



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**<<Προσεγγίσεις Αξιολόγησης Χώρων Τοποθέτησης Φωτοβολταϊκών  
Πάρκων>>**

**“Approaches to the Evaluation of Photovoltaic Park Siting Areas”**

**Φοιτητής: Φραγκούλιας Νικόλαος**

**A.M.: 1059436**

**Επιβλέπων καθηγητής: Καρακαπιλίδης Νίκος**

**ΠΑΤΡΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2024**

Πανεπιστήμιο Πατρών, Μηχανολόγων Μηχανικών και Αεροναυπηγών  
Φραγκούλιας Νικόλαος

© 6<sup>ο</sup> έτος – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας,  
Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

Η έγκριση της σπουδαστικής εργασίας δεν υποδηλώνει την αποδοχή των γνώμών του συγγραφέα. Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

**Πίνακας περιεχομένων**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Περίληψη .....                                                    | 7  |
| Abstract .....                                                    | 9  |
| Εισαγωγή .....                                                    | 11 |
| Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> .....                                     | 16 |
| 1.1 Ηλιακή ακτινοβολία & ηλιακή ενέργεια.....                     | 16 |
| 1.1.2 Κατανοώντας την Ηλιακή Ακτινοβολία.....                     | 16 |
| 1.1.3 Μετατροπή ηλιακής ενέργειας.....                            | 17 |
| 1.1.4 Αξιοποιήσεις Ηλιακής Ενέργειας.....                         | 17 |
| 1.1.5 Οφέλη και Δυσκολίες.....                                    | 18 |
| 1.1.6 Προοπτικές & Επιπτώσεις για το Μέλλον.....                  | 19 |
| 1.2. Κύρια χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας .....          | 20 |
| 1.3. Ηλιακή ενέργεια.....                                         | 22 |
| 1.3.1 Τεχνολογίες απόδοσης και μετατροπής .....                   | 23 |
| 1.3.2 Γεωγραφικοί και Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.....             | 23 |
| 1.3.3 Προσανατολισμός και παρακολούθηση ηλιακού πάνελ.....        | 24 |
| 1.3.4 Αποθήκευση ενέργειας και ενσωμάτωση στο δίκτυο .....        | 24 |
| 1.4 Τρόποι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας σε κτήρια .....      | 26 |
| 1.5 Φωτοβολταϊκά συστήματα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας..... | 30 |
| 1.5.1 Τεχνολογία και εξαρτήματα φωτοβολταϊκών .....               | 30 |
| 1.5.2 Συγκομιδή και Αποδοτικότητα Ηλιακής Ενέργειας.....          | 31 |
| 1.5.3 Συστήματα συνδεδεμένα και εκτός δικτύου .....               | 32 |
| 1.5.4 Παραγωγή ενέργειας και απόδοση ενέργειας .....              | 32 |
| 1.5.5 Περιβαλλοντικός αντίκτυπος και αειφορία.....                | 33 |
| 1.6. Αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....            | 33 |
| 1.6.1 Ιδιότητες ημιαγωγών και διεγερση του διακενού ζώνης .....   | 34 |
| 1.6.2 Παραγωγή και απομόνωση ηλεκτρικών φορτίων.....              | 34 |

|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.6.3 Συλλογή και ροή ρεύματος .....                                                                                                                                  | 34 |
| 1.6.4 Εσωτερικές διαδικασίες και ζητήματα απόδοσης.....                                                                                                               | 35 |
| 1.7 Δομή φωτοβολταϊκών στοιχείων .....                                                                                                                                | 35 |
| 1.8 Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας, φωτοβολταϊκών και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών σε συνδυασμό μεταξύ τους .....                                                 | 38 |
| Κεφάλαιο 2 .....                                                                                                                                                      | 40 |
| 2.1. Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών .....                                                                                                                           | 40 |
| 2.2. Προσεγγίζοντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.....                                                                                                          | 42 |
| 2.3 Ορίζοντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών .....                                                                                                               | 44 |
| 2.4. Βασικά τμήματα ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών .....                                                                                                     | 45 |
| 2.5. Διαδικασίες γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.....                                                                                                              | 47 |
| 2.6. Χρήση & Δυνατότητες των γεωγραφικών συστημάτων πληροφόρησης.....                                                                                                 | 48 |
| 2.7. Γεωπληροφοριακά Συστήματα και ΑΠΕ .....                                                                                                                          | 50 |
| 2.8. Μεθοδολογία για Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών πάρκων με τη χρήση Γεωπληροφοριακών Συστημάτων.....                                                                     | 51 |
| 2.9. Ποια κριτήρια ευνοούν και ποια εμποδίζουν την χωροθέτηση .....                                                                                                   | 54 |
| Κεφάλαιο 3° .....                                                                                                                                                     | 56 |
| 3.1 Ανασκόπηση Εφαρμογών GIS στον Σχεδιασμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....                                                                                         | 56 |
| 3.1.1 Εφαρμογές GIS στον σχεδιασμό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με έμφαση στην επιλογή τοποθεσίας φωτοβολταϊκών πάρκων. ....                                      | 58 |
| 3.1.2 Σύνοψη βασικών ευρημάτων, μεθοδολογίες και μελέτες περιπτώσεων που καταδεικνύουν τη χρησιμότητα του GIS στην ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πάρκων. ....                | 61 |
| 3.1.3 Επισημάνση των αναδυόμενων τάσεων, προκλήσεων και ευκαιριών σε συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. .... | 64 |
| 3.2 Μεθοδολογικές εξελίξεις στην ανάλυση καταλληλότητας τοποθεσίας βάσει Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών .....                                                     | 68 |
| Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος                                                                       |    |

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1 Εξερεύνηση των μεθοδολογικών προόδων στις τεχνικές Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών .....                                                                                                                       | 70 |
| 3.2.2 Αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και τους περιορισμούς των διαφορετικών μεθοδολογιών Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και τις επιπτώσεις τους στη λήψη αποφάσεων στην επιλογή τοποθεσίας φωτοβολταϊκού πάρκου..... | 73 |
| 3.3 Ενοποίηση Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών με άλλες τεχνολογίες ...                                                                                                                                               | 77 |
| 3.4 Επιπτώσεις πολιτικής και σχεδιασμού των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS.....                                                                                                                 | 79 |
| Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....                                                                                                                                                                                   | 81 |
| Σύνοψη.....                                                                                                                                                                                                             | 84 |
| Βιβλιογραφία .....                                                                                                                                                                                                      | 86 |

## **<<Προσεγγίσεις Αξιολόγησης Χώρων Τοποθέτησης Φωτοβολταϊκών Πάρκων>>**

**Φραγκούλιας Νικόλαος**

### **Περίληψη**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας ολοκλήρωσης συστημάτων ηλιακής ενέργειας με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) προκειμένου να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα της εφαρμογής ηλιακής ενέργειας. Εκτός από ένα σημαντικό είδος ανανεώσιμης ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια προσφέρει επίσης μυριάδες οφέλη τόσο για την οικονομία όσο και για το περιβάλλον. Ωστόσο, αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η κακή μετατροπή ενέργειας, οι μεγάλες προκαταβολικές δαπάνες και η μεταβλητή φύση του ηλιακού φωτός. Όλα αυτά είναι μειονεκτήματα. Αυτή η μελέτη διερευνά τα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή τους άμεσους, διάχυτους και ανακλώμενους τύπους, καθώς και την επίδραση που έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά στην αποτελεσματικότητα της απόκτησης ενέργειας. Προκειμένου να κατανοηθούν καλύτερα οι μετρήσεις απόδοσης, η επεκτασιμότητα και η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας διαφόρων τεχνολογιών μετατροπής ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα ηλιακά θερμικά συστήματα, πραγματοποιείται ανάλυση αυτών των τεχνολογιών. Η έρευνα υπογραμμίζει την κρίσιμη σημασία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) στην αντιμετώπιση σημαντικών ζητημάτων, όπως ο εντοπισμός των καταλληλότερων τοποθεσιών, η αποθήκευση ενέργειας με αποτελεσματικό τρόπο και η ενσωμάτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) προσφέρει λεπτομερή γεωγραφική ανάλυση και απεικόνιση, τα οποία με τη σειρά τους επιτρέπουν πιο ενημερωμένες διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η μελέτη καταδεικνύει πώς τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με συστήματα ηλιακής ενέργειας για να βελτιώσουν σημαντικά τη θέση και την απόδοση των ηλιακών εγκαταστάσεων. Αυτό, με τη σειρά του, οδηγεί σε βελτιωμένη διαχείριση ενέργειας και μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Επιπλέον, η διατριβή διερευνά τις προοπτικές χρήσεις της ηλιακής ενέργειας στο μέλλον, αξιολογώντας τις εξελίξεις

στην τεχνολογία καθώς και την αυξανόμενη αποδοχή καινοτόμων λύσεων. Επιπλέον, διερευνά τις νομοθετικές και σχεδιαστικές επιπτώσεις της χρήσης GIS για προγράμματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τονίζει την ανάγκη πολιτικών που βασίζονται σε στοιχεία και ολοκληρωμένου σχεδιασμού προκειμένου να επιτευχθεί μακροπρόθεσμη ανάπτυξη. Σύμφωνα με τα ευρήματα, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν σημαντικά την αποδοτικότητα των προσπάθειών ηλιακής ενέργειας τόσο από άποψη στρατηγικής όσο και από άποψη εκτέλεσης. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να παράσχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση των θετικών αποτελεσμάτων που μπορούν να επιτευχθούν με το συνδυασμό των σύγχρονων μεθόδων GIS με την τεχνολογία ηλιακής ενέργειας. Επιπλέον, παρέχει λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που αντιμετωπίζονται τώρα και για την ενθάρρυνση της πρόσθετης έρευνας και ανάπτυξης πολιτικής στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

#### Λέξεις-κλειδιά:

Ηλιακή Ενέργεια, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Ηλιακή Ακτινοβολία, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Μετατροπή Ενέργειας, Επιλογή Χώρου, Αποθήκευση Ενέργειας, Ενοποίηση Δικτύου, Αειφόρος Ενέργεια, Λήψη Αποφάσεων, Ενεργειακή Απόδοση, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, Σχεδιασμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Έξυπνα Δίκτυα .



**“Approaches to the Evaluation of Photovoltaic Park Siting Areas”****Fragkoulias Nikolaos****Abstract**

The purpose of this thesis is to investigate the possibility of integrating solar energy systems with Geographic Information Systems (GIS) in order to enhance the effectiveness and efficiency of solar energy implementation. In addition to being an important kind of renewable energy, solar energy also offers a myriad of benefits to both the economy and the environment. However, it faces challenges like as poor energy conversion, large upfront expenditures, and the variable nature of solar light. These are all disadvantages. This study investigates the characteristics of solar radiation, namely the direct, diffuse, and reflected types, as well as the impact that these characteristics have on the effectiveness of energy acquisition. In order to have a better understanding of the performance metrics, scalability, and cost-effectiveness of various energy conversion technologies, such as photovoltaic systems and solar thermal systems, an analysis is carried out on these technologies. The research highlights the critical significance of Geographic Information Systems (GIS) in addressing significant issues, such as identifying the most appropriate locations, storing energy in an efficient manner, and integrating with the power grid. The Geographic Information System (GIS) offers detailed geographical analysis and visualization, which in turn allow for more informed decision-making processes. The study demonstrates how geographic information systems (GIS) may be used in combination with solar energy systems to significantly improve the location and efficiency of solar installations. This, in turn, leads to improved energy management and a smaller environmental imprint. In addition, the thesis investigates the prospective uses of solar energy in the future, assessing the advancements in technology as well as the rising acceptability of innovative solutions. In addition to this, it investigates the legislative and planning implications of using GIS for renewable energy programs. It emphasizes the need of evidence-based policies and comprehensive planning in order to achieve long-term development. According to the findings, geographic information systems have the

potential to significantly enhance the efficiency of solar energy efforts in terms of both strategy and execution. The purpose of this research is to provide a comprehensive analysis of the positive results that may be achieved by combining contemporary GIS methods with solar energy technology. Additionally, it provides solutions that may be put into practice to conquer the challenges that are now being faced and to encourage additional research and policy development within the renewable energy sector.

Keywords:

Solar Energy, Geographic Information Systems (GIS), Renewable Energy, Solar Radiation, Photovoltaic Systems, Energy Conversion, Site Selection, Energy Storage, Grid Integration, Sustainable Energy, Decision-Making, Energy Efficiency, Environmental Impact, Renewable Energy Planning, Smart Grids.

## Εισαγωγή

Μια δραματική αλλαγή στο παγκόσμιο ενεργειακό τοπίο παρατηρείται τώρα από τις κοινωνίες καθώς εργάζονται για τη μετάβαση σε πηγές ενέργειας που είναι πιο βιώσιμες και ικανές να ανανεωθούν. Σε σύγκριση με τις άλλες δυνατότητες, η ηλιακή ενέργεια ξεχωρίζει ως ιδιαίτερα αξιοσημείωτη λόγω του γεγονότος ότι προσφέρει ένα σημαντικό ποσό δυναμικού ενέργειας που είναι επίσης ευεργετικό για το περιβάλλον και απεριόριστο. Προς το συμφέρον της μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και της αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, η κατανόηση της ηλιακής ενέργειας και η χρήση της έχουν γίνει ουσιαστικοί στόχοι για πολιτικούς, ερευνητές και εταιρικούς παράγοντες. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της περίπλοκης περιοχής της ηλιακής ενέργειας και η ενσωμάτωσή της με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) με σκοπό την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας, η οποία προέρχεται από τις ακτίνες του ήλιου, έχει σημαντικές δυνατότητες να χρησιμεύσει ως βιώσιμη εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών (PV) συσκευών, η ηλιακή ενέργεια προσφέρει μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση για την κάλυψη της συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης για ενέργεια σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σύλληψη και τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η εισαγωγή παρέχει μια συνοπτική περιγραφή των πρωταρχικών θεμάτων και εννοιών που διερευνήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης. Το άρθρο υπογραμμίζει τη σημασία της ηλιακής ενέργειας στην παγκόσμια κίνηση προς εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Επιπλέον, η μελέτη υπογραμμίζει τον κρίσιμο ρόλο που διαδραματίζουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ως βασικά εργαλεία για την αξιολόγηση και τη λήψη επιλογών στα χωρικά στοιχεία του σχεδιασμού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ενδιαφερόμενοι είναι σε θέση να αναλύσουν την ικανότητα για ηλιακή ενέργεια, να εντοπίσουν τις βέλτιστες θέσεις για ηλιακές εγκαταστάσεις και να βελτιώσουν τα σχέδια παραγωγής ενέργειας με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα όταν κάνουν χρήση της τεχνολογίας συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Επιπλέον, η εισαγωγή θέτει τις βάσεις για τα επόμενα κεφάλαια, τα οποία περιλαμβάνουν μια εξέταση των θεμελιωδών ιδεών πίσω από την ηλιακή ακτινοβολία, τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τις μεθόδους για τον προσδιορισμό του κατά πόσον μια τοποθεσία είναι κατάλληλη για χρήση

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

χρησιμοποιώντας σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών. GIS) εργαλεία. Χρησιμοποιώντας μια διεπιστημονική προσέγγιση που ενσωματώνει γνώσεις από τη μηχανική ηλιακής ενέργειας, την περιβαλλοντική επιστήμη και την επιστήμη των γεωγραφικών πληροφοριών, ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να αποκτήσει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των ευκαιριών και των προκλήσεων που σχετίζονται με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για μια βιώσιμη ενέργεια μελλοντικός.

Η διερεύνηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια, έχει καταστεί απαραίτητη ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης προσοχής που δίνεται σε όλο τον κόσμο στις εναλλακτικές λύσεις βιώσιμης ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα λόγω της διαθεσιμότητάς της και της μικρής επίδρασής της στο περιβάλλον. Από την άλλη πλευρά, για να γίνει αποτελεσματική χρήση αυτής της τεχνολογίας, είναι απαραίτητο να ξεπεραστούν ορισμένες τεχνικές και υλικοτεχνικές προκλήσεις. Η πιεστική ανάγκη για επιτάχυνση της υλοποίησης συστημάτων ηλιακής ενέργειας και βελτίωση της απόδοσής τους είναι η ώθηση πίσω από αυτήν την έρευνα. Είναι απαραίτητο να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας προκειμένου να επιτευχθεί τόσο αυξημένη απόδοση όσο και μείωση των δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον, καθώς και για να εξασφαλιστεί η συνεχής βιωσιμότητα της οικονομίας. Μέσω της χρήσης σύγχρονων Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) και φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων, σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η εξεύρεση λύσεων σε αυτά τα προβλήματα. Εκτός από τη συμβολή στον πρωταρχικό στόχο της βιώσιμης ενεργειακής ανάπτυξης, η αποστολή είναι η εξεύρεση καινοτόμων λύσεων.

Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ενέργεια έχει τεράστιες δυνατότητες, υπάρχουν ορισμένα εμπόδια που περιορίζουν την ευρεία χρήση της. Οι διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, οι περιορισμοί που επιβάλλονται από τη γεωγραφία και το κλίμα και την ανάγκη για αποδοτική αποθήκευση ενέργειας και ενσωμάτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι μερικές από τις μεταβλητές που συμβάλλουν σε αυτό το φαινόμενο. Επιπλέον, η διαδικασία επιλογής τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα είναι πολύπλοκη που απαιτεί την προσεκτική εξέταση ορισμένων παραμέτρων. Τα κύρια ζητήματα που διερευνώνται σε αυτή τη διατριβή είναι: η μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και ο αντίκτυπός της στην απόδοση των συστημάτων ηλιακής ενέργειας. τον εντοπισμό ιδανικών

τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η τοπογραφία, το κλίμα και η χρήση γης· την ανάπτυξη στρατηγικών για αποτελεσματική αποθήκευση ενέργειας και απρόσκοπτη ενσωμάτωση με το ηλεκτρικό δίκτυο· και τη χρήση GIS για την απλοποίηση της διαδικασίας επιλογής τοποθεσίας για ηλιακά πάρκα, με στόχο τη βέλτιστη απόδοση και τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτές οι ανησυχίες, έχουν διατυπωθεί τα ευρήματα των ακόλουθων ερευνητικών ερωτημάτων: Ποιοι είναι μερικοί τρόποι με τους οποίους τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της κατανόησης και ανάλυσης των προτύπων ηλιακής ακτινοβολίας; Η απόδοση των ηλιακών συστημάτων επηρεάζεται από πολυάριθμα γεωγραφικά και περιβαλλοντικά στοιχεία. Η ακτινοβολία του ήλιου, η θερμοκρασία, η σκιά, καθώς και η γωνία και ο προσανατολισμός των ηλιακών συλλεκτών, είναι όλα στοιχεία που εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία. Μέσω της εξέτασης χωρικών δεδομένων, όπως χάρτες ηλιακής ακτινοβολίας, εδάφους, χρήσης γης και καιρικών προτύπων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) για την ανάλυση αυτών των χαρακτηριστικών. Μέσω της διαδικασίας συνδυασμού και αξιολόγησης αυτών των επιπέδων δεδομένων, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την καταλληλότητα και την προοπτική απόδοση των ηλιακών συστημάτων σε διάφορα σημεία. Για τους σκοπούς της βελτίωσης της συλλογής ενέργειας, πώς μπορούν τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) να βοηθήσουν στη βελτίωση της ευθυγράμμισης και της παρακολούθησης των ηλιακών συλλεκτών; Χρησιμοποιώντας συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), ποιες μέθοδοι μπορούν να αναπτυχθούν για τον προσδιορισμό των καταλληλότερων θέσεων για την εγκατάσταση ηλιακών πάρκων; Ποιοι είναι μερικοί από τους τρόπους με τους οποίους τα συστήματα που βασίζονται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μπορούν να βελτιώσουν την ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στα υπάρχοντα δίκτυα ενέργειας και να χρησιμοποιούν βέλτιστα λύσεις αποθήκευσης ενέργειας;

Σκοπός αυτού του μέρους είναι να δώσει μια επισκόπηση των στόχων της διατριβής καθώς και των συνεισφορών που αναμένεται να γίνουν από αυτήν.

Ο θεμελιώδης σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός πλήρους πλαισίου που θα ενσωματώνει το GIS με τα ηλιακά συστήματα ενέργειας προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόδοση και η ανάπτυξή τους.

Ακολουθεί μια λίστα με τα συγκεκριμένα επιτεύγματα:

1. Η ανάπτυξη μοντέλων Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για την αξιολόγηση της ηλιακής ακτινοβολίας και την ακριβή πρόβλεψη των προτύπων της είναι το πρώτο βήμα.
2. Χρήση μοντέλων βασισμένων σε GIS για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση πιθανών θέσεων για την κατασκευή ηλιακών αγροκτημάτων, αξιοποιώντας την ανάλυση πολυκριτηριακών αποφάσεων (MCDA).
3. Διερεύνηση του ρόλου που διαδραματίζουν τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών στη βελτίωση του προσανατολισμού και της παρακολούθησης των ηλιακών συλλεκτών προκειμένου να ενισχυθεί η ποσότητα της ενέργειας που συλλέγεται.
4. Με σκοπό τη διασφάλιση μιας συνεπούς και αξιόπιστης παροχής ενέργειας, γίνεται η πρόταση λύσεων βασισμένων σε GIS για αποτελεσματική αποθήκευση ενέργειας και ενσωμάτωση στο δίκτυο.
5. Πέμπτον, η χρήση μεθόδων που βασίζονται σε γεωγραφικές πληροφορίες συστήματα (GIS) για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων της εγκατάστασης ηλιακών πάρκων.

Οι αναμενόμενες συνεισφορές αυτής της διατριβής περιλαμβάνουν μια καινοτόμο προσέγγιση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για τη διεξαγωγή ενδεδειγμένων αξιολογήσεων της καταλληλότητας της τοποθεσίας για ηλιακά πάρκα, μια βελτιωμένη κατανόηση των χωρικών και περιβαλλοντικών μεταβλητών που επηρεάζουν την απόδοση της ηλιακής ενέργειας, εκλεπτυσμένες στρατηγικές για την ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στα υπάρχοντα υποδομές ενέργειας και πρακτικές κατευθυντήριες γραμμές και εργαλεία για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τα ενδιαφερόμενα μέρη στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων με καλή ενημέρωση. Όλες αυτές οι συνεισφορές αναμένεται να γίνουν στο μέλλον. Μέσω της αντιμετώπισης αυτών των στόχων, σκοπός αυτής της διατριβής είναι να συμβάλει στην πρόοδο της τεχνολογίας ηλιακής

ενέργειας και να βοηθήσει τη μετάβαση προς ενεργειακά συστήματα που είναι πιο ισχυρά και φιλικά προς το περιβάλλον.

## **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

### **1.1 Ηλιακή ακτινοβολία & ηλιακή ενέργεια**

Η ηλιακή ακτινοβολία, η ενέργεια που απελευθερώνεται από τον ήλιο ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα, είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως η πρωταρχική δύναμη που επηρεάζει το κλίμα και τη βιόσφαιρα της Γης. Η ενέργεια, συμπεριλαμβανομένου του ορατού φωτός, της υπέρυθρης ακτινοβολίας, της υπεριώδους ακτινοβολίας και άλλων μηκών κύματος, είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ζωής και τη διευκόλυνση πολλών δραστηριοτήτων στον πλανήτη μας. Με την πρόοδο της τεχνολογίας τις τελευταίες δεκαετίες, η χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας έχει γίνει πιο εφικτή, με αποτέλεσμα τη γρήγορη επέκταση του τομέα της ηλιακής ενέργειας. Αυτό το άρθρο επιδιώκει να εξετάσει τις αρχές της ηλιακής ακτινοβολίας και της ηλιακής ενέργειας, διερευνώντας τη σημασία, τις μεθόδους, τις πρακτικές χρήσεις και τις πιθανές συνέπειες για το μέλλον (Coskun et al., 2011).

#### **1.1.2 Κατανοώντας την Ηλιακή Ακτινοβολία**

Η ηλιακή ακτινοβολία παράγεται από τις διαδικασίες πυρηνικής σύντηξης που συμβαίνουν στο κέντρο του ήλιου. Κατά τη διάρκεια αυτών των αντιδράσεων, τα άτομα υδρογόνου συντήκονται για να δημιουργήσουν ήλιο και να απελευθερώσουν μια τεράστια ποσότητα ενέργειας. Αυτή η ενέργεια διαδίδεται προς τα έξω στο κενό του διαστήματος, φτάνοντας τελικά στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης. Η Γη δέχεται ένα μικρό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, ωστόσο είναι αρκετό για να υποστηρίξει τη ζωή και να τροφοδοτήσει πολλές φυσικές διεργασίες. Η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται σε ένα ορισμένο σημείο της Γης επηρεάζεται από μεταβλητές όπως το γεωγραφικό πλάτος, η ώρα της ημέρας, η εποχή και οι τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες (Iqbal, 1983).

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος, με ένα σημαντικό ποσό να αποτελείται από ορατό φως. Το ορατό φως παίζει ζωτικό ρόλο στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης στα φυτά, χρησιμεύοντας ως το θεμέλιο της τροφικής Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος



αλυσίδας. Επιπλέον, η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία προκαλεί τη θέρμανση της επιφάνειας της Γης, και υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία εμπλέκεται σε διαδικασίες όπως η παραγωγή βιταμίνης D και η ανάπτυξη του όζοντος στην ατμόσφαιρα (Coskun et al., 2011).

### 1.1.3 Μετατροπή ηλιακής ενέργειας

Η μετατροπή ηλιακής ενέργειας είναι η διαδικασία απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και μετατροπής της σε πρακτικές μορφές ενέργειας, όπως ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα. Η τεχνική εξαρτάται κυρίως από τα ηλιακά πάνελ, που μερικές φορές αναφέρονται ως φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα, τα οποία αποτελούνται από υλικά ημιαγωγών ικανά να μετατρέπουν άμεσα το ηλιακό φως σε ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Όταν το ηλιακό φως αλληλεπιδρά με τα φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα, προκαλεί την απελευθέρωση ηλεκτρονίων από τα άτομα του υλικού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς (Gong et al., 2019).

