στην διασφάλιση της βιωσιμότητας του έργου.

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητη η χρήση ενός αξιόπιστου και επιστημονικά τεκμηριωμένου λογισμικού, που να είναι σε θέση να παρέχει εκτιμήσεις με όσο γίνεται μικρότερες αποκλίσεις από τις πραγματικές συνθήκες, για να εξασφαλίζεται η ακρίβεια στις προβλέψεις απόδοσης των φωτοβολταϊκών [66].

Τέτοιου είδους λογισμικά υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας βασίζονται σε γεωγραφικά δεδομένα (θέση, υψόμετρο και μορφολογία περιοχής), κλιματικά

δεδομένα (νεφοκάλυψη, θερμοκρασία και υγρασία) και στοιχεία χωρικού προσανατολισμού (προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών πάνελ).

Όπως προαναφέρθηκε, η ηλιακή ενέργεια έχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα. Είναι μια ανανεώσιμη, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας που μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων ρύπων. Παρόλο που τα αρχικά κόστη εγκατάστασης είναι υψηλά, τα λειτουργικά κόστη είναι χαμηλά, γεγονός που οδηγεί σε μείωση των λογαριασμών ενέργειας και άμεση απόσβεση της επένδυσης. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν χαμηλή συντήρηση και προσφέρουν ενεργειακή ανεξαρτησία, μειώνοντας επομένως την εξάρτηση από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, προωθώντας τη βιώσιμη ανάπτυξη και δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας [67].

Η ηλιοφάνεια στην Ελλάδα, ξεπερνά τις 2.500 ώρες ετησίως, επομένως η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας έχει απέραντες προοπτικές. Τα φωτοβολταϊκά πάρκα, οι οικιακές εγκαταστάσεις και οι αγροτικές εφαρμογές μπορούν να προσφέρουν λύσεις για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας [68]. Ειδικά στον Θεσσαλικό Κάμπο, εξαιτίας των εκτεταμένων πεδινών εκτάσεων αλλά και της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας, οι επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την τοπική οικονομία και την προώθηση της πράσινης ενέργειας. Οι νέες τεχνολογίες, όπως τα εύκαμπτα πάνελ και οι διαφανείς ηλιακοί συλλέκτες, ανοίγουν νέους ορίζοντες για την αποδοτικότερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, υποστηρίζοντας τον στόχο για ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον μέλλον [69].

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει αναπτύξει και διαθέτει δωρεάν το Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Το PVGIS αποτελεί μία διαδικτυακή εφαρμογή που προσφέρει ένα από τα πιο αξιόπιστα εργαλεία για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και της παραγωγής ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το PVGIS χρησιμοποιείται ευρέως από μηχανικούς, ερευνητές και επενδυτές στην Ευρώπη, παρέχοντας αναλυτικά δεδομένα για διάφορες περιοχές [70].

Το PVGIS βασίζεται σε σύγχρονες βάσεις δεδομένων και προσφέρει:

- Υπολογισμό του συνολικού ποσού ακτινοβολίας, άμεσης και διάχυτης, που δέχεται μια περιοχή σε ετήσια ή μηνιαία βάση.
- Προβλέψεις απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση την εγκατεστημένη ισχύ, την κλίση και τον προσανατολισμό των πάνελ.

- Χρήση πολλών βάσεων δεδομένων για εξασφάλιση της ακρίβειας των υπολογισμών, όπως CM SAF (Climate Monitoring Satellite Application Facility), Helioclim και ERA5.
- Παρέχει διαδραστικούς χάρτες με δυνατότητα επισκόπησης της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε περιοχή.

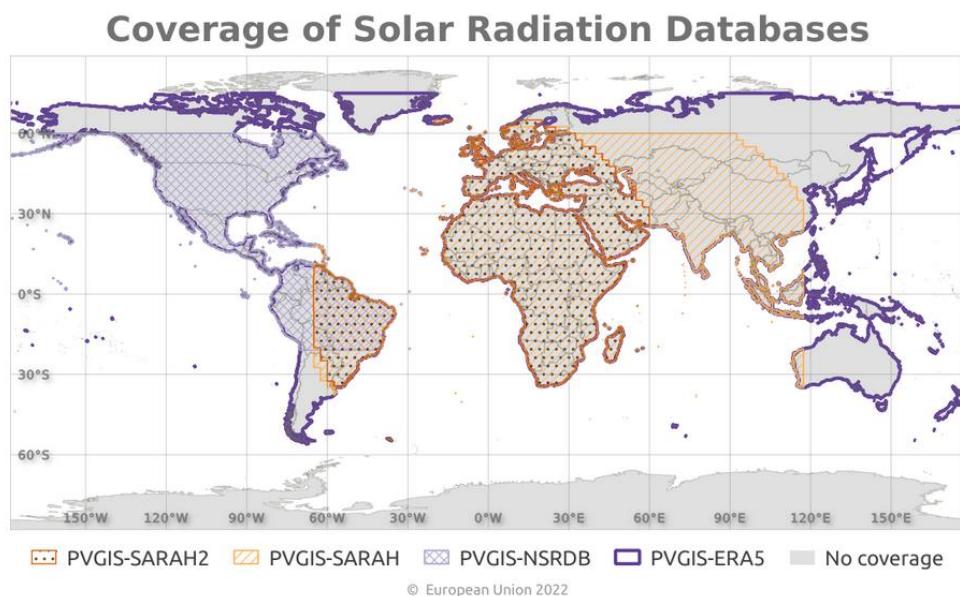
Το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιεί βάσεις δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει της περιοχής όπου διεξάγεται η έρευνα και είναι σε θέση να υπολογίζει το προσδοκώμενο ποσό ηλιακής ακτινοβολίας που δεχεται. Η κατηγοριοποίηση γίνεται βάσει των βάσεων δεδομένων που ακολουθούν στην συνέχεια στην Εικόνα 5:

Database	Type	Start Year	End Year	Spatial res.	Comments
PVGIS-SARAH2	Satellite	2005	2020	0.05° x 0.05° (~ 5 km)	Default DB for Europe, Asia, Africa and South America (below 20 S)
PVGIS-NSRDB	Satellite	2005	2015	0.038° x 0.038° (~ 4 km)	Default DB for the Americas (above 20 S)
PVGIS-ERA5	Reanalysis	2005	2020	0.25° x 0.25° (~ 25 km)	Default DB for rest of the world without coverage from satellite-based DBs
PVGIS-SARAH	Satellite	2005	2016	0.05° x 0.05° (~ 5 km)	This operational database is not updated any more. Please, use PVGIS-SARAH2 instead.

Εικόνα 5: Βάσεις Διαθέσιμων Δεδομένων του PVGIS [71].

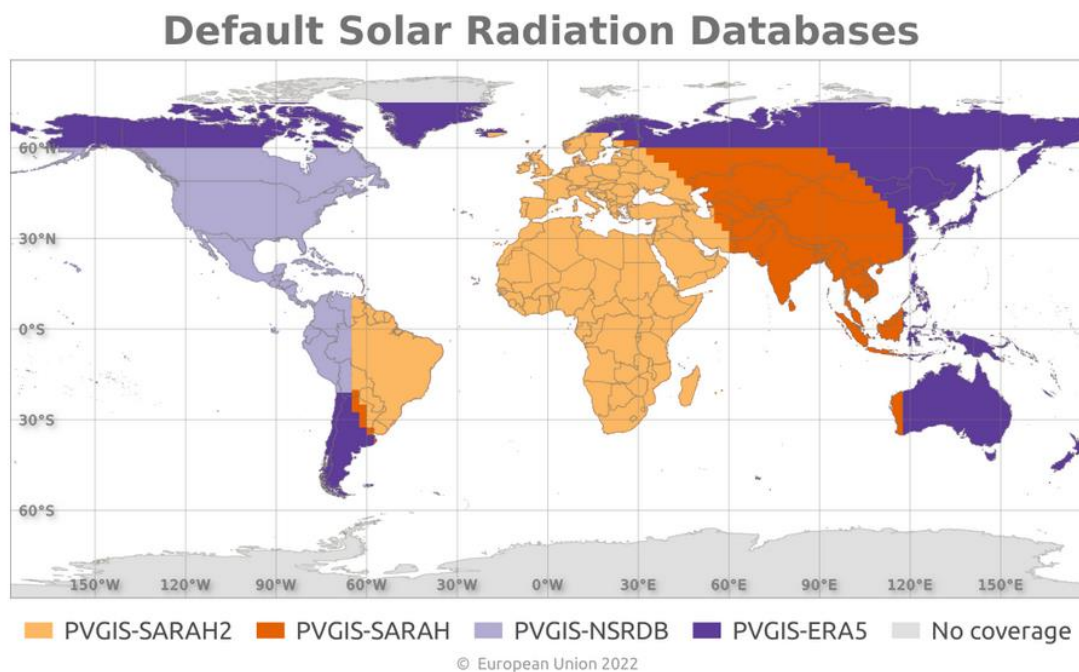
Στην Ευρώπη, κατά συνέπεια και για την Ελλάδα - Περιφέρεια Θεσσαλίας, η βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται ως προεπιλογή είναι πλέον η PVGIS-SARAH2 έναντι της PVGIS-SARAH που ίσχυε μέχρι πρόσφατα. Τα δεδομένα που διατίθενται στην συγκεκριμένη βάση δεδομένων, είναι μόνο μακροπρόθεσμοι μέσοι όροι, που υπολογίζονται από ωριαίες τιμές συνολικής και διάχυτης ακτινοβολίας για την περίοδο 2005-2020 [72]. Ως βάση δεδομένων, θεωρείται πιο αξιόπιστη, εφόσον είναι και σχετικά επικαιροποιημένη.

Παρακάτω, στην Εικόνα 6, παρουσιάζεται ο χάρτης με τις προεπιλογές των βάσεων δεδομένων ανά περιοχή καθώς και της προεπιλογής βάσης δεδομένων.



Εικόνα 6: Οι περιοχές που καλύπτονται από κάθε βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας [73].

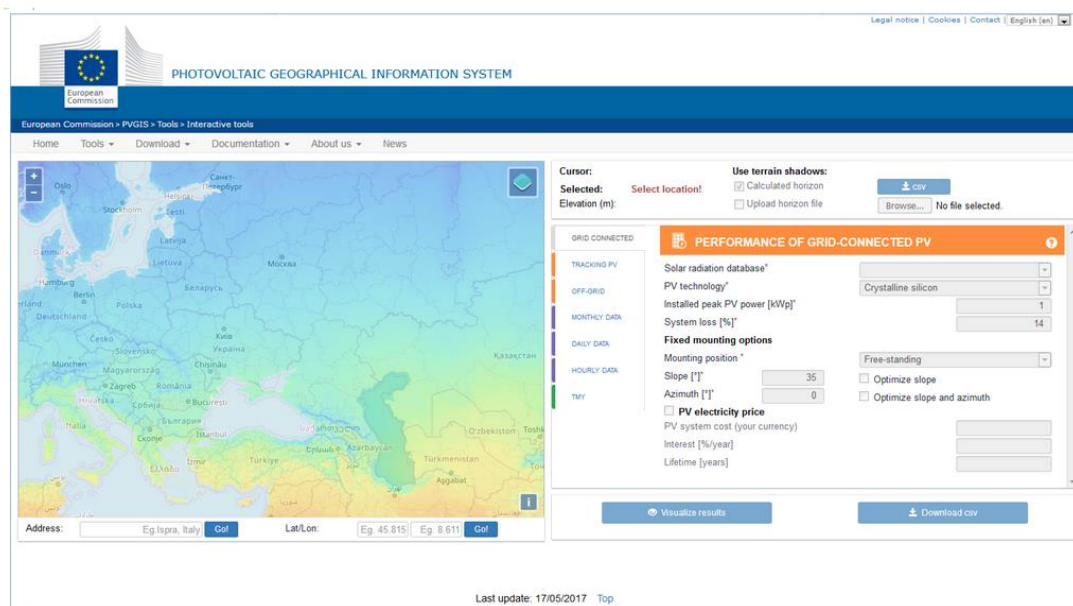
Το περιβάλλον του PVGIS αλλά και οι βάσεις δεδομένων του εκτός της Ευρώπης καλύπτουν σχεδόν ολόκληρο του πλανήτη όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη στην Εικόνα 7.



Default Solar Radiation Databases in PVGIS 5.2
European Union, 2022

Εικόνα 7: Οι βάσεις δεδομένων που συνιστώνται για κάθε τοποθεσία [73].

Το περιβάλλον του PVGIS είναι φιλικό προς τους χρήστες, καθοδηγώντας ώστε να ληφθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες. Στην αρχική σελίδα, ο χρήστης εισάγει τις συντεταγμένες του τεμαχίου ή του κτιρίου, του οποίου την ηλιακή ακτινοβολία θέλει να υπολογίσει, με τις συντεταγμένες να πρέπει να είναι σε μορφή WGS84 και όχι σε ΕΓΣΑ87. Στην Εικόνα 8, απεικονίζεται το περιβάλλον του PVGIS.



PVGIS interface when you first access the web application, before doing anything.
© PVGIS © European Communities, 2001-2017

Εικόνα 8: Η διεπαφή χρήστη του PVGIS [73].

Το PVGIS χρειάζεται ορισμένες πληροφορίες από τον χρήστη ώστε να πραγματοποιήσει έναν υπολογισμό της παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά. Αυτές οι εισροές περιγράφονται στην Εικόνα 9. Τα επιπλέον στοιχεία αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου όπως η βάση δεδομένων, ο τύπος των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η εγκατεστημένη ισχύς και η ποσοστιαία απώλεια ενέργειας.

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database*

PV technology* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]* 1

System loss [%]* 14

Fixed mounting options

Mounting position * Free-standing

Slope [°]* 35

Azimuth [°]* 0

☐ Optimize slope

☐ Optimize slope and azimuth

☐ **PV electricity price**

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

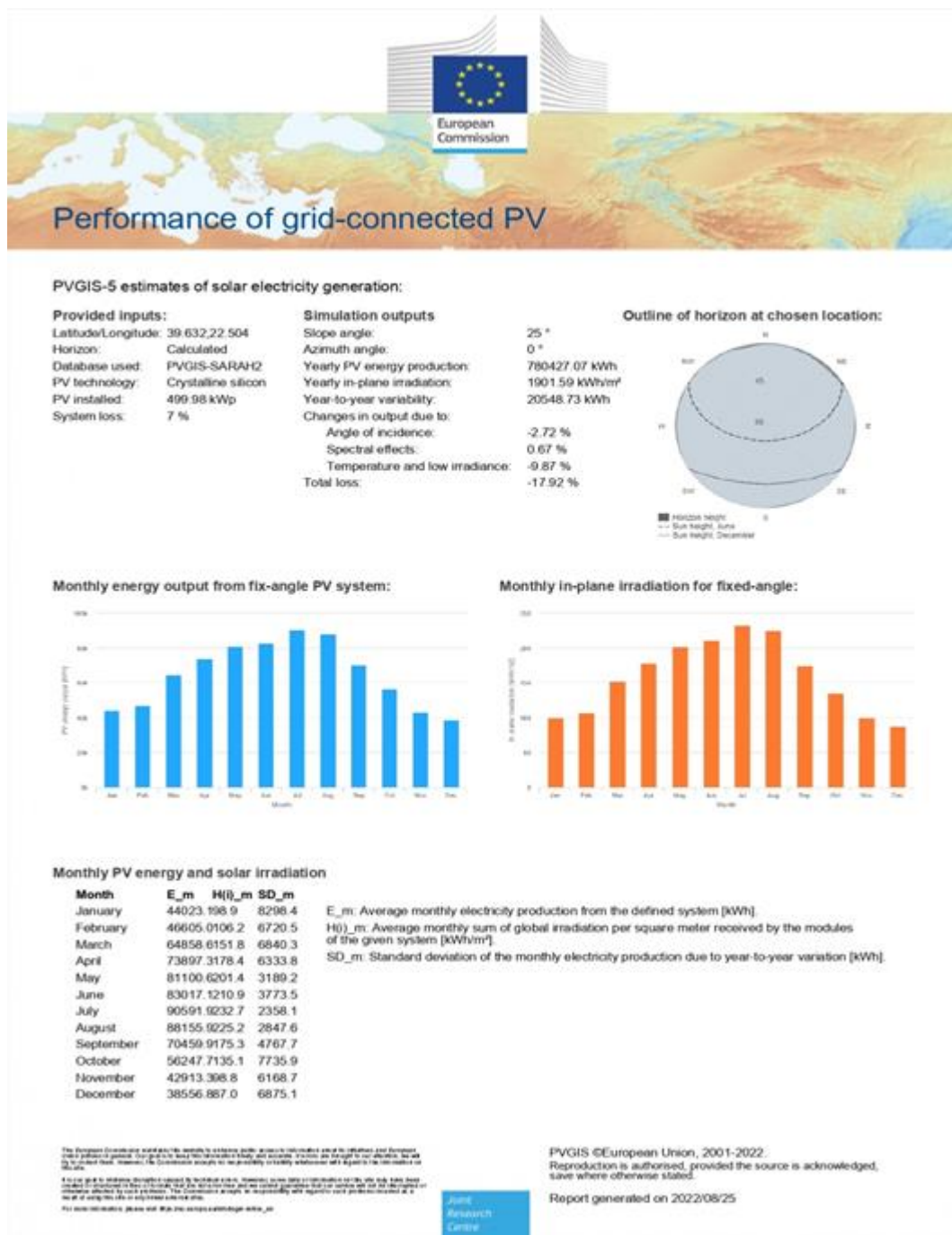
Lifetime [years]

Εικόνα 9: Πίνακας Εισαγωγής Δεδομένων για τους υπολογισμούς φωτοβολταϊκού συστήματος [73].

Στην συνέχεια, ο χρήστης επιλέγει το είδος της τοποθέτησης των στοιχείων, δηλαδή αν πρόκειται για κινητή ή σταθερή κατασκευή, την κλίση αναφορικά με το μηδενικό επίπεδο, καθώς και το αζιμούθιο, σε σχετική με κτίριο έρευνα.

Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών επί εδάφους, το αζιμούθιο ορίζεται πάντα μηδέν, αφού, όπως προαναφέρθηκε, ο προσανατολισμός των στοιχείων είναι προς τον Νότο. Επιπλέον, υπάρχει και η δυνατότητα υπολογισμού της απόδοσης για κινητές βάσεις.

Μετά και την εισαγωγή των παραμέτρων, στο περιβάλλον του λογισμικού λογισμικό παρουσιάζονται τα υπολογισμένα στοιχεία, που δύνανται να αποθηκευτούν σε μορφή pdf. Παρακάτω, στην Εικόνα 10, παρουσιάζεται μια σχετική πρότυπη αναφορά.



Εικόνα 10: Πρότυπη Αναφορά PVGIS

Στην παραπάνω αναφορά παρουσιάζονται:

- Μέσος όρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράχθηκε από το φωτοβολταϊκό πάρκο σε kWh.
- Μέσος όρος ηλιακής ακτινοβολίας που δέχθηκαν τα στοιχεία ανά τετραγωνικό μέτρο.
- Τυπική απόκλιση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος αναφοράς.

3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια εισήχθη για πρώτη φορά κατά τον 19ο αιώνα, και συγκεκριμένα το έτος 1839. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ή φαινόμενο Becquerel από τον ανακαλύπτη του Edmond Becquerel, παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον ίδιο σε ηλικία 19 ετών. Καθώς έριξε φως σε ένα ηλεκτρόδιο βυθισμένο σε όξινο υγρό, αντιλήφθηκε πως το ρεύμα διέρχεται από τα ηλεκτρόδια [74]. Μεταγενέστερα, του αποδόθηκε και ο όρος «Πατέρας των φωτοβολταϊκών» [75].

Μεταξύ του 1839 και του 1877 δεν σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στον συγκεκριμένο τομέα, με τους Adams και Day να δημιουργούν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σεληνίου το 1877 [76]. Η πρώτη πρακτική εφαρμογή συνέβη το 1883, όταν ο Αμερικανός εφευρέτης Charles Fritts κατασκεύασε την πρώτη φωτοβολταϊκή κυψέλη από σεληνιούχο υλικό με λεπτό στρώμα χρυσού. Η απόδοση αυτής της κυψέλης ήταν μόλις 1%, ωστόσο αποτέλεσε μια πολύ σημαντική καινοτομία για την εποχή καθώς ήταν πέρα από το πεδίο εφαρμογής της συμβατικής φυσικής. Αν και τα ηλιακά κύτταρα σεληνίου λεπτού υμενίου του Fritts έχουν δοκιμαστεί και υλοποιηθεί διεξοδικά, η επιστημονική κοινότητα εξακολουθεί να αμφιβάλλει [75].

Το 1900 σημειώθηκε ραγδαία πρόοδος σε αυτόν τον τομέα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της Κβαντομηχανικής. Παράλληλα, ο Max Planck εισήγαγε την έννοια των πακέτων ενέργειας, ή κβάντα, με τη διάσημη πλέον εξίσωση $E = h \cdot \nu$ [77], καθώς και την ιδέα του φωτονίου.

Το έτος 1905, ο Albert Einstein εξήγησε τη φύση του φωτοβολταϊκού φαινομένου μέσω της θεωρίας των φωτονίων, η οποία και του χάρισε το Νόμπελ Φυσικής το 1921. Η συγκεκριμένη θεωρητική κατανόηση, αποτέλεσε τη βάση της μετέπειτα ανάπτυξης αποδοτικότερων φωτοβολταϊκών συστημάτων [75].

Η πρώτη σύγχρονη φωτοβολταϊκή κυψέλη από πυρίτιο, αναπτύχθηκε κατά το έτος 1954 από τους επιστήμονες Daryl Chapin, Calvin Fuller και Gerald Pearson, στα εργαστήρια της εταιρείας Bell Labs, γεγονός ορόσημο στην πραγματική πρόοδο του τομέα των φωτοβολταϊκών. Η συγκεκριμένη κυψέλη είχε απόδοση περίπου 6% και μπορούσε να παράγει χρήσιμες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας [78].

Η συγκεκριμένη καινοτομία αποτέλεσε το έναυσμα για νέες εφαρμογές. Το 1958, η τροφοδοσία του δορυφόρου Vanguard I έγινε με τη χρήση των φωτοβολταϊκών πάνελ

για πρώτη φορά, επιτυχία που καθιέρωσε τα φωτοβολταϊκά ως βασική πηγή ενέργειας για διαστημικές εφαρμογές [75].

Η δεκαετία του 1970 αποτέλεσε κρίσιμη περίοδο για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η παγκόσμια ενεργειακή κρίση του έτους 1973 ώθησε τις κυβερνήσεις και τους επιστήμονες σε αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Στη διάρκεια αυτής της περιόδου, το κόστος των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε να φθίνει, ενώ η απόδοση των κυψελών παρουσίαζε σταδιακή βελτίωση [79].

Το έτος 1977, η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών ίδρυσε το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL), προωθώντας την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα των φωτοβολταϊκών. Η εμφάνιση των πρώτων φωτοβολταϊκών συστημάτων για οικιακή χρήση και απομακρυσμένες εφαρμογές, όπως φάρους και τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις, είναι γεγονός κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου [75].

Κατά τη δεκαετία του 2000, οι ανησυχίες που επέφερε η κλιματική αλλαγή καθώς και η ανάγκη μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα οδήγησαν στην εκτεταμένη υιοθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι παγκόσμιες κυβερνήσεις θέσπισαν ποικίλα προγράμματα επιδοτήσεων και φορολογικών κινήτρων ευνοϊκά για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε εδάφη και στέγες. Το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνέχισε να φθίνει κατά πολύ χάρη στην αύξηση της παραγωγής και την τεχνολογική πρόοδο, ενώ η απόδοσή τους αναβαθμιζόταν [79].

Στην Ελλάδα, η ψήφιση του νόμου 3468/2006 σε συνδυασμό με τις πολιτικές στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οδήγησαν σε ραγδαία ανάπτυξη της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, ιδίως μετά το έτος 2009. Η χώρα εκμεταλλεύτηκε το ισχυρό ηλιακό δυναμικό της για την ενίσχυση της ενεργειακής της αυτάρκειας [80].

Πλέον, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μια από τις δημοφιλέστερες και αποδοτικότερες τεχνολογίες στην παραγωγή καθαρής ενέργειας. Η ανάπτυξη νέων υλικών, όπως είναι οι κυψέλες περοβσκίτη, οι διαφανείς κυψέλες και τα διπλής όψης πάνελ (bifacial), συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της απόδοσης και στη βελτίωση των φωτοβολταϊκών [75].

Οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, όπως είναι οι προηγμένες μπαταρίες λιθίου-ιόντων και οι λύσεις υδρογόνου, αναμένεται να δώσουν λύσεις στο πρόβλημα της

διαλείπουσας παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά. Ταυτόχρονα, η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αστικά περιβάλλοντα, όπως σε κτίρια και οχήματα, έχει δημιουργήσει νέες ευκαιρίες βιώσιμης ανάπτυξης [79].

Η συνεχής πτώση του κόστους και η στροφή προς την πράσινη ενέργεια, καθιστούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα έναν πλέον βασικό πυλώνα της παγκόσμιας ενεργειακής μετάβασης. Αναμένεται πως, μέχρι το 2050, τα φωτοβολταϊκά θα καλύπτουν μεγάλο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη [81].

3.2.1 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε διάφορους τύπους, κατά κύριο λόγο αναλόγως με τον τρόπο σύνδεσής τους στο ηλεκτρικό δίκτυο, τον σκοπό χρήσης τους καθώς και τα βασικά εξαρτήματα που τα αποτελούν. Οι πιο βασικές κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι οι παρακάτω:

- A. Διασυνδεδεμένα (on-grid),
- B. Αυτόνομα (off-grid),
- C. Υβριδικά,
- D. Ενσωματωμένα σε κτίρια (BIPV)

Όλοι οι παραπάνω τύποι, έχουν τα δικά τους χαρακτηριστικά, πλεονεκτήματα και εφαρμογές, που αναλύονται στην συνέχεια.

A. Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα (On-grid ή Grid-connected)

Τα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα αποτελούν τα πιο διαδεδομένα συστήματα παραγωγής ηλιακής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα και χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε οικιακές, όσο σε εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Ονομάζονται «Διασυνδεδεμένα» καθώς συνδέονται απευθείας με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (grid). Τα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα λειτουργούν συμπληρωματικά με το δίκτυο, χωρίς να απαιτούν τη χρήση μπαταριών για την αποθήκευση ενέργειας, αφού το δίκτυο αναλαμβάνει τον ρόλο του αποθέματος ενέργειας [82].