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα είναι μια εναλλακτική τεχνική μετατροπής της ηλιακής ενέργειας. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς για να εστιάσουν το ηλιακό φως σε μια μικροσκοπική περιοχή, παράγοντας θερμότητα. Στη συνέχεια, αυτή η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς, όπως η θέρμανση του νερού, η θέρμανση χώρων ή η οδήγηση ατμοστροβίλων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλιακά θερμικά συστήματα είναι πιο αποτελεσματικά σε περιοχές με αρκετή ηλιοφάνεια και σημαντική ανάγκη για θέρμανση ή ηλεκτρισμό (Gong et al., 2019).

### 1.1.4 Αξιοποιήσεις Ηλιακής Ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια έχει ένα ευρύ φάσμα χρήσεων σε διάφορους τομείς, όπως οικιστικά, εμπορικά, βιομηχανικά έργα και έργα κοινής ωφέλειας. Τα ηλιακά πάνελ που τοποθετούνται σε στέγες ή σε συστοιχίες πίσω αυλών σε κατοικημένες περιοχές μπορεί να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση της χρήσης ενέργειας από το δίκτυο, με αποτέλεσμα μειωμένο κόστος κοινής ωφέλειας και χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα. Επιπλέον, αρκετά σπίτια επιλέγουν να εγκαταστήσουν ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού για

να ζεστάνουν το νερό για οικιακή χρήση, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για κτίρια, διαδικασίες παραγωγής και γεωργικές δραστηριότητες. Τα ηλιακά πάρκα, τα οποία αποτελούνται από εκτεταμένες σειρές ηλιακών συλλεκτών σε εκτεταμένες χερσαίες εκτάσεις, συμβάλλουν ουσιαστικά στην παραγωγή ενέργειας σε πολλές χώρες. Αυτές οι μεγάλης κλίμακας ηλιακές εγκαταστάσεις είναι απαραίτητες για τη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για σκοπούς εκτός δικτύου, όπως η παροχή ενέργειας σε απομακρυσμένες τηλεπικοινωνιακές υποδομές, εγκαταστάσεις άντλησης νερού και βοηθήματα πλοήγησης. Τα γκάτζετ που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια, όπως οι ηλιακοί λαμπτήρες και οι ηλιακές κουζίνες, παρέχουν οικονομικά αποδοτικές και βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας στις φτωχές χώρες, βελτιώνοντας επομένως την ποιότητα ζωής και μετριάζοντας τις περιβαλλοντικές βλάβες (Lewis, 2016).

### 1.1.5 Οφέλη και Δυσκολίες

Η ηλιακή ενέργεια έχει πολλά πλεονεκτήματα, καθιστώντας την μια συναρπαστική επιλογή για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις οικολογικές επιπτώσεις. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι το άφθονο και ανανεώσιμο χαρακτηριστικό της ηλιοφάνειας, καθώς είναι απεριόριστο και προσβάσιμο στην πλειονότητα των παγκόσμιων τοποθεσιών. Επιπλέον, τα συστήματα ηλιακής ενέργειας παράγουν αμελητέες ποσότητες εκπομπών αερίων θερμοκηπίου όταν λειτουργούν, συμβάλλοντας έτσι στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον, τα συστήματα ηλιακής ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να διανέμονται σε πολλές τοποθεσίες, επιτρέποντας την παραγωγή και χρήση ενέργειας σε τοπικό επίπεδο. Αυτό το χαρακτηριστικό βελτιώνει την ασφάλεια και την ανθεκτικότητα της παροχής ενέργειας. Η αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας επιτρέπει στις κοινότητες να αναλάβουν την εξουσία στη δική τους παραγωγή ενέργειας και να μειώσουν την εξάρτηση από κεντρικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες ή παραμελημένες περιοχές (Hayat et al., 2018).

Ωστόσο, η ηλιακή ενέργεια συναντά ορισμένα εμπόδια που απαιτούν επίλυση προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητές της. Ένα σημαντικό εμπόδιο που πρέπει να ξεπεραστεί είναι το ζήτημα των διαλείψεων, το οποίο προκύπτει λόγω της ασυνεπούς διαθεσιμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και την ώρα της ημέρας. Η τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της διαλείπουσας φύσης της ηλιακής ενέργειας αποθηκεύοντας πλεονάζουσα ενέργεια για μελλοντική χρήση σε περιόδους μικρής ηλιοφάνειας. Ένα άλλο εμπόδιο είναι η αρχική δαπάνη των συστημάτων ηλιακής ενέργειας, που περιλαμβάνει την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών και συναφούς εξοπλισμού. Αν και οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι οικονομίες κλίμακας έχουν οδηγήσει σε δραματική πτώση του κόστους των ηλιακών συλλεκτών τα τελευταία χρόνια, η αρχική δαπάνη εξακολουθεί να αποτελεί εμπόδιο για πολλά άτομα και επιχειρήσεις. Η πολιτική βοήθεια, τα νομισματικά κίνητρα και οι δημιουργικές δομές χρηματοδότησης μπορούν να βοηθήσουν στην υπέρβαση αυτού του εμποδίου και να επιταχύνουν τη χρήση της ηλιακής ενέργειας (Hayat et al., 2018).

### 1.1.6 Προοπτικές & Επιπτώσεις για το Μέλλον

Το μέλλον της ηλιακής ενέργειας είναι ευόωνο, ωθούμενο από τη συνεχή τεχνική πρόοδο, την κυβερνητική υποστήριξη και την αυξανόμενη αναγνώριση της ανάγκης στροφής προς βιώσιμες πηγές ενέργειας. Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας αναμένεται να γίνουν πιο αξιόπιστα και οικονομικά αποδοτικά λόγω της προόδου στην απόδοση των ηλιακών πάνελ, την αποθήκευση ενέργειας και την ενσωμάτωση στο δίκτυο. Αυτό θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητά τους σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας σε ευφυή δίκτυα ενέργειας και συστήματα μικροδικτύων έχει την ικανότητα να βελτιώσει την ενεργειακή προσαρμοστικότητα, τη σταθερότητα και την ανθεκτικότητα. Με την ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, όπως η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, παράλληλα με την εφαρμογή μέτρων ενεργειακής απόδοσης, είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό ενεργειακό σύστημα. Αυτό το σύστημα θα είναι σε θέση να ικανοποιήσει την αυξανόμενη ανάγκη για καθαρή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια. Η εκτεταμένη χρήση της ηλιακής ενέργειας

αναμένεται επίσης να έχει ευρύτερες κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Η ηλιακή ενέργεια προάγει την ενεργειακή ανεξαρτησία, την ενεργειακή πρόσβαση και την ανάπτυξη θέσεων εργασίας στη βιομηχανία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, όπως η μόλυνση του αέρα και των υδάτων, η απώλεια οικοτόπων και η κλιματική αλλαγή, προστατεύοντας έτσι τα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη ευημερία (Kabir et al., 2018). Η ηλιακή ακτινοβολία και η ηλιακή ενέργεια είναι κρίσιμα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος του πλανήτη μας και υπόσχονται σημαντικές υποσχέσεις για την αντιμετώπιση παγκόσμιων ενεργειακών ζητημάτων με βιώσιμο και δίκαιο τρόπο. Χρησιμοποιώντας την άφθονη και βιώσιμη ενέργεια από τον ήλιο, μπορούμε να προχωρήσουμε προς ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον και εύρωστο ενεργειακό μέλλον, το οποίο θα έχει θετικά αποτελέσματα τόσο στις σημερινές όσο και στις μελλοντικές γενιές. Ωστόσο, η αξιοποίηση αυτού του δυναμικού απαιτεί συλλογικές προσπάθειες από κυβερνήσεις, εταιρείες, κοινότητες και ανθρώπους για να ξεπεραστούν τα εμπόδια και να επιταχυνθεί η στροφή προς μια κοινωνία με ηλιακή ενέργεια (Kabir et al., 2018).

## 1.2. Κύρια χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει διακυμάνσεις στην ισχύ και τη μεταβλητότητα, οι οποίες επηρεάζονται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την εποχικότητα και τη γωνία πρόσπτωσης, με αποτέλεσμα διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας και σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Το υψηλότερο επίπεδο έντασης παρατηρείται συχνά όταν ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς πάνω, γύρω στο ηλιακό μεσημέρι. Ωστόσο, ακόμη και στο υψηλότερο επίπεδο ισχύος, τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να κυμαίνονται ως αποτέλεσμα της διασποράς και της απορρόφησης του αέρα. Η αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας απαιτεί τη χρήση τεχνολογιών που μπορούν να συλλάβουν και να μετατρέψουν την κυμαινόμενη έντασή της σε χρήσιμες μορφές ενέργειας. Η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία είναι δύο κατηγορίες ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ακολουθεί μια απευθείας διαδρομή από τον ήλιο προς την επιφάνεια της Γης, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία εμφανίζεται όταν τα σωματίδια και τα σύννεφα στην ατμόσφαιρα διασκορπίζονται και αντανακλούν το φως του ήλιου (Camacho & Berenguel, 2012). Και οι δύο μορφές ακτινοβολίας συμβάλλουν στη συνολική ηλιακή ενέργεια που

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

μπορεί να αξιοποιηθεί. Για να αξιοποιηθεί σωστά η ηλιακή ενέργεια, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν συστήματα που να μπορούν να απορροφούν αποτελεσματικά τόσο την άμεση όσο και τη διάχυτη ακτινοβολία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση συσκευών παρακολούθησης και τη διασφάλιση ότι τα ηλιακά πάνελ είναι τοποθετημένα στη βέλτιστη θέση για τη βελτιστοποίηση της δέσμευσης ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος, το οποίο περιλαμβάνει ορατό φως, υπέρυθρη και υπεριώδη ακτινοβολία. Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας κυμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και επηρεάζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Διάφορες μέθοδοι ηλιακής ενέργειας έχουν σχεδιαστεί για να συλλέγουν αποτελεσματικά διάφορα τμήματα αυτού του φάσματος. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα γενικά μετατρέπουν το ορατό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ τα ηλιακά θερμικά συστήματα χρησιμοποιούν υπέρυθρη ακτινοβολία για την παραγωγή θερμότητας. Η κατανόηση της κατανομής του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητη για την επιλογή και τη βελτίωση των συστημάτων ηλιακής ενέργειας (Camacho & Berenguel, 2012).

Η γωνία με την οποία η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μια επιφάνεια, που αναφέρεται ως γωνία πρόσπτωσης, έχει ουσιαστική επίδραση στην αποτελεσματικότητα της σύλληψης της ηλιακής ενέργειας. Τα ηλιακά πάνελ έχουν βέλτιστη απόδοση όταν το εισερχόμενο ηλιακό φως χτυπά την επιφάνειά τους υπό γωνία 90 μοιρών, αυξάνοντας έτσι την απορρόφηση ενέργειας. Καθώς η γωνία πρόσπτωσης απομακρύνεται από την κάθετη, η διαθέσιμη περιοχή για τη σύλληψη ενέργειας μειώνεται, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής απόδοσης. Επιπλέον, η παραγωγή ηλιακής ενέργειας μπορεί να μειωθεί περαιτέρω από τη σκίαση που προκαλείται από τις γύρω κατασκευές όπως τα κτίρια, τα δέντρα ή τα σύννεφα. Η μεγιστοποίηση της συλλογής ενέργειας απαιτεί την ελαχιστοποίηση της σκίασης και την προσαρμογή του προσανατολισμού του πίνακα. Η διάρκεια των ωρών του φωτός της ημέρας υπόκειται σε διακυμάνσεις ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή και την εποχή του χρόνου, οδηγώντας σε αλλαγές στη διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι περιοχές που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό έχουν συχνά πιο ομοιόμορφες και παρατεταμένες περιόδους ηλιοφάνειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ οι περιοχές σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη μπορεί να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στη διάρκεια του φωτός της ημέρας μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα. Η κατανόηση αυτών των ημερήσιων τάσεων είναι

ζωτικής σημασίας για τον ακριβή προσδιορισμό των κατάλληλων διαστάσεων και δομής των συστημάτων ηλιακής ενέργειας προκειμένου να ικανοποιούνται με συνέπεια οι ενεργειακές απαιτήσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να μειώσουν τις επιπτώσεις των εποχιακών διακυμάνσεων αποθηκεύοντας πλεονάζουσα ενέργεια σε περιόδους υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας για μετέπειτα χρήση σε περιόδους χαμηλής ακτινοβολίας (Camacho & Berenguel, 2012).

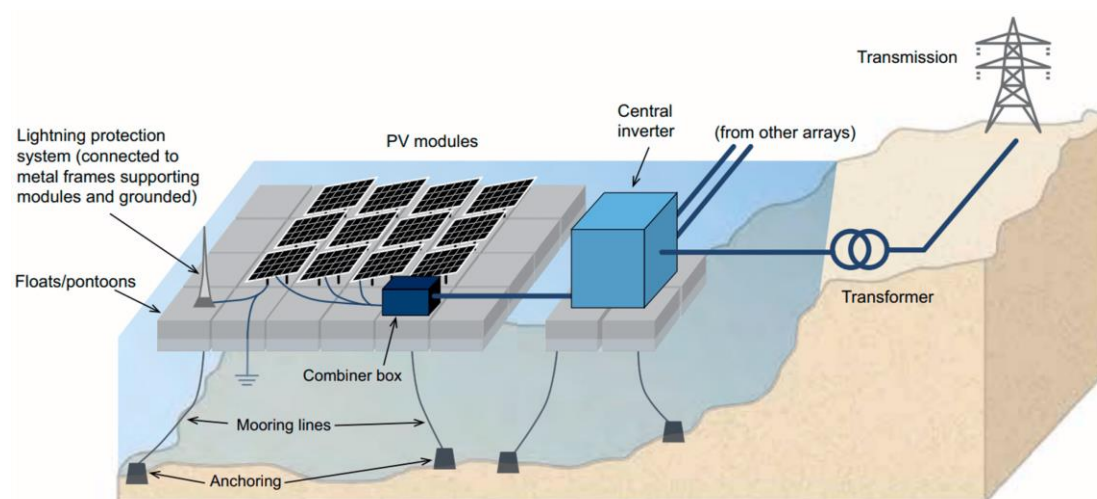
Γεωγραφικές εκτιμήσεις, όπως το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και οι τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες, επηρεάζουν την ποσότητα και το πρότυπο της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε ένα συγκεκριμένο μέρος. Οι παράκτιες τοποθεσίες μπορεί να αντιμετωπίσουν διακριτές ατμοσφαιρικές συνθήκες σε σύγκριση με τις εσωτερικές περιοχές, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας. Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να επηρεαστεί από το υψόμετρο, το οποίο καθορίζεται από τις διαφορές στο πάχος και τη διαύγεια του αέρα. Η αξιολόγηση αυτών των γεωγραφικών παραγόντων είναι απαραίτητη για την επιλογή μιας τοποθεσίας, το σχεδιασμό ενός συστήματος και τη σωστή πρόβλεψη της παραγωγής ηλιακής ενέργειας (Wang et al., 2016). Τα βασικά χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματική χρήση της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνουν τη μεταβαλλόμενη έντασή της, τη διάκριση μεταξύ άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας, τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας, τη γωνία πρόσπτωσης στην οποία προσπίπτει σε μια επιφάνεια, την παρουσία σκιάς, τη διάρκεια των ωρών της ημέρας και γεωγραφικές εκτιμήσεις. Η κατανόηση αυτών των χαρακτηριστικών και των συνεπειών τους είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία και τη διαχείριση αποδοτικών συστημάτων ηλιακής ενέργειας που μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόκτηση και την κατανάλωση ενέργειας (Wang et al., 2016).

### **1.3. Ηλιακή ενέργεια**

Η μελέτη της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει την κατανόηση των ιδιοτήτων συγκομιδής της, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική απορρόφηση και αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

### 1.3.1 Τεχνολογίες απόδοσης και μετατροπής

Η συλλογή ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει τη διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε πρακτικές μορφές ενέργειας, όπως ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα. Η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας μετατροπής εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Τα φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα μετατρέπουν απευθείας το ηλιακό φως σε ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Με τα χρόνια, υπήρξαν αξιοσημείωτες βελτιώσεις στην απόδοση αυτών των κυψελών, με τις τρέχουσες φωτοβολταϊκές μονάδες (PV) να έχουν απόδοση μετατροπής πάνω από 20%. Τα ηλιακά θερμικά συστήματα χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς για να εστιάσουν το ηλιακό φως σε έναν δέκτη, παράγοντας θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς. Οι βελτιώσεις στην αποτελεσματικότητα τόσο των φωτοβολταϊκών (PV) όσο και των ηλιακών θερμικών τεχνολογιών είναι απαραίτητες για τη βελτιστοποίηση της εξαγωγής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία (Kannan & Vakeesan, 2016).



Εικόνα 1. Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών. Πηγή: (Kannan & Vakeesan, 2016).

### 1.3.2 Γεωγραφικοί και Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

Η απόδοση της συλλογής ηλιακής ενέργειας κυμαίνεται ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στον ισημερινό βλέπουν συχνά μεγαλύτερες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας όλο το χρόνο, γεγονός που τις καθιστά πιο ευνοϊκές για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και η συγκομιδή ενέργειας μπορεί να επηρεαστούν από τοπικές μεταβλητές όπως η απόφραξη από κτίρια ή βλάστηση, η

ατμοσφαιρική ρύπανση και τα καιρικά μοτίβα. Η αξιολόγηση αυτών των γεωγραφικών και κλιματικών πτυχών είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή της καλύτερης τοποθεσίας και το σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού συστήματος για τη μεγιστοποίηση της συλλογής ηλιακής ενέργειας (Kannan & Vakeesan, 2016).

### **1.3.3 Προσανατολισμός και παρακολούθηση ηλιακού πάνελ**

Η ευθυγράμμιση και η γωνία κλίσης των ηλιακών συλλεκτών είναι κρίσιμοι παράγοντες για τη βελτιστοποίηση της δέσμευσης ενέργειας. Τα ηλιακά πάνελ είναι συχνά προσανατολισμένα προς το νότο (στο βόρειο ημισφαίριο) για να βελτιστοποιήσουν την έκθεσή τους στο ηλιακό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον, η βελτιστοποίηση της γωνίας κλίσης των ηλιακών συλλεκτών σύμφωνα με τις εποχιακές διακυμάνσεις μπορεί να βελτιώσει τη συλλογή ενέργειας σε διάφορες περιόδους κατά τη διάρκεια του έτους. Τα συστήματα παρακολούθησης, όπως οι ιχνηλάτες μονού ή διπλού άξονα, βελτιστοποιούν τη δέσμευση ενέργειας ευθυγραμμίζοντας τους ηλιακούς συλλέκτες ίσια προς τον ήλιο και ακολουθώντας την τροχιά του όλη την ημέρα. Η μεγιστοποίηση της ηλιακής ενέργειας απαιτεί τη χρήση κατάλληλων συστημάτων προσανατολισμού και παρακολούθησης του πίνακα (Hafez et al., 2018).

### **1.3.4 Αποθήκευση ενέργειας και ενσωμάτωση στο δίκτυο**

Η συλλογή ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει όχι μόνο την άμεση χρήση ενέργειας αλλά και την αποθήκευση και ενσωμάτωση αυτής της ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες ή τα θερμικά συστήματα αποθήκευσης, διατηρούν την πλεονάζουσα ηλιακή ενέργεια που παράγεται σε περιόδους έντονης ηλιοφάνειας για χρήση σε περιόδους με λιγότερο ηλιακό φως ή αυξημένη ζήτηση ενέργειας. Η ενοποίηση του δικτύου επιτρέπει τη μεταφορά της πλεονάζουσας ηλιακής ενέργειας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και πιθανώς δημιουργώντας εισόδημα μέσω τιμολογίων τροφοδοσίας ή προγραμμάτων καθαρής μέτρησης. Η αποτελεσματική αποθήκευση ενέργειας και η απρόσκοπτη αλληλεπίδραση με το ηλεκτρικό δίκτυο είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της συνέπειας των συστημάτων ηλιακής ενέργειας (Castillo & Gayme, 2014).



Οι τεχνολογικές καινοτομίες και η μείωση του κόστους στη συλλογή ηλιακής ενέργειας καθοδηγούνται από τις εξελίξεις στα υλικά, τις μεθόδους κατασκευής και το σχεδιασμό του συστήματος, με αποτέλεσμα αυξημένη απόδοση και μειωμένο κόστος. Οι εξελίξεις στον σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών (PV) κυψελών, όπως η χρήση κυψελών πολλαπλών συνδέσεων και ηλιακών κυψελών περοβσκήτη, παρέχουν αυξημένη απόδοση και μειωμένο κόστος παραγωγής. Οι εξελίξεις στην ηλιακή θερμική τεχνολογία, όπως οι βελτιωμένοι σχεδιασμοί δεκτών και πιο αποτελεσματικά ρευστά μεταφοράς θερμότητας, ενισχύουν την ικανότητα συλλογής ενέργειας και αυξάνουν την απόδοση του συστήματος. Η μείωση του συνολικού κόστους συλλογής ηλιακής ενέργειας ενισχύει τη διαθεσιμότητα και την ανταγωνιστικότητά της σε σύγκριση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας, προάγοντας έτσι μεγαλύτερη αποδοχή και εφαρμογή. Η συλλογή ηλιακής ενέργειας παρέχει πληθώρα περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών πλεονεκτημάτων, όπως μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αυτάρκεια σε ενέργεια και ανάπτυξη ευκαιριών απασχόλησης. Η ηλιακή ενέργεια συμβάλλει στη μείωση της κλιματικής αλλαγής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αντικαθιστώντας την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Αυτό οδηγεί σε βελτιώσεις στη δημόσια υγεία και στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Επιπλέον, η κατανομή των συστημάτων ηλιακής ενέργειας επιτρέπει στις κοινότητες να έχουν περισσότερο έλεγχο, δημιουργεί τοπικές προοπτικές απασχόλησης και ενισχύει την ενεργειακή ανθεκτικότητα. Είναι ζωτικής σημασίας να χρησιμοποιηθούν αυτά τα πλεονεκτήματα στο περιβάλλον και την οικονομία για να ενθαρρύνουμε την ευρεία χρήση της συλλογής ηλιακής ενέργειας και να προχωρήσουμε προς ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον (Castillo & Gayme, 2014).

Η ανάλυση της συλλογής ηλιακής ενέργειας απαιτεί την εξέταση πολλών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένης της απόδοσης, των γεωγραφικών και περιβαλλοντικών συνθηκών, του προσανατολισμού και της παρακολούθησης των πάνελ, της αποθήκευσης ενέργειας και της ολοκλήρωσης στο δίκτυο, των τεχνολογικών προόδων και των κοινωνικοοικονομικών συνεπειών. Κατανόηση και ενίσχυση αυτών των μεταβλητών είναι ζωτικής σημασίας για την αύξηση της αποδοτικότητας και της επεκτασιμότητας των συστημάτων συλλογής ηλιακής ενέργειας και για την επίτευξη του συνόλου των δυνατοτήτων της ηλιακής ενέργειας ως φιλικής προς το περιβάλλον, ανανεώσιμης και διαρκούς πηγής ενέργειας (Castillo & Gayme, 2014).

#### 1.4 Τρόποι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας σε κτήρια

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια προσφέρει πολλά οφέλη, όπως μειωμένο κόστος για την κατανάλωση ενέργειας, μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον και ενισχυμένη ενεργειακή αντοχή.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) είναι συστήματα που δημιουργούν ενέργεια μετατρέποντας το ηλιακό φως σε ηλεκτρική μέσω της χρήσης ηλιακών συλλεκτών. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων σε στέγες ή προσόψεις κτιρίων είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη συλλογή ηλιακής ενέργειας σε κατασκευές. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, συχνά γνωστά ως Φ/Β πάνελ, μπορούν να μετατρέψουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια σε μια στιγμή. Αυτή η ενέργεια μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία μιας ποικιλίας συσκευών και συσκευών μέσα σε ένα κτίριο, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει την επιστροφή της πλεονάζουσας ισχύος στο δίκτυο με αντάλλαγμα την πίστωση ή την αποθήκευση σε μπαταρίες για χρήση αργότερα. Επιπλέον, οι εξελίξεις στην τεχνολογία ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών κτιρίων (BIPV) επέτρεψαν τα φωτοβολταϊκά πάνελ να λειτουργούν ως αρχιτεκτονικά στοιχεία, όπως υλικά στέγης ή συσκευές σκίασης. Αυτό επιτρέπει την ομαλή ενσωμάτωση της συλλογής ηλιακής ενέργειας στο σχεδιασμό του κτιρίου. Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται από τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού για τη συλλογή ηλιακού φωτός και ζεστού νερού για εφαρμογή σε ποικίλα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένης της παροχής ζεστού νερού για οικιακή χρήση, της θέρμανσης δωματίων και της θέρμανσης των πισινών. Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν συχνά αναπόσπαστα στοιχεία αυτών των συστημάτων και συνήθως εγκαθίστανται σε στέγες ή άλλες κατάλληλες τοποθεσίες. Υπάρχει σύνδεση μεταξύ αυτών των συλλεκτών και μιας δεξαμενής αποθήκευσης που περιέχει ζεστό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί όποτε είναι απαραίτητο. Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού παρέχουν μια εναλλακτική λύση σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες θέρμανσης νερού που είναι τόσο οικονομικά όσο και οικολογικά επωφελής. Κατά συνέπεια, τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού έχουν ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της ποσότητας ενέργειας που χρησιμοποιείται. Λόγω αυτού, είναι μια εξαιρετική επιλογή για εγκαταστάσεις που χρειάζονται σημαντική ποσότητα ζεστού νερού (Eshraghi et al., 2014).