Η πιο καίρια λειτουργία ενός Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ στη διάρκεια της

ημέρας. Η ενέργεια που παράγεται είναι στη μορφή συνεχούς ρεύματος (DC) που μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) με τη βοήθεια ενός μετατροπέα (inverter), για να είναι συμβατό με το ηλεκτρικό δίκτυο και με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση. Η πλεονάζουσα ενέργεια, στην περίπτωση που η παραγόμενη ενέργεια καλύπτει πλήρως ή υπερβαίνει τις ανάγκες των καταναλωτών, διοχετεύεται στο δίκτυο, ενώ στις φάσεις που η παραγωγή είναι μειωμένη, όπως τη νύχτα ή σε συννεφιά, η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο [83].

Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν ένα Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα ονομαστικά, είναι τα παρακάτω [83].

- Φωτοβολταϊκές μονάδες
- Κιβώτιο Διακλάδωσης
- Μετατροπέας On-Grid
- AC Disconnect και κεντρικός πίνακας
- Net Meter
- Ηλεκτρικό Πλέγμα

Στα σημαντικά πλεονεκτήματα των Διασυνδεδεμένων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων εντάσσεται η δυνατότητα συμμετοχής σε προγράμματα συμψηφισμού ενέργειας (net metering). Μέσω του net metering, οι καταναλωτές μπορούν να «ανταλλάσσουν» την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο μέσω αυτού, με την ενέργεια που καταναλώνουν κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ή μηδενικής ηλιακής παραγωγής. Με αυτό το μέσο, μειώνεται σημαντικά το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς ο λογαριασμός του καταναλωτή υπολογίζεται βάσει της διαφοράς της ενέργειας που καταναλώνεται με την ενέργεια που παράγεται [84].

Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση του Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος είναι λιγότερο κοστοβόρα και πιο απλή συγκριτικά με τα αυτόνομα ή τα υβριδικά συστήματα, καθώς δεν απαιτεί την αγορά, και κατ'επέκταση συντήρηση, μπαταριών αποθήκευσης. Σαν συστήματα, χρειάζονται λιγότερη συντήρηση εξαιτίας του μικρότερου αριθμού εξαρτημάτων αλλά και της απουσίας στοιχείων αποθήκευσης. Επιπλέον, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά για περίπου 25 με 30 έτη, ενώ οι μετατροπείς συνήθως απαιτούν αντικατάσταση ή συντήρηση μετά από περίπου 10 με 15 έτη λειτουργίας [84].

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένες προκλήσεις που προκαλούνται από τα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα. Τα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα εξαρτώνται άμεσα από το ηλεκτρικό δίκτυο, γεγονός που σημαίνει ότι στην περίπτωση διακοπής ρεύματος, το σύστημα διακόπτει την λειτουργία του για λόγους ασφαλείας. Ωστόσο, η αυξανόμενη διείσδυση τεχνολογιών αποθήκευσης καθώς και η εξέλιξη των smart grids, προσφέρουν μελλοντικές λύσεις για την αντιμετώπιση του θέματος της μη διάθεσης αποθήκευσης [85].

Συμπερασματικά, τα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι μία αξιόπιστη, αποδοτική και οικονομική λύση στην αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας, συμβάλλοντας σημαντικά στην επίτευξη ενεργειακής εξοικονόμησης αλλά και στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

B. Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα (Off-grid)

Τα Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, γνωστά και ως off-grid συστήματα, είναι μία εξαιρετική λύση για περιοχές ή εφαρμογές οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες στο δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Αντιθέτως με τα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, τα Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα παράγουν και καταναλώνουν ενέργεια σε απομονωμένα περιβάλλοντα, και δεν εξαρτώνται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Η χρήση τους εξυπηρετεί κατά κύριο λόγο σε απομακρυσμένες περιοχές, όπως αγροκτήματα, νησιά και ορεινές περιοχές, αλλά και σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως ο φωτισμός απομονωμένων δρόμων και η παροχή ενέργειας σε κινητές εγκαταστάσεις, όπως κατασκηνωτικά φορτηγά [86].

Η θεμελιώδης διαφορά ανάμεσα στα Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα και στα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι ότι, τα αυτόνομα διαθέτουν ενσωματωμένα συστήματα αποθήκευσης, συνήθως μπαταρίες, που αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ηλιακή ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ώστε να χρησιμοποιηθεί τη νύχτα ή σε περιόδους μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας. Η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες αποτελεί μία κρίσιμη λειτουργία για την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η παραγωγή ηλιακής ενέργειας είναι ασταθής και εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες και την χρονική περίοδο στη διάρκεια της ημέρας [86].

Ο πυρήνας του Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τον μετατροπέα (inverter), τις μπαταρίες αποθήκευσης, καθώς

52

και τον φορτιστή ελέγχου μπαταρίας (charge controller). Τα πάνελ είναι υπεύθυνα για την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, την οποία και μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια (DC), που στην συνέχεια μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) μέσω του μετατροπέα, εφόσον αυτό απαιτείται για την τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών. Ο φορτιστής εξασφαλίζει ότι η ενέργεια αποθηκεύεται αποτελεσματικά και δεν φορτίζεται παραπάνω από ότι χρειάζεται η μπαταρία [87].

Τα Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα έχουν ευρεία χρήση σε μικρές, μεσαίες ή ακόμα και μεγάλες εγκαταστάσεις, με ανάλογες εκδόσεις για σπίτια, αγροκτήματα ή επιχειρήσεις. Στις μικρές εγκαταστάσεις, τα συγκεκριμένα συστήματα συνήθως προορίζονται για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης, όπως είναι η τροφοδοσία οικιακών ή ηλεκτρονικών συσκευών. Στις πιο μεγάλες εγκαταστάσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην πλήρη κάλυψη ενεργειακών αναγκών ολόκληρων κτιρίων ή γεωργικών εκμεταλλεύσεων [88].

Η τεχνολογία των μπαταριών είναι ένας εκ των πιο σημαντικών παραγόντων στην αποτελεσματικότητα των Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται συνήθως στα συγκεκριμένα συστήματα είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος ή οι πιο σύγχρονες και αποδοτικές λιθίου, που προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και αποδοτικότητα καθώς και λιγότερη συντήρηση. Παράλληλα, είναι καίριας σημασίας η ορθή διαχείριση της φόρτισης και της εκφόρτισης των μπαταριών για την αποφυγή της καταστροφής τους, η οποία επιτυγχάνεται με τα ειδικά συστήματα διαχείρισης ενέργειας (EMS) [86].

Η αξιοπιστία των Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων βασίζεται στην ανάγκη για μία ισχυρή, και ταυτόχρονα ασφαλής, υποδομή αποθήκευσης ενέργειας, αλλά και στην επιλογή του καλύτερου δυνατού μεγέθους συστήματος, γεγονός που εξαρτάται τόσο από τις ενεργειακές ανάγκες του χρήστη όσο και από την τοποθεσία της εγκατάστασης. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος αποτελείται από ποικίλους παράγοντες, με τους βασικότερους να είναι η εκτίμηση των καταναλώσεων, των κλιματικών συνθηκών, της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας και ποικίλους ακόμα, ώστε να διασφαλίζεται η επάρκεια ενέργειας σε όλες τις συνθήκες [89].

Το βασικό πλεονέκτημα των Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων είναι η δυνατότητα να παρέχουν αυξημένη ανεξαρτησία στην ενεργειακή τροφοδοσία. Η ενέργεια παράγεται και καταναλώνεται τοπικά, και δεν εξαρτάται από το δημόσιο

δίκτυο, γεγονός πάρα πολύ χρήσιμο σε απομακρυσμένες περιοχές και σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Επίσης, συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αφού αντικαθιστούν τις γεννήτριες ντίζελ ή άλλες μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με καθαρές και βιώσιμες πηγές [90].

Πάραυτα, ένα καίριο μειονέκτημα των Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων είναι τα αρχικά κόστη εγκατάστασης, που μπορεί να είναι υψηλότερα σε σχέση με τα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, εξαιτίας της ανάγκης για μπαταρίες για επιμέρους εξαρτήματα. Επιπρόσθετα, η συντήρηση των μπαταριών και η ανάγκη για περιοδική αντικατάσταση τους μπορεί να προσθέσουν ένα επιπλέον κόστος και να απαιτούν ειδική φροντίδα [90].

Συμπερασματικά, τα Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι μία πάρα πολύ καλή λύση για ενεργειακή αυτονομία σε περιοχές που δεν υπάρχει πρόσβαση στο δίκτυο ή σε περιπτώσεις που η απομακρυσμένη παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας είναι μονόδρομος. Τα συγκεκριμένα συστήματα συνεχίζουν να εξελίσσονται, με αναβαθμίσεις στις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και την αποτελεσματικότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ, καθιστώντας τα πιο προσιτά και αποδοτικά σε μία ευρύτερη γκάμα εφαρμογών.

C. Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι σε θέση να συνδυάζουν δύο ή περισσότερες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να βελτιώσουν τόσο την αποδοτικότητα όσο και την αξιοπιστία των ενεργειακών συστημάτων. Τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι σχεδιασμένα ώστε να χρησιμοποιούν τη δύναμη του ήλιου, μέσω των φωτοβολταϊκών πάνελ, συνδυαστικά με άλλες ανανεώσιμες ή συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως οι γεννήτριες ντίζελ, οι ανεμογεννήτριες ή τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας-μπαταρίες. Ο βασικός στόχος αυτής της κατηγορίας συστημάτων είναι η εξασφάλιση μιας σταθερής και αξιόπιστης παροχής ενέργειας, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες ή τις περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας [91].

Ο σχεδιασμός των Υβριδικών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, εξαρτάται από τις τοπικές ανάγκες καθώς και την διαθεσιμότητα των πηγών ενέργειας. Κατά βάση, ο σχεδιασμός περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ, έναν ή περισσότερους τύπους αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες ή άλλου είδους συσκευές αποθήκευσης, και επιπρόσθετα

μια ή και περισσότερες ανανεώσιμες ή συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως γεννήτριες ντίζελ ή μικρές ανεμογεννήτριες. Κατά τη διαδικασία λειτουργίας του, το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ενέργεια από τον ήλιο, που είτε αξιοποιείται άμεσα είτε αποθηκεύεται στις μπαταρίες για χρήση σε περιπτώσεις περιορισμένης ηλιακής ακτινοβολίας, όπως νυχτερινές ώρες ή συννεφιά [91].

Στις περιόδους όπου η παραγωγή ενέργειας από τις φωτοβολταϊκές μονάδες είναι χαμηλή και η αποθηκευμένη στις μπαταρίες ενέργεια έχει εξαντληθεί, το υβριδικό σύστημα χρησιμοποιεί εναλλακτική πηγή ενέργειας ώστε ικανοποιήσει τις ενεργειακές ανάγκες. Σε περίπτωση που η εναλλακτική πηγή ενέργειας είναι μία γεννήτρια ντίζελ, τότε η γεννήτρια ενεργοποιείται αυτομάτως και παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας έως ότου να αποκατασταθεί η επαρκής φόρτιση στις μπαταρίες ή η ηλιακή παραγωγή ενέργειας να γίνει ξανά αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος.

Ο συνδυασμός των πηγών ενέργειας επιφέρει ποικίλα καίρια πλεονεκτήματα συγκριτικά με τη χρήση μιας μοναδικής πηγής ενέργειας, όπως το φωτοβολταϊκό ή η γεννήτρια ντίζελ. Ο συνδυασμός των φωτοβολταϊκών μονάδων με την αποθήκευση ενέργειας, εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας σε όλους τους τύπους καιρού και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης, χωρίς όμως να εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από μια πηγή. Κάτι τέτοιο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ανάγκης για μεγάλες ποσότητες καυσίμων όπως το ντίζελ και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην επίτευξη των στόχων για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος [92].

Οφέλη των Υβριδικών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα όπως προαναφέρθηκε προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, κυρίως σε περιοχές που η πρόσβαση σε σταθερές πηγές ενέργειας είναι περιορισμένη ή κοστοβόρα. Παρακάτω, αναλύονται τα πιο βασικά πλεονεκτήματα τους [93]:

- Αυξημένη αξιοπιστία και σταθερότητα παροχής ενέργειας. Εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, καθώς η εναλλακτική πηγή ενέργειας αναλαμβάνει στην περίπτωση που η ηλιακή ενέργεια είναι περιορισμένη. Καθ'αυτό τον τρόπο, η ενέργεια παρέχεται αδιάκοπα.

- Εξοικονόμηση κόστους λειτουργίας
Τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι σε θέση να μειώνουν τη συνολική εξάρτηση από συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως ντίζελ, μειώνοντας επομένως τα λειτουργικά κόστη. Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας, που είναι δωρεάν, μειώνει τις ανάγκες για καύσιμα, ιδίως σε περιοχές όπου οι τιμές συμβατικών πηγών ενέργειας είναι υψηλές ή οι παραδόσεις καυσίμων είναι ακανόνιστες.
- Βελτιωμένη αποτελεσματικότητα και περιβαλλοντική απόδοση
Τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα βοηθούν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, καθώς με τη χρήση τους μειώνεται η ανάγκη για καύσιμα από μη ανανεώσιμες πηγές, προσφέροντας άρα μια πιο περιβαλλοντικά φιλική λύση.
- Ευελιξία και προσαρμοστικότητα
Τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν ιδιαίτερα προσαρμόσιμα καθώς μπορούν να ενσωματωθούν σε διαφορετικούς τύπους εγκαταστάσεων και αναγκών. Από οικιακές εφαρμογές μέχρι μεγάλες βιομηχανικές μονάδες και απομακρυσμένες περιοχές, τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σε θέση να παρέχουν αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική ενέργεια.

Περιορισμοί, προκλήσεις και μειονεκτήματα Υβριδικών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.

Παρά τα πολλαπλά αδιαμφισβήτητα οφέλη που προσφέρουν τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη και αναλύονται στην συνέχεια [94]:

- Αρχικά κόστη εγκατάστασης
Τα αρχικά κόστη ενός Υβριδικού Φωτοβολταϊκού Συστήματος μπορεί να είναι υψηλότερο από ότι ενός απλού φωτοβολταϊκού συστήματος ή μιας συνηθισμένης γεννήτριας ντίζελ. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό, όπως είναι οι μπαταρίες, οι ανεμογεννήτριες, και τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας.
- Συντήρηση και διαχείριση
Η συντήρηση ενός Υβριδικού Φωτοβολταϊκού Συστήματος απαιτεί τακτική

εποπτεία και προγραμματισμό όλων των εξαρτημάτων του συστήματος όπως ηλιακά πάνελ και μπαταρίες ανάμεσα σε άλλα, γεγονός που μπορεί να είναι δύσκολο και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, ιδιαιτέρως σε απομακρυσμένες περιοχές.

- Ανάγκη σωστού σχεδιασμού
- Ο σωστός σχεδιασμός του συστήματος είναι πολύ βασικός για την αποδοτικότητά του. Η επιλογή της ορθής δυναμικότητας των εξαρτημάτων και η κατάλληλη εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης, είναι καίρια ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος και η πιο οικονομική αποδοτικότητα του.

Συμπερασματικά, τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα αποτελούν μια εξαιρετική λύση για περιοχές που χρειάζονται αξιόπιστη, οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας. Συνδυάζοντας τις δυνατότητες της ηλιακής ενέργειας με άλλες πηγές, τα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα προσφέρουν αυξημένη αποδοτικότητα, μειωμένα λειτουργικά κόστη και σταθερή παροχή ενέργειας. Παρά τα ποικίλα οφέλη τους, απαιτούν ορθό σχεδιασμό, παρακολούθηση και συντήρηση, γεγονός που μπορεί να αποτελεί πρόκληση για μερικές εγκαταστάσεις, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα μέρη. Παραταύτα, τα ποικίλα πλεονεκτήματά τους καθιστούν τη χρήση τους μια ιδανική επιλογή για τις ανάγκες ενεργειακής επάρκειας σε απομακρυσμένα ή ευμετάβλητα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

D. Φωτοβολταϊκά Συστήματα Ενσωματωμένα σε Κτίρια (BIPV)

Τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα Ενσωματωμένα σε Κτίρια (BIPV – Building-Integrated Photovoltaics) είναι μια καινοτόμα και αισθητικά ελκυστική λύση στον ενεργειακό κλάδο της ανανεώσιμης ενέργειας. Τα BIPV ενσωματώνονται στα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου αντί να εγκαθίστανται σαν πρόσθετος εξοπλισμός στην ήδη υπάρχουσα κατασκευή, καθιστώντας τα εξαρχής αναπόσπαστο κομμάτι της κατασκευής. Αυτού του είδους συνδυάζει τη λειτουργικότητα των δομικών υλικών με την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, ενισχύοντας ταυτόχρονα τη βιωσιμότητα των κτιρίων και μειώνοντας την αναγκαιότητα παραδοσιακών υλικών κατασκευής [95].

Τα BIPV Συστήματα Φωτοβολταϊκών ενσωματώνονται σε διάφορα σημεία των κτιρίων, όπως στις στέγες, τις προσόψεις, τα παράθυρα, ακόμα και σε κουφώματα.

Αντιθέτως από τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, τα BIPV δεν απαιτούν ξεχωριστό χώρο για την εγκατάστασή τους, αφού χρησιμοποιούν τα ίδια τα υλικά του κτιρίου, δηλαδή γυαλί, στέγες, τοίχους μεταξύ άλλων, στην παραγωγή ενέργειας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής των BIPV είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ που χρησιμοποιούνται σαν γυάλινες επιφάνειες σε παράθυρα, όπου πέρα από την ηλιακή ενέργεια που παράγουν, λειτουργούν και σαν το ίδιο το υλικό του παραθύρου [96].

Από τα βασικότερα πλεονεκτήματα των BIPV συστημάτων είναι η εξοικονόμηση χώρου. Εξαιτίας της ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών ως δομικά στοιχεία του κτιρίου, δεν απαιτείται επιπλέον χώρος για την εγκατάστασή τους, κάτι που τα καθιστά βέλτιστη λύση για αστικές περιοχές, όπου η διαθεσιμότητα χώρου είναι περιορισμένη. Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωσή τους στο κτίριο μειώνει σημαντικά το κόστος των υλικών κατασκευής, καθώς τα φωτοβολταϊκά πάνελ αντικαθιστούν παραδοσιακά υλικά όπως κεραμίδια, τζάμια μεταξύ άλλων. Επομένως, τα BIPV συστήματα συμβάλλουν τόσο στην ενεργειακή αυτονομία των κτιρίων, όσο και στην οικονομική τους αποδοτικότητα [97].

Επιπρόσθετα, τα BIPV συστήματα προσφέρουν υψηλή αισθητική με μοντέρνο και άρτιο σχεδιασμό. Οι αρχιτέκτονες και οι σχεδιαστές χρησιμοποιούν τις δυνατότητες των συγκεκριμένων συστημάτων ώστε να δημιουργούν κτίρια με εντυπωσιακή εμφάνιση, συνδυάζοντας τις λειτουργικές ανάγκες με την επιθυμία για αισθητική και περιβαλλοντική συνείδηση. Συνεπώς, τα φωτοβολταϊκά είναι δυνατόν να προσαρμοστούν στον σχεδιασμό ενός κτιρίου, δίνοντας τη δυνατότητα για ένα πιο ελκυστικό αποτέλεσμα, χωρίς να υπονομεύεται η αισθητική στο οίκημα [98].

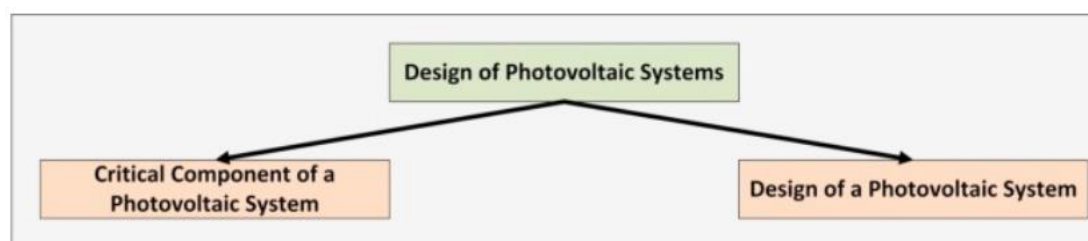
Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα, τα BIPV συστήματα ενδέχεται να έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα αρχικά κόστη εγκατάστασης είναι πιο αυξημένα από εκείνα των παραδοσιακών φωτοβολταϊκών, εξαιτίας της αναγκαιότητας για πιο εξειδικευμένα υλικά καθώς και για τεχνολογίες ενσωμάτωσης- ακόμα τα BIPV συστήματα εντάσσονται στις εξειδικευμένες αγορές. Επιπλέον, η απόδοση των BIPV συστημάτων είναι δυνατόν να επηρεαστεί από την τοποθέτησή τους στο κτίριο, καθώς η απόδοση εξαρτάται από τις θέσεις των φωτοβολταϊκών πάνελ σε σχέση με τον ήλιο. Ανάλογα με το κλίμα και την περιοχή, τα BIPV συστήματα ενδέχεται να έχουν

μειωμένη απόδοση συγκριτικά με τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά συστήματα που τοποθετούνται σε ανοιχτό χώρο με βέλτιστη ηλιοφάνεια [97].

Παρά τα μειονεκτήματα, τα BIPV συστήματα παραμένουν ιδανικά για εφαρμογή σε κτίρια κατοικιών, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και δημόσιες υποδομές. Η αυξανόμενη τάση για βιώσιμες και ενεργειακά αυτόνομες κατασκευές έχει ενισχύσει τη ζήτηση για τέτοιου είδους λύσεις, ειδικά στις αστικές περιοχές, όπου η ανάγκη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνεται συνεχώς. Συγκεκριμένα, τα BIPV συστήματα έχουν σημαντικά οφέλη για περιοχές με περιορισμένο χώρο, όπως είναι οι πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Επιπλέον, τόσο η εξέλιξη των τεχνολογιών των φωτοβολταϊκών όσο και η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα αναμένεται να μειώσουν το κόστος εγκατάστασης των BIPV συστημάτων, καθιστώντας τα πιο προσβάσιμα για ευρύτερο φάσμα εφαρμογών.

3.2.2 Σχεδιασμός και κατασκευή φωτοβολταϊκών συστημάτων

Οι πιο κρίσιμες διαδικασίες για την επίτευξη της αποδοτικής και επιτυχημένης λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού έργου είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης, κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να σχεδιάζεται βάσει των αναγκών του τελικού χρήστη, τον χώρο που είναι διαθέσιμος αλλά και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι εξειδικευμένες γνώσεις τεχνολογίας και των ισχυόντων κανονισμών είναι απαραίτητες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο σχεδιασμός των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να προσεγγιστεί όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.

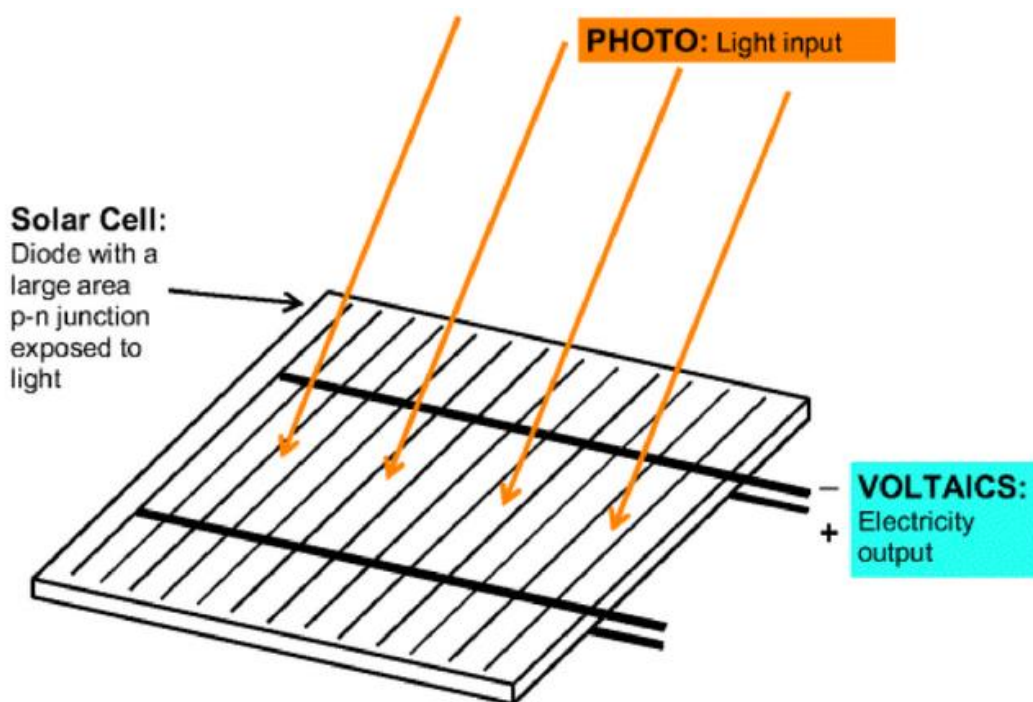


Εικόνα 11: Σχεδιασμός των φωτοβολταϊκών συστημάτων [99].

Στην συνέχεια, εμβαθύνεται η έννοια, η σημαντικότητα και οι διαδικασίες που αφορούν τον σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

i. Σχεδιασμός φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ο σχεδιασμός των φωτοβολταϊκών συστημάτων απαιτεί την εκτενής μελέτη ποικίλων παραμέτρων με πρωταρχικό στόχο την διασφάλιση της αποδοτικότητας και της ασφάλειας των εγκαταστάσεων. Ο πρωταρχικός παράγοντας που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι η ηλιακή ακτινοβολία της περιοχής εγκατάστασης του συστήματος για την επίτευξη ικανοποιητικών αποδόσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τόσο η γεωγραφική θέση όσο και η κατεύθυνση της τοποθεσίας επηρεάζουν άμεσα τις ποσότητες ηλιακής ενέργειας που είναι δυνατόν να συλλεχθούν [99]. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 12, στην απλούστερη έννοια τα ηλιακά πάνελ μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνεπώς η ηλιακή ακτινοβολία της περιοχής εγκατάστασης είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας στον σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 12: Τα ηλιακά κύτταρα μετατρέπουν το φως σε ηλεκτρισμό [100].