Η αύξηση της ποσότητας του φυσικού φωτός και της θερμικής άνεσης στα κτίρια μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης ιδεών παθητικού ηλιακού σχεδιασμού, οι οποίες εκμεταλλεύονται τη φυσική κίνηση του ήλιου. Είναι δυνατό να μεγιστοποιήσετε αποτελεσματικά τα ηλιακά κέρδη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ ταυτόχρονα να ελαχιστοποιήσετε το κέρδος θερμότητας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού χρησιμοποιώντας στρατηγικές όπως η βελτιστοποίηση του προσανατολισμού του κτιρίου, η στρατηγική διάταξη των παραθύρων, η χρήση συσκευών σκίασης, η προσθήκη θερμικής μάζας και η ενθάρρυνση της φυσικής κυκλοφορίας. Ενσωματώνοντας έννοιες παθητικού ηλιακού σχεδιασμού στην αρχιτεκτονική δομή των κτιρίων, οι άνθρωποι έχουν τη δυνατότητα να αποκομίσουν τα οφέλη της μειωμένης χρήσης ενέργειας για τους σκοπούς του φωτισμού, της θέρμανσης και της ψύξης. Λόγω αυτού, η εσωτερική άνεση και η ενεργειακή απόδοση βελτιώνονται και όλα αυτά επιτυγχάνονται χωρίς τη χρήση ενεργητικής ηλιακής τεχνολογίας.

Προκειμένου να φωτιστούν οι εσωτερικοί χώροι, ο σχεδιασμός του ημερήσιου φωτισμού χρησιμοποιεί τη δύναμη του φυσικού ηλιακού φωτός, μειώνοντας επομένως την ποσότητα τεχνητού φωτισμού που απαιτείται κατά τις ώρες της ημέρας. Η αύξηση της ποσότητας φυσικού φωτός που εισέρχεται σε ένα δωμάτιο, περιορίζοντας ταυτόχρονα τις αρνητικές επιπτώσεις της αντανάκλασης και της ηλιακής θερμότητας, μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης σχεδιαστικών προσεγγίσεων, όπως η ενσωμάτωση φαρδιών παραθύρων, φεγγιτών, ραφιών φωτός και επιφανειών που αντανακλούν το φως. Ο ημερήσιος φωτισμός όχι μόνο βελτιώνει την οπτική άνεση των επιβατών αλλά αυξάνει και την παραγωγικότητά τους. Επιπλέον, μειώνει την ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιείται και το λειτουργικό κόστος που σχετίζεται με τον τεχνητό φωτισμό. Μέσω της χρήσης της άφθονης και χωρίς κόστος παροχής ηλιακής ενέργειας, οι αρχές του ημερήσιου φωτισμού μπορούν να ενσωματωθούν στο σχεδιασμό του κτιρίου για τη βελτίωση τόσο της βιωσιμότητας του κτιρίου όσο και της ευημερίας των ενοίκων του (Eshraghi et al., 2014).

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα ψύξης είναι σε θέση να συλλέγουν ηλιακή ενέργεια και να τη χρησιμοποιούν για την τροφοδοσία των διαδικασιών απορρόφησης ή ψύξης με ξηραντικό. Αυτό επιτρέπει την ψύξη των δωματίων και την απομάκρυνση της υγρασίας χωρίς την ανάγκη ψύξης συμπίεσης υψηλής έντασης ηλεκτρισμού. Αυτά τα συστήματα

χρησιμοποιούν ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή θερμότητας, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία της διαδικασίας ψύξης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε απορροφώντας τους ατμούς του ψυκτικού είτε ανανεώνοντας τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ξηραντικό. Τα ηλιακά συστήματα θερμικής ψύξης είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τοποθεσίες που έχουν θερμοκρασίες ζεστές και ηλιόλουστες, όπου υπάρχει σημαντική ανάγκη για ψύξη και όπου υπάρχει άφθονη ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Είναι δυνατό τα κτίρια να μειώσουν την εξάρτησή σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου και τις εκπομπές άνθρακα που συνδέονται με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, εάν χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια ειδικά για σκοπούς ψύξης. Είναι πιθανό ότι η ενσωμάτωση αυτών των πολλών προσεγγίσεων δέσμευσης ηλιακής ενέργειας στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των κτιρίων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση, τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το μέγεθος της ζημίας που προκαλείται στο περιβάλλον και το κόστος λειτουργίας της κατασκευής. Είτε μέσω ενεργών τεχνολογιών, όπως τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα και η ηλιακή θέρμανση νερού, είτε μέσω στρατηγικών παθητικού σχεδιασμού, όπως ο φυσικός φωτισμός και ο παθητικός ηλιακός σχεδιασμός, η ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια υπόσχεται σημαντική για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και τη μείωση του ποσοστού κλιματική αλλαγή. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια προσφέρει πολλά οφέλη, όπως μειωμένο κόστος για την κατανάλωση ενέργειας, μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον και ενισχυμένη ενεργειακή αντοχή (Mekhilef et al., 2011).

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτελεσματική ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια, και καθεμία από αυτές τις προσεγγίσεις θα συζητηθεί σε ξεχωριστές παραγράφους:

### **1. Φωτοβολταϊκά (ΦΒ) Συστήματα**

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων σε στέγες ή προσόψεις είναι μια κοινή προσέγγιση με την οποία τα κτίρια μπορούν να συλλάβουν τη δύναμη του ήλιου. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, συχνά γνωστά ως Φ/Β πάνελ, μπορούν να μετατρέψουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια σε μια στιγμή. Αυτή η ενέργεια μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία μιας ποικιλίας συσκευών και συσκευών μέσα σε ένα κτίριο, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Τα

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει την επιστροφή της πλεονάζουσας ισχύος στο δίκτυο με αντάλλαγμα την πίστωση ή την αποθήκευση σε μπαταρίες για χρήση αργότερα. Επιπλέον, η ανάπτυξη της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών ολοκληρωμένων κτιρίων (BIPV) κατέστησε δυνατή τη χρήση φωτοβολταϊκών πλασιών ως αρχιτεκτονικά στοιχεία, όπως υλικά στέγης ή συσκευές σκίασης. Αυτό επιτρέπει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση της συλλογής ηλιακής ενέργειας στο σχεδιασμό του κτιρίου (Mekhilef et al., 2011).

## 2. Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Νερού Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού συγκεντρώνουν το ηλιακό φως και το ζεστό νερό μέσω της χρήσης ηλιακών θερμικών συλλεκτών. Αυτά τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της παροχής ζεστού νερού στα σπίτια, της θέρμανσης χώρων και της θέρμανσης των πισινών. Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν συχνά συστατικό αυτών των συστημάτων και συνήθως τοποθετούνται σε στέγες ή άλλες κατάλληλες τοποθεσίες. Υπάρχει σύνδεση μεταξύ αυτών των συλλεκτών και μιας δεξαμενής αποθήκευσης που περιέχει ζεστό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί όποτε απαιτείται. Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού παρέχουν μια εναλλακτική λύση σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες θέρμανσης νερού που είναι τόσο οικονομικά όσο και οικολογικά επωφελής. Κατά συνέπεια, τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού έχουν ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση της ποσότητας ενέργειας που χρησιμοποιείται. Εξαιτίας αυτού, είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για κατασκευαστικές εφαρμογές που χρειάζονται σημαντική ποσότητα ζεστού νερού. Χρησιμοποιώντας τη φυσική κίνηση του ήλιου, ο παθητικός ηλιακός σχεδιασμός είναι σε θέση να βελτιώσει την ποσότητα του φωτισμού της ημέρας και της θερμικής άνεσης που παρέχουν τα κτίρια. Υπάρχει μια σειρά από στρατηγικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτελεσματική μεγιστοποίηση των ηλιακών κερδών κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν το κέρδος θερμότητας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν τη βελτίωση του προσανατολισμού του κτιρίου, τη στρατηγική τοποθέτηση των παραθύρων, τη χρήση συσκευών σκίασης, την προσθήκη θερμικής μάζας και την ενθάρρυνση του φυσικού αερισμού. Είναι δυνατό για τους ανθρώπους

να απολαμβάνουν μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό, όταν οι έννοιες του παθητικού ηλιακού σχεδιασμού περιλαμβάνονται στην αρχιτεκτονική δομή των κτιρίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη άνεση μέσα στο κτίριο καθώς και αυξημένη ενεργειακή απόδοση, όλα αυτά χωρίς την ανάγκη ενεργητικής εξάρτησης από την ηλιακή τεχνολογία (Mekhilef et al., 2011).

Ο ημερήσιος φωτισμός είναι η χρήση φυσικού φωτός για να φωτίζει τους εσωτερικούς χώρους όλη την ημέρα. Ο ημερήσιος φωτισμός είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά. Η χρήση σχεδίασης φωτισμού ημέρας επιτρέπει τη χρήση φυσικού ηλιακού φωτός για να φωτίζει εσωτερικούς χώρους, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για τεχνητό φωτισμό κατά τις ώρες της ημέρας. Προκειμένου να αυξηθεί η ποσότητα του φυσικού φωτός που εισέρχεται σε ένα δωμάτιο, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιούνται οι αρνητικές επιπτώσεις της αντανάκλασης και της υπερβολικής θερμότητας από τον ήλιο, χρησιμοποιούνται σχεδιαστικές προσεγγίσεις όπως η ενσωμάτωση φαρδιά παραθύρων, φεγγίτες, ράφια φωτός και επιφάνειες που αντανακλούν το φως. . Ο ημερήσιος φωτισμός βελτιώνει τόσο την οπτική άνεση των επιβατών όσο και την παραγωγικότητά τους, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται και τις λειτουργικές δαπάνες που σχετίζονται με την εργασία με τεχνητό φωτισμό. Η χρήση της άφθονης και χωρίς κόστος παροχής ηλιακής ενέργειας καθίσταται δυνατή με την ενσωμάτωση των αρχών του φυσικού φωτισμού στο σχεδιασμό του κτιρίου, η οποία ενισχύει τόσο τη βιωσιμότητα του (Mekhilef et al., 2011).

## **1.5 Φωτοβολταϊκά συστήματα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) είναι απαραίτητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συλλαμβάνοντας την ηλιακή ενέργεια και μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Παρακάτω ακολουθεί μια λεπτομερής εξέταση των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων και του ρόλου τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

### **1.5.1 Τεχνολογία και εξαρτήματα φωτοβολταϊκών**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) έχουν πολλά βασικά στοιχεία, όπως ηλιακά πάνελ (αποτελούμενα από φωτοβολταϊκά στοιχεία), πλαίσια στήριξης, μετατροπείς και ηλεκτρικές συνδέσεις. Τα φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα, που συχνά αποτελούνται από

υλικά ημιαγωγών όπως το πυρίτιο, συλλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν ένα ρεύμα ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα συνεχές ρεύμα (DC) ηλεκτρική έξοδο. Τα ηλιακά πάνελ δημιουργούνται συνδέοντας πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία μεταξύ τους και αυτά τα πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν σε στέγες, επίγειες κατασκευές ή να ενσωματωθούν σε προσόψεις κτιρίων. Οι μετατροπείς χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ισχύος συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ σε ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) που είναι συμβατή με κτίρια ή μπορεί να αποσταλεί στο ηλεκτρικό δίκτυο (Azzopardi et al., 2011).



Εικόνα 2. Πάρκο φωτοβολταϊκών. Πηγή: (Azzopardi et al., 2011).

### 1.5.2 Συγκομιδή και Αποδοτικότητα Ηλιακής Ενέργειας

Τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα εξάγουν την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντας το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας μετατροπής βασίζεται σε πολλά στοιχεία, όπως το διαμέτρημα των φωτοβολταϊκών κυψελών, η ένταση του ηλιακού φωτός, η θερμοκρασία, η σκιά και ο σχεδιασμός του συστήματος. Τα σύγχρονα φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ μπορεί να έχουν απόδοση μετατροπής που κυμαίνονται από περίπου 15% έως 20%, αν και ορισμένα πάνελ υψηλής απόδοσης μπορούν να ξεπεράσουν το όριο του 20%. Ωστόσο, η παρουσία δέντρων ή γειτονικών κατασκευών μπορεί να μειώσει σημαντικά τη δέσμευση

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

ενέργειας και τη συνολική αποτελεσματικότητα του συστήματος. Για να επιτευχθεί η μέγιστη ενεργειακή συγκομιδή, είναι απαραίτητο να επιλέξετε προσεκτικά τη θέση, διασφαλίζοντας ότι τα πάνελ είναι βέλτιστα προσανατολισμένα και να τα συντηρείτε τακτικά για να διατηρούνται καθαρά και απαλλαγμένα από εμπόδια (Azzopardi et al., 2011).

### **1.5.3 Συστήματα συνδεδεμένα και εκτός δικτύου**

Τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα μπορεί να είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο, πράγμα που σημαίνει ότι συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό επιτρέπει την εξαγωγή οποιασδήποτε πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται κατά τις ηλιόλουστες ώρες στο δίκτυο, όπου μπορεί να πιστωθεί ή να αποζημιωθεί. Τα συνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) συχνά έχουν συμφωνίες net metering, οι οποίες διασφαλίζουν ότι η ποσότητα ισχύος που χρησιμοποιείται και εξάγεται στο δίκτυο εξισώνεται. Αυτό οδηγεί σε μειωμένα έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας για τον ιδιοκτήτη του συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός δικτύου, αντίθετα, λειτουργούν ανεξάρτητα από το δίκτυο και εξαρτώνται από μπαταρίες ή άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας για χρήση σε περιόδους μικρής ηλιοφάνειας. Οι λύσεις εκτός δικτύου χρησιμοποιούνται συχνά σε απομακρυσμένες περιοχές ή μέρη με ασταθή υποδομή δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (Azzopardi et al., 2011).

### **1.5.4 Παραγωγή ενέργειας και απόδοση ενέργειας**

Η παραγωγή ενέργειας των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων επηρεάζεται από μεταβλητές όπως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η χωρητικότητα του συστήματος, η απόδοση και η γεωγραφική θέση. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κυμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και αλλάζει με τις εποχές, γεγονός που επηρεάζει την ποσότητα ενέργειας που μπορούν να παράγουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) σε καθημερινή και ετήσια βάση. Τοποθεσίες που χαρακτηρίζονται από υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, όπως οι έρημοι ή οι τροπικές περιοχές, συχνά επιτυγχάνουν υψηλότερη παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) σε σύγκριση με τοποθεσίες με χαμηλότερα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας. Η χωρητικότητα του συστήματος, μετρημένη σε κιλοβάτ αιχμής (kWp), υποδεικνύει την υψηλότερη ισχύ εξόδου που μπορεί να επιτευχθεί υπό κανονικές συνθήκες δοκιμής και



επηρεάζει άμεσα τη συνολική ικανότητα παραγωγής ενέργειας του συστήματος (Meral & Dinçer, 2011).

### **1.5.5 Περιβαλλοντικός αντίκτυπος και αειφορία**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) έχουν πολλά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, όπως μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ατμοσφαιρική ρύπανση και χρήση νερού σε σύγκριση με την παραγωγή ενέργειας με βάση ορυκτά καύσιμα. Αν και η παραγωγή φωτοβολταϊκών πάνελ απαιτεί ενέργεια και πόρους, το αποτύπωμα άνθρακα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι αρκετά μικρό σε σύγκριση με τη διάρκεια ζωής τους. Με την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων ανακύκλωσης στο τέλος του κύκλου ζωής τους και συνειδητής απόρριψης, τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν σημαντικά σε μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον στροφή προς την ενέργεια χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Επιπλέον, η χρήση φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων σε κτίρια μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από την κεντρική παραγωγή ενέργειας και να βελτιώσει την ενεργειακή ανθεκτικότητα, ειδικά σε περιπτώσεις αστοχιών ή κρίσεων του δικτύου (Meral & Dinçer, 2011).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι απαραίτητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια, βοηθώντας επομένως στην υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η απόκτηση συνολικής κατανόησης των πολλών στοιχείων, της λειτουργίας, της αποτελεσματικότητας και των οικολογικών συνεπειών των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων τους και την απρόσκοπτη ενσωμάτωσή τους στην ενεργειακή υποδομή (Meral & Dinçer, 2011). Με τις συνεχείς τεχνικές καινοτομίες, τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα γίνονται πιο αποτελεσματικά και οικονομικά. Αυτό προοιωνίζεται για την ευρεία υιοθέτησή τους η οποία έχει τη δυνατότητα να συμβάλει σημαντικά σε ένα καθαρότερο και πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

### **1.6. Αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων**

Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών (PV) εξαρτημάτων βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο είναι η εμφάνιση ορισμένων υλικών που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν εκτίθενται στην ηλιοφάνεια. Το φαινόμενο χρησιμεύει ως το θεμέλιο της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, επιτρέποντας τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

### **1.6.1 Ιδιότητες ημιαγωγών και διέγερση του διακενού ζώνης**

Τα φωτοβολταϊκά (PV) εξαρτήματα κατασκευάζονται συχνά χρησιμοποιώντας υλικά ημιαγωγών όπως το πυρίτιο, τα οποία έχουν διακριτικές ηλεκτρονικές ιδιότητες που διευκολύνουν την εμφάνιση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Όταν τα φωτόνια από το ηλιακό φως χτυπήσουν ένα υλικό ημιαγωγών, μεταδίδουν ενέργεια στα ηλεκτρόνια της ουσίας, αναγκάζοντάς τα να μετακινηθούν από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Με τη διέγερση του υλικού, δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, με τα ηλεκτρόνια να απελευθερώνονται από τους ατομικούς τους δεσμούς και να μπορούν να ρέουν απεριόριστα μέσα στην ουσία, με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (Parida et al., 2011).

### **1.6.2 Παραγωγή και απομόνωση ηλεκτρικών φορτίων**

Μετά τη δημιουργία ζευγών ηλεκτρονίων-οπών στο υλικό ημιαγωγών, υποβάλλονται σε διαδικασία διαχωρισμού των φορτίων. Τα ηλεκτρόνια, με αρνητικό φορτίο, βιώνουν απώθηση από άλλα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και μεταναστεύουν προς την επιφάνεια της ουσίας. Ταυτόχρονα, οπές με θετικό φορτίο, που δημιουργούνται όταν υπάρχει έλλειψη ηλεκτρονίων στη ζώνη σθένους, κινούνται προς το εσωτερικό μέρος του υλικού. Η παρουσία φορέων φορτίου σε διαφορετικές περιοχές του ημιαγωγού οδηγεί στο σχηματισμό ηλεκτρικού πεδίου, με αποτέλεσμα τη διαφορά τάσης μεταξύ της επιφάνειας και του εσωτερικού του υλικού (Parida et al., 2011).

### **1.6.3 Συλλογή και ροή ρεύματος**

Η κίνηση των φορέων φορτίου μέσα στο υλικό ημιαγωγών καθοδηγείται από το ηλεκτρικό πεδίο, αναγκάζοντάς τους να μεταναστεύσουν προς ηλεκτρόδια που βρίσκονται σε αντίθετα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Τα ηλεκτρόδια, που συνήθως αποτελούνται από μέταλλο, λειτουργούν ως ηλεκτρικές επαφές για να δημιουργήσουν μια σύνδεση μεταξύ του φωτοβολταϊκού στοιχείου και ενός εξωτερικού κυκλώματος. Τα ηλεκτρόνια και οι οπές συγκεντρώνονται στα ηλεκτρόδια και στη συνέχεια περνούν μέσα από το εξωτερικό κύκλωμα, παράγοντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς. Η ροή ρεύματος που παράγεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι η έξοδος και σημαίνει τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Parida et al., 2011).

#### 1.6.4 Εσωτερικές διαδικασίες και ζητήματα απόδοσης

Διάφοροι εσωτερικοί μηχανισμοί έχουν αντίκτυπο στην απόδοση των φωτοβολταϊκών (PV) εξαρτημάτων και στη συνολική διαδικασία μετατροπής ενέργειας. Ο ρυθμός σχηματισμού, διαχωρισμού και συλλογής φορέα φορτίου επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ενέργεια διάκενου ζώνης του υλικού, ο ανασυνδυασμός επιφάνειας και η διάρκεια ζωής του μειοψηφικού φορέα. Επιπλέον, η βελτιστοποίηση της απόδοσης και η μεγιστοποίηση της συλλογής ενέργειας στα φωτοβολταϊκά εξαρτήματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις πτυχές του σχεδιασμού και της κατασκευής, όπως το πάχος του στρώματος ημιαγωγού, η συγκέντρωση ντόπινγκ και η υφή της επιφάνειας. Οι εξελίξεις στην έρευνα υλικών, τη μηχανική συσκευών και τις διαδικασίες κατασκευής βελτιώνουν συνεχώς την απόδοση και την αξιοπιστία των φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί στην πρόοδο στην τεχνολογία ηλιακής ενέργειας (Parida et al., 2011).

Η χρήση φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων έχει σημαντικές περιβαλλοντικές και οικονομικές συνέπειες, διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στην επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στον μετριασμό των εκπομπών άνθρακα και στην επίτευξη ενεργειακής αυτάρκειας. Μέσω της χρήσης ηλιακής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά (PV) εξαρτήματα παρέχουν μια ανανεώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή για την παραγωγή ενέργειας, μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Επιπλέον, η εκτεταμένη εφαρμογή της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών έχει οικονομικές προοπτικές όπως η δημιουργία θέσεων εργασίας, οι τοπικές οικονομικές επενδύσεις και η μείωση του ενεργειακού κόστους για τους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις. Με τη συνεχή πρόοδο και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση, συμβάλλοντας σε ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό ενεργειακό μέλλον.

#### 1.7 Δομή φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η λειτουργικότητα των φωτοβολταϊκών (PV) κυψελών στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική εξαρτάται από τη δομή αυτών των στοιχείων. Τα φωτοβολταϊκά (PV) κύτταρα, που συνήθως αναφέρονται ως ηλιακά κύτταρα, χρησιμεύουν ως τα θεμελιώδη στοιχεία των φωτοβολταϊκών πάνελ και συστοιχιών. Ο σχεδιασμός αυτών

των κυψελών έχει άμεσο αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα, την ανθεκτικότητα και την οικονομική τους απόδοση. Παρακάτω ακολουθεί μια λεπτομερής εξέταση της σύνθεσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων:

- 1. Επιλογή Υλικού Ημιαγωγού:** Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται συχνά από υλικά ημιαγωγών, με το πυρίτιο να είναι η προτιμώμενη επιλογή λόγω της διαθεσιμότητας, της σταθερότητας και των κατάλληλων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του. Υπάρχουν δύο κύριες ταξινομήσεις για τα φωτοβολταϊκά κύτταρα πυριτίου: μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά. Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα παράγονται χρησιμοποιώντας ένα μοναχικό κρύσταλλο πυριτίου, το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και συνέπεια. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία παραγωγής συνεπάγεται υψηλότερο κόστος. Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες παράγονται με συνδυασμό πολλών κρυστάλλων πυριτίου, με αποτέλεσμα χαμηλότερο επίπεδο απόδοσης αλλά πιο οικονομική τιμολόγηση. Η επιλογή του υλικού ημιαγωγών επηρεάζει σημαντικά την απόδοση και την οικονομική απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (Hernández-Callejo et al., 2019).
- 2. Δομή και λειτουργικότητα του στρώματος:** Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (ΦΒ) αποτελείται από πολλά στρώματα, το καθένα με τον δικό του εξειδικευμένο ρόλο στη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ενέργεια. Το ανώτερο στρώμα αποτελείται από μια διαυγή και αντανάκλαστική επίστρωση που έχει σχεδιαστεί ειδικά για να διευκολύνει τη μεγαλύτερη μετάδοση του ηλιακού φωτός μειώνοντας ταυτόχρονα κάθε ανάκλαση. Κάτω από το εξωτερικό στρώμα βρίσκεται το στρώμα απορρόφησης ημιαγωγών, το οποίο απορροφά το ηλιακό φως και παράγει ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το στρώμα απορρόφησης συχνά ντοπάρεται για να εισάγει ακαθαρσίες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία περιοχών με περίσσεια ηλεκτρονίων (n-type) και οπών (p-type). Αυτές οι περιοχές είναι ζωτικής σημασίας για τον διαχωρισμό και την είσπραξη των τελών (Hernández-Callejo et al., 2019).

- 3. Ο σχηματισμός συνδέσεων p-n:** Ο σχηματισμός συνδέσεων p-n είναι ζωτικής σημασίας στα φωτοβολταϊκά στοιχεία, καθώς επιτρέπει τον αποτελεσματικό

διαχωρισμό των φορέων φορτίου που παράγονται όταν απορροφάται το ηλιακό φως. Αυτές οι διασταυρώσεις δημιουργούνται στο όριο μεταξύ των στρωμάτων ημιαγωγών τύπου  $n$  και τύπου  $p$ . Όταν το ηλιακό φως χτυπά το στρώμα απορρόφησης, διεγείρει τα ηλεκτρόνια να μετακινηθούν από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ζευγών ηλεκτρονίων-οπών. Το εγγενές ηλεκτρικό πεδίο στη διασταύρωση προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων προς το στρώμα τύπου  $n$  και των οπών προς το στρώμα τύπου  $p$ , με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός δυναμικού τάσης σε όλη την κυψέλη. Ο χωρικός διαχωρισμός των φορέων φορτίου επιτρέπει την κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος όταν είναι συνδεδεμένο ένα εξωτερικό κύκλωμα (Hernández-Callejo et al., 2019).

- 4. Ηλεκτρικές επαφές και ολοκλήρωση κυκλώματος:** Προκειμένου να λαμβάνεται ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά στοιχεία (ΦΒ), οι μεταλλικές επαφές τοποθετούνται προσεκτικά τόσο στο ανώτερο όσο και στο κάτω στρώμα της κυψέλης για να βοηθήσουν τη συγκέντρωση και την κίνηση των φορέων φορτίου. Οι μεταλλικές επαφές λειτουργούν ως ηλεκτρικοί ακροδέκτες, επιτρέποντας τη σύνδεση της φωτοβολταϊκής κυψέλης με ένα εξωτερικό κύκλωμα, όπως ένα φορτίο ή μια μπαταρία. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει την παραγόμενη ισχύ να χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς. Επιπλέον, οι φωτοβολταϊκές κυψέλες μπορούν να συζευχθούν είτε σε σειρά είτε σε παράλληλες διαμορφώσεις για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών μονάδων ή πάνελ. Αυτές οι μονάδες μπορούν στη συνέχεια να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν μεγαλύτερες συστοιχίες που έχουν σχεδιαστεί για να ικανοποιούν συγκεκριμένες ανάγκες ισχύος (Hernández-Callejo et al., 2019).
- 5. Ενθυλάκωση και προστασία:** Προκειμένου να διασφαλιστεί η μακροχρόνια απόδοση των φωτοβολταϊκών κυψελών, περικλείονται σε στρώματα προστασίας, που συνήθως αποτελούνται από υλικά όπως σκληρυμένο γυαλί, πολυμερή και οπίσθια φύλλα. Τα υλικά ενθυλάκωσης παρέχουν προστασία στα στρώματα ημιαγωγών από περιβαλλοντικά στοιχεία, όπως υγρασία, σκόνη, αλλαγές θερμοκρασίας και μηχανική καταπόνηση. Αυτό βοηθά στη διατήρηση της απόδοσης και της αξιοπιστίας της κυψέλης για μια χρονική περίοδο. Η διασφάλιση της κατάλληλης ενθυλάκωσης και προστασίας είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της απόδοσης και της μακροζωίας των

φωτοβολταϊκών (PV) κυψελών, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται έξω και εκτίθενται σε αντίξοες καιρικές συνθήκες (Hernández-Callejo et al., 2019).

Ουσιαστικά, η σύνθεση των ηλιακών κυψελών περιλαμβάνει την προσεκτική επιλογή υλικών ημιαγωγών, τη διάταξη και τον σκοπό των διαφορετικών στρωμάτων, τη δημιουργία κόμβων, τη δημιουργία ηλεκτρικών συνδέσεων και ολοκλήρωσης κυκλώματος και την εφαρμογή μέτρων ενθυσιάκωσης και προστασίας. Κάθε μεμονωμένο εξάρτημα έχει μια ζωτική λειτουργία για να επιτρέψει τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια και να εγγυάται τη μακροχρόνια και αξιόπιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε διαφορετικές χρήσεις. Η απόκτηση γνώσεων σχετικά με τη σύνθεση και τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών κυψελών είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας, της αποδοτικότητας και της οικονομικής αποδοτικότητάς τους κατά τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για βιώσιμη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### **1.8 Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας, φωτοβολταϊκών και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών σε συνδυασμό μεταξύ τους**

Μία από τις πιο σημαντικές συνδέσεις που πρέπει να γίνουν προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απόδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η αλληλεπίδραση που συμβαίνει μεταξύ της ηλιακής ενέργειας, των φωτοβολταϊκών (PV) και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Μέσω της χρήσης τεχνολογιών όπως τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα οποία μετατρέπουν απευθείας το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια είναι σε θέση να μεγιστοποιήσει τη χρήση της ηλιακής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) είναι πολύ σημαντικά για αυτή τη διαδικασία, καθώς η απόδοση αυτών των συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που υπάρχει και την ένταση αυτής της ακτινοβολίας. Όταν πρόκειται για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της παραγωγής συστημάτων ηλιακής ενέργειας, η κατανόηση αυτών των στοιχείων είναι θεμελιώδης. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) παρέχουν ισχυρά εργαλεία για την ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για τον στρατηγικό σχεδιασμό και την εκτέλεση έργων ηλιακής ενέργειας. Το GIS παρέχει επίσης τη δυνατότητα ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) καθιστά δυνατή την αξιολόγηση ορισμένων γεωγραφικών και περιβαλλοντικών στοιχείων που έχουν αντίκτυπο στο δυναμικό της ηλιακής ενέργειας.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν το έδαφος, τη χρήση γης, τα κλιματικά πρότυπα και την εγγύτητα στις υποδομές. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) διευκολύνει την ενσωμάτωση διαφορετικών συνόλων δεδομένων για τον εντοπισμό των τοποθεσιών που είναι πιο κατάλληλες για φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα και παρέχει βοήθεια στον στρατηγικό ενεργειακό σχεδιασμό. Η ηλιακή ενέργεια, τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα και τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) συνδυάζονται για να μεγιστοποιήσουν τον ενεργειακό σχεδιασμό, την επιλογή τοποθεσίας και τη βιωσιμότητα. Αυτή η σύγκλιση διασφαλίζει ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται με τον πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό δυνατό τρόπο (Tawalbeh et al., 2021).

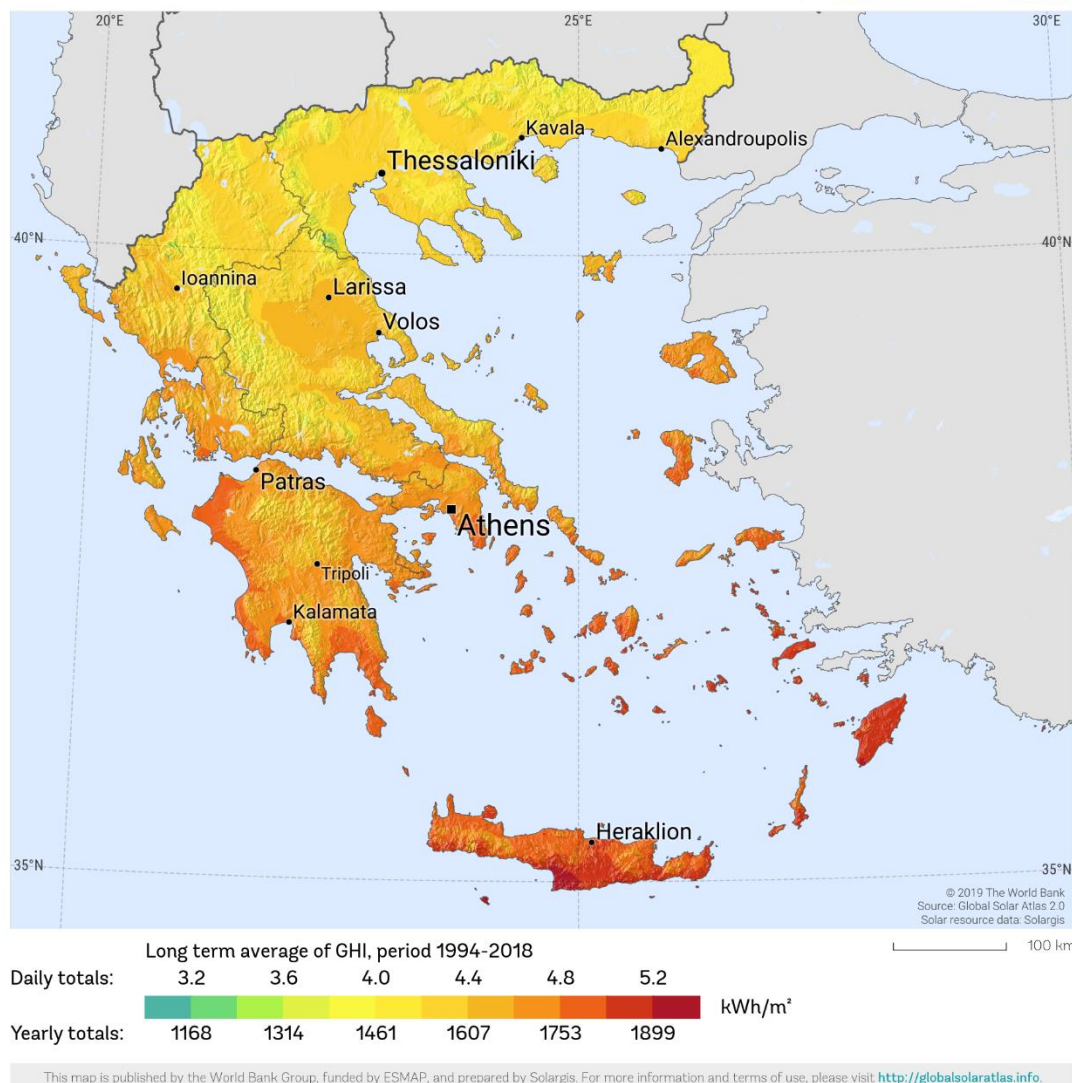
SOLAR RESOURCE MAP

**GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION****GREECE**

WORLD BANK GROUP

ESMAP

SOLARGIS



Εικόνα 3. Χάρτης της Ελλάδος σχετικά με την ηλιοφάνεια ανά τετραγωνικό. Πηγή: (Tawalbeh et al., 2021).

## Κεφάλαιο 2

### 2.1. Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

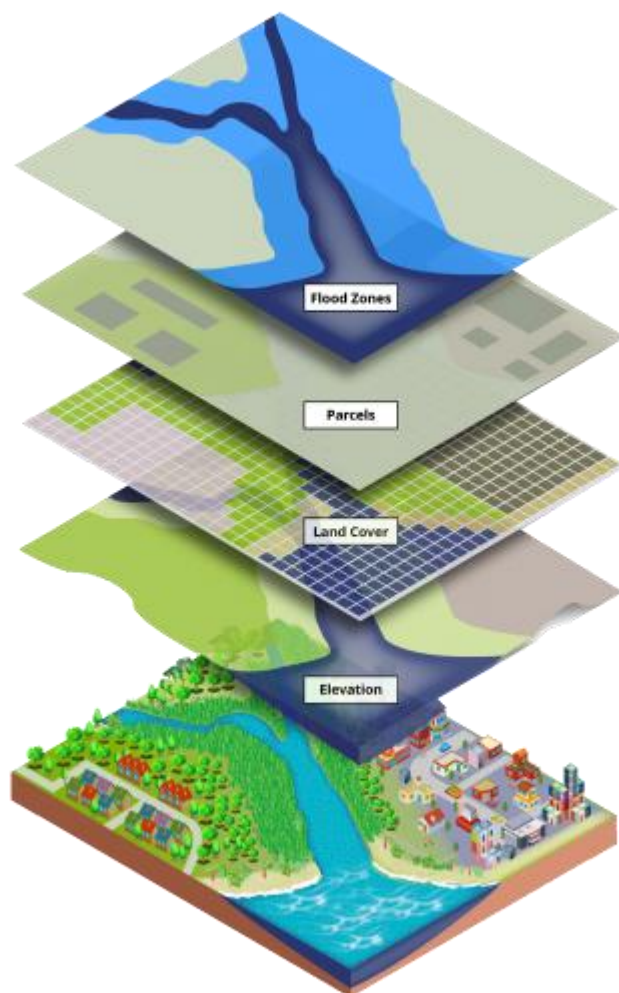
Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) έχουν αλλάξει ριζικά την προσέγγισή μας στα γεωγραφικά δεδομένα, παρέχοντας ισχυρά εργαλεία για ανάλυση, οπτικοποίηση και λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε πολλούς τομείς. Το GIS είναι ένα σύστημα που συνδυάζει γεωγραφικά δεδομένα, όπως χάρτες, δορυφορικές

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος



φωτογραφίες και μοντέλα εδάφους, με μη χωρικά δεδομένα για να αποκαλύψει μοτίβα, συσχετίσεις και τάσεις. Συνδυάζοντας διαφορετικά στοιχεία, αυτή η συγχώνευση επιτρέπει στους χρήστες να αποκτήσουν μια βαθιά κατανόηση των περίπλοκων χωρικών φαινομένων και να κάνουν καλά ενημερωμένες επιλογές. Το GIS υπερέχει στην ικανότητά του να κάνει γεωγραφική ανάλυση. Το GIS χρησιμοποιεί την τεχνική της επικάλυψης πολλών στρωμάτων δεδομένων για την ανίχνευση γεωγραφικών προτύπων, συσχετισμών και ανωμαλιών που μπορεί να μην είναι εύκολα παρατηρήσιμα χρησιμοποιώντας συμβατικές προσεγγίσεις. Το GIS μπορεί να βοηθήσει τους πολεοδόμους στον καθορισμό κατάλληλων τοποθεσιών για μελλοντικές υποδομές, εξετάζοντας μεταβλητές όπως η πυκνότητα πληθυσμού, η χρήση γης και τα δίκτυα διαμετακόμισης. Στον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των αλλαγών στη χρήση γης στα οικοσυστήματα ή για την προσομοίωση της διασποράς των ρύπων στα υδάτινα σώματα. Επιπλέον, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) παρέχουν αποτελεσματική λήψη αποφάσεων μέσω της παροχής εργαλείων για τον σχεδιασμό σεναρίων και τη μοντελοποίηση πρόβλεψης (Kent & Vujakovic, 2018). Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων έχουν την ικανότητα να προσομοιώνουν διάφορες καταστάσεις και να αξιολογούν τα πιθανά αποτελέσματά τους, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να λαμβάνουν καλύτερα τεκμηριωμένες αποφάσεις. Η μοντελοποίηση πλημμύρας με βάση το GIS επιτρέπει στους ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης να προβλέψουν την έκταση των πλημμυρών και να σχεδιάσουν τις διαδρομές εκκένωσης, ελαχιστοποιώντας έτσι την απειλή για ζωές και περιουσίες. Επιπλέον, τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) έχουν γίνει πιο εύκολα διαθέσιμα λόγω της εισαγωγής φιλικού προς τον χρήστη λογισμικού και πλατφορμών που βασίζονται στο cloud. Η διαθεσιμότητα αυτής της δυνατότητας έχει κάνει το GIS πιο προσιτό, επιτρέποντας σε άτομα και οργανισμούς με λιγότερες τεχνικές γνώσεις να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τα γεωγραφικά δεδομένα. Υπάρχει ήδη ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών προσβάσιμων για τη συλλογή, ανάλυση και διανομή δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών χαρτογράφησης για κινητές συσκευές και πλατφορμών GIS που βασίζονται στον ιστό. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) είναι ζωτικής σημασίας σε πολλούς τομείς, παρέχοντας απaráμιλλες δυνατότητες για χωρική ανάλυση, βοήθεια στη λήψη αποφάσεων και οπτικοποίηση. Με τη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας και την αυξανόμενη

διαθεσιμότητα δεδομένων, οι πιθανές χρήσεις του GIS είναι απεριόριστες. Αυτό έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στην κατανόηση και την αλληλεπίδρασή μας με τον κόσμο (Burrough et al., 2015).



Εικόνα 4. Η απεικόνιση των γεωπληροφοριακών συστημάτων. Πηγή: (Burrough et al., 2015).

## 2.2. Προσεγγίζοντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

Για την επιτυχή χρήση γεωγραφικών δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων, είναι απαραίτητη μια συστηματική και οργανωμένη στρατηγική κατά την προσέγγιση της ανάλυσης Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Η διαδικασία ξεκινά με τον καθορισμό των στόχων της ανάλυσης και τον προσδιορισμό των ακριβών ζητημάτων ή προβλημάτων που πρέπει να επιλυθούν. Αυτή η πρώτη φάση θέτει τη βάση για την όλη μελέτη και εγγυάται ότι η

διαδικασία GIS είναι σύμφωνη με τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Μετά τον καθορισμό των στόχων, το επόμενο στάδιο είναι η απόκτηση και η οργάνωση των απαραίτητων δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή σχετικών γεωγραφικών συνόλων δεδομένων από διαφορετικές πηγές, όπως τηλεπισκόπηση, έρευνες ή δημόσιες βάσεις δεδομένων. Συχνά απαιτείται προετοιμασία δεδομένων για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών, τη διευθέτηση και την καθιέρωση ομοιομορφίας στα σύνολα δεδομένων για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα και η συνοχή. Επιπλέον, τα χωρικά δεδομένα μπορεί να χρειάζονται γεωαναφορά ή προβολή προκειμένου να ταιριάζουν με το σύστημα συντεταγμένων του περιβάλλοντος GIS. Μόλις προετοιμαστούν τα δεδομένα, ξεκινά το βήμα της ανάλυσης, χρησιμοποιώντας εργαλεία και μεθοδολογίες GIS για την εξαγωγή σημαντικών γνώσεων από τις γεωγραφικές πληροφορίες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση μιας σειράς τεχνικών γεωγραφικής ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης επικάλυψης, της ανάλυσης εγγύτητας, της ανάλυσης δικτύου ή της στατιστικής ανάλυσης. Η ανάλυση επικάλυψης είναι μια χρήσιμη μέθοδος για τον εντοπισμό τοποθεσιών όπου διασταυρώνονται ή επικαλύπτονται διακριτά στρώματα, επιτρέποντας την ανακάλυψη χωρικών μοτίβων ή συνδέσεων. Κατά τη φάση της ανάλυσης, είναι απαραίτητο να αξιολογηθούν διεξοδικά τα ευρήματα και να γίνουν τυχόν αναθεωρήσεις. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη λεπτομερή ρύθμιση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση, τη διερεύνηση εναλλακτικών μεθοδολογιών ή την ενσωμάτωση άλλων επιπέδων δεδομένων για τη βελτίωση της ακρίβειας και της σημασίας των αποτελεσμάτων. Η διαδικασία ανάλυσης GIS γενικά περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενα βήματα που χρειάζονται συνεχή τροποποίηση και επικύρωση προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα της μελέτης GIS μεταφέρονται στα ενδιαφερόμενα μέρη μέσω χαρτών, διαγραμμάτων, αναφορών ή διαδραστικών πινάκων εργαλείων. Η αποτελεσματική οπτικοποίηση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της κατανόησης και την καθοδήγηση στη λήψη αποφάσεων. Τα συστήματα GIS παρέχουν μια ποικιλία εργαλείων για τη δημιουργία οπτικά ελκυστικών παρουσιάσεων που επικοινωνούν αποτελεσματικά περίπλοκες χωρικές πληροφορίες με συνοπτικό και φιλικό προς τον χρήστη τρόπο (Adhikari, 2020).

### 2.3 Ορίζοντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

Η ανάλυση GIS είναι η συστηματική εξαγωγή πολύτιμων γνώσεων και πληροφοριών από γεωγραφικά δεδομένα μέσω της χρήσης εξειδικευμένων εργαλείων και διαδικασιών. Η ανάλυση GIS συνεπάγεται πρωτίστως την τροποποίηση, την αναζήτηση και την εμφάνιση γεωγραφικών δεδομένων για την αποκάλυψη μοτίβων, συσχετισμών και τάσεων που δεν είναι εύκολα ορατές χρησιμοποιώντας συμβατικές προσεγγίσεις. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα αναλυτικών μεθόδων, όπως χωρικές στατιστικές, ανάλυση επικάλυψης, ανάλυση εγγύτητας και ανάλυση δικτύου, μεταξύ άλλων. Η ανάλυση GIS συνδυάζει γεωγραφικά δεδομένα με μη χωρικές ιδιότητες για να αποκτήσει μια πλήρη αντίληψη περίπλοκων χωρικών φαινομένων και να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων σε πολλούς τομείς. Ο πυρήνας της ανάλυσης GIS περιστρέφεται στην έννοια της χωρικής σκέψης, η οποία αναγνωρίζει τη σημασία του χώρου και της τοποθεσίας στον επηρεασμό των φαινομένων και των διαδικασιών. Τα εργαλεία χωρικής ανάλυσης επιτρέπουν στους χρήστες να διερευνήσουν πώς οι χωρικές συνδέσεις και διανομές επηρεάζουν τα αποτελέσματα και τις συμπεριφορές. Το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των τροποποιήσεων της χρήσης γης στην αστική επέκταση, για την προσομοίωση της μετάδοσης ασθενειών μέσω συνδεδεμένων δικτύων ή για την επιλογή των καταλληλότερων τοποθεσιών για κατασκευή υποδομής με βάση την εγγύτητα και την προσβασιμότητα των πόρων (Goodchild, 2005). Η διαδικασία ανάλυσης GIS ξεκινά με τον καθορισμό των συγκεκριμένων στόχων και της έκτασης της μελέτης, ενώ παράλληλα προσδιορίζονται τα απαραίτητα δεδομένα και περιορισμοί. Αυτό το πρώτο στάδιο εγγυάται ότι η ανάλυση είναι συγκεντρωμένη και σχετική με το θέμα που εξετάζεται. Στη συνέχεια, τα χωρικά δεδομένα λαμβάνονται από διάφορες πηγές, όπως δορυφορική απεικόνιση, έρευνες GPS ή δημόσιες βάσεις δεδομένων, και στη συνέχεια υποβάλλονται σε επεξεργασία για ανάλυση μέσω καθαρισμού δεδομένων, ολοκλήρωσης και γεωαναφοράς. Μετά την παραγωγή των δεδομένων, χρησιμοποιείται μια σειρά εργαλείων και μεθόδων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για τη διερεύνηση χωρικών προτύπων, συσχετισμών και τάσεων. Κατά τη φάση της ανάλυσης, είναι σημαντικό να αξιολογηθούν διεξοδικά τα δεδομένα και να εξεταστούν προσεκτικά οι επιπτώσεις τους στη λήψη αποφάσεων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των δεδομένων, την επαλήθευση των αναλυτικών τεχνικών και την ερμηνεία των ανακαλύψεων εντός του ευρύτερου

γεωγραφικού πλαισίου. Η αποτελεσματική διάδοση των ευρημάτων είναι εξίσου κρίσιμη, καθώς επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους να κατανοήσουν και να χρησιμοποιήσουν τη γνώση που προέρχεται από την έρευνα GIS. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την παραγωγή χαρτών, διαγραμμάτων, αναφορών ή διαδραστικών αναπαραστάσεων που επικοινωνούν αποτελεσματικά περίπλοκα γεωγραφικά δεδομένα με σαφή και εύκολα κατανοητό τρόπο. Η ανάλυση GIS αναφέρεται σε μια μεθοδική και επαναλαμβανόμενη διαδικασία εξαγωγής πολύτιμων πληροφοριών από γεωγραφικά δεδομένα προκειμένου να διευκολυνθεί η λήψη αποφάσεων και η επίλυση προβλημάτων. Το GIS χρησιμοποιεί χωρική σκέψη και εξελιγμένα αναλυτικά εργαλεία για να βελτιώσει την κατανόηση των χωρικών φαινομένων από τους χρήστες και να διευκολύνει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένου του πολεοδομικού σχεδιασμού, της περιβαλλοντικής διαχείρισης, της δημόσιας υγείας και της αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (Goodchild, 2005).

#### **2.4. Βασικά τμήματα ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών**

Μια μελέτη Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) συχνά περιλαμβάνει πολλά βασικά στοιχεία που επιτρέπουν από κοινού την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών από χωρικά δεδομένα. Πρώτα και κύρια, η συλλογή και η προετοιμασία δεδομένων είναι βασικά βήματα που παρέχουν τη βάση για την ανάλυση. Σε αυτή τη φάση, τα χωρικά σύνολα δεδομένων συλλέγονται από πολλές πηγές, όπως δορυφορική φωτογραφία, έρευνες GPS και διοικητικά αρχεία. Αφού συλλεχθούν, τα δεδομένα περνούν από διαδικασίες προετοιμασίας για τον καθαρισμό, τη συγχώνευση και την τυποποίησή τους για ανάλυση. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη διαδικασία της γεωαναφοράς, η οποία χρησιμοποιείται για την παροχή χωρικών συντεταγμένων και προβολών προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή ευθυγράμμιση με το περιβάλλον GIS (Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών). Η προεπεξεργασία δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ποιότητας και της συμβατότητας των δεδομένων, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την απόκτηση ακριβών αναλυτικών αποτελεσμάτων (Goodchild, 2010).

Μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας των δεδομένων, η κεντρική πτυχή της ανάλυσης GIS είναι η χρήση χωρικών αναλυτικών εργαλείων για την αποκάλυψη μοτίβων, συνδέσεων και τάσεων εντός των δεδομένων. Η χωρική ανάλυση

περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές, όπως ανάλυση επικάλυψης, ανάλυση εγγύτητας, χωρικές στατιστικές και ανάλυση δικτύου, μεταξύ άλλων. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν στους χρήστες να διερευνούν γεωγραφικές συνδέσεις, να ανιχνεύουν χωρικές συγκεντρώσεις ή περιοχές υψηλής δραστηριότητας, να μελετούν χωρικά μοτίβα και να αξιολογούν τις χωρικές σχέσεις. Η ανάλυση επικαλύψεων είναι μια χρήσιμη μέθοδος για τον εντοπισμό τόπων όπου επικαλύπτονται οι χρήσεις γης ή για την εύρεση ιδανικών τοποθεσιών για επιλογή τοποθεσίας με βάση πολλά κριτήρια. Μετά την ολοκλήρωση της γεωγραφικής ανάλυσης, το επόμενο στάδιο συχνά περιλαμβάνει την ερμηνεία και την αξιολόγηση των ευρημάτων. Αυτό απαιτεί ενδελεχή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων στο πλαίσιο των στόχων της μελέτης και την τεχνογνωσία στον τομέα. Επιπλέον, μπορεί να περιλαμβάνει τη σύγκριση των αναλυτικών ευρημάτων με προϋπάρχουσα βιβλιογραφία, θεωρητικά πλαίσια ή δεδομένα βασικής αλήθειας προκειμένου να επαληθευτεί η αυθεντικότητα των αποτελεσμάτων. Για να ερμηνεύσουμε σωστά τα ευρήματα της ανάλυσης GIS, πρέπει να έχουμε μια περίπλοκη κατανόηση των χωρικών συνδέσεων και προτύπων. Επιπλέον, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τυχόν προκαταλήψεις ή όρια στα δεδομένα και τις αναλυτικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται. Τελικά, είναι ζωτικής σημασίας η αποτελεσματική επικοινωνία των αποτελεσμάτων της μελέτης προκειμένου να προωθηθεί η κατανόηση και να καθοδηγηθεί η λήψη αποφάσεων. Συνήθως, αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη δημιουργία οπτικών αναπαραστάσεων, όπως χάρτες, γραφήματα ή γραφήματα, για την αποτελεσματική επικοινωνία των κύριων ανακαλύψεων με σαφή και ενστικτώδη τρόπο. Τα συστήματα GIS περιλαμβάνουν μια σειρά εργαλείων που επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργούν διαδραστικές και δυναμικές απεικονίσεις, επιτρέποντάς τους να εξετάζουν γεωγραφικά δεδομένα και αναλυτικά ευρήματα με ελκυστικό τρόπο. Επιπλέον, οι εκθέσεις κειμένου ή οι παρουσιάσεις μπορούν να συμπεριληφθούν με οπτικοποιήσεις για την παροχή πλαισίου, ερμηνείας και πρακτικών γνώσεων που λαμβάνονται από τη μελέτη GIS (Goodchild, 2010). Τα θεμελιώδη στοιχεία μιας ανάλυσης GIS περιλαμβάνουν τη λήψη και προετοιμασία δεδομένων, τη χρήση χωρικών αναλυτικών μεθόδων, την ερμηνεία και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τη μετάδοση ανακαλύψεων. Μέσω μιας μεθοδικής προσέγγισης σε καθένα από αυτά τα στοιχεία, η ανάλυση GIS δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να εξάγουν πολύτιμες γνώσεις από γεωγραφικά δεδομένα και να διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων σε πολλά πεδία και πλαίσια.