Επομένως, ο σχεδιασμός του φωτοβολταϊκού συστήματος, βασίζεται κατά πολύ στις τοπικές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας, που είναι δυνατόν να διαφέρουν αναλόγως την εποχή του χρόνου, τη γεωγραφική θέση καθώς και τις κλιματικές συνθήκες. Ο

ακριβής υπολογισμός της ενέργειας που είναι δυνατόν να παραχθεί καθώς και της μέγιστης δυνατής απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι δυνατόν να επιτευχθεί με μελέτες του διαθέσιμου ηλιακού δυναμικού στην περιοχή εγκατάστασης. Υιοθετούνται συγκεκριμένα εξειδικευμένα λογισμικά για την προσομοίωση της ηλιακής ακτινοβολίας και την εκτίμηση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πάνελ [100].

Επιπλέον, η επιλογή των κατάλληλων φωτοβολταϊκών πάνελ διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ, η αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες και η σύνθεση των υλικών, αποτελούν κάποιους από τους πιο σημαντικούς παράγοντες επιλογής των κατάλληλων πάνελ. Υπάρχουν αρκετοί και διαφορετικοί τύποι φωτοβολταϊκών πάνελ όπως τα μονοκρυσταλλικά, τα πολυκρυσταλλικά και τα αμφίπλευρα μεταξύ άλλων, και η επιλογή του πιο κατάλληλου εξαρτάται από παράγοντες όπως ο προϋπολογισμός, η διαθέσιμη επιφάνεια και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

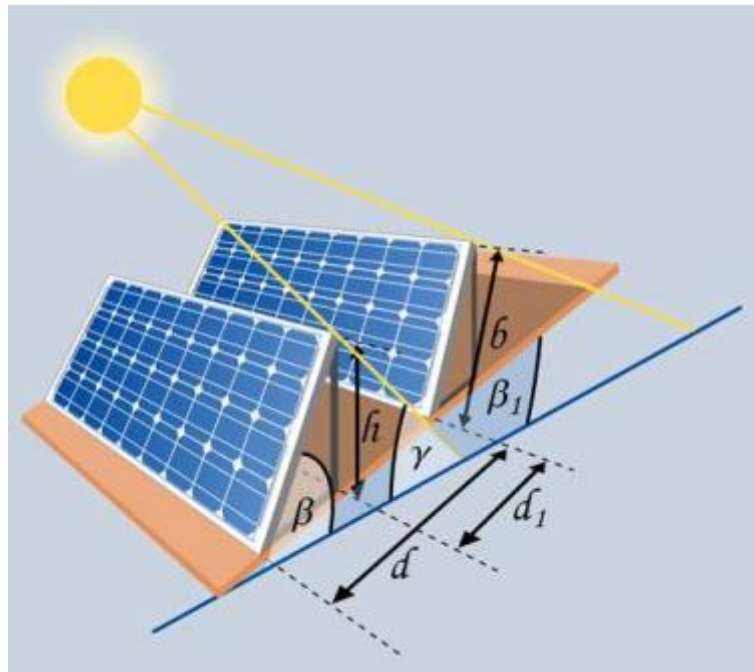
Αφού γίνει η επιλογή των πάνελ, το επόμενο βήμα είναι ο σχεδιασμός του ηλεκτρικού κυκλώματος. Η επιλογή του ηλεκτρικού κυκλώματος περιλαμβάνει την επιλογή του αντιστροφέα - inverter του συστήματος καλωδιώσεων, των ασφαλειών, των μετρητών ενέργειας και διαφόρων ακόμα ηλεκτρικών εξαρτημάτων.

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από τα πάνελ σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) επιτυγχάνεται μέσω του αντιστροφέα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τροφοδοσία των ηλεκτρικών συσκευών ή να διοχετευτεί στο δίκτυο. Ο σωστός σχεδιασμός της διασύνδεσης με το δίκτυο ή με τα αυτόνομα συστήματα στην περίπτωση των off-grid εγκαταστάσεων, αποτελεί έναν εξίσου κρίσιμο παράγοντα στην ασφάλεια και στην αποδοτικότητα του συστήματος [101].

Πριν προβούμε στην κατασκευή του συστήματος, είναι καίριας σημασίας να γίνει η εκτίμηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος βάσει των τοπικών συνθηκών και των επιλεγμένων τεχνολογιών. Αυτοί οι υπολογισμοί συμβάλλουν στον προσδιορισμό του κόστους και της χρονικής απόδοσης του έργου, με σκοπό να διασφαλιστεί τόσο η βιωσιμότητα όσο και η οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης [101].

Πιο συγκεκριμένα, στην Ελλάδα ο ιδανικός προσανατολισμός για τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ο νότιος, με κλίση βάσης 25 με 30 μοίρες σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο που ορίζεται ως μηδενική κλίση. Ωστόσο, είναι πιθανό να υπάρχουν αποκλίσεις από τους προαναφερθέντες κανόνες βάσει θέσης και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του χώρου όπου εγκαθίστανται οι φωτοβολταϊκές μονάδες, γεγονός που επηρεάζει την τελική απόδοση [102].

Η απόσταση μεταξύ των επιμέρους συστοιχιών, για την αποφυγή σκίασης, καθορίζεται από την κλίση των βάσεων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, όπου η απόσταση (d) πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της κατακόρυφης απόστασης (h) του στοιχείου από το έδαφος [103].



Εικόνα 13: Υπολογισμός απόστασης φωτοβολταϊκών μονάδων [103].

Στην Εικόνα 14, παρουσιάζεται ένας φωτοβολταϊκός σταθμός της εταιρείας Περιβαλλοντολόγοι Energy προς κατανόηση της ενδεικτικής απόστασης μεταξύ των συστοιχιών προς αποφυγή σκίασης.



Εικόνα 14: Ενδεικτική απόσταση μεταξύ συστοιχιών προς αποφυγή σκίασης - Φωτογραφία φωτοβολταϊκού σταθμού της εταιρείας Περιβαλλοντολόγοι Energy.

Παρακάτω, στην Εικόνα 15, παρουσιάζεται ο πίνακας της αναμενόμενης απόδοσης φωτοβολταϊκών σταθμών συναρτήσει της κλίσης και του προσανατολισμού τους.

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0 ° 	90%	90%	90%
15 ° 	98%	95%	88%
30 ° 	100%	95%	85%
90 ° 	60%	60%	50%

Εικόνα 15: Αναμενόμενη απόδοση βάσει κλίσης και προσανατολισμού [103].

Επιπρόσθετα, η γειτνίαση των συστοιχιών με τον φράχτη που έχει ανεγερθεί στο ακίνητο είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη, αφού αποτελεί ένα πρόσθετο στοιχείο σκίασης. Η συνήθης κατακόρυφη απόσταση από το κάτω άκρο μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι 4,5 έως 5,0 m. [102].

3.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις Φ/Β συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αν και θεωρούνται μια από τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, δεν είναι εντελώς απαλλαγμένα από περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις αυτές ενδέχεται να προκύψουν κατά διάφορες φάσεις της ζωής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως η παραγωγή, η εγκατάσταση, η λειτουργία και η ανακύκλωση, που αναλύονται στην παρακάτω ενότητα.

3.3.1. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις κατά την παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Αν και η λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προκαλεί ελάχιστη ρύπανση κατά τη διάρκεια της ζωής τους, οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους από την κατασκευή μέχρι την διάθεσή τους, δεν μπορούν να αγνοηθούν. Η παραγωγή ρύπων, η ρύπανση των υδάτινων πόρων και οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής τους, αλλά και ο αντίκτυπός τους στη χρήση γης, αποτελούν σημαντικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη [104].

Η κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάνελ απαιτεί διάφορες πρώτες ύλες, με μία από τις πιο βασικές να είναι το πυρίτιο, στο οποίο βασίζονται τα περισσότερα σύγχρονα πάνελ, και εξορύσσεται από τη γη. Η διαδικασία της εξόρυξης του πυριτίου απαιτεί μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση και είναι πιθανό να προκαλέσει περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, όπως είναι η καταστροφή οικοσυστημάτων αλλά και η ρύπανση των υδάτων εξαιτίας των διαδικασιών εκχύλισης [105].

Επιπλέον, η παραγωγή φωτοβολταϊκών πάνελ και ειδικά των πυριτίου, απαιτεί την δέσμευση και κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, συνήθως από ορυκτά καύσιμα, κάτι που μπορεί να προκαλέσει εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αλλά και άλλων αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή. Ωστόσο, αυτή η ενέργεια αντισταθμίζεται από την παραγωγή ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων,

που δεν εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα κατά τη λειτουργία τους. Αξίζει να αναφερθεί πως, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν πολύ χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, με εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που κυμαίνονται από 0,2 έως 5,7 γραμμάρια ανά κιλοβατώρα παραγόμενης ενέργειας [106].

3.3.2. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Κατά την Εγκατάσταση και Λειτουργία

Η εγκατάσταση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει πολύ λιγότερες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις συγκριτικά με άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας, όπως είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα [104]. Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά πάνελ χρειάζονται ελεύθερο χώρο για την εγκατάστασή τους, που κατά κύριο λόγο είναι εκτός αστικών περιοχών. Σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις όπως είναι τα φωτοβολταϊκά πάρκα, κάτι τέτοιο είναι πιθανό να προκαλέσει καταστροφές γεωργικών εκτάσεων και φυσικών οικοσυστημάτων, επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο τη βιοποικιλότητα και την υγεία του οικοσυστήματος. Μία λύση για την μείωση αυτής της επίπτωσης είναι με την ελάττωση της χρήσης εγκαταστάσεων σε περιοχές που δεν έχουν άμεση γεωργική ή οικολογική αξία [107].

Επιπλέον, η εγκατάσταση μεγάλων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι δυνατόν να προκαλέσει το φαινόμενο λεγόμενο ως “αλμπέντο”, δηλαδή της αυξημένης θερμικής ακτινοβολίας στην περιοχή, που είναι δυνατόν να επηρεάσει την τοπική μικροκλιματική κατάσταση. Ωστόσο, αυτού του είδους οι επιπτώσεις θεωρούνται περιορισμένες και συνήθως αντισταθμίζονται από τα θετικά περιβαλλοντικά οφέλη της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα [108].

3.3.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λήξη της ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος και ανακύκλωση

Η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ στο τέλος της ζωής τους αποτελεί μια κρίσιμη συνιστώσα για την επίτευξη της ελαχιστοποίησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος.

Πιο αναλυτικά, τα φωτοβολταϊκά πάνελ περιέχουν υλικά που είναι ανακυκλώσιμα, όπως το γυαλί και το αλουμίνιο. Ωστόσο, τα πυρίτια, που βρίσκονται σε μεγάλες

ποσότητες στα πάνελ, δεν είναι εύκολο να ανακυκλωθούν. Η απόρριψη πάνελ με περιεκτικότητα σε τοξικά υλικά, όπως το βενζόλιο, μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, αν και οι σύγχρονες τεχνολογίες και κανονισμοί ανακύκλωσης προσπαθούν να μειώσουν αυτή την επίπτωση [109].

Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες και πολλές πρωτοβουλίες παγκοσμίως που ειδικεύονται και επικεντρώνονται στην ανακύκλωση των πάνελ και την επαναχρησιμοποίηση των υλικών τους. Κάποια κράτη και βιομηχανίες έχουν προχωρήσει στην ανάπτυξη ειδικών προγραμμάτων για τη διαχείριση των αποβλήτων των φωτοβολταϊκών πάνελ και ταυτόχρονα την αποτροπή της μόλυνσης του περιβάλλοντος [110].

Εν κατακλείδι, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, κυρίως εξαιτίας της καθαρής και ανανεώσιμης ενέργειας που παράγουν, αλλά η κατασκευή, η εγκατάσταση και η απόρριψή τους είναι δυνατόν να προκαλέσουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι πιο κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν την εξόρυξη πρώτων υλών, την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την παραγωγή, την κατάληψη εδάφους και τις τοξικές ουσίες στα φωτοβολταϊκά πάνελ στην ανακύκλωση. Ωστόσο, με την αδιάκοπη εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και την εφαρμογή και τήρηση αυστηρών κανονισμών αναφορικά με την ανακύκλωση και την προστασία του περιβάλλοντος, οι σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να περιοριστούν σημαντικά, καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά συστήματα μια εκ των πιο βιώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων για την παραγωγή ενέργειας.

3.4 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η Ελλάδα διαθέτει ένα ολοκληρωμένο και δυναμικό νομοθετικό πλαίσιο για την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), το οποίο ξεκίνησε το 1985 και συνεχίζει να υφίσταται μέχρι σήμερα, με συνεχείς προσαρμογές ώστε να ανταποκρίνεται στις εθνικές και διεθνείς απαιτήσεις. Η αρχική νομοθετική προσπάθεια για την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έγινε με τον νόμο 1559/1985, ο οποίος επέτρεψε σε ιδιωτικούς φορείς και δήμους να παράγουν ενέργεια για διανομή στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Ωστόσο, οι δυνατότητες

που παρείχε η νομοθεσία ήταν ανεπαρκείς για την επιτυχή προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω γραφειοκρατικών και θεσμικών εμποδίων.

Το 1994 θεσπίστηκε ο νόμος 2244/1994 για την ευθυγράμμιση της ελληνικής νομοθεσίας με τα κριτήρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρόλα αυτά, οι χρονοβόρες διαδικασίες αδειοδότησης, η απουσία κτηματολογίου και χωροταξικού σχεδιασμού και η απαίτηση για σημαντικές υποδομές για την ενσωμάτωση των μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο δίκτυο -ιδιαίτερα σε περιοχές με σημαντικό αιολικό δυναμικό, όπως η Εύβοια και η Λακωνία- εμπόδισαν την προώθηση των ΑΠΕ.

Η θεμελιώδης δομή για την απελευθερωμένη αγορά ενέργειας δημιουργήθηκε το 2001 με την οδηγία 96/92/ΕΚ και το νόμο 2773/1999. Η νομοθεσία αυτή καθιέρωσε την άδεια παραγωγής ενέργειας και έδωσε προτεραιότητα στην ενσωμάτωση της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενισχύοντας έτσι την εμπιστοσύνη των επενδυτών.

Ο νόμος 2941/2001 απλοποίησε τη διαδικασία εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαιρώντας τις ηλιακές εγκαταστάσεις και τις ανεμογεννήτριες από την απαίτηση εξασφάλισης άδειας κατασκευής. Στα υδροηλεκτρικά έργα, η οικοδομική άδεια είναι απαραίτητη μόνο για τις κατασκευές των εγκαταστάσεων. Η νομοθεσία αυτή αναγνώρισε τις πρωτοβουλίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως έργα κοινής ωφέλειας, ανεξάρτητα από τον φορέα υλοποίησης, και θέσπισε κανονισμούς για την ανάπτυξη εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε δασικές περιοχές. Οι περιφέρειες ορίστηκαν ως οι αρμόδιοι φορείς για τη χορήγηση των απαραίτητων αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας.

Ο νόμος 3010/2002 τροποποίησε τις διατάξεις του νόμου 1650/1986 για την προστασία του περιβάλλοντος, δίνοντας έμφαση στην περιβαλλοντική αξιολόγηση και την επιβολή περιβαλλοντικών όρων για έργα και δραστηριότητες που σχετίζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, δόθηκε προσοχή στην εξέταση των επιπτώσεων στο φυσικό περιβάλλον για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης.

Ο νόμος 3175/2003 και ο νόμος 3429/2005 τροποποίησαν τον νόμο 2773/1999 για την περαιτέρω απελευθέρωση της ενεργειακής βιομηχανίας και την προώθηση του ανταγωνισμού.

Ο νόμος 3468/2006 αποτέλεσε σημαντικό ορόσημο, καθώς συμπεριέλαβε την οδηγία 2001/77/EK για την προώθηση της ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η νομοθεσία αυτή καθιέρωσε το ρυθμιστικό πλαίσιο για την αδειοδότηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), αύξησε τις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έως και 60% σε σχέση με τους προηγούμενους νόμους και απλοποίησε τις διαδικασίες για έργα μικρής κλίμακας. Καθιέρωσε επίσης μηχανισμό για τη χορήγηση πιστοποιητικών προέλευσης ανανεώσιμης ενέργειας και ενίσχυσε την εποπτεία των κατόχων αδειών παραγωγής.

Οι νόμοι 3734/2009, 3851/2010, 4001/2011 και 4951/2022 διευκόλυναν τον συνεχή εξορθολογισμό των διαδικασιών αδειοδότησης και δημιούργησαν ένα πιο προσαρμόσιμο και ευνοϊκό για τις επενδύσεις περιβάλλον. Επιπλέον, τάχθηκαν υπέρ της δημιουργίας ανεξάρτητων διαχειριστών για τη μεταφορά και τη διανομή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βελτιώνοντας έτσι τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα της αγοράς.

Η ελληνική νομοθεσία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξελίσσεται σταθερά για την προώθηση των επενδύσεων, τη διασφάλιση της περιβαλλοντικής ακεραιότητας και την εκπλήρωση των δεσμευτικών στόχων που έχει θέσει η ευρωπαϊκή πολιτική σχετικά με την πράσινη μετάβαση και την κλιματική αλλαγή.

3.4.1. ΕΙΔΙΚΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Η εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία επιτάσσει τον καθορισμό σαφών κανόνων στη χωροθέτηση δραστηριοτήτων, προκειμένου να εξασφαλιστεί η βιώσιμη ανάπτυξη, η προστασία του περιβάλλοντος και η αποφυγή συγκρούσεων χρήσεων γης. Για τον σκοπό αυτό, εκπονούνται εξειδικευμένα θεσμικά κείμενα που βασίζονται σε Κανονισμούς και Οδηγίες της ΕΕ, καθώς και στη νομοθεσία κάθε κράτους-μέλους.

Στο πλαίσιο αυτό, η Ελλάδα το 2008 προχώρησε στη σύνταξη ενός Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου (ΕΧΠ) για τις ΑΠΕ (ΦΕΚ Β/2464/03-08-2008), λαμβάνοντας υπόψη την Οδηγία 2001/77/EK της ΕΕ και τους σχετικούς εθνικούς νόμους, όπως ο Ν. 3299/2004 και ο Ν. 3468/2006. Το ΕΧΠ αυτό έχει στόχο τη διαμόρφωση πολιτικών για τη χωροθέτηση έργων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, την καθιέρωση

συγκεκριμένων κριτηρίων και προδιαγραφών, και τη δημιουργία ενός λειτουργικού μηχανισμού για την ένταξη των ΑΠΕ στο χωρικό σχεδιασμό. Παρά τις αρχικές προβλέψεις, το ΕΧΠ χρειάζεται συνεχή επικαιροποίηση, καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις, οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις και οι οικονομικές συνθήκες αλλάζουν με γρήγορους ρυθμούς.

Το ΕΧΠ του 2008 θέτει κριτήρια για τη χωροθέτηση, μεταξύ άλλων, και των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων. Στο Κεφάλαιο Δ', που αφορά τους «Κανόνες Χωροθέτησης Λοιπών Εγκαταστάσεων Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ», το Άρθρο 17 προσδιορίζει τις προϋποθέσεις για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Κριτήρια Χωροθέτησης Φ/Β Εγκαταστάσεων

Περιοχές Προτεραιότητας: Ως κατάλληλες περιοχές για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών θεωρούνται κατά προτίμηση οι άγονες εκτάσεις ή οι εκτάσεις χαμηλής παραγωγικότητας. Προτείνεται να είναι αθέατες από πολυσύχναστους χώρους, ώστε να ελαχιστοποιείται η οπτική όχληση, ενώ η διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο ή σύστημα πρέπει να είναι εφικτή για την αποφυγή υπέρογκων κόστους επέκτασης του δικτύου.

Ζώνες Αποκλεισμού: Ορίζονται κατηγορίες περιοχών στις οποίες απαγορεύεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για λόγους προστασίας του πολιτιστικού και φυσικού περιβάλλοντος:

Μνημεία Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς και σημαντικά αρχαιολογικά μνημεία σύμφωνα με τον Ν. 3028/2002.

Περιοχές απόλυτης προστασίας της φύσης και του τοπίου, όπως ορίζονται στον Ν. 1650/1986.

Εθνικοί Δρυμοί, αισθητικά δάση και μνημεία της φύσης που προστατεύονται νομοθετικά.

Οικότοποι προτεραιότητας που περιλαμβάνονται στο δίκτυο Natura 2000, σύμφωνα με την απόφαση 2006/613/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Δάση και γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας σύμφωνα με τον Ν. 2637/1998.

Άλλες περιοχές με ειδικό καθεστώς χρήσεων γης, όπου η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών απαγορεύεται για όσο διαρκεί το καθεστώς αυτό.

Πολυσύχναστοι Χώροι: Σε περιπτώσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε πολυσύχναστους χώρους, όπως τουριστικές περιοχές ή περιοχές κοντά σε οικισμούς, η περιβαλλοντική αδειοδότηση πρέπει να προβλέπει μέτρα για την αποφυγή οπτικής όχλησης. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση κατάλληλων φυτεύσεων, φυσικών εμποδίων ή χρωματικών επιλογών που εναρμονίζονται με το τοπίο.

Αποστάσεις και Συνοδά Έργα: Οι αποστάσεις των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων από τις ζώνες αποκλεισμού καθορίζονται μέσω της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, ενώ για τα συνοδά έργα (π.χ. υποσταθμοί, γραμμές μεταφοράς) ισχύουν ειδικές κατευθύνσεις και πρότυπα.

Η εφαρμογή του Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου (ΕΧΠ) για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις και εμπόδια που δυσχεραίνουν την ομαλή και ταχεία ανάπτυξη των έργων ΑΠΕ. Αυτά τα εμπόδια σχετίζονται με διοικητικές, νομοθετικές, τεχνικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές παραμέτρους.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι η εκτεταμένη γραφειοκρατία που χαρακτηρίζει τη διαδικασία αδειοδότησης των έργων ΑΠΕ. Παρά τις προσπάθειες απλοποίησης μέσω νομοθετικών ρυθμίσεων, η διαδικασία περιλαμβάνει πολλά στάδια και απαιτεί τη συμμετοχή πολλών διαφορετικών υπηρεσιών και φορέων, όπως περιβαλλοντικές υπηρεσίες, δασαρχεία, αρχαιολογικές υπηρεσίες και τοπικές αυτοδιοικήσεις. Η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των αρμόδιων φορέων οδηγεί σε καθυστερήσεις, με τις διαδικασίες αδειοδότησης να υπερβαίνουν συχνά τα 2-3 χρόνια.

Επιπλέον, το ΕΧΠ για τις ΑΠΕ, αν και παρέχει γενικές κατευθύνσεις για τη χωροθέτηση, περιέχει ασάφειες και γενικόλογες προβλέψεις που δεν διευκολύνουν τη λήψη σαφών αποφάσεων. Τα κριτήρια χωροθέτησης, για παράδειγμα, είναι συχνά ενδεικτικά και αφήνουν περιθώρια για διαφορετικές ερμηνείες. Η έλλειψη συγκεκριμένων τεχνικών και περιβαλλοντικών κατευθυντήριων γραμμών μεταφέρει μεγάλο βάρος ευθύνης στις υπηρεσίες που αναλαμβάνουν την αξιολόγηση των αιτήσεων, γεγονός που δημιουργεί ασάφειες και καθυστερήσεις.

Ένα ακόμη σημαντικό εμπόδιο είναι η σύγκρουση των έργων ΑΠΕ με περιβαλλοντικά και κοινωνικά ζητήματα. Οι περιοχές Natura 2000, οι εθνικοί δρυμοί και άλλες προστατευόμενες περιοχές συχνά περιορίζουν τη δυνατότητα ανάπτυξης φωτοβολταϊκών και άλλων έργων ΑΠΕ. Επιπλέον, οι τοπικές κοινωνίες εκφράζουν

ανησυχίες για την οπτική και ηχητική όχληση, την αισθητική αλλοίωση του τοπίου, καθώς και για τις επιπτώσεις στον τουρισμό και τη γεωργία. Η έλλειψη ενεργού συμμετοχής των τοπικών κοινωνιών στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων συχνά οδηγεί σε αντιδράσεις και καθυστερήσεις.

Επιπρόσθετα, η απουσία ενός πλήρους και λειτουργικού Εθνικού Κτηματολογίου και ενός σαφούς χωροταξικού σχεδιασμού για όλες τις περιοχές της χώρας δημιουργεί μεγάλα προβλήματα. Η ασαφή ιδιοκτησιακά καθεστώτα και οι συγκρούσεις χρήσεων γης, ιδιαίτερα σε περιοχές με γεωργική, τουριστική ή βιομηχανική δραστηριότητα, καθιστούν δύσκολη την εύρεση κατάλληλων εκτάσεων για τα έργα ΑΠΕ.

Τεχνικά, η κατάσταση των ενεργειακών υποδομών δημιουργεί περιορισμούς στην ανάπτυξη των ΑΠΕ. Η χωρητικότητα των δικτύων διανομής και μεταφοράς ενέργειας είναι περιορισμένη, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές με υψηλό δυναμικό ΑΠΕ, όπως νησιά και ορεινές περιοχές. Η ανάγκη για επενδύσεις στην αναβάθμιση του δικτύου και τη δημιουργία υποδομών αποθήκευσης ενέργειας καθυστερεί τη σύνδεση των έργων ΑΠΕ με το ηλεκτρικό δίκτυο και αυξάνει το κόστος των έργων.

Ακόμα, το ΕΧΠ του 2008 χρειάζεται επικαιροποίηση ώστε να ανταποκριθεί στις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις και στις νέες απαιτήσεις της ενεργειακής μετάβασης. Η καθυστέρηση στην επικαιροποίηση του πλαισίου καθιστά δύσκολη την προσαρμογή του στις νέες ανάγκες και τεχνολογίες, όπως τα υβριδικά συστήματα και οι συσσωρευτές ενέργειας, ενώ η έλλειψη σαφών κατευθυντήριων γραμμών και τεχνικών προδιαγραφών οδηγεί σε ανεπάρκεια σχεδιασμού και ανάπτυξης των έργων ΑΠΕ.