## 2.5. Διαδικασίες γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών

Η ανάλυση διαδικασιών GIS είναι μια μεθοδική τεχνική για τη χρήση γεωγραφικών δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων. Η ανάλυση ξεκινά με τον καθορισμό των στόχων και του πεδίου εφαρμογής και τον καθορισμό των ακριβών ζητημάτων ή προβλημάτων που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Αυτό το πρώτο στάδιο εγγυάται ότι η διαδικασία του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) είναι σύμφωνη με τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα και παρέχει κατευθύνσεις για την ακόλουθη συλλογή και ανάλυση δεδομένων (Sánchez-Lozano et al., 2013).

Στο επόμενο στάδιο, πραγματοποιείται συλλογή και προετοιμασία δεδομένων, όπου συλλέγονται σχετικά γεωγραφικά σύνολα δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως δορυφορικές εικόνες, έρευνες ή δημόσιες βάσεις δεδομένων. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται προεπεξεργασία δεδομένων για τον καθαρισμό, τη συγχώνευση και την κανονικοποίηση των συνόλων δεδομένων κατά την προετοιμασία για ανάλυση. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη διαδικασία γεωαναφοράς, η οποία συνεπάγεται την εκχώρηση χωρικών συντεταγμένων και προβολών για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με το περιβάλλον του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Η διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας των δεδομένων εισόδου είναι κρίσιμη για τη λήψη σωστών ευρημάτων ανάλυσης. Επομένως, η συλλογή και η προετοιμασία δεδομένων είναι βασικά βήματα σε αυτή τη διαδικασία (Sánchez-Lozano et al., 2013).

Αφού δημιουργηθούν τα δεδομένα, χρησιμοποιούνται μέθοδοι χωρικής ανάλυσης για την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών από τα γεωγραφικά δεδομένα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση μιας σειράς αναλυτικών μεθοδολογιών, όπως ανάλυση επικάλυψης, ανάλυση εγγύτητας, χωρικές στατιστικές και ανάλυση δικτύου. Η ανάλυση επικάλυψης είναι μια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό χώρων όπου η χρήση γης επικαλύπτεται ή για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των τοποθεσιών με βάση διάφορους παράγοντες. Οι προσεγγίσεις χωρικής ανάλυσης επιτρέπουν στους χρήστες να διερευνούν χωρικά μοτίβα, συσχετίσεις και τάσεις εντός των δεδομένων, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για περίπλοκα χωρικά συμβάντα. Κατά τη φάση της ανάλυσης, είναι σημαντικό να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και να μελετηθεί η σημασία τους για τη λήψη αποφάσεων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αξιολόγηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, την επαλήθευση των αναλυτικών

τεχνικών και την ερμηνεία των ανακαλύψεων στο πλαίσιο των ερευνητικών στόχων και της τεχνογνωσίας του τομέα. Για την αποτελεσματική ερμηνεία των ευρημάτων της ανάλυσης GIS, πρέπει να κατέχει κανείς μια περίπλοκη κατανόηση των χωρικών συνδέσεων και προτύπων. Επιπλέον, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τυχόν προκαταλήψεις ή όρια στα δεδομένα και τις αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται. Τα ευρήματα της μελέτης GIS μεταφέρονται τελικά στα ενδιαφερόμενα μέρη χρησιμοποιώντας πολλές μεθόδους, συμπεριλαμβανομένων χαρτών, διαγραμμάτων, εκθέσεων ή παρουσιάσεων. Η αποτελεσματική διάδοση των αποτελεσμάτων είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της κατανόησης και την καθοδήγηση στη λήψη αποφάσεων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη δημιουργία οπτικών αναπαραστάσεων που επικοινωνούν αποτελεσματικά τις κύριες ανακαλύψεις με διαυγή και ενστικτώδη τρόπο, μαζί με κείμενα ή παρουσιάσεις που παρέχουν βασικές πληροφορίες, επεξήγηση και πρακτικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη GIS. Η ανάλυση διαδικασιών των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) είναι μια συστηματική μέθοδος χρήσης γεωγραφικών δεδομένων για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων. Το GIS διευκολύνει την εξαγωγή πολύτιμων γνώσεων από γεωγραφικά δεδομένα και βοηθά στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων αντιμετωπίζοντας μεθοδικά τη συλλογή δεδομένων, την προεπεξεργασία, τη χωρική ανάλυση, την ερμηνεία και την επικοινωνία. Εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς και εφαρμογές (Sánchez-Lozano et al., 2013).

## **2.6. Χρήση & Δυνατότητες των γεωγραφικών συστημάτων πληροφόρησης**

Η ανάλυση GIS παρέχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και δυνατοτήτων σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένου του πολεοδομικού σχεδιασμού, της περιβαλλοντικής διαχείρισης, της δημόσιας υγείας και της αντιμετώπισης καταστροφών. Η ανάλυση GIS χρησιμοποιείται συχνά στον χωροταξικό σχεδιασμό και στη λήψη αποφάσεων. Οι πολεοδόμοι χρησιμοποιούν Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για να εξετάσουν τις πληθυσμιακές τάσεις, τα πρότυπα χρήσης γης και τα δίκτυα μεταφοράς, προκειμένου να καθοδηγήσουν τους κανόνες χωροταξίας, την ανάπτυξη υποδομών και πρωτοβουλίες αστικής ανάπτυξης. Το GIS επιτρέπει στους σχεδιαστές να βελτιστοποιήσουν την κατανομή των πόρων και να αναπτύξουν βιώσιμες, ανθεκτικές πόλεις συνδυάζοντας γεωγραφικά δεδομένα με κοινωνικοοικονομικούς δείκτες (Landis, 2019).

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος



Η ανάλυση GIS είναι απαραίτητη στην περιβαλλοντική διαχείριση για την αξιολόγηση και τη μείωση των περιβαλλοντικών κινδύνων και συνεπειών. Οι περιβαλλοντικοί επιστήμονες χρησιμοποιούν Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) για να προσομοιώσουν και να αναλύσουν την καταλληλότητα των οικοτόπων, να παρακολουθήσουν τη διαδικασία αποψίλωσης των δασών, να αξιολογήσουν την ποιότητα του αέρα και του νερού και να προβλέψουν τη διασπορά των ρύπων. Το GIS επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους να αναπαραστήσουν οπτικά περίπλοκα περιβαλλοντικά δεδομένα, να εντοπίσουν τοποθεσίες που είναι επιρρεπείς σε βλάβη και να καθορίσουν τη σειρά σπουδαιότητας για πρωτοβουλίες διατήρησης. Επιπλέον, η ανάλυση GIS επιτρέπει τη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών και κανονισμών μέσω της παροχής τεκμηριωμένων γνώσεων για τα περιβαλλοντικά πρότυπα και τους κινδύνους. Η ανάλυση GIS διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση καταστροφών και την απόκριση έκτακτης ανάγκης, αξιολογώντας την ευαισθησία, σχεδιάζοντας τις διαδρομές εκκένωσης και οργανώνοντας επιχειρήσεις ανακούφισης. Οι ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης χρησιμοποιούν Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για να οριοθετήσουν περιοχές δυνητικού κινδύνου, να προσδιορίσουν τους ευάλωτους πληθυσμούς και να καθορίσουν τη σειρά σπουδαιότητας για τις προσπάθειες διάσωσης σε περίπτωση φυσικών καταστροφών όπως τυφώνες, σεισμοί και πλημμύρες. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS εξουσιοδοτούν τους διαχειριστές έκτακτης ανάγκης να μοντελοποιούν σενάρια καταστροφών, να αξιολογούν τακτικές απόκρισης και να διαδίδουν ζωτικές πληροφορίες στο κοινό. Η ανάλυση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) βελτιώνει την ανθεκτικότητα σε καταστροφές ενισχύοντας τις δραστηριότητες προετοιμασίας, αντίδρασης και ανάκτησης παρουσία τόσο φυσικών όσο και ανθρωπογενών κινδύνων. Η ανάλυση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών παρέχει ένα ευέλικτο σύνολο εργαλείων για την κατανόηση και την επίλυση περίπλοκων χωρικών προβλημάτων σε διάφορους τομείς. Το GIS χρησιμοποιεί γεωγραφικά δεδομένα και αναλυτικές προσεγγίσεις για να δώσει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να λαμβάνουν καλά ενημερωμένες αποφάσεις, να βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων και να αναπτύσσουν βιώσιμες και ανθεκτικές κοινωνίες. Με τη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας και την αυξανόμενη διαθεσιμότητα γεωγραφικών δεδομένων, οι δυνατότητες χρήσης της ανάλυσης GIS είναι απεριόριστες. Αυτό έχει τη δυνατότητα

να φέρει επανάσταση στην κατανόηση και τη δέσμευσή μας με το περιβάλλον (Landis, 2019).

## **2.7. Γεωπληροφοριακά Συστήματα και ΑΠΕ**

Η σύγκλιση της ανάλυσης των Συστημάτων Γεωπληροφοριών (GIS) και των Συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) παρέχει μοναδικές λύσεις για βιώσιμο ενεργειακό σχεδιασμό, διαχείριση πόρων και προστασία του περιβάλλοντος. Το GIS είναι ένα θεμελιώδες εργαλείο για το συνδυασμό γεωγραφικών δεδομένων σχετικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ακτινοβολίας, της ταχύτητας του ανέμου, της διαθεσιμότητας βιομάζας και των υδρολογικών παραγόντων. Μέσω της ενσωμάτωσης και εξέτασης αυτών των στατιστικών σε ένα πλαίσιο Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS), τα ενδιαφερόμενα μέρη μπορούν να εντοπίσουν κατάλληλες τοποθεσίες για την υλοποίηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, να αξιολογήσουν πιθανές συνέπειες και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των σχεδίων διανομής πόρων. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία GIS, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αξιολογήσουν τη βιωσιμότητα και τις δυνατότητες έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές μέσω ανάλυσης ΑΠΕ. Το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση του ηλιακού δυναμικού εξετάζοντας μεταβλητές όπως η ηλιακή ακτινοβολία, τα χαρακτηριστικά τοπογραφίας και οι περιορισμοί χρήσης γης. Ομοίως, η αξιολόγηση των αιολικών πόρων με χρήση GIS συνδυάζει δεδομένα ταχύτητας ανέμου με τοπογραφικά χαρακτηριστικά για να βρει τοποθεσίες με μεγάλες δυνατότητες αιολικής ενέργειας και να βελτιστοποιήσει τη θέση των στροβίλων για μέγιστη παραγωγή ενέργειας (Resch et al., 2014).

Επιπλέον, το GIS επιτρέπει την ενσωμάτωση παραγόντων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ευρύτερα σχέδια χρήσης γης και περιβαλλοντικής διαχείρισης, ενισχύοντας έτσι τον χωροταξικό σχεδιασμό και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η ανάλυση καταλληλότητας γης που βασίζεται σε GIS επιτρέπει στους σχεδιαστές να εντοπίσουν τοποθεσίες που έχουν τις χαμηλότερες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και τις μέγιστες δυνατότητες χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να αξιολογήσουν τους συμβιβασμούς, να δώσουν προτεραιότητα στις επενδύσεις και να αντιμετωπίσουν πιθανές συγκρούσεις, επιθέτοντας χάρτες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε οικολογικά, κοινωνικά και

οικονομικά δεδομένα. Το GIS είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης και των λειτουργιών της υποδομής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εκτός από την επιλογή και το σχεδιασμό της τοποθεσίας. Η ανάλυση δικτύου που βασίζεται σε GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της διάταξης των ηλιακών συστοιχιών ή των αιολικών πάρκων προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες μετάδοσης και να αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση και την προληπτική συντήρηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βελτιώνοντας κατά συνέπεια τη λειτουργική απόδοση και αξιοπιστία. Η συγχώνευση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και των Συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στην προώθηση της εφαρμογής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην επίτευξη στόχων βιωσιμότητας. Μέσω της χρήσης χωρικών δεδομένων και αναλυτικών εργαλείων, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά περίπλοκα χωρικά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής τοποθεσίας, της εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της βελτιστοποίησης της υποδομής. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γίνονται πιο σημαντικές στην παγκόσμια στροφή προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Το GIS (Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών) θα συνεχίσει να είναι ένα κρίσιμο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε στοιχεία και την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον με βιώσιμο τρόπο (Resch et al., 2014).

## **2.8. Μεθοδολογία για Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών πάρκων με τη χρήση Γεωπληροφοριακών Συστημάτων**

Η διαδικασία εντοπισμού φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πάρκων με χρήση της ανάλυσης Γεωπληροφοριακών Συστημάτων (GIS) είναι μια μεθοδική προσέγγιση για την επιλογή κατάλληλων χώρων για την ανάπτυξη ηλιακής ενέργειας με βάση διάφορα γεωγραφικά κριτήρια. Η διαδικασία συνήθως ξεκινά με τον καθορισμό των στόχων της μελέτης του χώρου, οι οποίοι μπορεί να περιλαμβάνουν τη μεγιστοποίηση του ηλιακού δυναμικού, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτιστοποίηση της χρήσης γης (Georgiou & Skarlatos, 2016). Μετά τον καθορισμό των στόχων, μπορεί να σκιαγραφηθεί η προσέγγιση για τη διενέργεια μελέτης χωροθέτησης φωτοβολταϊκών (ΦΒ) βάσει Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS) χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα βήματα:

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

1. **Απόκτηση δεδομένων:** Το πρώτο στάδιο είναι η λήψη γεωγραφικών συνόλων δεδομένων που σχετίζονται με την επιλογή μιας θέσης φωτοβολταϊκού (ΦΒ) πάρκου. Αυτά τα σύνολα δεδομένων μπορεί να περιλαμβάνουν δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, πληροφορίες χρήσης γης, τοπογραφικά δεδομένα, λεπτομέρειες υποδομής και περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Η απόκτηση αυτών των συνόλων δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί μέσω ποικίλων πηγών, όπως δορυφορική απεικόνιση, τηλεπισκόπηση, εναέριες έρευνες και δημόσιες βάσεις δεδομένων. Τα ακριβή δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας είναι πολύ σημαντικά για την αξιολόγηση του δυναμικού της ηλιακής ενέργειας και τον προσδιορισμό των περιοχών με τις καλύτερες συνθήκες ηλιοφάνειας (Georgiou & Skarlatos, 2016).
2. **Η προετοιμασία δεδομένων** περιλαμβάνει τον καθαρισμό, την τυποποίηση και την ενσωμάτωση των ληφθέντων πληροφοριών για ανάλυση εντός του συστήματος GIS. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη διαδικασία γεωαναφοράς, μετατροπής δεδομένων και διεξαγωγής αξιολόγησης ποιότητας προκειμένου να διασφαλιστεί η ορθότητα και η συμβατότητα των δεδομένων. Επιπλέον, τα επίπεδα χωρικών δεδομένων μπορεί να χρειάζονται επαναδειγματοληψία ή επαναπροβολή προκειμένου να συμμορφωθούν με ένα τυποποιημένο σύστημα συντεταγμένων και ανάλυση (Georgiou & Skarlatos, 2016).
3. **Χωρική Ανάλυση:** Τα εργαλεία που βασίζονται σε GIS χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση πιθανών θέσεων φωτοβολταϊκών πάρκων χρησιμοποιώντας διάφορα κριτήρια και περιορισμούς. Η ανάλυση επικάλυψης χρησιμοποιείται για τη συγχώνευση πολλών γεωγραφικών επιπέδων προκειμένου να εντοπιστούν κατάλληλες θέσεις που ικανοποιούν προκαθορισμένα κριτήρια, όπως η εγγύτητα σε υποσταθμούς, η διαθεσιμότητα της γης, η κλίση και η σκιά. Η σταθμισμένη ανάλυση επικάλυψης περιλαμβάνει την ανάθεση σημαντικών βαρών σε κάθε κριτήριο προκειμένου να δοθεί προτεραιότητα στις πτυχές με βάση τη σχετική συνάφειά τους (Georgiou & Skarlatos, 2016).
4. **Εκτίμηση ηλιακού δυναμικού:** Η αξιολόγηση του ηλιακού δυναμικού είναι ένα ουσιαστικό μέρος της διαδικασίας προσδιορισμού κατάλληλων τοποθεσιών, η οποία συνεπάγεται την εξέταση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας για την εύρεση περιοχών με σημαντική χωρητικότητα ηλιακής ενέργειας. Οι τεχνικές GIS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να

δημιουργήσουν μια αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο η ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται σε όλη την περιοχή έρευνας, λαμβάνοντας υπόψη διάφορα χαρακτηριστικά όπως η τοπογραφία, η κλίση, η όψη και η σκιά. Αυτή η έρευνα βοηθά στην ιεράρχηση χώρων που έχουν την πιο ευνοϊκή ηλιοφάνεια για την κατασκευή φωτοβολταϊκών πάρκων (Georgiou & Skarlatos, 2016).

Το GIS διευκολύνει την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών μεταβλητών στη μελέτη της επιλογής τοποθεσίας προκειμένου να αξιολογηθούν οι πιθανές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, τους οικοτόπους και τους φυσικούς πόρους. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί, όπως καθορισμένες περιοχές για διατήρηση, υδάτινα σώματα, κατοικίες για ζώα και ευάλωτα οικοσυστήματα, λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στις υπηρεσίες που παρέχονται από τα οικοσυστήματα. Η χρήση μεθόδων χωρικής ανάλυσης, όπως η ανάλυση buffer και η χαρτογράφηση καταλληλότητας, επιτρέπει τον εντοπισμό τοποθεσιών που διαθέτουν ελάχιστο περιβαλλοντικό κίνδυνο (Georgiou & Skarlatos, 2016).

Η επιλογή και η βελτιστοποίηση της τοποθεσίας περιλαμβάνουν τον εντοπισμό και την αξιολόγηση πιθανών τοποθεσιών φωτοβολταϊκών πάρκων με βάση τα ευρήματα της γεωγραφικής ανάλυσης, χρησιμοποιώντας προκαθορισμένα κριτήρια και στόχους. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS βοηθούν στη διαδικασία επιλογής και βελτιστοποίησης τοποθεσιών εμφανίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, τους περιορισμούς και τα πιθανά πλεονεκτήματα σε όλη την ερευνητική περιοχή. Οι προσεγγίσεις MCDA μπορούν να ταξινομήσουν και να ιεραρχούν τις πιθανές τοποθεσίες λαμβάνοντας υπόψη τις αξιολογήσεις καταλληλότητας και τις προτιμήσεις των ενδιαφερομένων. Το τελευταίο στάδιο είναι η επιβεβαίωση των επιλεγμένων θέσεων φωτοβολταϊκών πάρκων με επιτόπιες έρευνες, ανάλυση εδάφους και ενασχόληση με τους ενδιαφερόμενους για πληροφορίες. Η επίγεια αλήθεια περιλαμβάνει την επικύρωση της ακρίβειας των αναλυτικών ευρημάτων του GIS, συγκρίνοντάς τα με παρατηρήσεις και μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο που έγιναν επιτόπου. Η συμμετοχή των ενδιαφερομένων διασφαλίζει ότι η διαδικασία προσδιορισμού της τοποθεσίας λαμβάνει υπόψη τις πληροφορίες και τις απόψεις εκείνων που ενδιαφέρονται ή επηρεάζονται από την απόφαση, καθώς και τους κανόνες και τους κανονισμούς, καθώς και τις οικονομικές και κοινωνικές πτυχές (Georgiou & Skarlatos, 2016).

## 2.9. Ποια κριτήρια ευνοούν και ποια εμποδίζουν την χωροθέτηση

Η διαδικασία χωροθέτησης φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πάρκων περιλαμβάνει τον εντοπισμό κατάλληλων θέσεων για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη αρκετούς παράγοντες που είτε υποστηρίζουν είτε εμποδίζουν την κατασκευή τους. Πολλαπλές μεταβλητές συμβάλλουν στον πλεονεκτικό σχεδιασμό των φωτοβολταϊκών πάρκων. Ο πρωταρχικός παράγοντας που επηρεάζει τις αποφάσεις χωροθέτησης ζωνών είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αναφέρεται στην ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνεται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία ή έκθεση στο ηλιακό φως, είναι καλύτερα κατάλληλες για παραγωγή ηλιακής ενέργειας. Επιπλέον, η κατασκευή φωτοβολταϊκών πάρκων ευνοεί εκτεταμένες περιοχές επίπεδου ή ελαφρώς κεκλιμένου εδάφους με ελάχιστη απόφραξη από τις σκιές, καθώς αυτό βελτιστοποιεί την αποτελεσματικότητα των ηλιακών συλλεκτών και μειώνει τα έξοδα που σχετίζονται με την εγκατάσταση. Επιπλέον, η γειτνίαση με προϋπάρχουσες υποδομές όπως γραμμές μεταφοράς, υποσταθμοί και οδικά δίκτυα είναι ευεργετική για τη χωροθέτηση ενός φωτοβολταϊκού (ΦΒ) πάρκου (Sward et al., 2021). Η πρόσβαση στις υποδομές διευκολύνει την αποτελεσματική σύνδεση των ηλιακών εγκαταστάσεων με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς και τα έξοδα κατασκευής υποδομής. Επιπλέον, η στρατηγική κατανομή φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πάρκων σε γη που έχει ήδη υποστεί ζημιά ή δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως, όπως αγροί, βιομηχανικές περιοχές ή γεωργικές εκτάσεις με χαμηλή παραγωγικότητα, μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις περιβαλλοντικές συνέπειες και να ελαχιστοποιήσει τις διαφορές που σχετίζονται με τη χρήση γης. Ωστόσο, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που ενδέχεται να εμποδίσουν τη χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πάρκων σε ορισμένες τοποθεσίες. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί, όπως καθορισμένες περιοχές για προστασία, ενδιαιτήματα για είδη, υγράτοποι και ευάλωτα οικοσυστήματα, ενδέχεται να περιορίσουν την έκταση της γης που είναι κατάλληλη για έργα ηλιακής ενέργειας. Η εκχώρηση φωτοβολταϊκών πάρκων σε οικολογικά ευάλωτες περιοχές μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες για τη βιοποικιλότητα, τις υπηρεσίες οικοσυστήματος και τους χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς, επομένως απαιτεί σχολαστική αξιολόγηση και εφαρμογή στρατηγικών για την ελαχιστοποίηση αυτών των επιπτώσεων. Επιπλέον, οι διαφορές που προκύπτουν από τη χρήση γης και τα ανταγωνιστικά συμφέροντα ενδέχεται να εμποδίσουν τη δημιουργία φωτοβολταϊκών (ΦΒ) πάρκων σε πυκνοκατοικημένες ή αστικοποιημένες περιοχές. Μπορεί να

προκύψουν συγκρούσεις όταν υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τα οπτικά εφέ, τον ανταγωνισμό για τη γη και τις αξίες ιδιοκτησίας που σχετίζονται με την τρέχουσα οικιστική, εμπορική ή γεωργική δραστηριότητα. Σε ορισμένες δικαιοδοσίες, η κατασκευή φωτοβολταϊκών πάρκων ενδέχεται να αντιμετωπίσει διοικητικά εμπόδια λόγω των ορίων ζωνών, των νόμων για τη χωροθέτηση και των διαδικασιών αδειοδότησης. Αυτά τα εμπόδια χρειάζονται τήρηση των σχεδίων χρήσης γης, των περιβαλλοντικών κανονισμών και των προτιμήσεων της κοινότητας (Sward et al., 2021).

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3.1 Ανασκόπηση Εφαρμογών GIS στον Σχεδιασμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Στο πεδίο του σχεδιασμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εξέταση των εφαρμογών GIS αποκαλύπτει την ανάπτυξη ενός επαγγέλματος που χρησιμοποιεί συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) προκειμένου να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η τεχνολογία του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων για την ανάλυση, διαχείριση και οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων. Αυτό είναι ένα ουσιαστικό στοιχείο για τη στρατηγική ανάπτυξη και χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Λόγω της ικανότητάς του να χειρίζεται τεράστιες ποσότητες πληροφοριών και να διεξάγει σύνθετες μελέτες, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) είναι απαραίτητα για τον εντοπισμό κατάλληλων τοποθεσιών για εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη διαχείριση της κατανομής των πόρων με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο (Li & Feng, 2023).

Στον τομέα του σχεδιασμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι πιο κοινές χρήσεις των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιούνται για σκοπούς επιλογής τοποθεσίας, εκτίμησης πόρων και εκτιμήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η επιλογή τοποθεσίας είναι η διαδικασία προσδιορισμού των τοποθεσιών που είναι πιο κατάλληλες για την υλοποίηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει υπόψη μια ποικιλία κριτηρίων, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ακτινοβολίας, της ταχύτητας του ανέμου, της διαθεσιμότητας γης και της γειτνίασης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Οι σχεδιαστές έχουν την ικανότητα να ενσωματώνουν αυτά τα χαρακτηριστικά σε χωρικά μοντέλα που προσδιορίζουν τις πιο ευνοϊκές θέσεις για ηλιακούς συλλέκτες, ανεμογεννήτριες και άλλα συστήματα βιώσιμης ενέργειας. Αυτή η γνώση μπορεί να αποκτηθεί μέσω της χρήσης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Η χρήση αυτής της μεθόδου όχι μόνο διευκολύνει τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και τη διατήρηση των πόρων, αλλά ενισχύει επίσης την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποφάσεων επιλογής τοποθεσίας (Resch et al., 2014).

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος



Η αξιολόγηση των πόρων υποστηρίζεται σημαντικά από το GIS. Ο σχεδιασμός της ηλιακής ενέργειας μπορεί να κάνει χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για τη χαρτογράφηση και ανάλυση των προτύπων της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Ομοίως, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μπορούν να κάνουν χρήση δεδομένων σχετικά με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου για την προσομοίωση και τον εντοπισμό περιοχών που έχουν μεγάλες δυνατότητες για αιολικά πάρκα. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών είναι απαραίτητα για τον καθορισμό του εάν τα έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ή όχι εφικτά και έχουν τη δυνατότητα να είναι αποδοτικά. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους προγραμματιστές να λαμβάνουν καλά ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τις τοποθεσίες των επενδυτικών ευκαιριών. Επιπλέον, η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελεί ουσιαστικό συστατικό της διαδικασίας σχεδιασμού για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς διασφαλίζει ότι τα αναπτυξιακά έργα δεν θα έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογία της γύρω περιοχής. Οι σχεδιαστές είναι σε θέση να επιθέσουν τις θέσεις των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε περιβαλλοντικά δεδομένα, όπως ενδιαιτήματα ζώων, προστατευόμενες περιοχές και αλλαγές στη χρήση γης, με τη χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Με αυτόν τον τρόπο, τυχόν πιθανές συγκρούσεις και συνέπειες μπορούν να εντοπιστούν και να μετριαστούν σε προγενέστερο στάδιο της διαδικασίας σχεδιασμού πριν γίνουν μόνιμες. Κατά συνέπεια, αυτό όχι μόνο διευκολύνει τη λήψη ρυθμιστικών εγκρίσεων, αλλά διευκολύνει επίσης την εφαρμογή στρατηγικών βιώσιμης ανάπτυξης (Resch et al., 2014). Επιπλέον, οι εφαρμογές των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) έχουν ευρύτερη εμβέλεια που εκτείνεται πέρα από τον σχεδιασμό και περιλαμβάνει την παρακολούθηση και τη διαχείριση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι δυνατή η χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για την παρακολούθηση της απόδοσης, τον συντονισμό των χρονοδιαγραμμάτων συντήρησης και την αξιολόγηση των επιχειρησιακών δεδομένων μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνεπής χρήση των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) συμβάλλει στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και διασφαλίζει ότι θα συνεχίσουν να είναι βιώσιμες στο μέλλον. Προκειμένου να παρέχει μια σύντομη περίληψη, το συγκεκριμένο κεφάλαιο υπογραμμίζει τη σημασία των

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

εφαρμογών του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) σε διάφορες πτυχές του σχεδιασμού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτές οι φάσεις περιλαμβάνουν την επιλογή τοποθεσίας, την εκτίμηση των πόρων, την ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη λειτουργική διαχείριση. Λόγω της προσαρμοστικότητας και της ικανότητάς τους να εκτελεί ανάλυση δεδομένων, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) αποτελούν απαραίτητο εργαλείο για την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μέσω της παροχής ακριβών γεωγραφικών πληροφοριών και της διευκόλυνσης της λήψης αποφάσεων που καθοδηγείται από δεδομένα, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στον στρατηγικό σχεδιασμό και την αποτελεσματική υλοποίηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Resch et al., 2014).

### **3.1.1 Εφαρμογές GIS στον σχεδιασμό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με έμφαση στην επιλογή τοποθεσίας φωτοβολταϊκών πάρκων.**

Διεξάγοντας μια μεθοδική εξέταση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με την εφαρμογή συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) στο σχεδιασμό έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ιδιαίτερη έμφαση στην επιλογή τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα, μπορεί κανείς να αποκτήσει μια ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου Το GIS χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της διαδικασίας επιλογής τοποθεσίας. Η χρήση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για την αύξηση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας της επιλογής αποδεκτών τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα είναι το αντικείμενο αυτής της συστηματικής ανασκόπησης, η οποία παρέχει λεπτομερή ανάλυση μιας ποικιλίας μελετών και μεθοδολογιών που έχουν χρησιμοποιήσει GIS. Η μελέτη οδήγησε σε μια σειρά από σημαντικές ανακαλύψεις, μία από τις οποίες ήταν η χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) στη διαδικασία επιλογής κατάλληλων χώρων για ηλιακά πάρκα. Η έρευνα δίνει σταθερά έμφαση στη χρήση πλαισίων ανάλυσης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDA) που βασίζονται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Αυτά τα πλαίσια επιτρέπουν στους σχεδιαστές να λαμβάνουν υπόψη ένα ευρύ φάσμα παραγόντων, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η κλίση του εδάφους, η χρήση γης, η εγγύτητα σε υποδομές και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Τα πλαίσια MCDA χρησιμοποιούν συστήματα

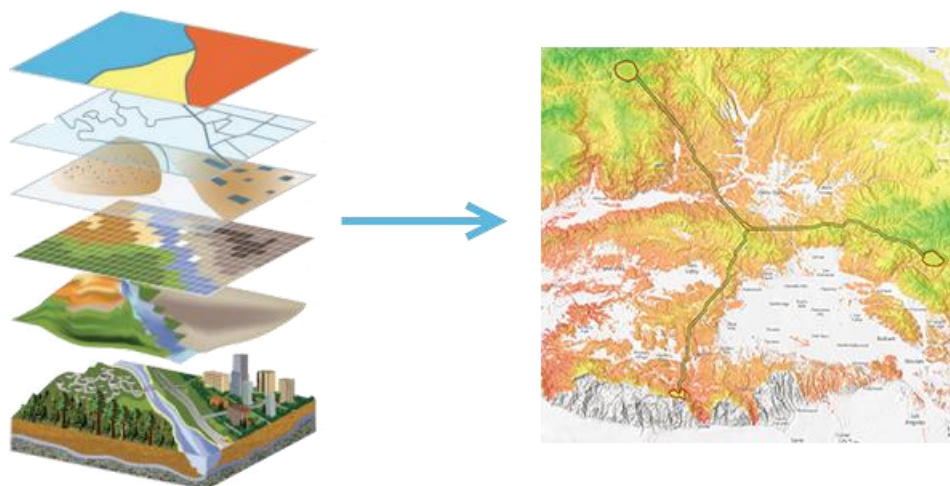
γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την εκτέλεση επικαλύψεων και αναλύσεων χωρικών δεδομένων, γεγονός που διευκολύνει την επιλογή βέλτιστων τοποθεσιών που πληρούν τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί για τη δημιουργία ηλιακών πάρκων. Μέσω της χρήσης της τεχνολογίας του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), η έρευνα υπογραμμίζει τη συνάφεια των δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας στη διαδικασία εντοπισμού κατάλληλων τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα. Το GIS χρησιμοποιείται συχνά σε μια σειρά από έρευνες με σκοπό τη χωρική ανάλυση και χαρτογράφηση της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ποικίλα πλαίσια. Προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά η μελλοντική παραγωγή ενέργειας ενός ηλιακού πάρκου, αυτό είναι ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιεί δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία σε συνδυασμό με άλλες γεωγραφικές πληροφορίες για τον εντοπισμό περιοχών που έχουν τις περισσότερες δυνατότητες για ηλιακή ενέργεια (Tunc et al., 2019).

Η βιβλιογραφία που εξετάστηκε περιέχει ουσιαστικό όγκο συζητήσεων για περιβαλλοντικά και κοινωνικά ζητήματα. Κατά τη διαδικασία επιλογής μιας τοποθεσίας για ένα ηλιακό πάρκο, οι εφαρμογές GIS συχνά ενσωματώνουν εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτές οι αξιολογήσεις έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίσουν ότι η εγκατάσταση ηλιακών πάρκων δεν θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα που βρίσκονται στη γύρω περιοχή. Για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν οι περιοχές που βρίσκονται κοντά σε καθορισμένες περιοχές διατήρησης, ενδιαιτήματα για ζώα και υδάτινα σώματα. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη κοινωνικές ανησυχίες όπως η ιδιοκτησία της γης, η πυκνότητα του πληθυσμού και η αποδοχή της κοινότητας προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα συγκρούσεων και να διασφαλιστεί ότι τα ηλιακά έργα είναι κοινωνικά βιώσιμα. Υπάρχει επίσης μια σημαντική ανησυχία σχετικά με τη χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) με σκοπό τη βελτιστοποίηση του χώρου και τις αξιολογήσεις καταλληλότητας. Λόγω των πολλών μοντέλων και αλγορίθμων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) που έχουν αναπτυχθεί από επιστήμονες, η διαδικασία επιλογής τοποθεσιών έχει αυτοματοποιηθεί, γεγονός που οδήγησε σε αύξηση τόσο της αποτελεσματικότητας όσο και της αντικειμενικότητας. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν συχνά τεχνικές όπως η ασαφής λογική, η αναλυτική ιεραρχία (AHP) και οι γενετικοί αλγόριθμοι, προκειμένου να χειριστούν τις πολυπλοκότητες και τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με την επιλογή διαφόρων

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα. Μέσω της χρήσης αυτών των προηγμένων προσεγγίσεων του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), οι σχεδιαστές είναι σε θέση να επιλέγουν μεθοδικά και με συνέπεια τα βέλτιστα μέρη. Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να καταδείξει την ευελιξία και την ευελιξία των εφαρμογών του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών πλαισίων, παρουσιάζοντας περιπτώσιολογικές μελέτες από διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Η έρευνα που διεξάγεται σε άνωδρες περιοχές επικεντρώνεται σε μεγάλο βαθμό στην ποσότητα της υπανάπτυκτης γης που δέχεται μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Από την άλλη πλευρά, η έρευνα που διεξάγεται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές τονίζει τη σημασία της ελαχιστοποίησης των συγκρούσεων που σχετίζονται με τη χρήση γης και την προσπάθεια μεγιστοποίησης της αποδοτικότητας της γης. Αυτές οι περιπτώσιολογικές μελέτες παρέχουν πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις πρακτικές εφαρμογές των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) σε ποικίλα περιβάλλοντα, καθώς και τις διάφορες προκλήσεις που αντιμετωπίζονται σε ποικίλες περιστάσεις (Tunc et al., 2019).

Με λίγα λόγια, η εξαντλητική ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας αποκαλύπτει ότι οι εφαρμογές συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) είναι απαραίτητες όταν πρόκειται για την εύρεση κατάλληλων τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα. Η ενοποίηση και η αξιολόγηση μιας μεγάλης ποικιλίας γεωγραφικών δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια αυτών των ισχυρών τεχνολογιών. Η εύρεση ιδανικών τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα βελτιώνεται σημαντικά με τη χρήση πολυκριτηριακών πλαισίων ανάλυσης αποφάσεων, αξιολογήσεων περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων και προηγμένων μοντέλων χωρικής βελτιστοποίησης, τα οποία υποστηρίζονται από συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Ταυτόχρονα, αυτό εγγυάται ότι οι επιλεγμένες περιοχές είναι προσαρμοσμένες ώστε να επιτυγχάνουν τη μέγιστη απόδοση, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιούνται τυχόν δυσμενείς συνέπειες. Μέσω αυτής της ολοκληρωμένης γνώσης, έρχεται στο φως η συνάφεια των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) στη διευκόλυνση του σχεδιασμού και της ανάπτυξης υποδομής ηλιακής ενέργειας (Uyan, 2013).



Εικόνα 5. Διαστρωματική απεικόνιση των Γεωπληροφοριακών συστημάτων. Πηγή (Uvan 2013).

### 3.1.2 Σύνοψη βασικών ευρημάτων, μεθοδολογίες και μελέτες περιπτώσεων που καταδεικνύουν τη χρησιμότητα του GIS στην ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πάρκων.

Η εργασία παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη ανάλυση σημαντικών ανακαλύψεων, μεθοδολογιών και πραγματικών παραδειγμάτων που υπογραμμίζουν την κρίσιμη σημασία των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για τον προσδιορισμό του εάν η ηλιακή ενέργεια είναι εφικτή ή όχι, προσδιορίζοντας εάν η γη είναι κατάλληλη για ηλιακά αγροκτήματα. και ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κατασκευής ηλιακών αγροκτημάτων. Η συνάφεια των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) στον στρατηγικό σχεδιασμό και την εφαρμογή των προσπάθειών ηλιακής ενέργειας φαίνεται από την ευρεία χρήση του GIS σε διάφορους τομείς. Η μελέτη καταδεικνύει ότι η χρήση GIS ενισχύει σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια του σχεδιασμού των ηλιακών πάρκων. Η χρήση λογισμικού συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών επιτρέπει την ενσωμάτωση ενός ευρέος φάσματος πληροφοριών, γεγονός που καθιστά ευκολότερη τη διεξαγωγή μιας εξαντλητικής ανάλυσης πιθανών τοποθεσιών. Τα πιο σημαντικά ευρήματα περιλαμβάνουν τη σημασία της ηλιακής ακτινοβολίας ως ουσιαστικής συνιστώσας στην επιλογή μιας τοποθεσίας, τη χρησιμότητα των πλαισίων ανάλυσης πολυκριτηριακών αποφάσεων (MCDA) που βασίζονται σε GIS για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας της γης και την αποτελεσματικότητα του GIS στη μεταφορά εκπονήσει ολοκληρωμένες εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Λαμβάνοντας υπόψη όλα αυτά τα ευρήματα, είναι σαφές ότι τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) δεν είναι μόνο ένα

αποτελεσματικό εργαλείο για τον προσδιορισμό των καταλληλότερων τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα, αλλά είναι επίσης απαραίτητα για τη διασφάλιση ότι τα έργα αυτά είναι κοινωνικά και περιβαλλοντικά αποδεκτά (Sánchez-Lozano et al., 2014).

Η πλειονότητα των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται στην ερευνητική βιβλιογραφία επικεντρώνονται στην ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων απόφασης (MCDA) με βάση το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS), τη χωρική ανάλυση και την περιβαλλοντική μοντελοποίηση. Τα πλαίσια MCDA που βασίζονται στο GIS επιτρέπουν την ενσωμάτωση ενός ευρέος φάσματος παραμέτρων, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η χρήση γης, το έδαφος, η εγγύτητα σε υποδομές και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί. Προκειμένου να αναπτυχθούν χάρτες καταλληλότητας που υποδεικνύουν τις καταλληλότερες θέσεις για την εγκατάσταση ηλιακών πάρκων, δίνονται στα κριτήρια βαρύτητα και αξιολογούνται με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί περαιτέρω η διαδικασία επιλογής τοποθεσίας, εφαρμόζονται τεχνικές χωρικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται συχνά, όπως ανάλυση επικάλυψης, προσωρινή αποθήκευση και ανάλυση εγγύτητας. Όταν η περιβαλλοντική μοντελοποίηση βασίζεται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), είναι δυνατό να αξιολογηθούν οι πιθανές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, τους υδάτινους πόρους και τις προστατευόμενες περιοχές. Αυτό βοηθά να διασφαλιστεί ότι τα ηλιακά πάρκα μπορούν να αναπτυχθούν με πράσινο και βιώσιμο τρόπο. Πολυάριθμες περιπτωσιολογικές μελέτες που προέρχονται από μια ποικιλία γεωγραφικών τοποθεσιών απεικονίζουν την πρακτική χρήση των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) στην κατασκευή ηλιακών πάρκων. Ένα παράδειγμα είναι μια μελέτη περίπτωσης που πραγματοποιήθηκε στην Ισπανία, όπου χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την αξιολόγηση του δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Η δημιουργία χαρτών που απεικονίζουν την ηλιακή ακτινοβολία και η ενσωμάτωση αυτών των χαρτών σε μελέτες καταλληλότητας γης επέτρεψε τον προσδιορισμό των περιοχών που θα ήταν πιο κατάλληλες για την εγκατάσταση ηλιακών πάρκων. Ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) στις εκτιμήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων παρουσιάστηκε από μια μελέτη περίπτωσης που πραγματοποιήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες. Κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας, το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιήθηκε για την υπέρθεση των θέσεων των προτεινόμενων ηλιακών αγροκτημάτων σε δεδομένα σχετικά με τα

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

ενδιαιτήματα των ζώων και τα πρότυπα μετανάστευσης. Αυτή η στρατηγική προσπάθησε να μειώσει το μέγεθος της βλάβης που προκαλείται στο περιβάλλον (Sánchez-Lozano et al., 2014).

Ο σκοπός αυτών των περιπτώσιολογικών μελετών είναι να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για επιτυχημένες προσεγγίσεις και συνήθειες προκλήσεις παρουσιάζοντας πραγματικά παραδείγματα για το πώς τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μπορούν να προσαρμοστούν σε μια σειρά διαφορετικών κοινωνικοοικονομικών και γεωγραφικών συνθηκών. Επιπλέον, τονίζουν την προσαρμοστικότητα των τεχνικών GIS σε ένα ευρύ φάσμα κλίμακων, από μικρής κλίμακας κοινοτικά έργα έως μεγάλης κλίμακας εμπορικά ηλιακά πάρκα. Η χρήση λογισμικού συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για τη χαρτογράφηση και ανάλυση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας είναι το κλειδί για τη χρησιμότητα της ανάλυσης του ηλιακού δυναμικού. Αυτό το λογισμικό καθιστά δυνατό τον εντοπισμό τόπων που έχουν τις υψηλότερες δυνατότητες ηλιακής ενέργειας. Αυτή είναι μια κοινή χρήση για μοντέλα ηλιακής ακτινοβολίας που ενσωματώνονται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Αυτά τα μοντέλα συχνά περιλαμβάνουν στοιχεία όπως γεωγραφικό πλάτος, υψόμετρο και τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες. Οι χάρτες ηλιακού δυναμικού που αναπτύσσονται είναι ζωτικής σημασίας για τοποθεσίες που έχουν τη δυνατότητα να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή ενέργειας, η οποία με τη σειρά της βελτιώνει την οικονομική βιωσιμότητα των προσπάθειών των ηλιακών πάρκων (Kausika et al., 2017).

Η αξιολόγηση της καταλληλότητας γης είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί την τεχνολογία του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για να προσδιορίσει εάν ορισμένες τοποθεσίες είναι κατάλληλες ή όχι για την κατασκευή ηλιακών αγροκτημάτων γεωργίας. Για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να διερευνηθεί μια μεγάλη ποικιλία φυσικών και κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών, προκειμένου να εντοπιστούν τοποθεσίες που είναι κατάλληλες για αυτόν τον στόχο. Για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη διάφορες πτυχές, όπως η κλίση του εδάφους, η γονιμότητα του εδάφους, η υπάρχουσα χρήση του ακινήτου και η εγγύτητα με την υποδομή. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση αυτών των παραγόντων προκειμένου να δημιουργηθούν ολοκληρωμένοι χάρτες καταλληλότητας που μπορούν να βοηθήσουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στον προσδιορισμό των καταλληλότερων σημείων για ηλιακή ανάπτυξη. Χρησιμοποιώντας συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), οι σχεδιαστές είναι Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

σε θέση να διασφαλίσουν ότι οι επιλεγμένες περιοχές όχι μόνο έχουν σημαντική ποσότητα ηλιακής χωρητικότητας αλλά έχουν επίσης τη δυνατότητα να αναπτυχθούν με τρόπο εφικτό και οικονομικά βιώσιμο. Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) αποτελούν βασικό συστατικό στη διαδικασία διεξαγωγής εκτιμήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων για έργα ηλιακών αγροκτημάτων. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιεί περιβαλλοντικά δεδομένα, όπως προστατευόμενες περιοχές, ενδιαιτήματα ζώων και υδάτινα σώματα, για να επικαλύψει πιθανές τοποθεσίες. Αυτό επιτρέπει τον εντοπισμό πιθανών συγκρούσεων και αρνητικών επιπτώσεων. Ως αποτέλεσμα, οι σχεδιαστές είναι σε θέση να κάνουν τροποποιήσεις στα σχέδια του έργου ή να επιλέξουν άλλα μέρη προκειμένου να μειώσουν τις δυνητικά επιζήμιες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η περιβαλλοντική μοντελοποίηση που βασίζεται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση των πιθανών επιπτώσεων που μπορεί να έχουν τα ηλιακά πάρκα στα τοπικά οικοσυστήματα. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό λύσεων μετριασμού και τη διασφάλιση της συμμόρφωσης με τη νομοθεσία. Συμπερασματικά, τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) διαδραματίζουν έναν ευέλικτο ρόλο στην ανάπτυξη των ηλιακών πάρκων αναλύοντας το ηλιακό δυναμικό, την καταλληλότητα της τοποθεσίας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο εργοτάξιο. Μέσω της ενσωμάτωσης αυτών των πτυχών στο GIS, δημιουργείται μια σταθερή βάση για το σχεδιασμό έργων ηλιακής ενέργειας που είναι οικονομικά βιώσιμα και περιβαλλοντικά υπεύθυνα. Οι μέθοδοι και οι περιπτώσιολογικές μελέτες που εξετάστηκαν απεικονίζουν τις πολλές εφαρμογές των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) σε ποικίλα πλαίσια, υπογραμμίζοντας τον κρίσιμο ρόλο που διαδραματίζει το GIS στην προώθηση των προσπάθειών για την προώθηση της πράσινης ενέργειας (Kausika et al., 2017).

### **3.1.3 Επισήμανση των αναδυόμενων τάσεων, προκλήσεων και ευκαιριών σε συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.**

Η ενσωμάτωση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS (DSS) σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προχωρά με διάφορα αναπτυσσόμενα πρότυπα που βελτιώνουν τις λειτουργικότητες και τις χρήσεις τους. Ένα παρατηρήσιμο μοτίβο



είναι η αυξανόμενη χρήση τεχνολογιών μεγάλων δεδομένων και μηχανικής μάθησης εντός των πλαισίων GIS. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν ακριβέστερες προβλέψεις και αναλύσεις με αποτελεσματικό χειρισμό μεγάλων ποσοτήτων χωρικών και μη δεδομένων. Μια άλλη αναδυόμενη τάση είναι η πρόοδος των εφαρμογών που βασίζονται στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) και το cloud computing. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν βελτιωμένη προσβασιμότητα και ενισχύουν τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων. Επιπλέον, η αυξανόμενη χρήση ροών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και αισθητήρων IoT γίνεται πιο διαδεδομένη, επιτρέποντας τη δυναμική παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτές οι εξελίξεις ενισχύουν την ταχύτητα και την ευελιξία των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων που βασίζονται σε GIS σε καταστάσεις πραγματικού χρόνου (Benalcazar et al., 2024).

Αν και έχουν σημειωθεί αξιοσημείωτες βελτιώσεις, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετά εμπόδια στην υιοθέτηση και χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ανησυχίες για την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων εξακολουθούν να είναι υψίστης σημασίας; Υπάρχει συχνά ανάγκη για δεδομένα υψηλής ανάλυσης και ακριβείας, ωστόσο δεν είναι σταθερά προσβάσιμα ή ομοιόμορφα σε διάφορα μέρη. Η ενσωμάτωση διαφορετικών πηγών δεδομένων αποτελεί πρόσθετο εμπόδιο, καθώς απαιτεί προηγμένες διαδικασίες επεξεργασίας και εναρμόνισης δεδομένων. Επιπλέον, η περίπλοκη φύση των μοντέλων που βασίζονται σε GIS ενδέχεται να εμποδίσει την αποδοχή τους, απαιτώντας ορισμένες ειδικές γνώσεις και ικανότητες που μπορεί να μην είναι εύκολα προσβάσιμες σε όλες τις επιχειρήσεις. Επιπλέον, τα υπέρογκα έξοδα που συνδέονται με την προμήθεια και τη συντήρηση τεχνολογίας και δεδομένων GIS ενδέχεται να λειτουργήσουν αποτρεπτικά, ιδιαίτερα για μικρότερες πρωτοβουλίες ή ιδρύματα με περιορισμένους οικονομικούς πόρους. Η διασφάλιση της εμπιστευτικότητας και της ακεραιότητας των δεδομένων είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, ειδικά κατά τον χειρισμό ευαίσθητων πληροφοριών (Benalcazar et al., 2024).



Εικόνα 6. Αξιολόγηση πιθανότητας αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας ταράτσας με χρήση GIS. Πηγή Benalcazar et al., 2024.

Αν και υπάρχουν δυσκολίες, υπάρχουν επίσης πολλές ευκαιρίες για τη βελτίωση και την αύξηση της χρήσης συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνεχής πρόοδος στην τεχνολογία τηλεπισκόπησης, όπως οι δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης και το LiDAR (Ανίχνευση και εμβέλεια φωτός), προσφέρει δυνατότητες για τη λήψη ακριβέστερων και ακριβέστερων γεωγραφικών δεδομένων. Ο συνδυασμός GIS με εξελιγμένα αναλυτικά εργαλεία όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μηχανική μάθηση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις δεξιότητες μοντελοποίησης πρόβλεψης και λήψης αποφάσεων. Η αυξανόμενη εστίαση στη βιώσιμη ανάπτυξη και η παγκόσμια προσπάθεια στροφής προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν ένα κατάλληλο περιβάλλον για επενδύσεις και χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS (DSS). Επιπλέον, η ενισχυμένη συνεργασία και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ κυβερνήσεων, ακαδημαϊκών ιδρυμάτων και επιχειρηματικών οργανώσεων μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα εμπόδια που σχετίζονται με τα δεδομένα και να τονώσει την καινοτομία στις εφαρμογές GIS. Η δημιουργία εύχρηστων πλατφορμών και εργαλείων GIS μπορεί να βοηθήσει στον εκδημοκρατισμό της διαθεσιμότητας αυτών των τεχνολογιών, επιτρέποντας σε μια ευρύτερη ποικιλία χρηστών να χρησιμοποιούν GIS για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Benalcazar et al., 2024).