Η συνδυασμένη παρουσία όλων αυτών των εμποδίων δημιουργεί ένα περιβάλλον επενδυτικής ανασφάλειας, καθιστώντας τη διαδικασία αδειοδότησης αβέβαιη και χρονοβόρα. Αυτές οι καθυστερήσεις, οι ασάφειες στη νομοθεσία και η έλλειψη ενός σαφούς χωροταξικού πλαισίου καθιστούν τη χώρα λιγότερο ελκυστική για επενδύσεις στον τομέα των ΑΠΕ.

Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί τη συστηματική αναθεώρηση του ΕΧΠ, τη μείωση της γραφειοκρατίας, τον καλύτερο συντονισμό των φορέων και την ενεργό συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, η βελτίωση των ενεργειακών υποδομών και η σαφής νομοθετική κατεύθυνση είναι κρίσιμες για να επιτευχθούν οι στόχοι της βιώσιμης ανάπτυξης και της ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα.

3.4.2. ΑΡΜΟΔΙΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Για την αποτελεσματική υλοποίηση, εποπτεία και έλεγχο εφαρμογής της νομοθεσίας που αφορά τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και την ενέργεια που παράγεται από αυτές, έχουν συσταθεί και λειτουργούν ειδικές υπηρεσίες και οργανισμοί στην Ελλάδα. Αυτοί οι φορείς έχουν καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση και παρακολούθηση της ανάπτυξης των ΑΠΕ, στην υποστήριξη των σχετικών τεχνολογιών και στην προώθηση της ενεργειακής μετάβασης της χώρας. Κάθε οργανισμός έχει συγκεκριμένες αρμοδιότητες που συντονίζονται και συμπληρώνονται μεταξύ τους, ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του τομέα των ΑΠΕ και η συμμόρφωση με τις εθνικές και διεθνείς απαιτήσεις.

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) ιδρύθηκε το 1987 και αποτελεί τον εθνικό φορέα για την προώθηση των ΑΠΕ, την ορθολογική χρήση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Η αποστολή του ΚΑΠΕ περιλαμβάνει την υποστήριξη τεχνολογικών, ερευνητικών και συμβουλευτικών δραστηριοτήτων σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Σύμφωνα με τον Ν. 2244/94 και τον Ν. 2702/99, το ΚΑΠΕ έχει οριστεί ως το Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο για τα θέματα των ΑΠΕ, έχοντας ως στόχο τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης στην αλυσίδα παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης ενέργειας. Συνεργάζεται με κυβερνητικούς φορείς, τοπικές και διεθνείς οργανώσεις και ιδιωτικούς φορείς για την ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων στον τομέα της ενέργειας, ενώ παράλληλα παρέχει τεχνική υποστήριξη και προώθηση καινοτόμων ενεργειακών εφαρμογών.

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ):

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) ιδρύθηκε με τον νόμο 2773/1999 και αποτελεί ανεξάρτητο δημόσιο φορέα με κύριο σκοπό την εποπτεία και ρύθμιση της αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα. Η ΡΑΕ είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή της νομοθεσίας σχετικά με τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, διασφαλίζοντας τον ελεύθερο ανταγωνισμό, τη διαφάνεια και την προστασία των καταναλωτών. Οι κύριες αρμοδιότητες της ΡΑΕ περιλαμβάνουν τη ρύθμιση και παρακολούθηση των τιμών, τις διαδικασίες αδειοδότησης και τη σύνταξη προτάσεων για τη νομοθετική ρύθμιση του ενεργειακού τομέα. Η ΡΑΕ έχει ρυθμιστικό και εποπτικό ρόλο στην ανάπτυξη των ΑΠΕ, καθώς είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση των διαδικασιών αδειοδότησης

έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την εξασφάλιση ισότιμης πρόσβασης στις αγορές και τη διασφάλιση των συνθηκών για τη βιώσιμη ανάπτυξή τους.

Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ): Ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) ιδρύθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις της ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/72/EK και είναι υπεύθυνος για τη λειτουργία, την ανάπτυξη και τη συντήρηση του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Ως θυγατρική της ΔΕΗ, ο ΑΔΜΗΕ έχει ως αποστολή τη διασφάλιση αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη χώρα, με στόχο την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης και την ενίσχυση του ελεύθερου ανταγωνισμού στην αγορά ενέργειας. Ο ΑΔΜΗΕ διαχειρίζεται το σύστημα μεταφοράς, υποστηρίζοντας τις διαδικασίες σύνδεσης νέων μονάδων ΑΠΕ και προάγοντας την ανάπτυξη των υποδομών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της ενεργειακής μετάβασης. Η ικανότητα του ΑΔΜΗΕ να ενσωματώνει νέα έργα ΑΠΕ στο σύστημα είναι κρίσιμη για την επίτευξη των εθνικών στόχων για την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή.

Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ): Ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση του δικτύου διανομής ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα. Ιδρύθηκε ως ανεξάρτητη ανώνυμη εταιρεία το 2011, με στόχο τη συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/EK της ΕΕ σχετικά με τη ρύθμιση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ΔΕΔΔΗΕ διασφαλίζει την αποτελεσματική και ασφαλή διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την επικράτεια, φροντίζοντας για τη συντήρηση και τη βελτίωση των υποδομών. Έχει κεντρικό ρόλο στην αποδοτική σύνδεση φωτοβολταϊκών και άλλων έργων ΑΠΕ στο δίκτυο, επεξεργαζόμενος αιτήσεις για σύνδεση, εκδίδοντας οριστικές προσφορές και αναλαμβάνοντας την τελική σύνδεση των συστημάτων στο δίκτυο διανομής. Η αποτελεσματική λειτουργία του ΔΕΔΔΗΕ είναι κρίσιμη για την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος.

Η συνεργασία αυτών των φορέων και οργανισμών, καθώς και η συνεχής επικοινωνία και συντονισμός τους, είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή της νομοθεσίας και των στρατηγικών σχεδίων για τις ΑΠΕ στην Ελλάδα. Ο κάθε φορέας αναλαμβάνει ρόλο-κλειδί στην εξασφάλιση της ομαλής ανάπτυξης του τομέα, με στόχο την επίτευξη

των εθνικών και ευρωπαϊκών ενεργειακών στόχων, την ενίσχυση της βιώσιμης ανάπτυξης και την αποτελεσματική αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

3.5 ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Φ/Β ΕΠΙ ΕΛΑΦΟΥΣ

Η διαδικασία αδειοδότησης για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων επί εδάφους είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία, που περιλαμβάνει αρκετές διαδοχικές ενέργειες και απαιτεί την αλληλεπίδραση με διάφορους αρμόδιους φορείς, τόσο σε επίπεδο περιφερειακών αρχών όσο και κεντρικών υπηρεσιών. Οι απαιτήσεις αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης και τη θέση της, με τις απαιτήσεις να είναι πιο αυστηρές για μεγαλύτερες μονάδες.

Αρχικά, η διαδικασία ξεκινά με την υποβολή αίτησης στην οικεία Περιφέρεια για να γίνει έλεγχος αν η εγκατάσταση Φ/Β συστήματος απαιτεί Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Συγκεκριμένα, για εγκαταστάσεις με ισχύ μικρότερη των 500 kWp, η αίτηση αφορά σε απαλλαγή από την ανάγκη για Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων, ενώ για συστήματα με ισχύ από 500 kWp έως 1000 kWp απαιτείται η έκδοση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων. Η ΕΠΟ διασφαλίζει ότι η εγκατάσταση συμμορφώνεται με τα περιβαλλοντικά πρότυπα και δεν θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

Για εγκαταστάσεις που ξεπερνούν τα 1000 kWp, η διαδικασία γίνεται πιο περίπλοκη, καθώς πέρα από την αίτηση για την Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων, απαιτείται και αίτηση στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για την έκδοση Άδειας Παραγωγής. Η Άδεια Παραγωγής είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί η νομιμότητα της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και οριστικοποιεί τη δυνατότητα της μονάδας να παράγει και να διαθέτει ενέργεια στο δίκτυο. Η ΡΑΕ ελέγχει τη συμμόρφωση του έργου με τις ρυθμίσεις της αγοράς ενέργειας και ενδεχομένως θέτει περιορισμούς ή προϋποθέσεις για την αδειοδότηση της παραγωγής.

Μετά την απόκτηση της ΕΠΟ και της Άδειας Παραγωγής (σε περιπτώσεις μεγαλύτερων συστημάτων), η διαδικασία προχωρά με την υποβολή αίτησης για έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας στην Πολεοδομία, καθώς οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, αν και θεωρούνται ως έργα υποδομής, ενδέχεται να επηρεάζουν τις χρήσεις γης και να απαιτούν τοπικές πολεοδομικές εγκρίσεις. Στην

περίπτωση αυτή, απαιτείται η έκδοση άδειας για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης του έργου με τον τοπικό πολεοδομικό κανονισμό.

Ταυτόχρονα, θα πρέπει να κατατεθεί αίτηση στον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) για την παροχή όρων σύνδεσης του Φ/Β συστήματος στο δίκτυο. Ο ΔΕΔΔΗΕ είναι υπεύθυνος για την ασφαλή και αποτελεσματική σύνδεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο διανομής, καθώς και για τη διασφάλιση ότι η εγκατάσταση πληροί όλες τις τεχνικές προϋποθέσεις για την ασφαλή λειτουργία της.

Ακολουθεί η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας ενέργειας με τον Διαχειριστή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ), η οποία αφορά την πώληση της ενέργειας που παράγεται από το Φ/Β σύστημα στο δίκτυο, αλλά και την έκδοση των Εγγυήσεων Προέλευσης (ΓΠ) που αποδεικνύουν τη βιωσιμότητα και τη «καθαρότητα» της παραγόμενης ενέργειας, ενισχύοντας τη συμμετοχή του έργου στο σύστημα εμπορίας «πράσινης» ενέργειας.

Τέλος, η εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος μπορεί να προχωρήσει, αλλά για συστήματα που ξεπερνούν τα 1000 kWp απαιτείται επιπλέον αίτηση στην Περιφέρεια για την έκδοση Άδειας Λειτουργίας. Η Άδεια Λειτουργίας εξασφαλίζει τη δυνατότητα του σταθμού να παράγει και να διαθέτει ενέργεια στο δίκτυο, ολοκληρώνοντας την αδειοδοτική διαδικασία.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι χρονοβόρα και απαιτεί συντονισμό μεταξύ πολλών φορέων, ενώ για μεγαλύτερα έργα είναι αναγκαία η εξασφάλιση πλήθους αδειών και εγκρίσεων που διασφαλίζουν τη νόμιμη λειτουργία, τη συμμόρφωση με το περιβαλλοντικό και πολεοδομικό πλαίσιο, καθώς και την ασφαλή σύνδεση στο ενεργειακό δίκτυο.

4. Περιοχή Μελέτης και Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας συγκεντρωθήκαν από ποικίλες πηγές ψηφιακά δεδομένα τα οποία είναι η μορφολογία του εδάφους, η ηλιακή ακτινοβολία, ο προσανατολισμός, οι υφιστάμενες και επιτρεπόμενες χρήσεις γης, η ανάγκη προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, το υδρογραφικό δίκτυο, ο αιγιαλός, τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κτλ, προκειμένου να ληφθούν υπόψη στη χωροθέτηση εγκατάστασης Φ/Β συστημάτων.

Τα δεδομένα αυτά προσαρμόστηκαν ώστε να βρίσκονται όλα στο ίδιο σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ 87) και να αποτελούν διακριτά επίπεδα πληροφορίας (layers) και ακολούθησε η επεξεργασία τους με βάση τις ιδιότητες των επιμέρους επιπέδων.

Για τη χωροθέτηση των Φ/Β υπάρχουν θέσεις στις οποίες αποκλείεται εξ ορισμού η τοποθέτηση των σταθμών (π.χ. οδικό δίκτυο, αρχαιολογικοί χώροι) και θέσεις στις οποίες ή και επιτρέπεται η εγκατάσταση υπό προϋποθέσεις (π.χ. προστατευόμενες περιοχές, όρια οικισμών, περιοχές με βόρειο προσανατολισμό κ.λπ.).

4.1 Περιοχή Μελέτης

Η Περιφέρεια Θεσσαλίας και συγκεκριμένα η ευρύτερη περιοχή της Λάρισας κρίθηκε ότι αποτελεί κατάλληλη περιοχή για διερεύνηση των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης Φ/Β εγκαταστάσεων, τόσο λόγω της κεντροβαρικής της θέσης σε σχέση με την υπόλοιπη χώρα, όσο και των φυσικογεωγραφικών της χαρακτηριστικών.

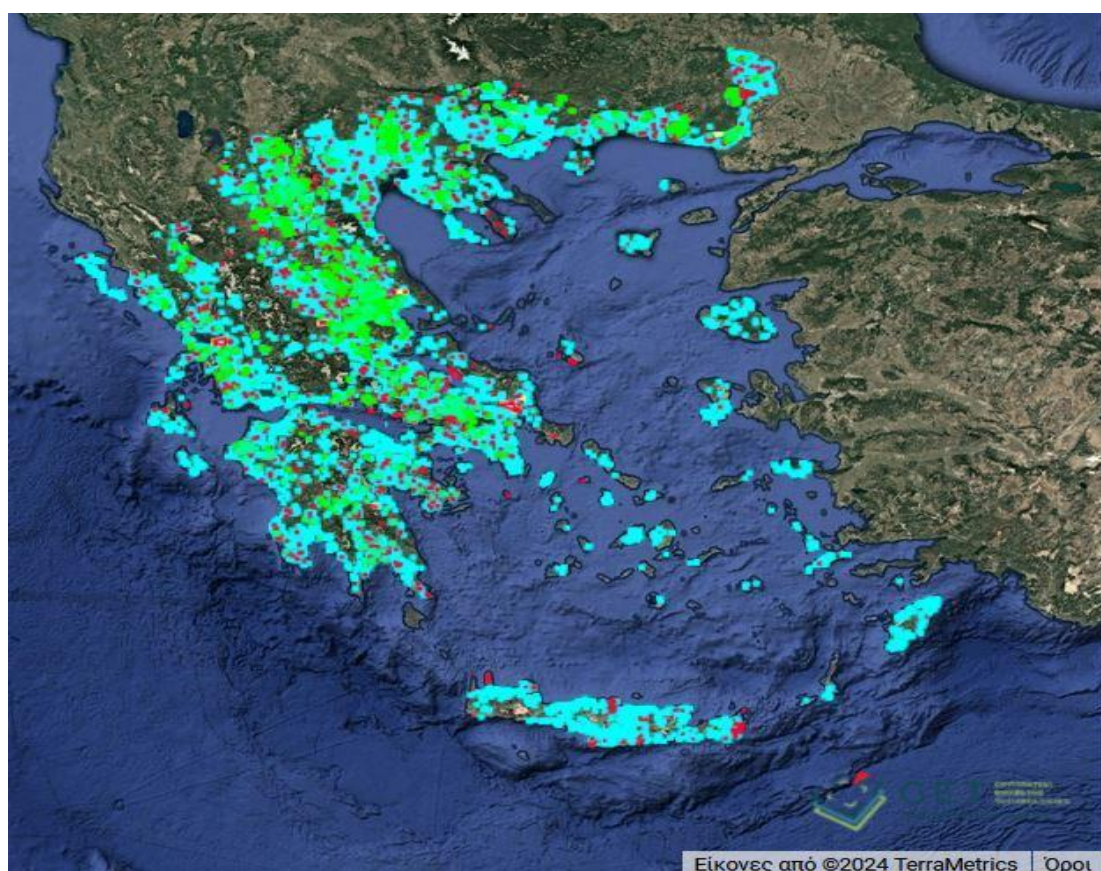
Στην κατ' εξοχήν πεδινή περιοχή της Θεσσαλίας βρίσκεται ο μεγαλύτερος κάμπος της χώρας, που από τεχνικής άποψης αποτελεί την καταλληλότερη επιφάνεια για εγκατάσταση Φ/Β. Ταυτόχρονα, η περιφέρεια διαθέτει πολύ μεγάλα αγροτεμάχια, γεγονός που ευνοεί την εγκατάσταση μεγάλων σε μέγεθος Φ/Β πάρκων. Η ενεργειακή ανεξαρτησία είναι επίσης ένας παράγοντας επιλογής της εν λόγω περιοχής, αφού η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται αποτελεί εξαιρετικό μέσο αλλά και ευκαιρία η οποία επιδιώκεται να αξιοποιηθεί στο εκατό τοις εκατό [11].

Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με το ισχύον θεσμικό καθεστώς, οδήγησαν τα τελευταία χρόνια σε αυξημένο επενδυτικό ενδιαφέρον από ιδιώτες για τα Φ/Β συστήματα στον κάμπο της Θεσσαλίας. Επίσης, λόγω του δυνατού πρωτογενούς τομέα της Περιφέρειας, η εν λόγω διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει αρωγό στη

βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης αγροτικών εγκαταστάσεων και την άρση του ‘ασήκωτου’ πλέον κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος για χιλιάδες αγρότες.

Στην εικόνα της ΡΑΕ, για την κατανομή στη χώρα, των αδειοδοτημένων Φ/Β σταθμών ισχύος $>1\text{MW}$, είναι εμφανής η αυξημένη πυκνότητά τους στην περιοχή της Θεσσαλίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16 παρακάτω.

Κρίθηκε επομένως ότι το αποτέλεσμα της διερεύνησης και ο προσδιορισμός των βέλτιστων θέσεων θα ήταν πολύ χρήσιμο εργαλείο για τους ενδιαφερόμενους και τους εμπλεκόμενους (ιδιώτες και δημόσιους φορείς) σε μία διαδικασία αδειοδότησης και εγκατάστασης Φ/Β συστημάτων.



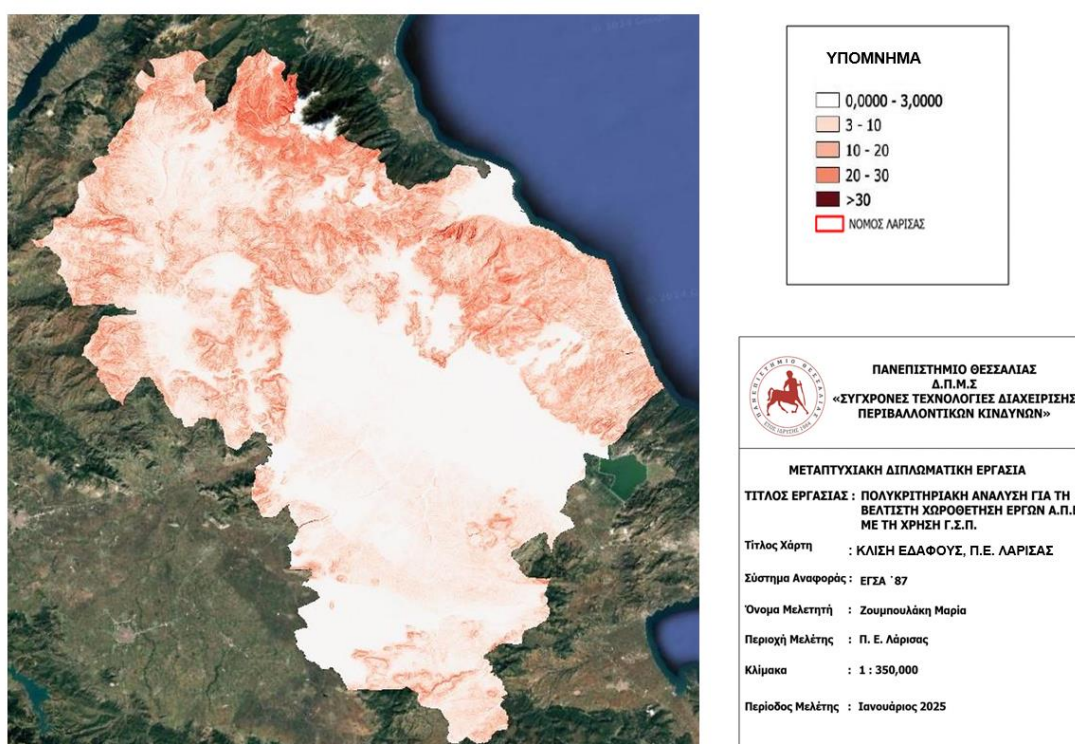
Εικόνα 16: Κατανομή αδειοδοτημένων Φ/Β σταθμών στην Ελλάδα (geo.rae.gr)

4.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

Η Περιοχή της Λάρισας βρίσκεται στον Θεσσαλικό κάμπο, τη μεγαλύτερη πεδιάδα της Ελλάδας. Ο Θεσσαλικός κάμπος χαρακτηρίζεται ως είναι η μεγαλύτερη και πιο εύφορη πεδιάδα της Ελλάδας, με έκταση περίπου 5.500 km². Αποτελεί γεωγραφικό διαμέρισμα της Κεντρικής Ελλάδας και εκτείνεται στους νομούς Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων και μέρος της Μαγνησίας.

Πιο συγκεκριμένα ο Θεσσαλικός κάμπος χαρακτηρίζεται από το επίπεδο και ελαφρώς κυματιστό ανάγλυφο, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής είναι επίπεδο, με κλίσεις που κυμαίνονται από 0° έως 5°. Το επίπεδο ανάγλυφο διευκολύνει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων, καθώς απαιτείται λιγότερη προετοιμασία του εδάφους, καθώς η τοπογραφία και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής επηρεάζουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων και άλλων ΑΠΕ [132].

Στην ευρύτερη περιοχή γύρω από τη Λάρισα, υπάρχουν και κάποιες περιοχές με χαμηλούς λόφους (π.χ., στην περιοχή του Κισσάβου και των παρυφών της Όσσας). Οι περιοχές αυτές έχουν κλίσεις που κυμαίνονται μεταξύ 5° και 15°.



Εικόνα 18: Χάρτης Κλίσεων Π.Ε. Λάρισας.

Το υψόμετρο στον θεσσαλικό κάμπο κυμαίνεται μεταξύ 50 και 150 μέτρων. Το χαμηλό υψόμετρο συνδυάζεται με υψηλή προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, κάτι που είναι ιδανικό για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.

Πλεονεκτήματα της Μορφολογίας της Λάρισας για Φωτοβολταϊκά :

- A. Επίπεδο Έδαφος: Το επίπεδο ανάγλυφο της Λάρισας μειώνει το κόστος προετοιμασίας του εδάφους (χωματουργικές εργασίες). Διευκολύνει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ σε μεγάλες εκτάσεις χωρίς την ανάγκη τροποποίησης της κλίσης.
- B. Υψηλή Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία: Η Λάρισα ανήκει σε μια από τις πιο ηλιόλουστες περιοχές της Ελλάδας με μέση ηλιακή ακτινοβολία 1500-1600 kWh/m²/έτος. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι επαρκής για υψηλή απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- C. Πρόσβαση και Υποδομές: Λόγω της μορφολογίας της, η Λάρισα διαθέτει ανεπτυγμένο οδικό δίκτυο και εγγύτητα σε γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό μειώνει το κόστος σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πάρκων με το δίκτυο.
- D. Αποφυγή Εδαφικών Κατολισθήσεων: Το επίπεδο ανάγλυφο εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν κίνδυνοι κατολισθήσεων, που συχνά αποτελούν πρόβλημα σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις.

Μειονεκτήματα της Μορφολογίας της Λάρισας για Φωτοβολταϊκά :

- A. Πλημμυρικά Φαινόμενα: Ο θεσσαλικός κάμπος είναι επιρρεπής σε πλημμύρες, ιδιαίτερα κοντά σε ποτάμια όπως ο Πηνειός. Θα πρέπει να επιλεγούν περιοχές με χαμηλό κίνδυνο πλημμύρας για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων.
- B. Γεωργικές Εκτάσεις Υψηλής Παραγωγικότητας: Πολλές περιοχές γύρω από τη Λάρισα είναι εύφορες γεωργικές εκτάσεις. Θα πρέπει να προτιμηθούν εκτάσεις χαμηλής παραγωγικότητας ή χέρσες εκτάσεις για να αποφευχθεί η μείωση της γεωργικής παραγωγής.
- C. Σκόνη και Αέριοι Ρύποι: Η γεωργική δραστηριότητα δημιουργεί σκόνη, η οποία μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ. Απαιτείται τακτική συντήρηση και καθαρισμός των πάνελ.

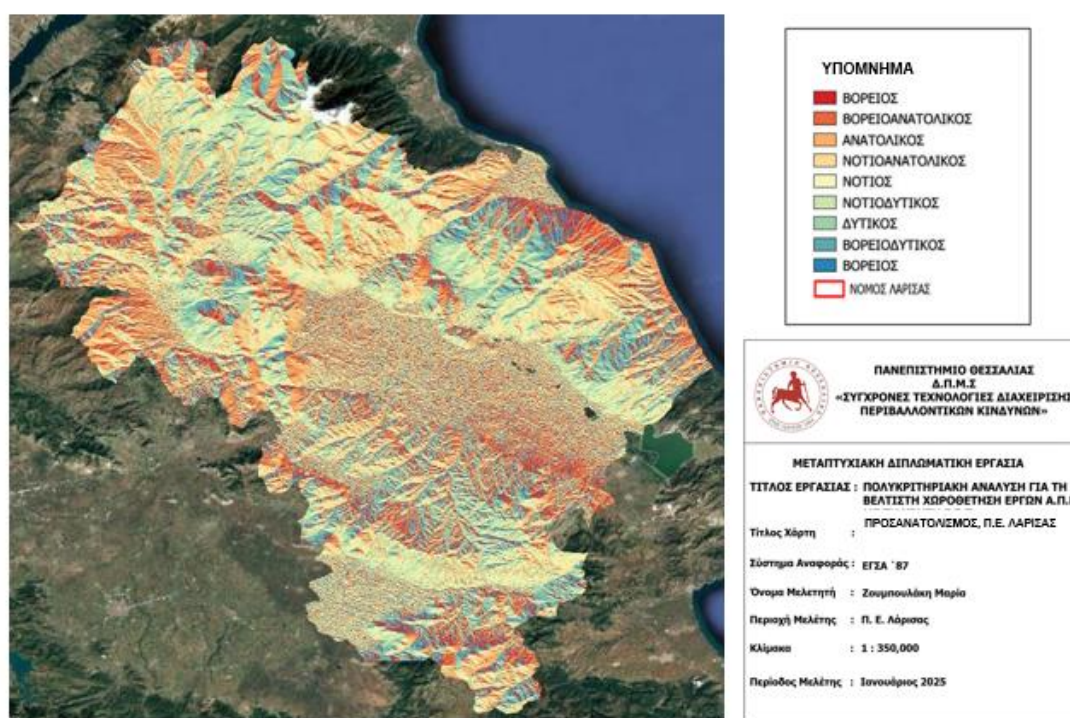
Συμπερασματικά η μορφολογία της Λάρισας, με τον επίπεδο θεσσαλικό κάμπο, προσφέρει ιδανικές συνθήκες για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων λόγω της

79

εύκολης εγκατάστασης με χαμηλό κόστος προετοιμασίας, της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και των καλών υποδομών και εγγύτητας σε δίκτυα ενέργειας. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες και να αποφευχθούν οι γεωργικές εκτάσεις υψηλής παραγωγικότητας.