Η ενσωμάτωση της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και της μηχανικής μάθησης σε συστήματα GIS επιτρέπει το χειρισμό και την εξέταση μεγάλων συνόλων δεδομένων, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της αξιολόγησης των τόπων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την πρόβλεψη των διαθέσιμων πόρων. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιήσουν προηγούμενα μοτίβα καιρού για να προβλέψουν με ακρίβεια τις δυνατότητες ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Η χρήση διαδικτυακών εργαλείων GIS και υπολογιστικού νέφους διευκολύνει τη βελτιωμένη προσβασιμότητα και τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την άμεση ανταλλαγή δεδομένων και τη συλλογική λήψη αποφάσεων, τα οποία είναι απαραίτητα για τον ευέλικτο σχεδιασμό και τον έλεγχο των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χρήση συσκευών IoT για τη συλλογή ενημερωμένων δεδομένων σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την παραγωγή ενέργειας και την απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη λειτουργική διαχείριση των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζεται σε GIS επιτρέπει γρήγορες τροποποιήσεις και βελτιστοποιήσεις, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική απόδοση και αξιοπιστία (Tiba et al., 2010).

Τα ακριβή και εκτεταμένα γεωγραφικά δεδομένα είναι ζωτικής σημασίας για αποτελεσματικές μελέτες GIS. Ωστόσο, οι αποκλίσεις στο επίπεδο λεπτομέρειας, ακρίβειας και έκτασης των δεδομένων ενδέχεται να εμποδίσουν την αξιοπιστία των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Η ανάπτυξη και η λειτουργία προηγμένων μοντέλων βασισμένων σε GIS απαιτεί συχνά σημαντικό βαθμό δεξιοτήτων, που μπορεί να περιορίσει την προσβασιμότητά τους σε όσους δεν είναι επαγγελματίες στον τομέα. Η περίπλοκη φύση αυτού μπορεί επίσης να οδηγήσει σε παρατεταμένες περιόδους εφαρμογής και να αυξημένες δαπάνες. Για τη διατήρηση της συνέπειας και της ακρίβειας, απαιτούνται εκτεταμένες διαδικασίες επεξεργασίας και εναρμόνισης δεδομένων όταν συνδυάζονται δεδομένα από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων δορυφορικών εικόνων, επίγειων παρατηρήσεων και κοινωνικοοικονομικών στατιστικών (Tiba et al., 2010). Οι συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία τηλεπισκόπησης παρέχουν προοπτικές για τη λήψη πιο περίπλοκων και ακριβών χωρικών δεδομένων. Η ακρίβεια των αξιολογήσεων καταλληλότητας γης και πόρων μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση δορυφορικών

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

εικόνων υψηλής ανάλυσης και τεχνολογίας LiDAR. Ο συνδυασμός τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης με GIS μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένα μοντέλα πρόβλεψης και αναλυτικά εργαλεία, βελτιώνοντας έτσι τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και βελτιστοποιώντας τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ενισχυμένη συνεργασία και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών μερών μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά ζητήματα που σχετίζονται με την ακρίβεια και την προσβασιμότητα των δεδομένων. Η κρατική και θεσμική υποστήριξη για έργα ανοιχτών δεδομένων μπορεί να βοηθήσει να καταστούν τα γεωγραφικά δεδομένα υψηλής ποιότητας πιο προσιτά για τον σχεδιασμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ενίσχυση της διαισθητικότητας και της φιλικότητας προς τον χρήστη των πλατφορμών GIS μπορεί να διευρύνει τον αριθμό των χρηστών, επιτρέποντας σε ένα ευρύτερο φάσμα ενδιαφερομένων να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία GIS για πρωτοβουλίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο εκδημοκρατισμός της πρόσβασης μπορεί να οδηγήσει σε ευρύτερη υιοθέτηση και ανάπτυξη πιο δημιουργικών εφαρμογών (Tiba et al., 2010).

Συνοψίζοντας, ενώ υπάρχουν αξιοσημείωτες δυσκολίες στην εφαρμογή συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι τρέχουσες εξελίξεις και δυνατότητες παρέχουν ενθαρρυντικές προοπτικές για την υπέρβαση αυτών των φραγμών. Συνδυάζοντας εξελιγμένες τεχνολογίες και ενισχύοντας τη συνεργασία, η ενσωμάτωση του GIS μπορεί να βελτιώσει τις δυνατότητές του και να αυξήσει την αποδοχή των έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προάγοντας παράλληλα τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και την ανάπτυξη.

### **3.2 Μεθοδολογικές εξελίξεις στην ανάλυση καταλληλότητας τοποθεσίας βάσει Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών**

Ο τομέας της ανάλυσης καταλληλότητας τοποθεσιών που βασίζεται σε GIS έχει δει αξιοσημείωτες εξελίξεις στη μεθοδολογία που βελτιώνουν την ακρίβεια, την αποτελεσματικότητα και τη συνάφειά της σε αρκετούς κλάδους, ειδικά στον σχεδιασμό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο κύριος στόχος αυτών των μεθοδολογικών εξελίξεων είναι ο συνδυασμός πολλών πλαισίων ανάλυσης κριτηρίων απόφασης (MCDA), η ενίσχυση προσεγγίσεων για την ενοποίηση και επεξεργασία δεδομένων και η συμπερίληψη εξελιγμένων μοντέλων υπολογιστών (Benalcazar et al., 2024).

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

Μια σημαντική βελτίωση στη μεθοδολογία είναι η ενσωμάτωση της ανάλυσης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDA) στα πλαίσια GIS. Οι μεθοδολογίες MCDA επιτρέπουν την αξιολόγηση πολλών κριτηρίων και της αντίστοιχης σημασίας τους για την αξιολόγηση της καταλληλότητας μιας τοποθεσίας. Αυτή η ενοποίηση επιτρέπει τη διεξοδική αξιολόγηση πιθανών τοποθεσιών, λαμβάνοντας υπόψη αρκετούς παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η οικονομική βιωσιμότητα και η κοινωνική έγκριση. Μέθοδοι όπως η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP) και η σταθμισμένη ανάλυση επικάλυψης χρησιμοποιούνται συχνά για την κατανομή βαρών σε διάφορα κριτήρια και τη συγχώνευσή τους σε μια ενιαία βαθμολογία καταλληλότητας. Αυτή η τεχνική ενισχύει τη λήψη αποφάσεων διασφαλίζοντας ότι λαμβάνονται υπόψη όλα τα σχετικά ζητήματα κατά τη διαδικασία επιλογής μιας τοποθεσίας, οδηγώντας σε καλύτερα ενημερωμένες και ισορροπημένες αποφάσεις (Benalcazar et al., 2024).

Μια άλλη αξιοσημείωτη πρόοδος είναι η ενίσχυση των δυνατοτήτων ολοκλήρωσης και επεξεργασίας δεδομένων στα συστήματα GIS. Η ακριβής ανάλυση καταλληλότητας τοποθεσίας απαιτεί τη σημαντική δυνατότητα συνδυασμού διαφόρων συνόλων δεδομένων, όπως δεδομένα τηλεπισκόπησης, κοινωνικοοικονομικά δεδομένα και περιβαλλοντικά δεδομένα. Η ακρίβεια των αξιολογήσεων καταλληλότητας έχει βελτιωθεί λόγω της προόδου στις μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων και της αυξημένης διαθεσιμότητας γεωγραφικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης. Για παράδειγμα, η χρήση δορυφορικής απεικόνισης υψηλής ανάλυσης και δεδομένων LiDAR (Light Detection and Ranging) παρέχουν ακριβή δεδομένα σχετικά με το σχήμα της γης, τη βλάστηση και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά που είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας μιας τοποθεσίας. Οι βελτιωμένες μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων διευκολύνουν επίσης τη διαχείριση εκτεταμένων και περίπλοκων συνόλων δεδομένων, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία και την πληρότητα της ανάλυσης. Η ενσωμάτωση εξελιγμένων μοντέλων υπολογιστών και τεχνικών μηχανικής μάθησης είναι μια σημαντική μεθοδολογική βελτίωση στις αξιολογήσεις καταλληλότητας τοποθεσιών που βασίζονται σε GIS. Αυτά τα μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να εξετάζουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων και να ανιχνεύουν μοτίβα που μπορεί να μην είναι εύκολα εμφανή με τις συμβατικές αναλυτικές τεχνικές. Οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης, όπως τα νευρωνικά δίκτυα και οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης, μπορούν να διδαχθούν χρησιμοποιώντας δεδομένα του παρελθόντος για την πρόβλεψη της καταλληλότητας των τοποθεσιών ανάλογα με διάφορα

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

χαρακτηριστικά. Αυτά τα μοντέλα βελτιώνουν τις δυνατότητες πρόβλεψης της ανάλυσης που βασίζεται σε GIS, επιτρέποντας πιο ακριβείς και αξιόπιστες αξιολογήσεις της καταλληλότητας της τοποθεσίας. Επιπλέον, η χρήση εργαλείων βελτιστοποίησης, όπως γενετικοί αλγόριθμοι και προσομοίωση ανόπτησης, επιτρέπει την ανακάλυψη βέλτιστων σχεδίων τοποθεσίας που μεγιστοποιούν τα απαιτούμενα κριτήρια μειώνοντας ταυτόχρονα τους περιορισμούς (Wahyuddin et al., 2021).

Η εισαγωγή εργαλείων GIS που βασίζονται στο διαδίκτυο και υπολογιστικού νέφους έχει αλλάξει σημαντικά τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στις αξιολογήσεις καταλληλότητας ιστοτόπων που βασίζονται σε GIS. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπουν στους ενδιαφερόμενους από διάφορα μέρη να συμμετέχουν στη διαδικασία ανάλυσης και λήψης αποφάσεων από κοινού. Οι πλατφόρμες του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) που βασίζονται στο Διαδίκτυο παρέχουν στους χρήστες τη δυνατότητα πρόσβασης και ενασχόλησης με χωρικά δεδομένα και αναλυτικά εργαλεία μέσω προγραμμάτων περιήγησης ιστού, βελτιώνοντας έτσι την προσβασιμότητα και τη φιλικότητα προς τον χρήστη της τεχνολογίας. Το cloud computing προσφέρει την απαραίτητη ικανότητα επεξεργασίας για τη διαχείριση εκτεταμένων συνόλων δεδομένων και περίπλοκων αναλύσεων, μειώνοντας έτσι τον χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται για αξιολογήσεις καταλληλότητας τοποθεσίας (Wahyuddin et al., 2021).

### **3.2.1 Εξερεύνηση των μεθοδολογικών προόδων στις τεχνικές Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών**

Οι εξελίξεις στη μεθοδολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) έχουν μεταμορφώσει πλήρως τη διαδικασία συλλογής, ανάλυσης και χρήσης χωρικών δεδομένων σε πολλούς τομείς όπως ο πολεοδομικός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική διαχείριση και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η πρόοδος που σημειώθηκε σε αυτούς τους τομείς έχει βελτιώσει σημαντικά τη λειτουργικότητα του GIS, μετατρέποντάς το σε ένα ισχυρό εργαλείο για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και τη διεξαγωγή γεωγραφικών αναλύσεων. Σημαντικές εξελίξεις περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση τεχνολογιών αιχμής συλλογής δεδομένων, βελτιωμένους αλγόριθμους για επεξεργασία

και ανάλυση δεδομένων και τη διεύρυνση των εφαρμογών συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μέσω της χρήσης μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης.

### **Τεχνολογίες αιχμής απόκτησης δεδομένων:**

Μια σημαντική πρόοδος στη μεθοδολογία GIS είναι η βελτίωση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων. Η τηλεπισκόπηση, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) και η τεχνολογία LiDAR έχουν βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια και τη λεπτομέρεια των γεωγραφικών δεδομένων. Οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, όπως η δορυφορική απεικόνιση υψηλής ανάλυσης και η αεροφωτογραφία, παρέχουν εκτενή και επίκαιρα δεδομένα για την επιφάνεια της Γης. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν τη συλλογή περιεκτικών δεδομένων σχετικά με τη χρήση γης, τη βλάστηση και την τοπογραφία, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για μια ποικιλία εφαρμογών GIS. Τα drones παρέχουν μια οικονομικά αποδοτική και ευέλικτη μέθοδο για τη λήψη λεπτομερών εικόνων και χωρικών δεδομένων σε δυσπρόσιτες περιοχές, προσφέροντας βασικές πληροφορίες για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, τη διαχείριση καταστροφών και την αξιολόγηση της υποδομής. Η τεχνολογία LiDAR, χρησιμοποιώντας παλμούς λέιζερ για τη δημιουργία ακριβών, τρισδιάστατων απεικονίσεων του τοπίου, έχει αναδειχθεί ως απαραίτητο εργαλείο στους τομείς της τοπογραφικής χαρτογράφησης, της διαχείρισης δασών και του πολεοδομικού σχεδιασμού.

### **Βελτιωμένοι αλγόριθμοι για την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων:**

Η πρόοδος των εξελιγμένων αλγορίθμων επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων έχει βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια των μελετών GIS. Μέθοδοι όπως η γεωγραφική παρεμβολή, η γεωστατιστική και η χωρική αυτοσυσχέτιση επιτρέπουν πιο προηγμένη εξέταση χωρικών προτύπων και συσχετισμών. Οι τεχνικές χωρικής παρεμβολής, όπως η στάθμιση kriging και η αντίστροφη απόσταση, διευκολύνουν την εκτίμηση των τιμών σε μέρη όπου δεν υπάρχουν δεδομένα, χρησιμοποιώντας τις τιμές από γνωστά σημεία. Αυτό ενισχύει την ακρίβεια των χωρικών μοντέλων. Οι γεωστατιστικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούν στατιστικά εργαλεία για την αξιολόγηση των γεωγραφικών δεδομένων, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για τη χωρική μεταβλητότητα και τις τάσεις. Η γεωγραφική αυτοσυσχέτιση ποσοτικοποιεί τον βαθμό στον οποίο οι γεωγραφικές οντότητες παρουσιάζουν συσχέτιση μεταξύ τους, διευκολύνοντας τον εντοπισμό συστάδων και

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

χωρικών αλληλεξαρτήσεων. Η πρόοδος στους αλγόριθμους επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων έχει διευρύνει τις λειτουργίες του GIS, επιτρέποντας πιο περίπλοκες και αξιόπιστες γεωγραφικές μελέτες (Clarke, 1986).

### **Ενοποίηση με τη Μηχανική Μάθηση και την Τεχνητή Νοημοσύνη:**

Η ενοποίηση του GIS με τη μηχανική μάθηση (ML) και την τεχνητή νοημοσύνη (AI) σηματοδοτεί μια ουσιαστική μεθοδολογική πρόοδο που έχει διευρύνει τις αναλυτικές δυνατότητες του GIS. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν την ικανότητα να χειρίζονται και να εξετάζουν εκτενείς πληροφορίες για να ανιχνεύουν μοτίβα και να κάνουν προβλέψεις, βελτιώνοντας έτσι τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε εφαρμογές GIS. Οι προσεγγίσεις εποπτευόμενης μάθησης, όπως η ταξινόμηση και η παλινδρόμηση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη αλλαγών στην κάλυψη γης. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνικές μάθησης χωρίς επίβλεψη, συμπεριλαμβανομένης της ομαδοποίησης, μπορούν να βοηθήσουν στην ανίχνευση χωρικών προτύπων και ανωμαλιών. Η τεχνητή νοημοσύνη, ειδικά η βαθιά μάθηση, έχει χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας εξαγωγής χαρακτηριστικών από γεωγραφικά δεδομένα, όπως η ανίχνευση κτιρίων και δρόμων από δορυφορική φωτογραφία. Η ενσωμάτωση αυτών των διεπαφών έχει διευκολύνει την ανάπτυξη πιο περίπλοκων μοντέλων και προγνωστικών αναλύσεων, ενισχύοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών GIS σε πολλούς τομείς, όπως ο πολεοδομικός σχεδιασμός, η περιβαλλοντική παρακολούθηση και η διαχείριση καταστροφών (Malczewski, 2004).

### **Βελτίωση εφαρμογών Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) με χρήση πλατφορμών που βασίζονται στο Διαδίκτυο και υπολογιστικού νέφους:**

Η εμφάνιση των διαδικτυακών πλατφορμών GIS και του cloud computing έχει φέρει επανάσταση στη διαθεσιμότητα και τη δυνατότητα επέκτασης των εφαρμογών GIS. Οι πλατφόρμες του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) που βασίζονται στο Web, όπως το ArcGIS Online και το Google Earth Engine, επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν εύκολη πρόσβαση και να αναλύουν χωρικά δεδομένα χρησιμοποιώντας προγράμματα περιήγησης ιστού, αυξάνοντας έτσι την προσβασιμότητα της τεχνολογίας GIS σε ένα ευρύτερο φάσμα χρηστών. Αυτές οι πλατφόρμες ενισχύουν την



ανταλλαγή δεδομένων και τη συνεργασία μεταξύ όλων των εμπλεκομένων, επιτρέποντας πιο αποτελεσματική και συντονισμένη λήψη αποφάσεων. Το cloud computing προσφέρει την απαραίτητη ικανότητα επεξεργασίας για το χειρισμό εκτεταμένων συνόλων δεδομένων και την εκτέλεση περίπλοκων αναλύσεων, μειώνοντας έτσι τον χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται για εφαρμογές GIS. Αυτή η επεκτασιμότητα επιτρέπει την ενσωμάτωση ροών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και η δημιουργία δυναμικών, διαδραστικών εφαρμογών GIS που μπορούν να είναι προσβάσιμες παγκοσμίως (Malczewski, 2004).

### **3.2.2 Αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και τους περιορισμούς των διαφορετικών μεθοδολογιών Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και τις επιπτώσεις τους στη λήψη αποφάσεων στην επιλογή τοποθεσίας φωτοβολταϊκού πάρκου.**

#### **Τηλεπισκόπηση και δορυφορικές εικόνες**

Η τηλεπισκόπηση αναφέρεται στη συλλογή δεδομένων για ένα αντικείμενο ή φαινόμενο από απόσταση, συχνά χρησιμοποιώντας δορυφόρους ή αεροσκάφη. Οι δορυφορικές εικόνες, από την άλλη πλευρά, αναφέρονται συγκεκριμένα στην οπτική αναπαράσταση της επιφάνειας της Γης που καταγράφεται από δορυφόρους. Η τηλεπισκόπηση και οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται συχνά τεχνικές στο GIS για την επιλογή κατάλληλων τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα. Αυτό συμβαίνει επειδή παρέχουν τα πλεονεκτήματα της συλλογής λεπτομερών δεδομένων και της κάλυψης μεγάλων γεωγραφικών περιοχών. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν τη γρήγορη και ακριβή αξιολόγηση εκτεταμένων περιοχών, επιτρέποντας τον αποτελεσματικό εντοπισμό βιώσιμων τοποθεσιών. Η τηλεπισκόπηση έχει σημαντικό όφελος στην ικανότητά της να διεξάγει χρονική ανάλυση, η οποία είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση των αλλαγών με την πάροδο του χρόνου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την κατανόηση του μακροπρόθεσμου ηλιακού δυναμικού και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιπλέον, οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν ολοκληρωμένα δεδομένα για την κάλυψη της γης, την τοπογραφία και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά που είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας μιας τοποθεσίας (Sarrau et al., 2024).

Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμοί που σχετίζονται με τη χρήση της τηλεπισκόπησης στη διαδικασία επιλογής κατάλληλων τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα. Η νεφοκάλυψη και οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες μπορεί να έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στην ποιότητα και την προσβασιμότητα των δορυφορικών εικόνων, με αποτέλεσμα κενά δεδομένων. Η λήψη εικόνων υψηλής ανάλυσης και σύγχρονων αισθητήρων μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή για πολλά έργα, ειδικά εκείνα με περιορισμένους προϋπολογισμούς. Επιπλέον, οι μεγάλες ποσότητες δεδομένων που παράγονται από την τηλεπισκόπηση χρειάζονται σημαντική υπολογιστική ικανότητα και εξειδικευμένη γνώση για να αναλυθούν αποτελεσματικά. Κατά την επιλογή μιας τοποθεσίας για ένα ηλιακό πάρκο, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη ορισμένα στοιχεία που σχετίζονται με την τηλεπισκόπηση ως τεχνική (Sarrau et al., 2024).

### **LiDAR (Ανίχνευση και εύρος φωτός)**

Η τεχνολογία LiDAR έχει πολλά πλεονεκτήματα για την επιλογή τοποθεσιών ηλιακών αγροκτημάτων, συγκεκριμένα όσον αφορά την ακρίβεια και το επίπεδο πληροφοριών. Το LiDAR προσφέρει πολύ ακριβείς πληροφορίες υψομέτρου και τοπογραφίας, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση παραμέτρων όπως η κλίση, η όψη και η σκίαση. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι απαραίτητα για τη μεγιστοποίηση της θέσης και της αποτελεσματικότητας των ηλιακών συλλεκτών. Αυτό το σύστημα είναι πολύ έμπειρο στον εντοπισμό της βλάστησης και των εμποδίων, επιτρέποντας την ακριβή αξιολόγηση των δυνατοτήτων της γης για την κατασκευή ηλιακών αγροκτημάτων. Το LiDAR βοηθά τους σχεδιαστές στον εντοπισμό τοποθεσιών με σημαντική σκιά ή τοπογραφικά εμπόδια, δημιουργώντας ακριβείς τρισδιάστατες αναπαραστάσεις του τοπίου. Αν και το LiDAR έχει πλεονεκτήματα, έχει επίσης εγγενείς περιορισμούς. Το υπέρογκο κόστος που σχετίζεται με τον εξοπλισμό LiDAR και τη συλλογή δεδομένων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο, ιδιαίτερα για έργα μικρότερης κλίμακας. Επιπλέον, η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων LiDAR απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και τεχνικής επάρκειας, τα οποία μπορεί να μην είναι εύκολα προσβάσιμα σε όλες τις επιχειρήσεις. Η απαιτούμενη περίπλοκη επεξεργασία δεδομένων μπορεί επίσης να είναι χρονοβόρα, προκαλώντας πιθανώς καθυστερήσεις στα χρονοδιαγράμματα του έργου. Είναι σημαντικό να αξιολογηθούν προσεκτικά τα μειονεκτήματα του LiDAR σε σχέση με τα

πλεονεκτήματά του κατά την αξιολόγηση της καταλληλότητας του για επιλογή τοποθεσίας (Sarrau et al., 2024).

### **Ανάλυση απόφασης πολλαπλών κριτηρίων βάσει γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) (MCDA)**

Η ενσωμάτωση της Ανάλυσης Πολλαπλών Κριτηρίων (MCDA) σε πλαίσια GIS είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος για την επιλογή τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα. Το MCDA επιτρέπει την αξιολόγηση πολλών πτυχών και της αντίστοιχης σημασίας τους, επιτρέποντας μια ενδεδειγμένη μελέτη εναλλακτικών τοποθεσιών. Η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP) και η σταθμισμένη ανάλυση επικάλυψης είναι μέθοδοι που επιτρέπουν την ενσωμάτωση πολλών παραγόντων, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η χρήση γης, η εγγύτητα σε υποδομές και οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί, σε έναν ενοποιημένο δείκτη καταλληλότητας. Αυτή η ολοκληρωμένη μέθοδος επιτρέπει τη λήψη αποφάσεων με καλά ενημερωμένο και δίκαιο τρόπο, διασφαλίζοντας ότι λαμβάνονται υπόψη όλα τα σχετικά ζητήματα κατά τη διαδικασία επιλογής μιας τοποθεσίας. Ωστόσο, η πολυπλοκότητα των μοντέλων MCDA μπορεί να παρέχει ένα σημαντικό μειονέκτημα. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή αυτών των μοντέλων απαιτεί συγκεκριμένες γνώσεις και δεξιότητες, οι οποίες ενδέχεται να περιορίσουν την προσβασιμότητά τους σε όσους δεν είναι επαγγελματίες του κλάδου. Η πράξη της κατανομής βαρών σε διάφορα κριτήρια μπορεί να περιλαμβάνει υποκειμενικότητα, η οποία μπορεί να επηρεάσει την αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η διαδικασία ενσωμάτωσης και ευθυγράμμισης διαφόρων πηγών δεδομένων μέσα σε ένα σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) ενδέχεται να παρουσιάζει δυσκολίες και να χρειάζεται σημαντική κατανομή πόρων. Προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό του MCDA στην επιλογή της τοποθεσίας του ηλιακού αγροκτήματος, είναι απαραίτητο να επιλυθούν αυτοί οι περιορισμοί (Asrami et al., 2023).