4.3. Προσανατολισμός εδάφους

Ο ιδανικός προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο βόρειο ημισφαίριο είναι προς τον νότο (180°), καθώς έτσι εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα πάνελ στη Λάρισα πιστεύεται ότι είναι περίπου 30-35 μοίρες, ώστε να μεγιστοποιείται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια των χειμερινών και θερινών μηνών. Ο προσανατολισμός του εδάφους είναι πολύ κρίσιμος παράγοντας στην απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς καθορίζει την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία [7].



Εικόνα 19: Χάρτης προσανατολισμών, Π.Ε. Λάρισα

Η εποχιακή διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζει την αποτελεσματικότητα των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα,

όταν η ανύψωση του ήλιου μειώνεται, τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα έπρεπε να τοποθετούνται σε πιο απότομη γωνία για να ενισχυθεί η απορρόφηση της ακτινοβολίας. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν ο ήλιος είναι αυξημένος, μια μειωμένη κλίση μπορεί να αποφέρει ανώτερα αποτελέσματα. Για να βελτιωθεί η απόδοση, ορισμένα συστήματα χρησιμοποιούν ηλιακούς ιχνηλάτες που προσαρμόζουν τη θέση των πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να ευθυγραμμίζονται με την τροχιά του ήλιου [135].

Η ελάχιστη υψομετρική διακύμανση μειώνει τη σκίαση από φυσικά εμπόδια όπως λόφοι και βουνά, διευκολύνοντας έτσι την αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, οι εγκαταστάσεις εντός του αστικού περιβάλλοντος απαιτούν την εξέταση της σκίασης από παρακείμενες κατασκευές, κεραίες και δέντρα, εκτός από τον διαθέσιμο χώρο εντός των κτιρίων για την εγκατάσταση των πάνελ.

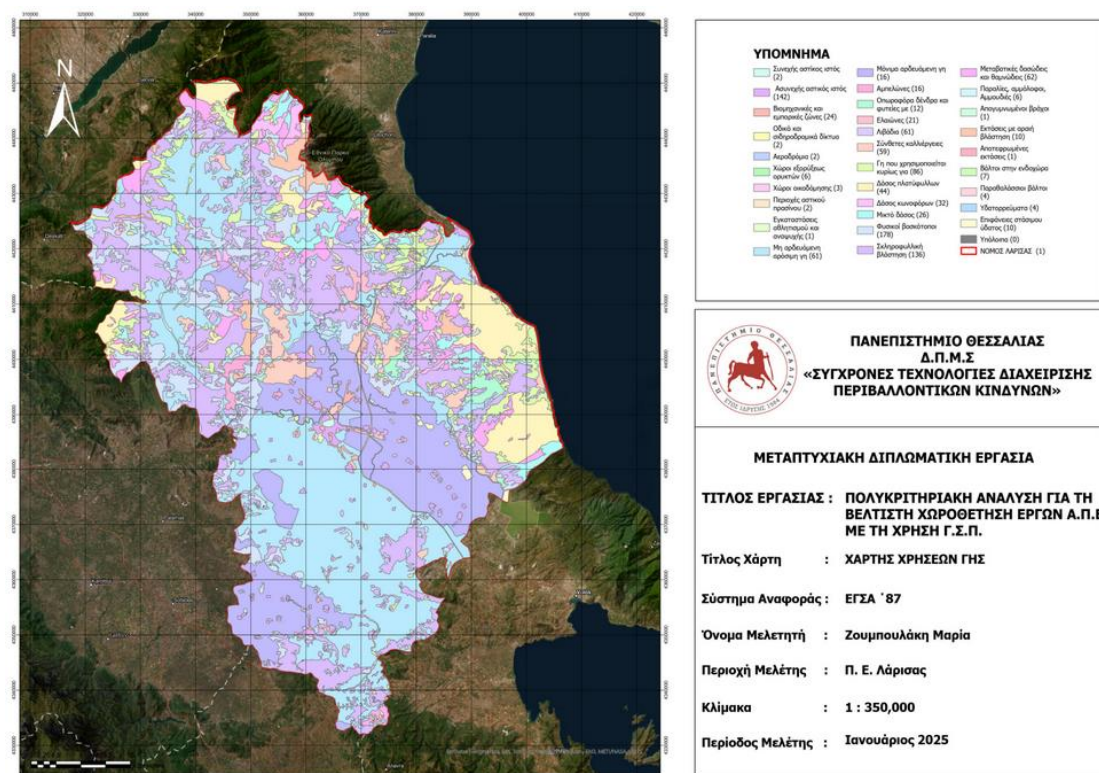
Συμπερασματικά, η Λάρισα, που χαρακτηρίζεται από την αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία και την τοπογραφία της, αποτελεί βέλτιστη τοποθεσία για την εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η σωστή ευθυγράμμιση προς το νότο και η βέλτιστη κλίση των πλαισίων μπορούν να μεγιστοποιήσουν την ενεργειακή απόδοση, προωθώντας έτσι την πράσινη ενέργεια και τη βιώσιμη περιφερειακή ανάπτυξη.

4.4. Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη πολλών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής φωτοβολταϊκών συστημάτων. Κάθε περιοχή οριοθετείται από διαφορετικές επιτρεπόμενες και απαγορευμένες χρήσεις γης, όπως ορίζονται από τα πολεοδομικά και χωροταξικά σχέδια, συμπεριλαμβανομένου του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (ΓΠΣ) και των Τοπικών Χωροταξικών Σχεδίων (ΤΧΣ). Οι αστικές περιοχές περιλαμβάνουν οικιστικές, εμπορικές, βιομηχανικές και δημόσιες χρήσεις γης, ενώ οι αγροτικές περιοχές χαρακτηρίζονται κυρίως από τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Η ταξινόμηση αυτή είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση της γης και την αποφυγή συγκρούσεων μεταξύ των διαφόρων δραστηριοτήτων [6].

Η επιλογή των κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων εξαρτάται από τις επιτρεπόμενες χρήσεις γης και τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς και πολεοδομικούς κανονισμούς. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν

σε βιομηχανικές και γεωργικές περιοχές, καθώς και σε μέρη με ελάχιστη περιβαλλοντική ευαισθησία. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί σε περιοχές που προστατεύονται από εθνικούς και διεθνείς περιβαλλοντικούς κανονισμούς, συμπεριλαμβανομένων δασικών περιοχών, υδροτόπων και αρχαιολογικών χώρων. Επιπλέον, σε αστικά περιβάλλοντα, η χρήση φωτοβολταϊκών ενσωματωμένων σε κτίρια (BIPV) είναι μια βιώσιμη λύση που αξιοποιεί τις υπάρχουσες δομές χωρίς να επηρεάζει τις εναλλακτικές χρήσεις γης. Η αποτελεσματική διαχείριση της χρήσης γης και ο σχεδιασμός είναι ουσιώδεις για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την επιτυχή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο στο δομημένο όσο και στο φυσικό περιβάλλον.



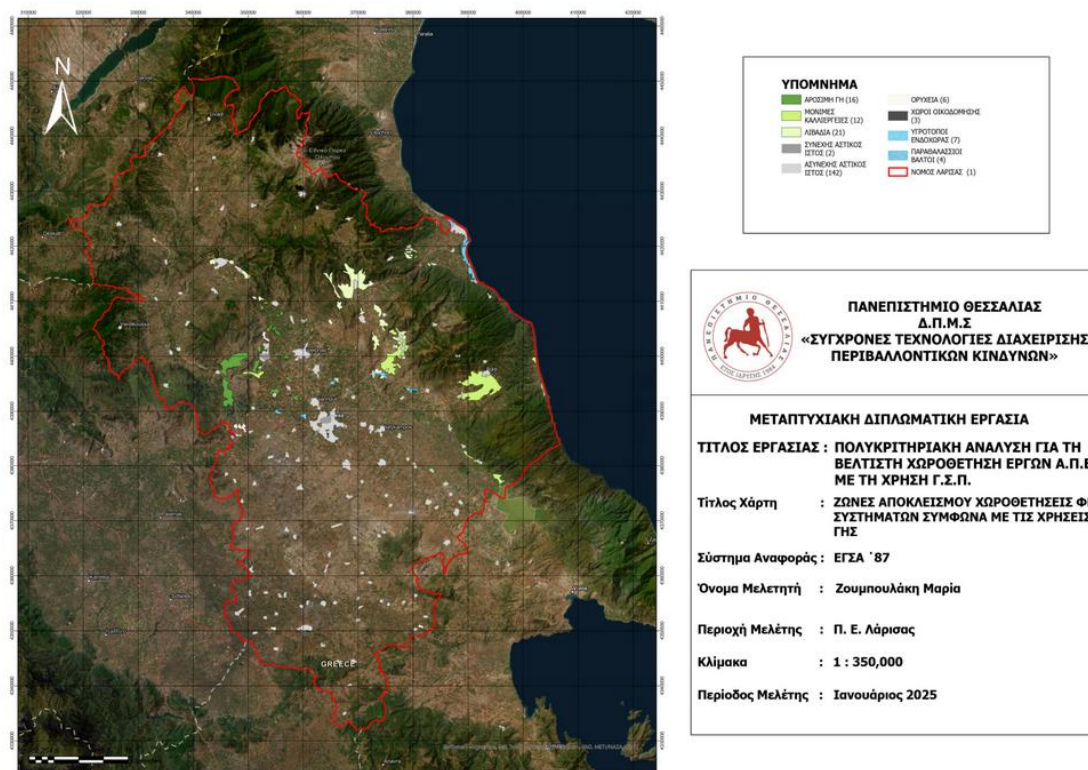
Εικόνα 20: Χάρτης Χρήσεων Γης, Π.Ε. Λάρισας.

Η Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας, και ιδιαίτερα ο Θεσσαλικός Κάμπος, χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ φάσμα χρήσεων γης, που αντανακλούν τη γεωργική, βιομηχανική και αστική ανάπτυξη της περιοχής. Οι εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις της Λάρισας αποτελούν μία από τις σημαντικότερες αγροτικές περιοχές της Ελλάδας, με κύριες χρήσεις γης να περιλαμβάνουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αρδευόμενες και μη, καθώς και βοσκοτόπια. Οι καλλιέργειες είναι κυρίως εντατικές και περιλαμβάνουν

βαμβάκι, σιτηρά, βιομηχανική ντομάτα και αμπελώνες, που στηρίζουν τόσο την τοπική όσο και την εθνική οικονομία.

Παράλληλα, σημαντικό τμήμα της γης καταλαμβάνουν περιοχές με μικρές και μεσαίες βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες, κυρίως στους άξονες Λάρισας-Βόλου και Λάρισας-Τρικάλων, όπου έχουν αναπτυχθεί βιομηχανικές ζώνες και οργανωμένες περιοχές μεταποίησης. Στις περιφερειακές ζώνες της Λάρισας συναντώνται επίσης οικιστικές περιοχές, αγροτικές κατοικίες και χωριά, που στηρίζουν τον πρωτογενή τομέα και τη μεταποίηση. Επιπλέον, υπάρχουν εκτάσεις αφιερωμένες στη διατήρηση της φυσικής κληρονομιάς, όπως ο Εθνικός Δρυμός Ολύμπου, το Δέλτα του Πηνειού και η λίμνη Κάρλα, όπου ισχύουν ειδικοί περιορισμοί χρήσης γης για την προστασία του περιβάλλοντος.

Περιοχές οι οποίες ανήκουν σε γη υψηλής παραγωγικότητας, ορυχεία και διάφοροι υγρότοποι αποτελούν απαγορευτικές ζώνες για την χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Εικόνα 21: Χάρτης με απαγορευτικές ζώνες εγκατάστασης, Π.Ε. Λάρισας.

Όσον αφορά την γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας απαγορεύεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Σύμφωνα με την Υπουργική απόφαση (ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/74123/2971 (ΦΕΚ 3149/30/7/2020)) η εγκατάσταση

φωτοβολταικών συστημάτων επιτρέπεται μέχρις ότου να καλυφθεί το ποσοστό 1% της συνολικής εκτάσεως ανα Περιφερειακή Ενότητα.

Αρμόδιος για τον έλεγχο του ποσοστού κάλυψης γεωργικής γης υψηλής παραγωγικότητας από φωτοβολταικούς σταθμούς είναι ο ΔΕΔΔΗΕ.

Πίνακας 4. Περιθώρια αγροτικής γης , κοινός πίνακας ΔΕΔΔΗΕ/ΑΔΜΗΕ

Περιφέρεια	Περιφερειακή Ενότητα	Σύνολο Ισχύος ΦΒ (MW) ΟΠΣ ή απευθείας Συμβάσεων Σύνδεσης ΔΕΔΔΗΕ σε αγροτική γη*	Σύνολο Ισχύος ΦΒ (MW) ΟΠΣ ΑΔΜΗΕ σε αγροτική γη*	Μέγιστο όριο ισχύος ΦΒ σε Αγροτ. Γη (MW) μετά την κάλυψη του οποίου παύει η χορήγηση ΟΠΣ ή απευθείας Σύμβασης Σύνδεσης σε ΦΒ ≤ 1MW σε ΓΓΥΠ	Απομένον περιθώριο ισχύος (MW) για χορήγηση ΟΠΣ ή απευθείας Σύμβασης Σύνδεσης σε ΦΒ ≤ 1MW σε ΓΓΥΠ
Θεσσαλία	Λάρισα	408,031	611,545	1.278,950	259,374

4.5. Προστατευμένες περιοχές από το Δίκτυο Natura 2000

Στις προστατευόμενες περιοχές της χώρας από το δίκτυο NATURA 2000 η εγκατάσταση των φωτοβολταικών συστημάτων επιτρέπεται υπό προϋποθέσεις [134]. Το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις ΑΠΕ περιλαμβάνει περιοχές που δεν μπορούν να χωροθετηθούν φωτοβολταικές εγκαταστάσεις. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι βασικές περιοχές των εθνικών πάρκων, των κηρυγμένων μνημείων της φύσης και των αισθητικών δασών. Το πλαίσιο βασίζεται στα άρθρα 19, παρ. 1, 2 και 21 του νόμου 1650/1986, όπως τροποποιήθηκε, και οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν τις Περιοχές Απόλυτης Προστασίας της Φύσης και του Τοπίου.

Στον Θεσσαλικό Κάμπο υπάρχουν αρκετές περιοχές οι οποίες κατατάγονται στις Ζώνες περιορισμού του Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου για της Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς αποτελούν περιοχές με ιδιαίτερη οικολογική αξία και προστατεύονται θεσμικά τόσο από την Ευρωπαϊκή όσο και από την Εθνική Νομοθεσία. Ως εκ τούτου αρκετές από τις περιοχές του Θεσσαλικού Κάμπου ανήκουν στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000, στα Καταφύγια Αγρίας Ζωής και στα Τοπία Ιδιαίτερου Κάλλους.

Ειδικότερα το Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000 έχει ως κύριο σκοπό να εξασφαλίσει την μακροπρόθεσμη διατήρηση των σημαντικών και απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων τους. Στην συγκεκριμένη κατηγορία ανήκουν περιοχές οι οποίες φιλοξενούν τους παρακάτω φυσικούς τύπους οικοτοπών :

Τις «Ζώνες Ειδικής Προστασίας» (ΖΕΠ) για την ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία 79/409/ΕΚ «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»

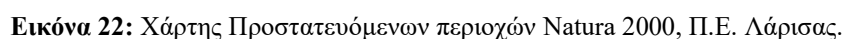
Τις «Ειδικές Ζώνες Διατήρησης» (ΕΖΔ), όπως ορίζονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ. Για τον προσδιορισμό των ΕΖΔ λαμβάνονται υπόψη οι τύποι οικοτόπων και τα είδη των Παραρτημάτων I και II της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ καθώς και τα κριτήρια του Παραρτήματος III αυτής.

Στις περιοχές Natura 2000 δεν απαγορεύεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών όμως προκειμένου να μπορέσει να εγκατασταθεί ένας τέτοιος σταθμός θα πρέπει προγενέστερα να έχει χορηγηθεί η απαραίτητη έγκριση από τον Οργανισμό Φυσικού Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΟΦΥΠΕΚΑ). Ο οργανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για την χορήγηση της απαραίτητης γνωμοδότησης ώστε να μπορέσει να εγκατασταθεί ένας σταθμός σε αυτήν την περιοχή.

Όταν μια περιοχή ονομάζεται ΖΕΠ (Ζώνη Ειδικής Προστασίας), βασίζεται στους «κρίσιμους οικοτόπους» των ειδών πτηνών που αποτελούν τα σημαντικά προστατευόμενα είδη. Αυτό σημαίνει ότι η περιοχή έχει οριστεί ως σημαντική για τα πτηνά. Τα κρίσιμα ενδιαιτήματα είναι μέρη που είναι σημαντικά για τον βιολογικό κύκλο ενός συγκεκριμένου είδους. Σε αυτούς περιλαμβάνονται: (α) για τα αναπαραγόμενα είδη, μέρη για φωλιά, φαγητό, καταφύγιο και ενδεχομένως άλλες θέσεις κουρνιάσματος- (β) για τα μεταναστευτικά ή διαχειμάζοντα είδη, μέρη για τροφή, ύπνο και φωλιά- και (γ) μέρη από τα οποία πρέπει να περάσουν τα

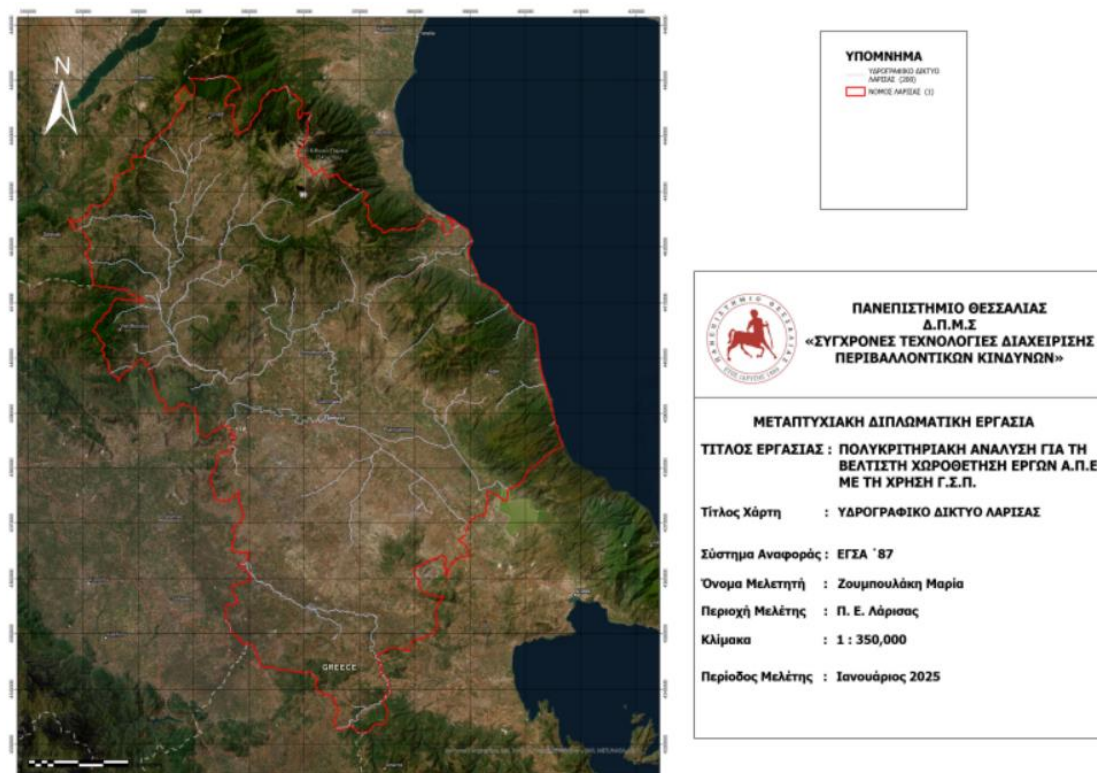
Ο τίτλος ΖΕΠ στη Θεσσαλία προστατεύει πολλούς σημαντικούς οικοτόπους για πολλά είδη. Τα ενδιατήματα αυτά καλύπτουν μεγάλο μέρος της περιοχής μελέτης, οπότε θα ήταν άδικο να τα αφήσουμε όλα εκτός της χωροθέτησης των ΦΒ. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα μελέτη, δεν συμπεριλήφθηκαν παρά μόνο οι θέσεις που είναι σημαντικές για το κοινό γεράκι (*Falco naumanni*), το πιο απειλούμενο και σημαντικό είδος πουλιού στον Θεσσαλικό κάμπο.

Οι περιοχές που καταλαμβάνονται από οικοτόπους προτεραιότητας σύμφωνα με την οδηγία 92/43/ΕΟΚ (σημειωμένοι με * στον κατάλογο οικοτόπων της οδηγίας) δεν μπορούν να λάβουν άδειες. Για το έργο αυτό, τα μόνα μέρη που μπορούν να είναι τέτοιου είδους οικοσυστήματα είναι οι ζώνες αποκλεισμού.



4.6. Υδρογραφικό Δίκτυο

Είναι λογικό τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα να μην κατασκευάζονται σε κοντινή απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής. Αυτό γίνεται για να διασφαλιστεί τόσο το υδρογραφικό δίκτυο όσο και η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Μια ελάχιστη απόσταση 200 μέτρων από τις όχθες ποταμών, ρεμάτων ή άλλων υδάτινων σωμάτων θεωρείται αρκετή για να διασφαλιστεί η σταθερότητα του εδάφους και να μετριάσουν οι πιθανοί κίνδυνοι.



Εικόνα 23: Χάρτης Υδρογραφικού Δικτύου , Π.Ε. Λάρισα.

Η απόσταση αυτή επιλέγεται για να μετριάσει η πιθανότητα βύθισης του εδάφους λόγω υπερβολικής βροχόπτωσης. Η γειτνίαση υδάτινων σωμάτων με μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε αποσταθεροποίηση του εδάφους, ιδίως σε περιόδους αυξημένων βροχοπτώσεων ή πλημμυρών. Η διατήρηση αυτής της απόστασης μετριάζει την πιθανότητα υπερχειλίσης του νερού από απροσδόκητες ή έντονες βροχοπτώσεις, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντικές ζημιές στον εξοπλισμό ή να καταστήσει την εγκατάσταση μη λειτουργική [133].

Η απόσταση των 200 μέτρων είναι ζωτικής σημασίας τόσο για την προστασία των υποδομών όσο και για τη διατήρηση του υδάτινου οικοσυστήματος. Οι περιοχές που γειτνιάζουν με ποτάμια και υδατορέματα παρουσιάζουν συνήθως άφθονη παρόχθια

βλάβηση, η οποία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την οικολογική σταθερότητα. Αυτή η βλάβηση σταθεροποιεί το έδαφος, μετριάζοντας τη διάβρωση που προκαλείται από την κίνηση του νερού.

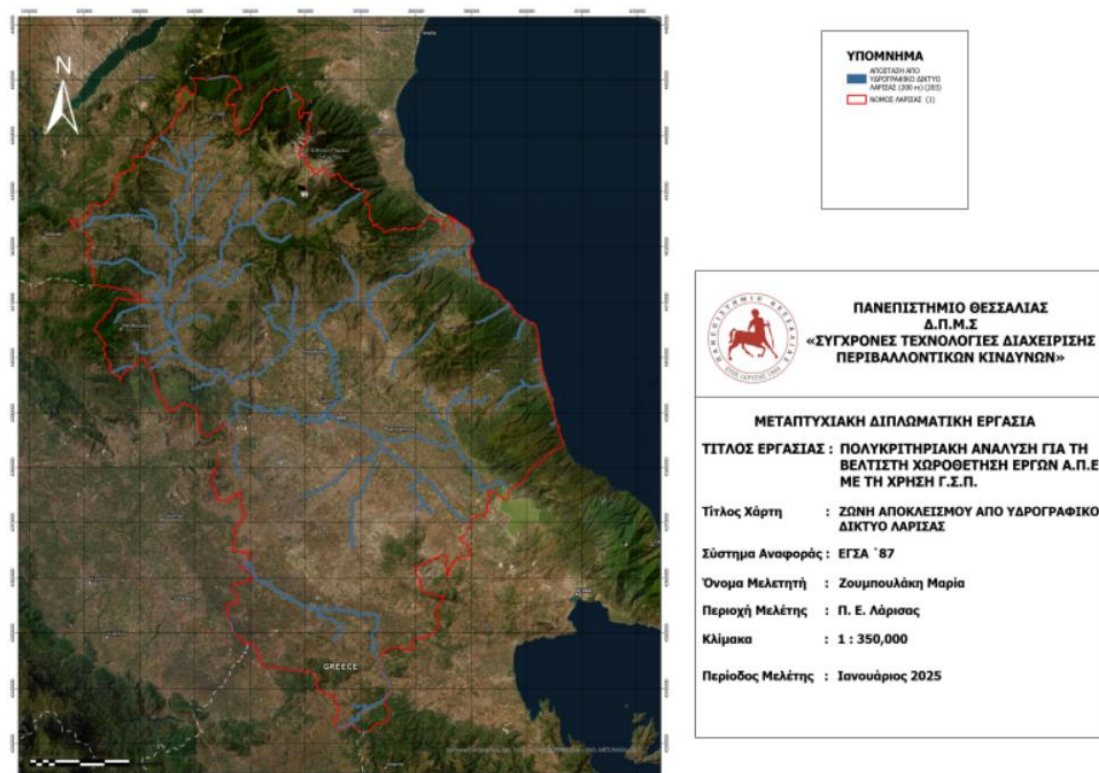
Επιπλέον, δημιουργεί φυσικά φίλτρα που καθαρίζουν το νερό από ρύπους και αιωρούμενα σωματίδια, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει καταφύγιο και τροφή σε διάφορα είδη ζώων (π.χ. πουλιά, ψάρια, έντομα).

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κοντά σε τέτοιες περιοχές μπορεί να διαταράξει την οικολογική ισορροπία. Η διατήρηση της απόστασης διασφαλίζει τη χλωρίδα και την πανίδα, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα άμεσης ανθρώπινης παρέμβασης που θα μπορούσε να βλάψει τα ευαίσθητα περιβάλλοντα ή να διαταράξει την τοπική βιοποικιλότητα.

Η απόσταση αυτή είναι ζωτικής σημασίας για τη διαφύλαξη της πανίδας που κατοικεί κοντά στο υδρογραφικό δίκτυο. Πολλά είδη πτηνών, θηλαστικών και αμφιβίων βασίζονται στο υδρογραφικό δίκτυο για την επιβίωσή τους. Η εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών σε κοντινή απόσταση μπορεί να: - Να διαταράξει τα ενδιαίτηματα φωλεοποίησης και αναζήτησης τροφής. - Να οδηγήσει σε κατακερματισμό των ενδιαιτημάτων, παρεμποδίζοντας την κινητικότητα των ζώων. - Να αυξήσει την πιθανότητα σύγκρουσης των ζώων με τη συσκευή εγκατάστασης.

Ο καθορισμός μιας ζώνης ασφαλείας 200 μέτρων μειώνει την πιθανότητα δυσμενών αλληλεπιδράσεων μεταξύ της άγριας ζωής και των φωτοβολταϊκών συστημάτων, διατηρώντας έτσι την αρμονική συνύπαρξη των ανθρώπινων προσπαθειών και του φυσικού οικοσυστήματος.

Συνοπτικά, αυτό το διάκενο των 200 μέτρων εκπληρώνει δύο λειτουργίες: προστατεύει την εγκατάσταση από φυσικές απειλές όπως οι πλημμύρες και οι κατιζήσεις, ενώ παράλληλα διατηρεί το υδρογραφικό περιβάλλον και τους βιολογικούς του ρόλους. Προωθεί τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη συνετή χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενώ παράλληλα τιμά το φυσικό περιβάλλον.

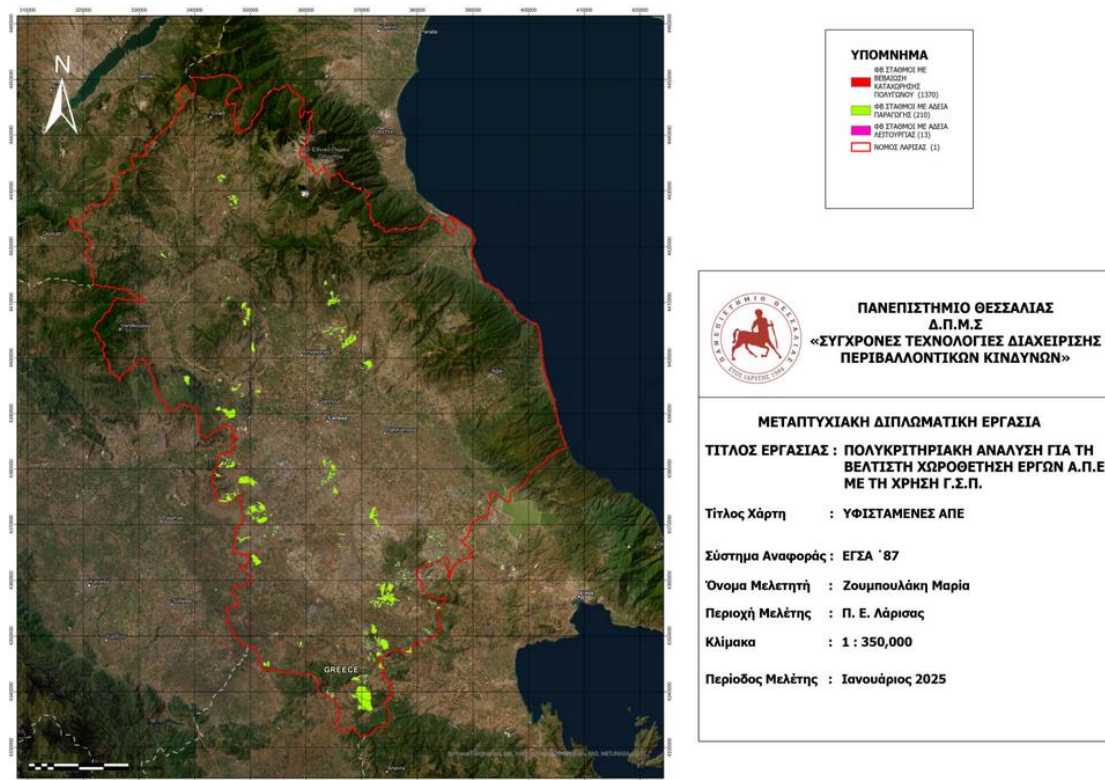


Εικόνα 24: Χάρτης ζωνών αποκλεισμού από υδρογραφικό δίκτυο, Π.Ε Λάρισα.

4.7. Υφιστάμενες ΑΠΕ

Τα ήδη λειτουργούντα έργα ΑΠΕ συνιστούν περιοχές αποκλεισμού, καθώς στις θέσεις όπου είναι εγκατεστημένα δεν είναι εφικτή η ανάπτυξη νέων συστημάτων. Αντίθετα, τα έργα ΑΠΕ που βρίσκονται σε εκκρεμότητα όσον αφορά την τελική αδειοδότηση από τον ΔΕΔΔΗΕ δεν συμπεριλαμβάνονται στις ζώνες αποκλεισμού.

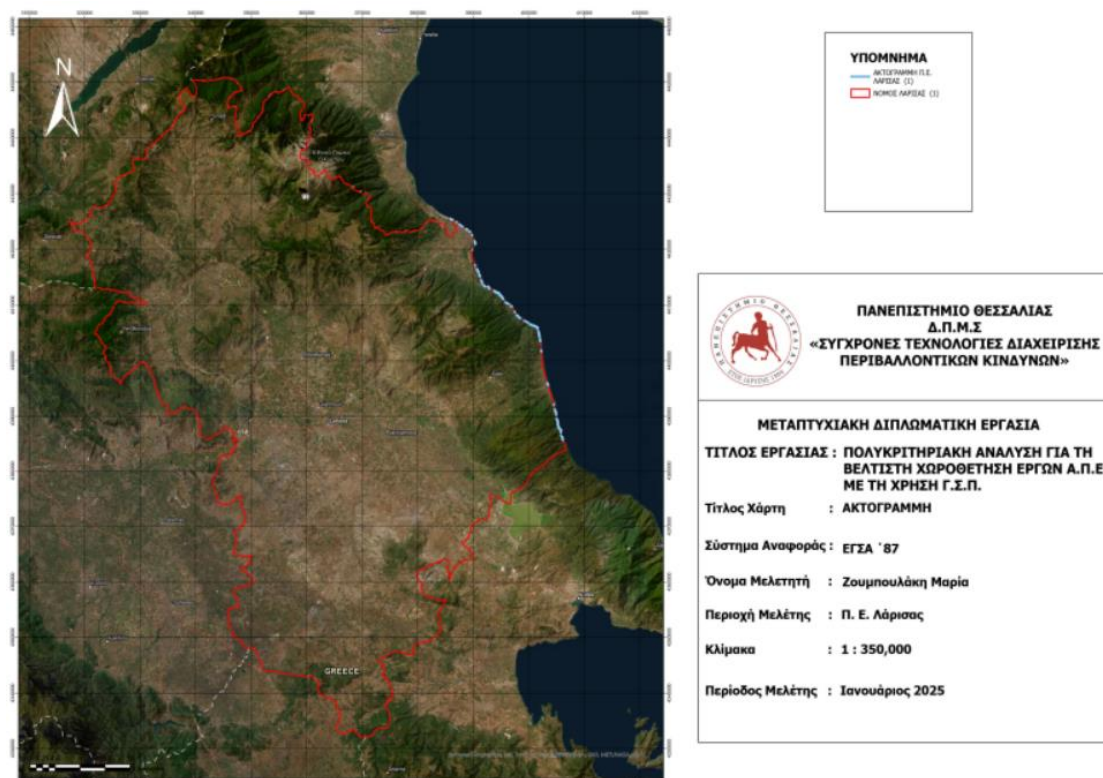
Αυτό συμβαίνει επειδή πολλοί παραγωγοί, παρότι λαμβάνουν οριστική προσφορά σύνδεσης, τελικά δεν προχωρούν στην εγκατάσταση των συστημάτων τους, λόγω της αύξησης των κατασκευαστικών δαπανών, η οποία συχνά προκύπτει κατά τη μακροχρόνια αναμονή για την απάντηση του ΔΕΔΔΗΕ. Επιπλέον, η μεταβαλλόμενη οικονομική και ενεργειακή πολιτική, σε συνδυασμό με πιθανές αλλαγές στη χρηματοδότηση και τα κίνητρα για επενδύσεις σε ΑΠΕ, μπορεί να επηρεάσει τη βιωσιμότητα ορισμένων έργων, οδηγώντας σε ακυρώσεις ή αναθεωρήσεις των αρχικών σχεδίων εγκατάστασης [2].



Εικόνα 25: Χάρτης Υφιστάμενων Α.Π.Ε., Π.Ε. Λάρισας.

4.8. Όριο Αιγιαλού

Για την παρούσα εργασία, ορίστηκε ότι η απόσταση των 2,5 χιλιομέτρων από τον αιγιαλό αποτελεί το όριο για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην περιοχή μελέτης. Η επιλογή αυτής της απόστασης βασίζεται σε νομοθετικές και περιβαλλοντικές διατάξεις που σκοπό έχουν να προστατεύσουν τις παράκτιες περιοχές από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα των οικοσυστημάτων που αναπτύσσονται κοντά στον αιγιαλό.

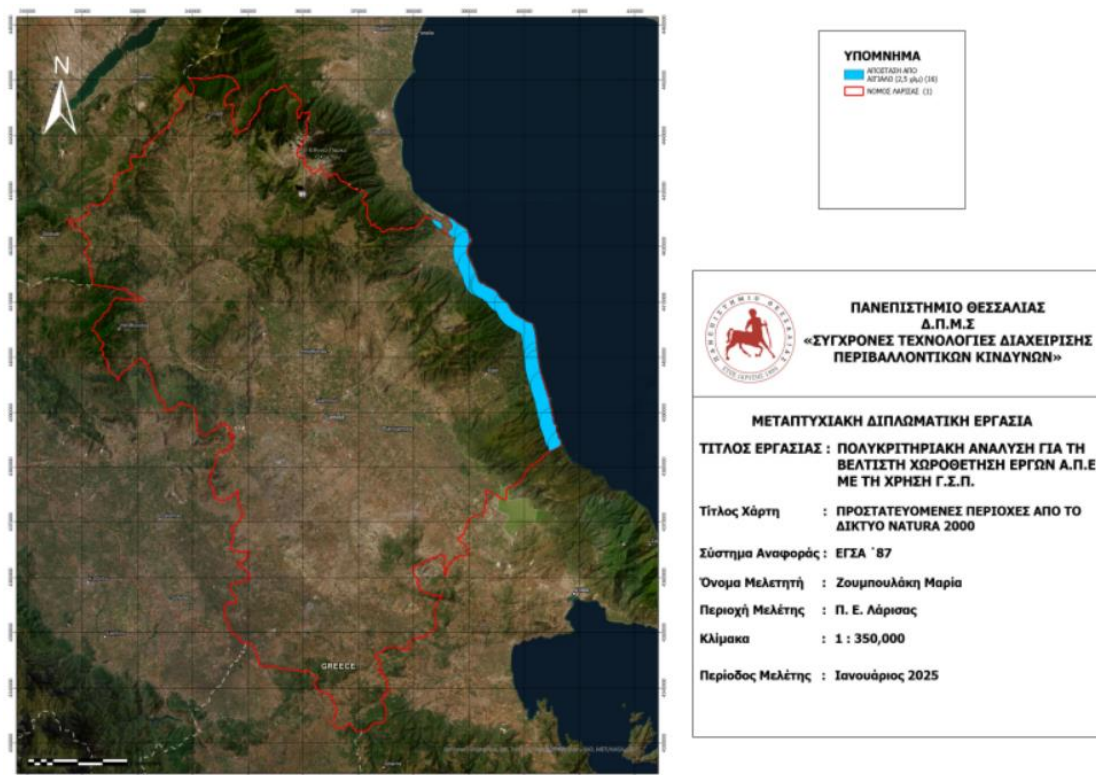


Εικόνα 26: Χάρτης Ακτογραμμής, Π.Ε. Λάρισα.

Η συγκεκριμένη απόσταση διασφαλίζει ότι οι ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα μπορούσαν να προκύψουν από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων παραμένουν εντός των αποδεκτών ορίων και ότι θα εκτιμηθούν με βάση τις αυστηρές περιβαλλοντικές αξιολογήσεις και τους περιορισμούς της νομοθεσίας.

Επιπλέον, η περιοχή εντός των 2,5 χλμ από τον αιγιαλό είναι κρίσιμη, καθώς μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η διάβρωση του εδάφους, η υψηλή υγρασία και οι θαλάσσιες ανεμοθύελλες, οι οποίες θα μπορούσαν να μειώσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε περιοχές εκτός των παραλιακών ζωνών μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις πιθανές συγκρούσεις με άλλες χρήσεις γης, όπως ο τουρισμός και η αναψυχή, και να μεγιστοποιήσει τη βιωσιμότητα των φωτοβολταϊκών έργων χωρίς να επηρεάσει αρνητικά τη φυσική ομορφιά και την οικονομική ανάπτυξη της παραλιακής ζώνης.



Εικόνα 27: Χάρτης ορίου αιγιαλού, Π.Ε. Λάρισας.

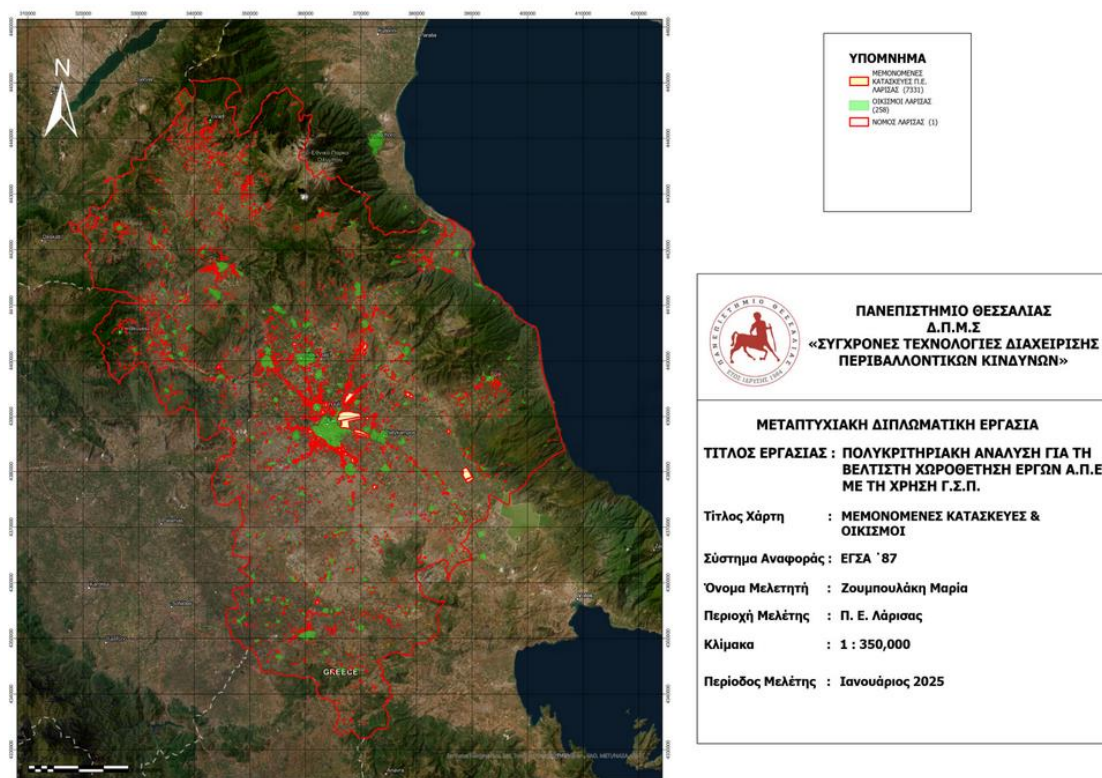
Η συγκεκριμένη απόσταση επιλέχθηκε με στόχο να προσφέρει τη μέγιστη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ενέργειας, ενώ παράλληλα να διασφαλίζει ότι οι απαιτούμενοι περιβαλλοντικοί και χωροταξικοί όροι τηρούνται αυστηρά. Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην περιοχή αυτή, θα πρέπει να προηγηθούν απαραίτητες περιβαλλοντικές μελέτες και να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με τις υφιστάμενες χρήσεις γης και το φυσικό περιβάλλον, προκειμένου να μην επηρεαστεί αρνητικά το οικοσύστημα της παράκτιας ζώνης.

4.9. Πόλη και οικισμοί Λάρισας

Σύμφωνα με την Υπουργική απόφαση σχετικά με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε δομημένες περιοχές η εγκατάσταση τους επιτρέπεται μόνο σε κτίρια και στους ακάλυπτους χώρους των οικοπέδων εντός σχεδίου περιοχών και οικισμών.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε αδόμητα οικόπεδα δεν δικαιολογείται, καθώς τα συστήματα αυτά θεωρούνται κατασκευές που εξυπηρετούν τη λειτουργικότητα των κτιρίων, είτε άμεσα είτε έμμεσα, μέσω της ενεργειακής αυτονομίας και εξοικονόμησης ενέργειας. Επιπλέον, εντάσσονται στο ευρύτερο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής,

όπως ορίζεται στο άρθρο 2, παράγραφοι 19 και 44, του Ν. 1577/1985 “Περί Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού” (ΦΕΚ Α' 210), που έχει τροποποιηθεί και ισχύει. Αυτό σημαίνει ότι η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε αδόμητες εκτάσεις εντός σχεδίου είναι περιορισμένη, ώστε να διαφυλάσσεται η πολεοδομική συνοχή και να αποφεύγεται η άναρχη δόμηση. 10 Αξιολόγηση επιτρεπόμενων θέσεων εγκατάστασης Φ/Β μονάδων

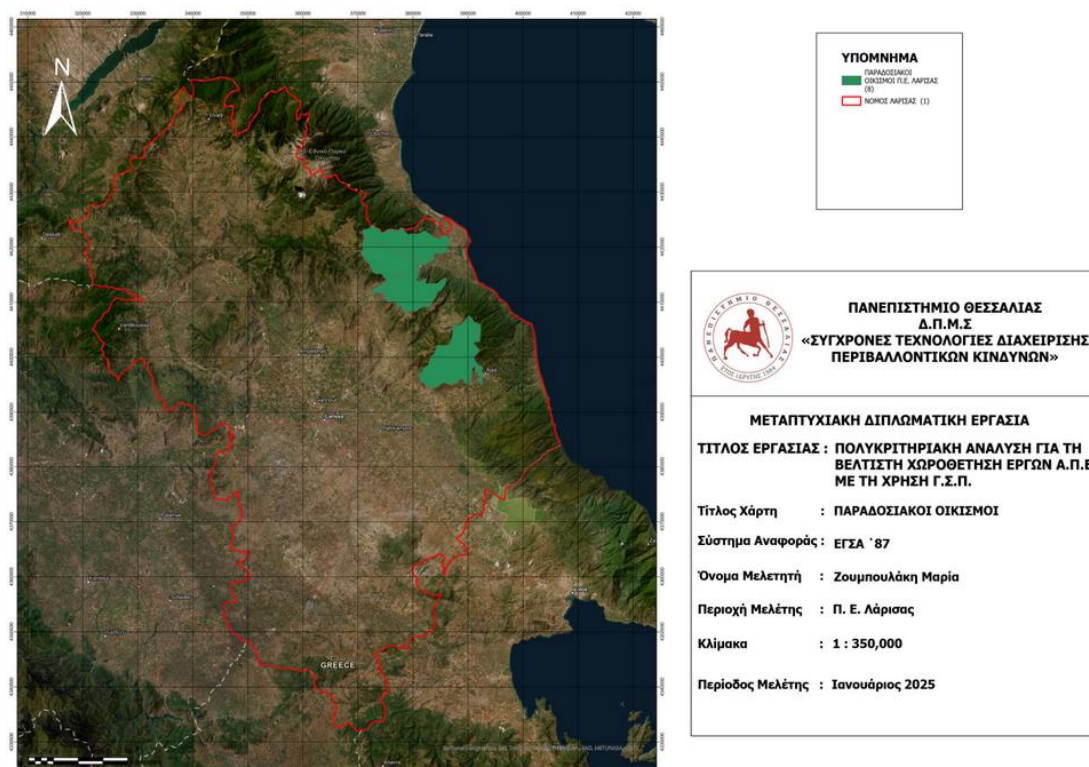


Εικόνα 28: Χάρτης Μεμονωμένων Κατασκευών & Οικισμών, Π.Ε. Λάρισσας.

4.10. Παραδοσιακοί οικισμοί

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε παραδοσιακούς οικισμούς αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο ζήτημα, καθώς απαιτεί την ισορροπία μεταξύ της ανάγκης για παραγωγή καθαρής ενέργειας και της διατήρησης της αρχιτεκτονικής και πολιτιστικής ταυτότητας των οικισμών αυτών. Οι παραδοσιακοί οικισμοί διαθέτουν συγκεκριμένα πολεοδομικά και αισθητικά χαρακτηριστικά, όπως η χρήση τοπικών υλικών, οι λιθόστρωτοι δρόμοι, τα κεραμοσκεπή κτίρια και η διατήρηση ιστορικών στοιχείων, τα οποία προστατεύονται από ειδικές νομοθεσίες και πολεοδομικούς περιορισμούς.

Λόγω αυτών των περιορισμών, η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών σε παραδοσιακούς οικισμούς ρυθμίζεται από ειδικές διατάξεις, οι οποίες συνήθως επιτρέπουν την εγκατάσταση μόνο υπό αυστηρές προϋποθέσεις. Για παράδειγμα, προτιμώνται συστήματα που ενσωματώνονται διακριτικά στις στέγες ή στις αυλές των κτιρίων, ενώ αποφεύγονται εγκαταστάσεις που αλλοιώνουν τον παραδοσιακό χαρακτήρα του οικισμού. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η έγκριση από τις αρμόδιες αρχές, όπως οι πολεοδομικές υπηρεσίες ή το Υπουργείο Πολιτισμού, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλή ένταξη των φωτοβολταϊκών στο δομημένο περιβάλλον.



Εικόνα 29: Χάρτης Παραδοσιακών Οικισμών, Π.Ε. Λάρισας.

Πίνακας 5: Παραδοσιακοί οικισμοί Λάρισας.

ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΙ ΟΙΚΙΣΜΟΙ
ΛΑΡΙΣΑΣ
ΚΡΑΝΙΑ
ΠΥΡΓΕΤΟΣ

ΑΜΠΕΛΑΚΙΑ
ΡΑΨΑΝΗ
ΑΝΑΤΟΛΗ

Παρόλο που οι παραδοσιακοί οικισμοί αντιμετωπίζουν περιορισμούς στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, υπάρχουν σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις που επιτρέπουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χωρίς να αλλοιώνεται η αισθητική του χώρου. Για παράδειγμα, τα BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) μπορούν να ενσωματωθούν στα κεραμίδια ή στις προσόψεις των κτιρίων, προσφέροντας μια πιο διακριτική επιλογή. Η προσεκτική σχεδίαση και η χρήση κατάλληλων τεχνολογιών μπορούν να συμβάλλουν στη βιώσιμη ανάπτυξη αυτών των περιοχών, διατηρώντας παράλληλα τον ιδιαίτερο χαρακτήρα τους.

4.11 Αρχαιολογικοί χώροι

Στο Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ αναφέρεται ότι για την προστασία των πολιτιστικών μνημείων, καθορίζονται ως ζώνες αποκλεισμού τα κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς, τα μνημεία μείζονος σημασίας (όπως αυτά προσδιορίζονται από την παράγραφο 5 του άρθρου 50 του Νόμου 3028/2002), καθώς και οι οριοθετημένες αρχαιολογικές ζώνες προστασίας Α που έχουν καθοριστεί είτε με το άρθρο 91 του Νόμου 1892/1991 είτε με το Νόμο 3028/2002. Παρόλο που η αναφορά αυτή αποσαφηνίζει τον χαρακτηρισμό των περιοχών ως ζώνες αποκλεισμού, η διατύπωση είναι γενική και δεν παρέχει σαφή κατεύθυνση όσον αφορά τις αποστάσεις που πρέπει να τηρούνται κατά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων ή άλλων ΑΠΕ.

Η έλλειψη σαφήνειας σε ό,τι αφορά τις απαιτούμενες αποστάσεις και τις ακριβείς συνθήκες που πρέπει να πληρούν οι περιοχές κοντά σε αρχαιολογικούς χώρους, καθιστά τον εν λόγω κανόνα λιγότερο πρακτικό για τους ενδιαφερόμενους επενδυτές ή για τις αρχές που εμπλέκονται στη διαδικασία αδειοδότησης. Για παράδειγμα, δεν αναφέρονται συγκεκριμένες αποστάσεις από μνημεία ή αρχαιολογικούς χώρους που

θα πρέπει να τηρούνται κατά την ανάπτυξη των ΑΠΕ, κάτι που ενδέχεται να δημιουργεί αβεβαιότητα και καθυστερήσεις στην εφαρμογή της νομοθεσίας.

Αντίθετα, ο Αρχαιολογικός Νόμος 4858/19-11-2021 δίνει σαφείς κατευθύνσεις για την προστασία των αρχαιολογικών μνημείων και περιοχών, προκειμένου να αποτραπούν οποιεσδήποτε ενέργειες που μπορεί να προκαλέσουν άμεση ή έμμεση ζημιά στα μνημεία. Ο Νόμος αυτός επισημαίνει ότι οποιαδήποτε ενέργεια σε ακίνητο μνημείο ή στην άμεση γύρω περιοχή του, που ενδέχεται να επηρεάσει τη μορφή του μνημείου, όπως η εγκατάσταση βιομηχανικών ή εμπορικών επιχειρήσεων, απαιτεί έγκριση από τον Υπουργό Πολιτισμού και Αθλητισμού. Αυτή η έγκριση παρέχεται ύστερα από γνώμη του Συμβουλίου, εφόσον η απόσταση από το μνημείο και το περιβάλλον του είναι τέτοια ώστε να διασφαλίζεται ότι δεν θα προκληθεί βλάβη στην πολιτιστική κληρονομιά.

Η σαφήνεια που προσφέρει ο Αρχαιολογικός Νόμος είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και άλλων ΑΠΕ, καθώς παρέχει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να ενεργούν οι επενδυτές και οι αρμόδιες αρχές. Το να υπάρχουν ακριβή κριτήρια για την απόσταση από τα μνημεία και τις περιοχές προστασίας, διευκολύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η πολιτιστική κληρονομιά.

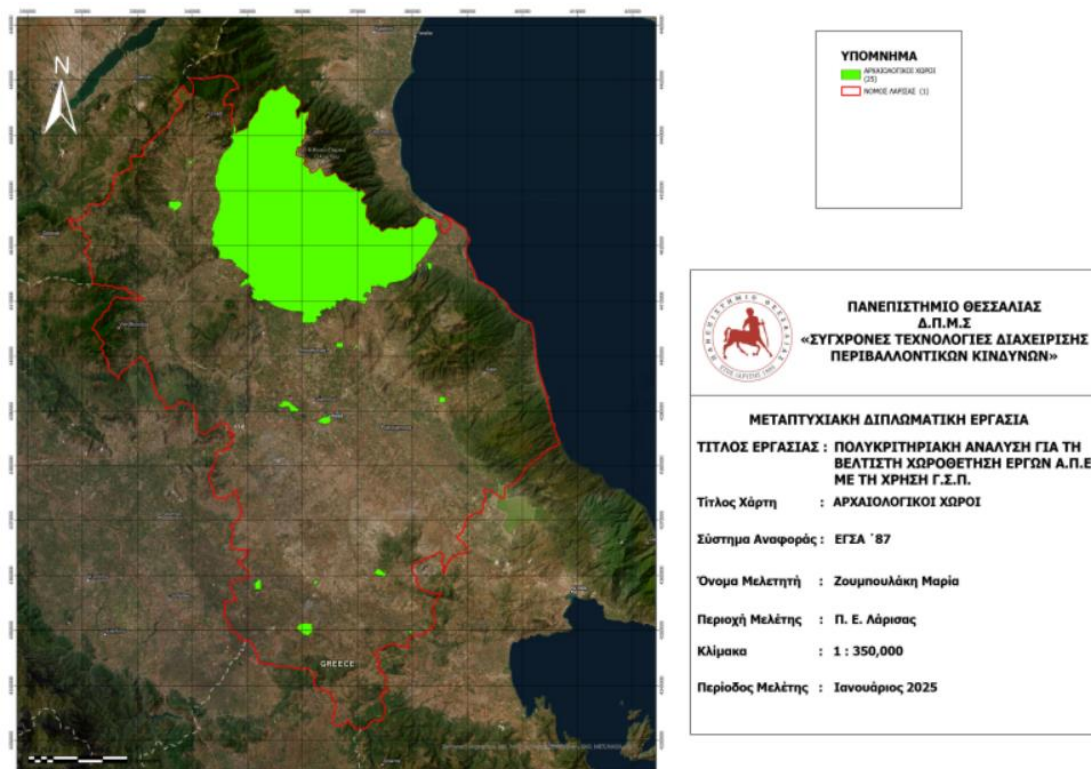
Για τον προσδιορισμό των θέσεων των αρχαιολογικών χώρων που ενδέχεται να επηρεαστούν από την εγκατάσταση ΑΠΕ, χρησιμοποιήσαμε το αρχαιολογικό κτηματολόγιο, το οποίο διαχειρίζεται η Διεύθυνση Διαχείρισης Εθνικού Αρχείου Μνημείων. Από το κτηματολόγιο αντλήθηκαν τα πιο πρόσφατα δεδομένα, τα οποία προσδιορίζουν τις προστατευόμενες περιοχές, με τα εξής είδη προστατευόμενων περιοχών:

- A. Μνημεία (όπως κηρυγμένα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς),
- B. Αρχαιολογικοί χώροι (που περιλαμβάνουν σημαντικά ιστορικά και πολιτιστικά σημεία),
- C. Ζώνες προστασίας (που καθορίζονται για την περιβαλλοντική και πολιτιστική διατήρηση περιοχών),
- D. Μνημεία της Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς (UNESCO), τα οποία εντάσσονται σε παγκόσμιο δίκτυο προστασίας.

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται περιοχές οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτίμηση των θέσεων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

96

συστημάτων. Οι περιοχές αυτές λειτουργούν ως οδηγός για τον χωροταξικό σχεδιασμό και την περιβαλλοντική προστασία, εξασφαλίζοντας ότι η ανάπτυξη των ΑΠΕ δεν θα θέσει σε κίνδυνο την πολιτιστική κληρονομιά της χώρας.



Εικόνα 30: Χάρτης Αρχαιολογικών Χώρων, Π.Ε. Λάρισα.

4.12 Δασικές εκτάσεις

Οι δασικοί χάρτες αποτελούν ένα θεμελιώδες εργαλείο χωροταξικού σχεδιασμού, θεσμοθετημένο με σκοπό την καταγραφή, τον χαρακτηρισμό και την προστασία των εκτάσεων που διαθέτουν δασικό ή χορτολιβαδικό χαρακτήρα. Οι περιοχές αυτές διέπονται από τις διατάξεις της δασικής νομοθεσίας, η οποία περιλαμβάνεται στον Νόμο 998/1979 και έχει επικαιροποιηθεί από τον Νόμο 4280/2014. Ο τελευταίος εξειδικεύει τις επιτρεπόμενες δραστηριότητες στις δασικές εκτάσεις, θέτοντας συγκεκριμένους περιορισμούς και προϋποθέσεις για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα, οι δραστηριότητες που επιτρέπονται σε εκτάσεις δασικού χαρακτήρα, μετά από έγκριση και υπό τις προϋποθέσεις που ορίζονται στον Νόμο 4280/2014, περιλαμβάνουν:

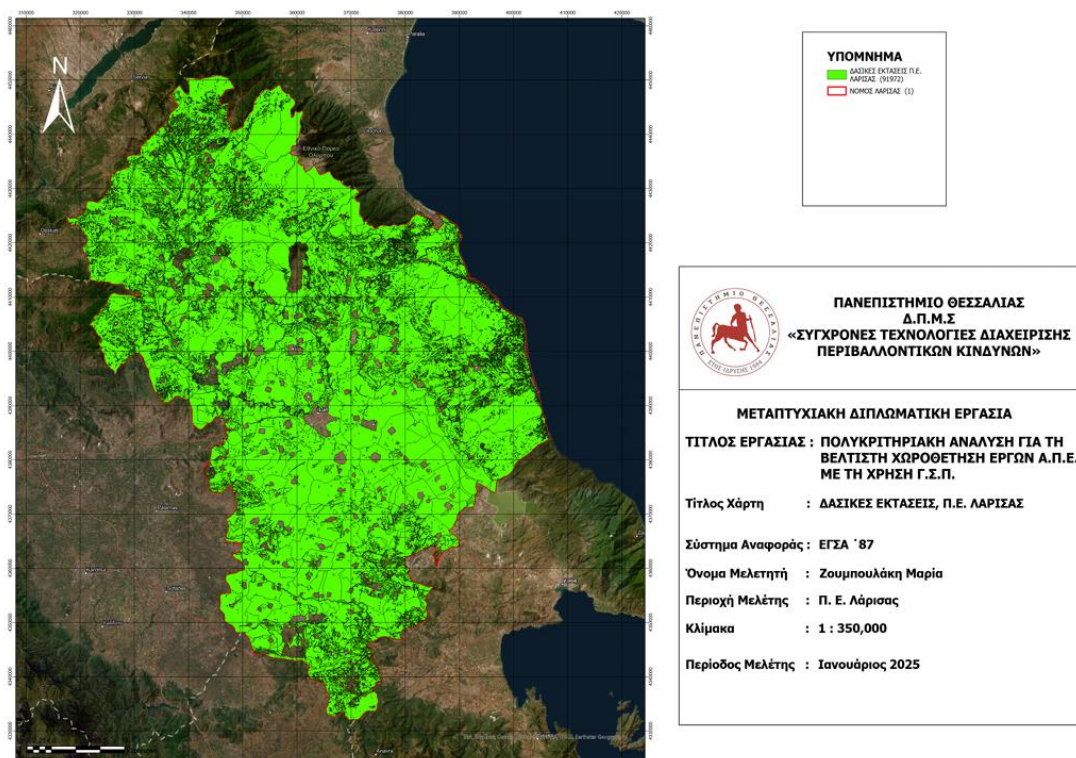
- A. Γεωργική και κτηνοτροφική εκμετάλλευση
- B. Βιομηχανικές εγκαταστάσεις ειδικού τύπου
- C. Μεταλλευτικές και λατομικές δραστηριότητες
- D. Διάνοιξη οδών και υποδομές προσβασιμότητας
- E. Στρατιωτικά έργα και εγκαταστάσεις ασφαλείας
- F. Πολιτιστικά έργα και αρχαιολογικές διαμορφώσεις
- G. Εγκαταστάσεις τουριστικού χαρακτήρα και αναψυχής
- H. Κατασκηνώσεις και οργανωμένοι χώροι διαμονής στη φύση
- I. Ορειβατικά καταφύγια και υποδομές περιβαλλοντικής εκπαίδευσης
- J. Έργα υποδομών (ενέργειας, ύδρευσης, αποχέτευσης, τηλεπικοινωνιών)
- K. Λοιπές ειδικές επεμβάσεις που προβλέπονται από τη νομοθεσία.

Οι δασικές εκτάσεις πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη τόσο στον χωροταξικό σχεδιασμό όσο και στις πολιτικές προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Η ύπαρξή τους λειτουργεί ως φυσικός φραγμός στη διάβρωση, ενισχύει τη βιοποικιλότητα και συμβάλλει στη ρύθμιση του μικροκλίματος. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Νόμου 4280/2014, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε περιοχές δασικού χαρακτήρα απαγορεύεται, καθώς θεωρείται μη συμβατή δραστηριότητα με τη διατήρηση του δασικού οικοσυστήματος. Αυτή η απαγόρευση εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα των φυσικών πόρων και προλαμβάνει την αλλοίωση του τοπίου, διατηρώντας την περιβαλλοντική ισορροπία.

Βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας, οι δασικές εκτάσεις διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- A. **ΔΔ** : Δάση και δασικές εκτάσεις στις Α/Φ παλαιότερης λήψης ή προϋφιστάμενα στοιχεία, Δάση και δασικές εκτάσεις στις Α/Φ πρόσφατης λήψης και στις αυτοψίες
- B. **ΔΑ** : Δάση και δασικές εκτάσεις στις Α/Φ παλαιότερης λήψης ή προϋφιστάμενα στοιχεία, Άλλης μορφής – κάλυψης στις Α/Φ και στις αυτοψίες
- C. **ΑΔ** : Άλλης μορφής – κάλυψης στις Α/Φ παλαιότερης λήψης, Δάση και δασικές εκτάσεις στις Α/Φ πρόσφατης λήψης και στις αυτοψίες

- D. **ΑΑ** : Άλλης μορφής – κάλυψης στις Α/Φ παλαιότερης λήψης , Άλλης μορφής- κάλυψης στις Α/Φ πρόσφατης λήψης
- E. **ΠΔ** : Τελεσίδικες πράξεις και αποφάσεις χαρακτηρισμού – δασικές
- F. **ΠΑ** : Τελεσίδικες πράξεις και αποφάσεις χαρακτηρισμού – μη δασικές
- G. **ΠΧ** : Τελεσίδικες πράξεις και αποφάσεις χαρακτηρισμού – χορτολιβαδικές
- H. **ΑΝ** : Αναδασωτέες ή δασωτέες εκτάσεις
- I. **ΧΧ** : Χορτολιβαδικές εκτάσεις στις Α/Φ παλαιότερης λήψης, Χορτολιβαδικές εκτάσεις στις Α/Φ πρόσφατης λήψης και στις αυτοψίες
- J. **ΧΑ** : Χορτολιβαδικές εκτάσεις στις Α/Φ παλαιότερης λήψης, Άλλης μορφής – κάλυψης στις Α/Φ και στις αυτοψίες
- K. **ΑΧ** : Άλλης μορφής – κάλυψης στις Α/Φ παλαιότερης λήψης, Χορτολιβαδικές εκτάσεις στις Α/Φ πρόσφατης λήψης και στις αυτοψίες

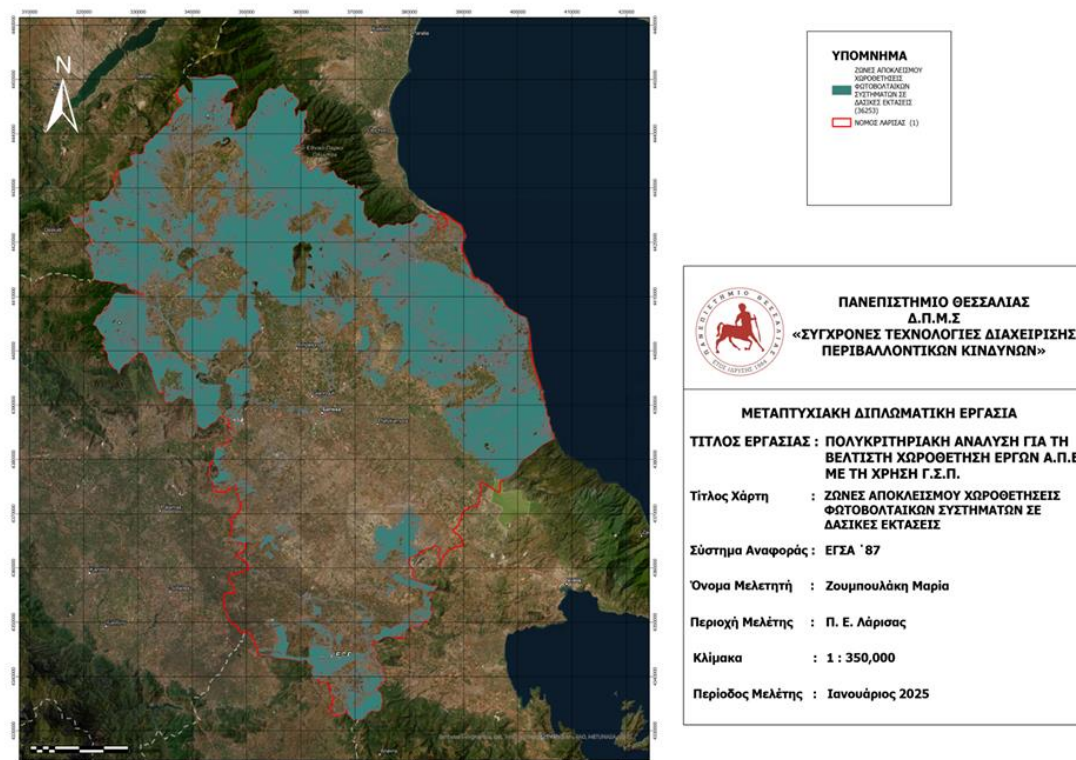


Εικόνα 31: Χάρτης Δασικών εκτάσεων, Π.Ε. Λάρισας.

Στο πλαίσιο της μελέτης, ορίσαμε ως απαγορευτικές για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων τις εκτάσεις που φέρουν τους χαρακτηρισμούς ΔΔ (Δάση και δασικές εκτάσεις), ΑΔ (Άλλης μορφής έκταση – Δάση και δασικές εκτάσεις), ΠΔ (Τελεσίδικες δασικές εκτάσεις) και ΑΝ (Αναδασωτέες ή Δασωτέες εκτάσεις). Οι χαρακτηρισμοί αυτοί βασίζονται στις διατάξεις της δασικής νομοθεσίας και

αντικατοπτρίζουν περιοχές με υψηλό περιβαλλοντικό και οικολογικό ενδιαφέρον, όπου η ανθρώπινη παρέμβαση πρέπει να είναι ελάχιστη.

Στον παρακάτω χάρτη, αποτυπώνεται η ζώνη αποκλεισμού για τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων στις δασικές εκτάσεις, όπως αυτή προκύπτει από τη χαρτογραφική ανάλυση σύμφωνα με τα δεδομένα που αντλήσαμε από τη Διεύθυνση Δασών της Περιφερειακής Ενότητας Λάρισας .



Εικόνα 32: Χάρτης ζωνών αποκλεισμού δασικών εκτάσεων, Π.Ε. Λάρισας.

4.13 Οδικό δίκτυο

Η χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται το Προεδρικό Διάταγμα 209/1998 «Λήψη μέτρων για την ασφάλεια της υπεραστικής συγκοινωνίας» (ΦΕΚ 169/Α/15-7-1998) το οποίο καθορίζει τις ελάχιστες υποχρεωτικές αποστάσεις από τον άξονα των δρόμων, οι οποίες υπερσχύουν οποιασδήποτε άλλης διάταξης που μπορεί να ορίζει μικρότερες αποστάσεις.

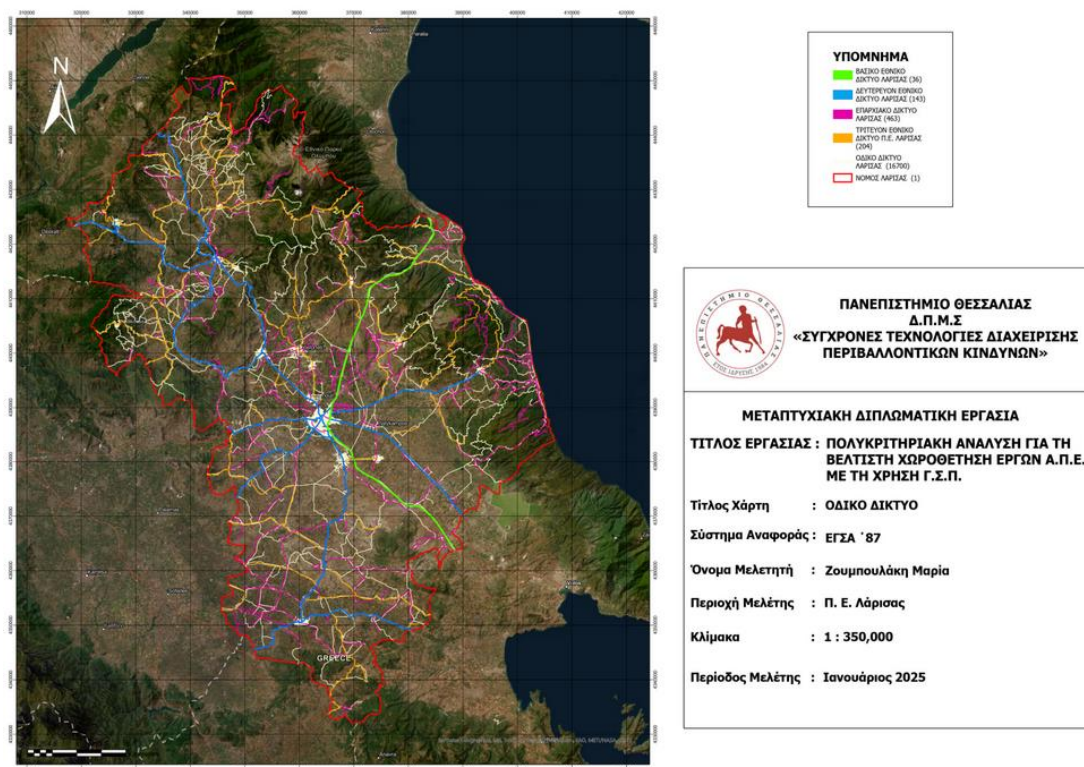
Ειδικότερα, το ΠΔ προβλέπει τα εξής:

- A. **Βασικό Εθνικό Οδικό Δίκτυο:** Η ελάχιστη απόσταση ορίζεται στα 60 μέτρα από τον άξονα της οδού και όχι σε απόσταση μικρότερη των 40 μέτρων από το όριο του δρόμου.
- B. **Δευτερεύον Εθνικό Οδικό Δίκτυο:** Η απόσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον 45 μέτρα από τον άξονα της οδού και όχι σε απόσταση μικρότερη των 30 μέτρων από το όριο του δρόμου.
- C. **Τριτεύον Εθνικό Οδικό Δίκτυο και Εθνικό Οδικό Δίκτυο των νήσων (πλην Κρήτης, Εύβοιας, Ρόδου, Κέρκυρας):** Η απαιτούμενη απόσταση είναι 30 μέτρα από τον άξονα της οδού.
- D. **Πρωτεύον Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο:** Ορίζεται ελάχιστη απόσταση 20 μέτρων από τον άξονα της οδού.

Οι συγκεκριμένοι περιορισμοί αφορούν κυρίως την εγκατάσταση μόνιμων κατασκευών, όπως κτίρια και υποσταθμοί. Ωστόσο, έχουν ιδιαίτερη σημασία για τα φωτοβολταϊκά πάρκα που περιλαμβάνουν υποσταθμούς μέσης τάσης (YMT), καθώς τα έργα με ισχύ μεγαλύτερη των 99,99 kW απαιτούν τέτοιου είδους εγκαταστάσεις και, συνεπώς, εμπίπτουν στους συγκεκριμένους περιορισμούς.

Για τα μικρότερα φωτοβολταϊκά συστήματα, που δεν διαθέτουν υποσταθμούς μέσης τάσης, οι περιορισμοί αυτοί δεν εφαρμόζονται, καθώς οι βάσεις των πάνελ δεν θεωρούνται μόνιμες κατασκευές σύμφωνα με τη νομοθεσία. Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η συνολική επίδραση της χωροθέτησης σε σχέση με το οδικό δίκτυο, τόσο για λόγους ασφάλειας όσο και για την αποφυγή πιθανών προβλημάτων στις διαδικασίες αδειοδότησης.

Στην περιοχή μελέτης, όπου η αγροτική γη κυριαρχεί και το οδικό δίκτυο αποτελεί βασικό στοιχείο της τοπικής οικονομίας, η τήρηση αυτών των περιορισμών είναι κρίσιμη. Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων πρέπει να συνδυαστεί με τη διατήρηση της οδικής ασφάλειας και την απρόσκοπτη πρόσβαση στις γεωργικές και αστικές περιοχές. Παρακάτω, παρουσιάζεται ο χάρτης με τις ζώνες αποκλεισμού χωροθέτησης φωτοβολταϊκών συστημάτων, βάσει των αποστάσεων που ορίζει το ΠΔ 209/1998.



Εικόνα 33: Χάρτης οδικού δικτύου, Π.Ε. Λάρισσας.

Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

5.1. Αποτελέσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο την ανάλυση της βέλτιστης χωροθέτησης έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), εστιάζοντας στα φωτοβολταϊκά συστήματα και ταυτόχρονα αξιοποιώντας την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης στο περιβάλλον των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Από την ανάλυση, προέκυψε πως η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε πραγματικά δεδομένα για την Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας διευκόλυνε και επέτρεψε τον καθορισμό των πλέον κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών.

Τα βασικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση συνοψίζονται ως εξής:

- Η ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας επεσήμανε συγκεκριμένες ζώνες με υψηλή αποδοτικότητα, που προσφέρουν αυξημένες ενεργειακές αποδόσεις. Οι περισσότερες κατάλληλες περιοχές βρίσκονται στα κεντρικά του κάμπου της Θεσσαλίας, όπου και οι κλίσεις είναι μικρές, ο προσανατολισμός κατάλληλος και οι χρήσεις γης επιτρεπτές. Στην ευρύτερη περιφέρεια της Θεσσαλίας, στα ανατολικά, βορειοδυτικά και δυτικά της υπάρχουν λιγότερες οι κατάλληλες περιοχές χωροθέτησης φωτοβολταϊκών συστημάτων, κυρίως εξαιτίας του ορεινού χαρακτήρα των περιοχών.
- Η εφαρμογή κριτηρίων αποκλεισμού, όπως για παράδειγμα προστατευόμενες περιοχές, δασικές εκτάσεις και αρχαιολογικοί χώροι, επέτρεψε τη δημιουργία χαρτών καταλληλότητας, εξαλείφοντας όσες περιοχές δεν είναι επιθυμητές για χωροθέτηση. Κάτι τέτοιο κρίνεται λογικό και αναγκαίο, καθώς η εγκατάσταση των τεχνητών δομών των φωτοβολταϊκών συστημάτων αλλοιώνει το φυσικό περιβάλλον, περιορίζει τους ζωτικούς χώρους των ειδών όπως χώρους τροφοληψίας, αναπαραγωγής πουλιών, αποτελεί παράγοντα κατακερματισμού ενδιαιτημάτων για ορισμένα είδη, και μπορεί να αλλάζει σημαντικά και το μικρόκλιμα της περιοχής, με συνέπειες άγνωστες ακόμα στα έμβια όντα της περιοχής.

- Ως κρίσιμοι παράγοντες στη βιωσιμότητα των έργων ΑΠΕ αναδείχθηκαν τόσο η προσβασιμότητα στο δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και η εγγύτητα σε υποσταθμούς.
- Μέσα από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης επιβεβαιώθηκε ότι η μεθοδολογία AHP (Analytic Hierarchy Process) συνδυαστικά με την ΓΣΠ ανάλυση, παρέχει ακριβή και αντικειμενικά αποτελέσματα για την καταλληλότητα των περιοχών ενδιαφέροντος.

Για την καλύτερη ταξινόμηση των αποτελεσμάτων της πολυκριτηριακής ανάλυσης, οι περιοχές κατηγοριοποιήθηκαν σε βαθμούς καταλληλότητας, εφαρμόζοντας σχετικό κώδικα Python που δόθηκε από τον υποψήφιο Διδάκτορα Νικόλαο Ξαφούλη, υπό την επίβλεψη της κας. Ευαγγελίας Φαρσιρώτου του εργαστηρίου Οικοϋδραυλικής & Διαχείρισης Εσωτερικών Υδάτων του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ο συγκεκριμένος κώδικας υλοποιεί την ταξινόμηση των περιοχών βάσει των τιμών που προέκυψαν από την ανάλυση και τις κατηγοριοποιεί σε κλάσεις υψηλής, μέτριας και χαμηλής καταλληλότητας. Η ταξινόμηση αυτή επιτρέπει τη σαφέστερη ερμηνεία των δεδομένων και διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων για τη βέλτιστη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

5.2. Συμπεράσματα

Σημαντικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την επιβεβαίωση της σημασίας της συνδυαστικής χρήσης πολυκριτηριακών μεθόδων και των ΓΣΠ στην καλύτερη δυνατή χωροθέτηση έργων ΑΠΕ, είναι τα κάτωθι:

- Η χρήση των ΓΣΠ διευκολύνει την ολοκληρωμένη ανάλυση τόσο των γεωγραφικών όσο και των τεχνικών δεδομένων, συντελώντας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.
- Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο που εξασφαλίζει ένα δυναμικό και προσαρμοστικό μοντέλο αξιολόγησης, που μπορεί να βρει εφαρμογή και σε άλλες γεωγραφικές περιοχές για παρόμοιες συναφείς μελέτες.

- Η ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης μπορεί να ενισχύσει την προβλεψιμότητα και τη βελτίωση των αποτελεσμάτων, ανοίγοντας νέες προοπτικές για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας χωροθέτησης.
- Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε και ακολουθήθηκε μπορεί να υιοθετηθεί από φορείς και επενδυτές για τον σχεδιασμό στρατηγικών ανάπτυξης των ΑΠΕ, προάγοντας τη βιώσιμη ενέργεια και ταυτόχρονα τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία καταδεικνύει πως, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών ανάλυσης δεδομένων είναι δυνατόν να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο στη χάραξη ενεργειακής πολιτικής, διασφαλίζοντας την αποδοτική αλλά και βιώσιμη αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας όχι μόνο στη Θεσσαλία, αλλά και σε όλη την Ελλάδα.

5.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα έρευνα στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, μπορεί να δώσει το έναυσμα για περαιτέρω έρευνα σε διάφορες κατευθύνσεις. Μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα παρουσιάζονται στην συνέχεια:

- Περαιτέρω ανάλυση με έμφαση στις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των έργων Α.Π.Ε. στις τοπικές κοινωνίες, στην προκειμένη περίπτωση στην περιφερειακή ενότητα Λάρισας, με έμφαση στην αποδοχή των τοπικών κοινωνιών και στις οικονομικές επιδράσεις που προκύπτουν από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών σταθμών.
- Συγκριτική ανάλυση της εφαρμογής πολυκριτηριακής ανάλυσης για τη βέλτιστη χωροθέτηση έργων Α.Π.Ε. της περιφερειακής ενότητας Λάρισας με άλλες περιφερειακές ενότητες τόσο της Θεσσαλίας όσο και πανελλαδικά.
- Συγκριτική μελέτη με την εφαρμογή επιπλέον πολυκριτηριακών μεθόδων για τη βέλτιστη χωροθέτηση προς αξιολόγηση της αποδοτικότητας εναλλακτικών προσεγγίσεων πολυκριτηριακών μεθόδων.

Βιβλιογραφία

- [1] Sorensen, B. (2004). Renewable energy. Elsevier.
- [2] Jurasz, J., Canales, F. A., Kies, A., Guezgouz, M., & Beluco, A. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*, 195, 703-724.
- [3] Coburn, T. C., & Farhar, B. C. (2004). Public reaction to renewable energy sources and systems.
- [4] Ullah, K. R., Saidur, R., Ping, H. W., Akikur, R. K., & Shuvo, N. H. (2013). A review of solar thermal refrigeration and cooling methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 499-513.
- [5] Villasevil, F. X., Vigar, J. E., & Chiarle, L. (2013). Plug-in driven architecture for renewable energy generation monitoring. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 401-406.
- [6] Ashokverghese (1998). New and Renewable Energy Resources, Proceedings of International conference on Alternate Energy resources, Asian Institute of Technology, Thailand, pp. 403 – 410,1998.
- [7] Şen, Z. (2004). Solar energy in progress and future research trends. *Progress in energy and combustion science*, 30(4), 367-416.
- [8] Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1513-1524.
- [9] Lewis, N. S. (2007). Toward cost-effective solar energy use. *science*, 315(5813), 798-801.
- [10] Nozik, A. J. (1978). Photoelectrochemistry: applications to solar energy conversion. *Annual review of physical chemistry*, 29(1), 189-222.
- [11] Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world:-A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 62, 1092-1105.

- [12] Byrne, J., Kurdgelashvili, L., Mathai, M., Kumar, A., Yu, J., Zhang, X., ... & Timilsina, G. (2010). World solar energy review: technology, markets and policies. Center for Energy and Environmental Policies Report.
- [13] Kaygusuz, K. A. M. I. L. (2009). Wind power for a clean and sustainable energy future. *Energy Sources, Part B*, 4(1), 122-133.
- [14] Martin, S., Jung, S. and Vanli, A. (2020), «Impact of near-future turbine technology on the wind power potential of low wind regions», *Applied Energy*, Elsevier, 272(C)
- [15] Alrikabi, N. K. M. A. (2014). Renewable energy types. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(1), 61-64.
- [16] Rosillo-Calle, F. (2016). A review of biomass energy—shortcomings and concerns. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(7), 1933-1945.
- [17] Capareda, S. (2023). Introduction to biomass energy conversions. CRC press.
- [18] Jenkins, B. M., Baxter, L. L., & Koppejan, J. (2019). Biomass combustion. Thermochemical processing of biomass: conversion into fuels, chemicals and power, 49-83.
- [19] Rajvanshi, A. K. (1986). Biomass gasification. *Alternative energy in agriculture*, 2(4), 82-102.
- [20] Cartwright, D. E. (2000). Tides: a scientific history. Cambridge University Press.
- [21] Stober, I., & Bucher, K. (2013). Geothermal energy. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi, 10, 978-3.
- [22] Johnston, I. W., Narsilio, G. A., & Colls, S. (2011). Emerging geothermal energy technologies. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 15, 643-653.
- [23] United Nations Development Programme. (2000), *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*. United Nations: United Nations Development Programme.
- [24] Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 748-764.

- [25] Maradin, D. (2021). Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(3), 176-183.
- [26] Boburbek, B. (2023, October). ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF RENEWABLE ENERGY SOURCES. In *Ethiopian International Multidisciplinary Research Conferences* (pp. 166-168).
- [27] Jonker A. (2023). What is a geographic information system (GIS)?. IBM Official Website - Geographic Information System.
- [28] Kucera, G. (2020). *Time in geographic information systems*. CRC Press.
- [29] ESRI The Science Of Where (2024). History of GIS. ESRI Official Website.
- [30] Ali, E. (2020). *Geographic information system (GIS): definition, development, applications & components*. Department of Geography, Ananda Chandra College. India.
- [31] C.P. Lo Albert, K.W. Yeung, *Concepts and Techniques of Geographic Information Systems*; Prentice Hall of India.
- [32] Liu, Z., & Cheng, L. (2020). Review of GIS Technology and Its Applications in Different Areas. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 735, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
- [33] Han, M., Tian, X., & Xu, S. (2005, July). Research on data collection and database update of GIS based on GPS technology. In *Proceedings. 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS'05.* (Vol. 2, pp. 4-pp). IEEE.
- [34] Frank, A. U. (1988). Requirements for a database management system for a GIS. *PHOTOGRAMM. ENG. REMOTE SENS.*, 54(11), 1557-1564.
- [35] Krivoruchko, K., Gotway, C. A., & Zhigimont, A. (2003, November). Statistical tools for regional data analysis using GIS. In *Proceedings of the 11th ACM international symposium on Advances in geographic information systems* (pp. 41-48).
- [36] Latu, S. (2009). Sustainable development: The role of GIS and visualisation. *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 38(1), 1-17.

- [37] Chalkias, Ch., Faka, A., (2010). A GIS-based spatiotemporal analysis of the exposure to direct sun light on rural highways, WSEAS Transactions on Information Science and Applications, Issue 1, Volume 7
- [38] Klimešová, D., & Brožová, H. (2012). GIS as knowledge maps in group decision making. *Int J Math Model Methods Appl*, 6, 20-29.
- [39] Yeh, A. G. (1999). Urban planning and GIS. *Geographical information systems*, 2(877-888), 1.
- [40] Bill, R., Nash, E., & Grenzdörffer, G. (2012). GIS in Agriculture. *Springer handbook of geographic information*, 461-476.
- [41] Tomaszewski, B., Judex, M., Szarzynski, J., Radestock, C., & Wirkus, L. (2015). Geographic information systems for disaster response: A review. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 12(3), 571-602.
- [42] Ebert, D. (2004). Applications of archaeological GIS. *Canadian Journal of Archaeology/Journal Canadien d'Archéologie*, 319-341.
- [43] Paramasivam, C. R. (2019). Merits and demerits of GIS and geostatistical techniques. *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*, 17-21.
- [44] Obermeyer, N. J. (1999). Measuring the benefits and costs of GIS. *Geographical information systems*, 2, 601-610.
- [45] Gold, C. M. (1997, August). The global GIS. In *Proceeding of the International Workshop on Dynamic and Multi-Dimension GIS*. Hong-Kong, China (pp. 80-91).
- [46] Blatt, A. J. (2012). Ethics and Privacy Issues in the Use of GIS. *Journal of Map & Geography Libraries*, 8(1), 80-84.
- [47] Philipson, P., & Lindell, T., (2003). Can coral reefs be monitored from space? *Ambio*, 32, 586–593.
- [48] Kumar, N., Yamaç, S. S., & Velmurugan, A. (2015). Applications of remote sensing and GIS in natural resource management. *Journal of the Andaman Science Association*, 20(1), 1-6.
- [49] Fedra, K. (1993). GIS and environmental modeling. *Environmental modeling with GIS*, 35-50.

- [50] Gharehbaghi, K., & Scott-Young, C. (2018, March). GIS as a vital tool for Environmental Impact Assessment and Mitigation. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 127, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- [51] Eedy, W. (1995). The use of GIS in environmental assessment. *Impact Assessment*, 13(2), 199-206.
- [52] Acharyya, N., & Bandyopadhyay, J. (2017). Remote sensing and GIS for wildlife management. In National Level Seminar on Defaunation and Conservation; Tucson Herpetological Society: Tuscon, AZ, USA (pp. 65-71).
- [53] Roloff, G. J., Donovan, M. L., Linden, D. W., & Strong, M. L. (2009). Lessons learned from using GIS to model landscape-level wildlife habitat. *Models for planning wildlife conservation in large landscapes*, 287-320.
- [54] Ngo, T. B., Nguyen, T. A., Vu, N. Q., Chu, T. T. H., & Cao, M. Q. (2012). Management and monitoring of air and water pollution by using GIS technology. *Journal of Vietnamese Environment*, 3(1), 50-54.
- [55] Fedra, K. (1999). Urban environmental management: monitoring, GIS, and modeling. *Computers, environment and urban systems*, 23(6), 443-457.
- [56] Tomaszewski, B. (2020). *Geographic information systems (GIS) for disaster management*. Routledge.
- [57] Abbas, S. H., Srivastava, R. K., Tiwari, R. P., & Bala Ramudu, P. (2009). GIS-based disaster management: A case study for Allahabad Sadar sub-district (India). *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 20(1), 33-51.
- [58] Eniolorunda, N. (2014). Climate change analysis and adaptation: the role of remote sensing (Rs) and geographical information system (Gis). *International Journal of Computational Engineering Research*, 4(1), 41-51.
- [59] Liu, D. L., Mo, J., Fairweather, H., & Timbal, B. (2009, July). A GIS tool to evaluate climate change impact: Functionality and case study. In 18th World IMACS/MODSIM Congress (pp. 13-17).
- [60] Hopkins, L. D. (1977). Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation. *Journal of the American institute of planners*, 43(4), 386-400.

- [61] McHarg, I. L. (1969). Design with nature.
- [62] Klosterman, R. E. (1997). Planning support systems: A new perspective on computer-aided planning. *Journal of Planning education and research*, 17(1), 45-54.
- [63] Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 3-65.
- [64] Sobel'man, I. I. (1976). Exploitation of solar energy. *Soviet Physics Uspekhi*, 19(9), 758.
- [65] Mondoc, B., & Pop, F. (2010, May). Factors influencing the performance of a photovoltaic power plant. In *3rd International Conference on Modern Power System, Romania* (p. 47).
- [66] Delgado, B., & Martínez, M. (2015). Software application for calculating solar radiation and equivalent evaporation in mobile devices. *Agricultural Water Management*, 151, 30-36.
- [67] Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and sustainable energy reviews*, 74, 590-601.
- [68] Fantidis, J. G., Bandekas, D. V., Potolias, C., & Vordos, N. (2013). Cost of PV electricity—Case study of Greece. *Solar Energy*, 91, 120-130.
- [69] Ukoba, K., Yoro, K. O., Eterigho-Ikelegbe, O., Ibegbulam, C., & Jen, T. C. (2024). Adaptation of solar power in the Global south: Prospects, challenges and opportunities. *Heliyon*.
- [70] Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2022). ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ, ΤΟ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ, ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΝ. Στρατηγική της ΕΕ για την ηλιακή ενέργεια. Βρυξέλλες
- [71] European Commission, EU Science Hub, PVGIS data download.
- [72] European Commission, EU Science Hub, SARAH-2 Solar Radiation Data.
- [73] European Commission, EU Science Hub, PVGIS User Manual.

- [74] Houben, C. H., & Hiorns, M. P. (2007). Re:“Is ultrasonography a good screening test for intestinal malrotation?” by Orzech et al. *Journal of Pediatric Surgery*, 42(10), 1795.
- [75] Gautam, V., Khatoon, S., & Jalil, M. F. (2024). History of Solar PV System and its Recent Development. *Photovoltaic Systems Technology*, 1-26.
- [76] Adams, W. G., & Day, R. E. (1877). IX. The action of light on selenium. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, (167), 313-349.
- [77] Planck, M. (1900). On an Improvement of Wien’s Equation for the Spectrum. *Ann. Physik*, 1, 719-721.
- [78] Goetzberger, A., Hebling, C., & Schock, H. W. (2003). Photovoltaic materials, history, status and outlook. *Materials science and engineering: R: Reports*, 40(1), 1-46.
- [79] Whitaker, C. M., Townsend, T. U., Razon, A., Hudson, R. M., & Vallvé, X. (2011). PV systems. *Handbook of photovoltaic science and engineering*, 841-895.
- [80] Papantonakos, P. (2024). Photovoltaic systems & energy transition in Greece (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς).
- [81] Breyer, C., Bogdanov, D., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Child, M., Oyewo, A. S., ... & Vainikka, P. (2018). Solar photovoltaics demand for the global energy transition in the power sector. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(8), 505-523.
- [82] Eltawil, M. A., & Zhao, Z. (2010). Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(1), 112-129.
- [83] Kumar, N. M., Subathra, M. P., & Moses, J. E. (2018, February). On-grid solar photovoltaic system: components, design considerations, and case study. In *2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)* (pp. 616-619). IEEE.
- [84] Hamid, A. K., Mbungu, N. T., Elnady, A., Bansal, R. C., Ismail, A. A., & AlShabi, M. A. (2023). A systematic review of grid-connected photovoltaic and photovoltaic/thermal systems: Benefits, challenges and mitigation. *Energy & Environment*, 34(7), 2775-2814.

- [85] Obi, M., & Bass, R. (2016). Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1082-1094.
- [86] Karthikeyan, V., Rajasekar, S., Das, V., Karuppanan, P., & Singh, A. K. (2017). Grid-connected and off-grid solar photovoltaic system. *Smart energy grid design for island countries: Challenges and opportunities*, 125-157.
- [87] Soori, P. K., Parthasarathy, L., Okano, M., & Mana, A. (2008, July). Intelligent off-grid photovoltaic supply systems. In *Fifth International Conference on Electrical Power and Energy Systems* (pp. 4-6).
- [88] Olabode, O. E., Ajewole, T. O., Okakwu, I. K., Alayande, A. S., & Akinyele, D. O. (2021). Hybrid power systems for off-grid locations: A comprehensive review of design technologies, applications and future trends. *Scientific African*, 13, e00884.
- [89] Pahwa, M. S., & Rahman, A. (2017, December). Design and estimation of reliability of an off grid solar photovoltaic (PV) power system in south east queensland. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 944-948). IEEE.
- [90] Basaran, K., Cetin, N. S., & Borekci, S. (2017). Energy management for on-grid and off-grid wind/PV and battery hybrid systems. *IET Renewable Power Generation*, 11(5), 642-649.
- [91] Makki, A., Omer, S., & Sabir, H. (2015). Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance. *Renewable and sustainable energy reviews*, 41, 658-684.
- [92] Ben Salah, C., & Ouali, M. (2012). Energy management of a hybrid photovoltaic system. *International Journal of Energy Research*, 36(1), 130-138.
- [93] Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirletz, H., Aznar, A., Spencer, R., & Cox, S. (2020). Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*, 162, 1415-1427.
- [94] Rana, M. M., Uddin, M., Sarkar, M. R., Shafiullah, G. M., Mo, H., & Atef, M. (2022). A review on hybrid photovoltaic–Battery energy storage system: Current status, challenges, and future directions. *Journal of Energy Storage*, 51, 104597.

- [95] Biyik, E., Araz, M., Hepbasli, A., Shahrestani, M., Yao, R., Shao, L., ... & Athi, Y. B. (2017). A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems. *Engineering science and technology, an international journal*, 20(3), 833-858.
- [96] Shukla, A. K., Sudhakar, K., & Baredar, P. (2016). A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system. *Energy and Buildings*, 128, 99-110.
- [97] Yang, R. J., & Zou, P. X. (2016). Building integrated photovoltaics (BIPV): Costs, benefits, risks, barriers and improvement strategy. *International Journal of Construction Management*, 16(1), 39-53.
- [98] Strong, S. (2010). *Building integrated photovoltaics (BIPV). Whole building design guide*, 9.
- [99] Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 188, 426-440.
- [100] Häberlin, H. (2012). *Photovoltaics: system design and practice*. John Wiley & Sons.
- [101] Balfour, J. R., Shaw, M., & Nash, N. B. (2013). *Introduction to photovoltaic system design*. Jones & Bartlett Publishers.
- [102] Technical Chamber of Greece/Department of Central Macedonia (TEE/TKM). (2018). Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων. Retrieved from https://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika_ergwn.pdf
- [103] Hellenic Association of Photovoltaic Companies (HELAPCO). (2013). *PV Guide: A complete guide to photovoltaic systems*. Retrieved from https://helapco.gr/pdf/PV_Guide_Aug_2013.pdf
- [104] Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*, 759, 143528.
- [105] Appropedia. (n.d.). *LCA of silicon PV panels*. Retrieved from https://www.appropedia.org/LCA_of_silicon_PV_panels/el

- [106] Hellenic Association of Photovoltaic Companies (HELAPCO). (n.d.). Environmental impact of photovoltaic systems. Retrieved from https://www.helapco.gr/ims/file/solar_energy/PV_Environment.pdf
- [107] European Investment Bank. (2020). Photovoltaics: How the technology works and the impact on the environment.
- [108] National Technical University of Athens (NTUA). (2008). Βιβλιογραφία Γεωμορφολογίας.
- [109] Γκαράκης Κ. (2021) B2Green. (n.d.). Βλάπτουν τα φωτοβολταϊκά το περιβάλλον;
- [110] Vellini, M., Gambini, M., & Prattella, V. (2017). Environmental impacts of PV technology throughout the life cycle: Importance of the end-of-life management for Si-panels and CdTe-panels. *Energy*, 138, 1099-1111.
- [111] Malczewski J. (2018). [Comprehensive Geographic Information Systems: Multicriteria Analysis](#).
- [112] Nautiyal H. & Goel V. (2021). *Methods in Sustainability Science: Multicriteria analysis*.
- [113] Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publishers.
- [114] Converse, S. J. (2020). *Introduction to multi-criteria decision analysis*. U.S. Geological Survey.
- [115] Macioł, A., & Rębiasz, B. (2018). Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methods in Life-Cycle Assessment (LCA): A comparison of private passenger vehicles. *Operations Research and Decisions*, 28(1), 5-26.
- [116] Καλαϊτζή, Σ. Σ. (2020). *Multi-Criteria Logistics-Outsourcing Decision Making Using a Quantitative Approach* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).
- [117] Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29.

- [118] Ezzat, A. E., & Hamoud, H. S. (2016). Analytic hierarchy process as module for productivity evaluation and decision-making of the operation theater. *Avicenna journal of medicine*, 6(01), 3-7.
- [119] Putra, D. W. T., & Punggara, A. A. (2018). Comparison analysis of simple additive weighting (SAW) and weighed product (WP) in decision support systems. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 215, p. 01003). EDP Sciences.
- [120] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. (2020). Πολυκριτηριακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων. Ανακτήθηκε από <https://academics.epu.ntua.gr/sites/default/files/2020-02/%CE%A501%20%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%BC%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82.pdf>
- [121] Afshari, A., Mojahed, M., & Yusuff, R. M. (2010). Simple additive weighting approach to personnel selection problem. *International journal of innovation, management and technology*, 1(5), 511.
- [122] Figueira, J. R., Greco, S., Roy, B., & Słowiński, R. (2013). An overview of ELECTRE methods and their recent extensions. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 20(1-2), 61-85.
- [123] Figueira, J. R., Mousseau, V., & Roy, B. (2016). ELECTRE methods. *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*, 155-185.
- [124] Kailiponi, P. (2010). Analyzing evacuation decisions using multi-attribute utility theory (MAUT). *Procedia Engineering*, 3, 163-174.
- [125] Von Winterfeldt, D., & Edwards, W. (2007). Defining a decision analytic structure. *na*.
- [126] Chakhar, S., & Mousseau, V. (2008). Spatial multicriteria decision making. *Encyclopedia of GIS*, 10, 978-0.
- [127] Nyeko, M. (2012). GIS and multi-criteria decision analysis for land use resource planning.

- [128] Nikoloudis, C., Aravossis, K., Strantzali, E., & Chrysanthopoulos, N. (2020). A novel multicriteria methodology for evaluating urban development proposals. *Journal of cleaner production*, 263, 120796.
- [129] Farooq, A., Xie, M., Stoilova, S., Ahmad, F., Guo, M., Williams, E. J., ... & Mahamat Issa, A. (2018). Transportation planning through GIS and multicriteria analysis: Case study of Beijing and XiongAn. *Journal of Advanced Transportation*, 2018(1), 2696037.
- [130] Giuliano, G. (1985). A multicriteria method for transportation investment planning. *Transportation Research Part A: General*, 19(1), 29-41.
- [131] Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377-403.
- [132] Jurasz, J., Canales, F. A., Kies, A., Guezgouz, M., & Beluco, A. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*, 195, 703-724.
- [133] Bošnjaković M, Stojkov M, Katinić M, Lacković I. Effects of Extreme Weather Conditions on PV Systems. *Sustainability*. 2023; 15(22):16044. <https://doi.org/10.3390/su152216044>
- [134] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας - Δικτυακός Τόπος Διαβουλεύσεων, Άρθρο 9 Θέματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων ΑΠΕ.
- [135] Teyabeen AA, Mohamed F. Estimation of the Optimum Tilt Angle of Solar PV Panels to Maximize Incident Solar Radiation in Libya. *Energies*. 2024; 17(23):5891. <https://doi.org/10.3390/en17235891>

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

- [136] Νόμος 1559/1985. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (1985). Παραγωγή και διανομή ενέργειας από ιδιώτες και δήμους. ΦΕΚ Α' 135/11-07-1985.
- [137] Νόμος 2244/1994. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (1994). Προσαρμογή στα κριτήρια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. ΦΕΚ Α' 168/07-10-1994.

- [138] Νόμος 2773/1999. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (1999). Απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και άδειες παραγωγής ενέργειας. ΦΕΚ Α΄ 286/22-12-1999.
- [139] Νόμος 2941/2001. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2001). Απλοποίηση διαδικασιών για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. ΦΕΚ Α΄ 201/12-09-2001.
- [140] Νόμος 3010/2002. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2002). Τροποποίηση του νόμου 1650/1986 για την προστασία του περιβάλλοντος. ΦΕΚ Α΄ 91/25-04-2002.
- [141] Νόμος 3175/2003. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2003). Ρύθμιση θεμάτων ενέργειας και περαιτέρω απελευθέρωση της αγοράς. ΦΕΚ Α΄ 207/29-08-2003.
- [142] Νόμος 3429/2005. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2005). Ρυθμίσεις για την ενίσχυση του ανταγωνισμού στην αγορά ενέργειας. ΦΕΚ Α΄ 314/27-12-2005.
- [143] Νόμος 3468/2006. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2006). Ρυθμίσεις για την προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. ΦΕΚ Α΄ 129/27-06-2006.
- [144] Νόμος 3734/2009. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2009). Συνεχής εξορθολογισμός διαδικασιών για τις ΑΠΕ. ΦΕΚ Α΄ 8/28-01-2009.
- [145] Νόμος 3851/2010. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2010). Επιτάχυνση της ανάπτυξης ΑΠΕ και προσαρμογή στην πράσινη οικονομία. ΦΕΚ Α΄ 85/04-06-2010.
- [146] Νόμος 4001/2011. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2011). Λειτουργία της αγοράς ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος. ΦΕΚ Α΄ 179/22-08-2011.
- [147] Νόμος 4951/2022. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2022). Εξορθολογισμός διαδικασιών για επενδύσεις στις ΑΠΕ. ΦΕΚ Α΄ 129/04-07-2022.
- [148] Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2008). Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ. ΦΕΚ Β/2464/03-08-2008.
- [149] Νόμος 1650/1986. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (1986). Προστασία του περιβάλλοντος. ΦΕΚ Α΄ 160/16-10-1986.
- [150] Νόμος 3028/2002. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (2002). Προστασία αρχαιοτήτων και πολιτιστικής κληρονομιάς. ΦΕΚ Α΄ 153/28-06-2002.
- [151] Νόμος 2637/1998. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ (1998). Προστασία γεωργικών γαιών και κανονισμοί χρήσεων γης. ΦΕΚ Α΄ 200/27-08-1998.