### **Ενοποίηση με τη Μηχανική Μάθηση και την Τεχνητή Νοημοσύνη**

Η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης (ML) και της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στο GIS είναι μια ουσιαστική μεθοδολογική πρόοδος που βελτιώνει την πρόβλεψη και ανάλυση. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν τη δυνατότητα να αναλύουν εκτεταμένα σύνολα δεδομένων προκειμένου να ανιχνεύουν τάσεις και να δημιουργούν προβλέψεις, ενισχύοντας έτσι την ακρίβεια των αξιολογήσεων του ιστότοπου. Η τεχνητή νοημοσύνη, ειδικά η βαθιά μάθηση, έχει τη δυνατότητα να αυτοματοποιεί τη

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

διαδικασία εξαγωγής χαρακτηριστικών από γεωγραφικά δεδομένα. Αυτό περιλαμβάνει εργασίες όπως η εύρεση κατάλληλων περιοχών γης με την ανάλυση ιστορικών δεδομένων και τη χρήση μοντέλων πρόβλεψης. Αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν πιο προηγμένη ανάλυση, με αποτέλεσμα πιο καλά ενημερωμένα συμπεράσματα. Αν και η ML και η τεχνητή νοημοσύνη υπόσχονται πολλά, η εφαρμογή τους στο GIS δημιουργεί επίσης εμπόδια. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών απαιτεί πρόσβαση σε εκτεταμένα σύνολα δεδομένων και σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους, οι οποίοι μπορεί να μην είναι καθολικά προσβάσιμοι σε όλες τις εταιρείες. Απαιτείται επίσης επάρκεια στην επιστήμη των δεδομένων και στη μηχανική μάθηση, γεγονός που μπορεί να εμποδίσει την αποδοχή και την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών. Επιπλέον, η αδιαφανής φύση πολλών αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις στην κατανόηση και την επαλήθευση των αποτελεσμάτων, μειώνοντας έτσι το άνοιγμα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Προκειμένου να ενσωματωθούν επιτυχώς η μηχανική μάθηση (ML) και η τεχνητή νοημοσύνη (AI) στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) με σκοπό την επιλογή κατάλληλων τοποθεσιών για ηλιακά πάρκα, είναι σημαντικό να χειριστούμε σχολαστικά αυτά τα ζητήματα (Asrami et al., 2023).

### **Πλατφόρμες GIS που βασίζονται στο Διαδίκτυο και Cloud Computing**

Η έλευση των διαδικτυακών πλατφορμών GIS και του cloud computing έχει φέρει επανάσταση στη διαθεσιμότητα και τη δυνατότητα επέκτασης των εφαρμογών GIS. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν στους χρήστες να λαμβάνουν και να εξετάζουν γεωγραφικά δεδομένα μέσω προγραμμάτων περιήγησης ιστού, αυξάνοντας έτσι την προσβασιμότητα του GIS σε ένα ευρύτερο φάσμα χρηστών. Το cloud computing προσφέρει την απαραίτητη ικανότητα επεξεργασίας για το χειρισμό εκτεταμένων συνόλων δεδομένων και την εκτέλεση περίπλοκων αναλύσεων, ελαχιστοποιώντας έτσι τον χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται για αξιολογήσεις καταλληλότητας τοποθεσίας. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και προωθούν τη συλλογική λήψη αποφάσεων, επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους από πολλά μέρη να συμμετέχουν στην αναλυτική διαδικασία. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες έχουν και τα όριά τους. Η εξάρτηση από τη σύνδεση στο Διαδίκτυο μπορεί να είναι μειονέκτημα σε περιοχές με περιορισμένη ή ασυνεπή πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Οι εκτιμήσεις για την ασφάλεια των δεδομένων και το απόρρητο έχουν μεγάλη σημασία, ειδικά όταν πρόκειται για ευαίσθητες πληροφορίες. Το κόστος της συνδρομής και της χρήσης υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους μπορεί να Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

συμβάλει στις συνολικές δαπάνες του έργου. Αν και υπάρχουν δυσκολίες, τα πλεονεκτήματα της βελτιωμένης προσβασιμότητας, της επεκτασιμότητας και της συνεργασίας καθιστούν τις διαδικτυακές πλατφόρμες GIS και το cloud computing ιδανικά εργαλεία για την επιλογή τοποθεσιών ηλιακών αγροκτημάτων (Asrami et al., 2023).

### **3.3 Ενοποίηση Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών με άλλες τεχνολογίες**

Η συγχώνευση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) με άλλες τεχνολογίες έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο συλλέγονται, εξετάζονται και χρησιμοποιούνται γεωγραφικά δεδομένα σε πολλούς τομείς. Αυτή η ενοποίηση έχει επιτρέψει τη χρήση πολλών τεχνολογιών για την αντιμετώπιση περίπλοκων χωρικών ζητημάτων, με αποτέλεσμα βελτιωμένες δυνατότητες λήψης αποφάσεων, σχεδιασμού και διαχείρισης.

#### **Ενοποίηση τηλεπισκόπησης και GIS:**

Η χρήση της τηλεπισκόπησης στο GIS έχει βελτιώσει σημαντικά την ικανότητα συλλογής εκτεταμένων και ακριβών γεωγραφικών δεδομένων. Οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, όπως δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες, παρέχουν ζωτικά δεδομένα για την επιφάνεια της Γης, συμπεριλαμβανομένης της κάλυψης του εδάφους, της τοπογραφίας και των κλιματικών μεταβλητών. Με την ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων που λαμβάνονται από την τηλεπισκόπηση σε πλατφόρμες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), οι αναλυτές είναι σε θέση να κάνουν προηγμένη χωρική ανάλυση, να παρακολουθούν τις αλλαγές με την πάροδο του χρόνου και να απεικονίζουν χωρικά μοτίβα με βελτιωμένη σαφήνεια και ακρίβεια. Αυτή η ενσωμάτωση είναι ιδιαίτερα επωφελής σε εφαρμογές όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η διαχείριση καταστροφών και ο πολεοδομικός σχεδιασμός, όπου οι ακριβείς γεωγραφικές πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη καλών ενημερωμένων αποφάσεων.

#### **Ενοποίηση των Παγκόσμιων Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης (GPS) με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS):**

Η συγχώνευση των Παγκόσμιων Συστημάτων Εντοπισμού Θέσης (GPS) με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) διευκολύνει τη στιγμιαία

χαρτογράφηση, εύρεση δρόμου και απόκτηση δεδομένων με ακριβείς γεωχωρικές συντεταγμένες. Η τεχνολογία GPS προσφέρει ακριβή δεδομένα τοποθεσίας, επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν την κίνηση των οχημάτων, του εξοπλισμού και των ανθρώπων σε πραγματικό χρόνο. Με την ενσωμάτωση με συστήματα GIS, αυτά τα δεδομένα τοποθεσίας μπορούν να υπερτίθενται σε χωρικούς χάρτες, επιτρέποντας στους χρήστες να μελετούν οπτικά χωρικά μοτίβα, να βελτιστοποιούν διαδρομές και να κάνουν καλά ενημερωμένες επιλογές χρησιμοποιώντας πληροφορίες τρέχουσας θέσης. Αυτή η ενοποίηση χρησιμοποιείται εκτενώς σε πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού μεταφορών, της διαχείρισης logistics και της απόκρισης έκτακτης ανάγκης. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση αποτελεσματικών λειτουργιών και λήψης αποφάσεων παρέχοντας ακριβή δεδομένα τοποθεσίας (Georgiou & Skarlatos, 2016).

#### **Ενοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS):**

Η συγχώνευση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με το GIS διευκόλυνε τη συλλογή, εξέταση και απεικόνιση ενημερωμένων γεωγραφικών δεδομένων από διασυνδεδεμένες συσκευές και αισθητήρες. Οι συσκευές Internet of Things (IoT), οι οποίες περιλαμβάνουν αισθητήρες, ενδέχεται να παρακολουθούν συνεχώς τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την απόδοση της υποδομής και άλλους γεωγραφικούς παράγοντες. Παρέχουν δεδομένα σε πλατφόρμες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για ανάλυση και οπτικοποίηση (Turek & Stepniak, 2021). Αυτή η σύνδεση επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αποκτήσουν γνώση σχετικά με γεωγραφικά πρότυπα, τάσεις και ανωμαλίες σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας την προληπτική λήψη αποφάσεων και αντίδραση. Ο συνδυασμός του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) είναι πολύ επωφελής σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων πόλεων, της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και της διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει τη χρήση χωρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και τη βελτίωση της βιωσιμότητας (Georgiou & Skarlatos, 2016).

#### **Ενοποίηση Big Data Analytics με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS):**

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

Με την ενσωμάτωση της ανάλυσης Big Data με το GIS, καθίσταται δυνατός ο χειρισμός, η ανάλυση και η οπτικοποίηση γεωγραφικών συνόλων δεδομένων που είναι τόσο τεράστια όσο και περίπλοκα. Οι προσεγγίσεις ανάλυσης Big Data, όπως η μηχανική μάθηση και η εξόρυξη δεδομένων, ενδέχεται να ανιχνεύουν μοτίβα, τάσεις και συσχετισμούς σε γεωγραφικά δεδομένα που μπορεί να μην είναι εμφανείς χρησιμοποιώντας συμβατικές αναλυτικές μεθόδους. Με την ενσωμάτωση με συστήματα GIS, αυτά τα εργαλεία ανάλυσης επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να αποκτήσουν χρήσιμες γνώσεις για τα χωρικά φαινόμενα, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων και τον προγραμματισμό με καλύτερη ενημέρωση. Αυτή η ολοκλήρωση είναι ιδιαίτερα επωφελής σε τομείς όπως ο πολεοδομικός σχεδιασμός, η δημόσια υγεία και η περιβαλλοντική διαχείριση, όπου εκτεταμένες ποσότητες χωρικών δεδομένων πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία για την κατανόηση των περίπλοκων χωρικών δεσμών και προτύπων (Randy Gimblett, 2002). Ο συνδυασμός των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών με άλλες τεχνολογίες έχει ανοίξει νέες ευκαιρίες για τη συλλογή, την εξέταση και τη χρήση γεωγραφικών δεδομένων. Με την ενσωμάτωση των δυνατοτήτων πολλών τεχνολογιών, οι εταιρείες μπορούν να λάβουν χρήσιμες γνώσεις σχετικά με τα χωρικά μοτίβα, τις τάσεις και τις συνδέσεις, γεγονός που διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων και τον προγραμματισμό με καλύτερη ενημέρωση σε διάφορους τομείς (Turek & Stępnia, 2021).

### **3.4 Επιπτώσεις πολιτικής και σχεδιασμού των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS**

Η χάραξη πολιτικής και ο πολεοδομικός σχεδιασμός επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS (DSS). Αυτά τα συστήματα βελτιώνουν την κατανομή πόρων, τη δημιουργία υποδομών και τη διαχείριση του περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας γεωγραφικά δεδομένα και αναλυτικά εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων. Οι επιπτώσεις πολιτικής και σχεδιασμού των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων που βασίζονται σε GIS (DSS) μπορούν να αξιολογηθούν λαμβάνοντας υπόψη πολλούς σημαντικούς παράγοντες:

#### **1. Λήψη αποφάσεων με βάση αποδεικτικά στοιχεία**

Η λήψη αποφάσεων με βάση τα στοιχεία γίνεται ευκολότερη από τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων που βασίζονται σε GIS (DSS) που παρέχουν στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και στους σχεδιαστές πρόσβαση σε ολοκληρωμένα Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

χωρικά δεδομένα και αναλυτικά εργαλεία. Αυτά τα συστήματα κατανοούν καλύτερα πολύπλοκες γεωγραφικές σχέσεις και μοτίβα ενσωματώνοντας πληροφορίες και χρησιμοποιώντας χωρικές αναλυτικές προσεγγίσεις. Αυτό βοηθά τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να εντοπίζουν προβληματικούς τομείς, να δίνουν προτεραιότητα στα μέτρα και να κατανέμουν τους πόρους πιο αποτελεσματικά. Αυτή η τεκμηριωμένη προσέγγιση διευκρινίζει και καθιστά υπεύθυνους τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, με αποτέλεσμα την καλύτερη ενημερωμένη και δίκαιη πολιτική (Arampatzis et al., 2004).

## **2. Χωροταξικός Σχεδιασμός και Διαχείριση Χρήσης Γης**

Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) που βασίζονται σε GIS βοηθούν στην αξιολόγηση της καταλληλότητας της τοποθεσίας, στον εντοπισμό τοποθεσιών ανάπτυξης και στη διαχείριση των φυσικών πόρων. Αυτά τα συστήματα αναλύουν τα πρότυπα χρήσης γης, τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και την προσβασιμότητα στις υποδομές για να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη χρήση γης και στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης. Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) που βασίζονται σε GIS βοηθούν στη δημιουργία σχεδίων χρήσης γης χρησιμοποιώντας χωρικά δεδομένα σχετικά με τα δημογραφικά στοιχεία, τις μεταφορές και την ποιότητα του περιβάλλοντος. Αυτά τα σχέδια προσπαθούν να συμφιλιώσουν τα αντίθετα συμφέροντα και να εξασφαλίσουν μακροπρόθεσμη αστική και αγροτική ανάπτυξη. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS αυξάνουν την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση καταστροφών. Αυτά τα συστήματα αναλύουν κινδύνους, σχεδιάζουν τον μετριασμό και συντονίζουν τις δραστηριότητες απόκρισης χρησιμοποιώντας τρέχοντα γεωγραφικά δεδομένα και αναλύσεις. Αυτά τα εργαλεία βοηθούν στον εντοπισμό ευάλωτων περιοχών, στην αξιολόγηση των οδών εκκένωσης και στην αποτελεσματική κατανομή πόρων κατά τη διάρκεια κρίσεων. Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) που βασίζονται σε GIS συνδυάζουν κινδύνους, δημογραφικά στοιχεία πληθυσμού και σημαντικές υποδομές για να συμβάλουν στη μείωση των κινδύνων καταστροφών και στην ενίσχυση των κοινοτήτων. Αυτές οι πλατφόρμες ενθαρρύνουν επίσης τη διωπηρεσιακή συνεργασία και την ανταλλαγή πληροφοριών, αυξάνοντας τον συντονισμό απόκρισης έκτακτης ανάγκης μεταξύ των διαφόρων μερών (Asmawi et al., 2011).

## **3. Περιβαλλοντική Διαχείριση και Διατήρηση:**

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος



Τα Συστήματα Βοήθειας Αποφάσεων (DSS) που βασίζονται σε GIS βοηθούν στην παρακολούθηση, τη μοντελοποίηση και τη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση και τη διατήρηση του περιβάλλοντος. Αυτές οι τεχνολογίες βοηθούν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να αναλύσουν τα οικολογικά, τη βιοποικιλότητα και τα χωρικά δεδομένα των φυσικών πόρων. Αυτό βοηθά στον καθορισμό προτεραιοτήτων διατήρησης, στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη δημιουργία στρατηγικών βιώσιμης διαχείρισης πόρων. Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) που βασίζονται σε GIS βοηθούν στη δημιουργία πολιτικών και κανονισμών που βασίζονται σε γεγονότα ενσωματώνοντας δεδομένα κάλυψης γης, ποιότητας οικοτόπου και κατανομής ειδών. Αυτοί οι περιορισμοί ενθαρρύνουν την προστασία του περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας. Αυτές οι στρατηγικές αυξάνουν επίσης τη συμμετοχή των ενδιαφερομένων και του κοινού στη λήψη περιβαλλοντικών αποφάσεων, καθιστώντας τα έργα διατήρησης πιο διαφανή και νόμιμα (Xia et al., 2014).

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε GIS βοηθούν τις μεταφορές και τον σχεδιασμό υποδομών. Αυτά τα συστήματα βοηθούν στην ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων για δίκτυα μεταφορών, μοτίβα κυκλοφορίας και ανάγκες υποδομής. Αυτές οι τεχνολογίες βοηθούν τους σχεδιαστές να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος μεταφορών, να εντοπίσουν τα σημεία εστίασης της κυκλοφορίας και να δώσουν προτεραιότητα στις μελλοντικές επενδύσεις σε υποδομές. Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) που βασίζονται σε GIS συμβάλλουν στη δημιουργία βιώσιμων, συνδεδεμένων και προσβάσιμων σχεδίων μεταφορών χρησιμοποιώντας την αύξηση του πληθυσμού, τις αλλαγές χρήσης γης και δεδομένα οικονομικής ανάπτυξης (Xia et al., 2014). Αυτά τα συστήματα συντονίζουν και ενσωματώνουν επίσης διάφορες μορφές μεταφοράς, επιτρέποντας στους πολιτικούς να παρέχουν ολοκληρωμένες λύσεις για τις ανάγκες αστικής και αγροτικής κινητικότητας.

### **Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Προκειμένου να ενισχυθούν οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να αξιοποιηθεί στο έπακρο η ανάπτυξή τους, η ενοποίηση των συστημάτων ηλιακής ενέργειας με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) παρέχει ουσιαστικές προοπτικές. Σε περαιτέρω έρευνα στον τομέα αυτό, πρέπει να δοθεί ύψιστη

προτεραιότητα στην επίλυση των υφιστάμενων ελλείψεων και στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της χρήσης ηλιακής ενέργειας. Η δημιουργία πιο εξελιγμένων μοντέλων συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για τη μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ένα κρίσιμο θέμα που πρέπει να δοθεί προτεραιότητα. Προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια των προβολών ηλιακής ακτινοβολίας, αυτά τα μοντέλα πρέπει να περιλαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και ισχυρούς αλγόριθμους μηχανικής μάθησης. Αυτό θα τους επιτρέψει να λαμβάνουν υπόψη τις δυναμικές περιβαλλοντικές παραλλαγές σε όλη τη διαδικασία μοντελοποίησης. Όταν πρόκειται για τη βελτιστοποίηση της θέσης και της απόδοσης των συστημάτων ηλιακής ενέργειας, η ύπαρξη ακριβών προβλέψεων της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ απαραίτητη. Η βελτίωση των μεθόδων εντοπισμού βέλτιστων θέσεων για ηλιακά πάρκα με την εφαρμογή Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (MCDA) εντός πλαισίων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) είναι ένα άλλο ουσιαστικό θέμα που θα αποτελέσει το επίκεντρο της μελέτης στο μέλλον. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι λαμβάνεται μια διεξοδική προσέγγιση κατά την αξιολόγηση της καταλληλότητας μιας τοποθεσίας, η έρευνα πρέπει να περιλαμβάνει ένα ευρύτερο φάσμα παραγόντων, όπως κοινωνικοοικονομικά ζητήματα, κανόνες χρήσης γης και εκτιμήσεις επιπτώσεων στην κοινότητα. Όταν οι ερευνητές λαμβάνουν υπόψη μια ευρύτερη ποικιλία κριτηρίων, είναι σε θέση να καθορίσουν τις τοποθεσίες που είναι πιο κατάλληλες για εγκαταστάσεις ηλιακών πάρκων. Στόχος αυτής της στρατηγικής είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας με ταυτόχρονη μείωση τυχόν αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και στους ανθρώπους που ζουν στη γύρω περιοχή. Επιπλέον, είναι σημαντικό να διερευνηθούν προσεγγίσεις αιχμής που βασίζονται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) προκειμένου να βελτιωθεί η ευθυγράμμιση και η παρακολούθηση των ηλιακών συλλεκτών. Η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων που χρησιμοποιούν τα τρέχοντα δεδομένα του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για τη δυναμική προσαρμογή της θέσης των ηλιακών συλλεκτών προκειμένου να επιτευχθεί το υψηλότερο δυνατό επίπεδο απόδοσης εξοικονόμησης ενέργειας θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω μελέτης. Με τη βελτίωση της ακρίβειας της ευθυγράμμισης και της παρακολούθησης των ηλιακών πάνελ, είναι δυνατό να επιτευχθεί ο στόχος της βελτίωσης της συνολικής απόδοσης των συστημάτων ηλιακής ενέργειας.

Επιπλέον, είναι υψίστης σημασίας να επικεντρωθούν οι ερευνητικές προσπάθειες προς την ανάπτυξη λύσεων βασισμένων σε Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) που απλοποιούν την ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στα υπάρχοντα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και αυξάνουν την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας. Για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητο να διερευνηθούν υβριδικά ενεργειακά συστήματα που συνδυάζουν την ηλιακή ενέργεια με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας και τεχνολογίας αποθήκευσης αιχμής. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία και η σταθερότητα αυτών των συστημάτων, είναι ζωτικής σημασίας να ενσωματωθούν συστήματα ηλιακής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο με αποτελεσματικό τρόπο και να αναπτυχθούν λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές όπου η ποσότητα του ηλιακού φωτός που είναι διαθέσιμη ποικίλλει. Συνοψίζοντας, το επίκεντρο της μελλοντικής έρευνας θα πρέπει να είναι η βελτίωση της μοντελοποίησης GIS με σκοπό την ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη βελτίωση των μεθόδων επιλογής τοποθεσίας μέσω της χρήσης της Ανάλυσης Απόφασης Πολυκριτηρίων (MCDA), την ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων για την ευθυγράμμιση και την παρακολούθηση ηλιακών πάνελ και σχεδιασμός λύσεων βασισμένων σε GIS με σκοπό την ενσωμάτωση της ηλιακής ενέργειας στο δίκτυο και την αποθήκευση ενέργειας. Είναι δυνατό για τους ερευνητές να βελτιώσουν την απόδοση και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της ηλιακής ενέργειας εστιάζοντας σε αυτά τα σημαντικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα διευκόλυνε τη μετάβαση των ανθρώπων σε όλο τον κόσμο σε φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας.

## Σύνοψη

Με λίγα λόγια, αυτή η εκτεταμένη μελέτη της ηλιακής ενέργειας και της ενσωμάτωσής της με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) ρίχνει φως στην περίπλοκη φύση της διαδικασίας σχεδιασμού για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πραγματοποιώντας μια εις βάθος μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας, των τεχνολογιών μετατροπής ενέργειας και της χρήσης της ηλιακής ενέργειας στα κτίρια, έχουμε αποκτήσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την πολυπλοκότητα της δέσμευσης ηλιακής ενέργειας καθώς και τα πιθανά οφέλη από αυτήν. Επιπλέον, η πλήρης κατανόηση των προκλήσεων και των προόδων στην παραγωγή ηλιακής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τη διεξοδική διερεύνηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, των εννοιών πίσω από τη λειτουργία τους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της χρήσης τους.

Διερευνήσαμε το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα όσον αφορά την επιλογή θέσεων για ηλιακά πάρκα. Μέσα από μια ανάλυση των μεθοδολογιών, των περιπτώσιολογικών μελετών και των αναδυόμενων τάσεων στις εφαρμογές του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την κατασκευή ηλιακών αγροκτημάτων, η παρούσα εργασία υπογραμμίζει τον σημαντικό ρόλο που παίζουν τα χωρικά αναλυτικά εργαλεία στη διευκόλυνση της διαδικασίας λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων σε έναν οργανισμό. Επιπλέον, η διερεύνηση των μεθοδολογικών βελτιώσεων και η αξιολόγηση των μεθόδων GIS συμβάλλουν στη βελτίωση της κατανόησης των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών που σχετίζονται με τις αξιολογήσεις καταλληλότητας του χώρου, γεγονός που τελικά οδηγεί στην ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών για την επιλογή τοποθεσιών ΦΒ πάρκων. Επιπλέον, η ενοποίηση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με άλλες τεχνολογίες, όπως η τηλεπισκόπηση, το GPS και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σχεδιασμού για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η δημιουργία γεωγραφικών μοντέλων, η παροχή βοήθειας λήψης αποφάσεων και η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο καθίστανται δυνατά από αυτούς τους συνδέσμους. Ως συνέπεια αυτού, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων και οι σχεδιαστές έχουν την ικανότητα να επιλύουν πολύπλοκες χωρικές προκλήσεις με αυξημένη ακρίβεια και προνοητικότητα.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

Οι επιπτώσεις των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για τον σχεδιασμό και την πολιτική δείχνουν τις μετασχηματιστικές δυνατότητες των χωρικών αναλυτικών εργαλείων στη διαδικασία δημιουργίας πολιτικών και στρατηγικών βιώσιμης ενέργειας. Μέσω της διευκόλυνσης της τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων, της υποστήριξης του χωροταξικού σχεδιασμού και της επίλυσης περιβαλλοντικών ανησυχιών, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (DSS) που βασίζονται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) συμβάλλουν στην υλοποίηση ενός πιο ισχυρού, δίκαιου και βιώσιμου ενεργειακού μέλλον. Είμαστε σε θέση να αξιοποιήσουμε τις δυνάμεις των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) για να επιταχύνουμε τη μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να μειώσουμε τις παγκόσμιες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη συνέχιση της μελέτης, την τόνωση της καινοτομίας και την προώθηση της συνεργασίας.

## Βιβλιογραφία

- Adhikari, N. (2020) GIS, its problems and potential solution approaches in the IT profession, Medium. Available at: <https://medium.com/@nirmaladhikari/gis-its-problems-and-potential-solution-approaches-in-the-it-profession-b65dae493746> (Accessed: 14 April 2024).
- Arampatzis, G. et al. (2004) ‘A GIS-based decision support system for Planning Urban Transportation Policies’, *European Journal of Operational Research*, 152(2), pp. 465–475. doi:10.1016/s0377-2217(03)00037-7.
- Asmawi, M. et al. (2011) ‘Application of GIS-Planning Decision Support System in predicting development impact assessment’, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-4/C21, pp. 51–58. doi:10.5194/isprsarchives-xxxviii-4-c21-51-2011.
- Asrami, R.F. et al. (2023) ‘Geographical Information System as an approach for PV power plants allocation with 3e criteria’, *Solar Energy*, 264, p. 111966. doi:10.1016/j.solener.2023.111966.
- Azzopardi, B. et al. (2011) ‘Economic assessment of solar electricity production from organic-based photovoltaic modules in a domestic environment’, *Energy & Environmental Science*, 4(10), p. 3741. doi:10.1039/c1ee01766g.
- Benalcazar, P., Komorowska, A. and Kamiński, J. (2024) ‘A GIS-based method for assessing the economics of utility-scale photovoltaic systems’, *Applied Energy*, 353, p. 122044. doi:10.1016/j.apenergy.2023.122044.
- Burrough, P.A., McDonnell, R. and Lloyd, C.D. (2015) *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press.
- Camacho, E.F. and Berenguel, M. (2012) ‘Control of Solar Energy Systems’, *IFAC Proceedings Volumes*, 45(15), pp. 848–855. doi:10.3182/20120710-4-sg-2026.00181.
- Castillo, A. and Gayme, D.F. (2014) ‘Grid-scale energy storage applications in Renewable Energy Integration: A Survey’, *Energy Conversion and Management*, 87, pp. 885–894. doi:10.1016/j.enconman.2014.07.063.
- Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας, Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

Clarke, K.C. (1986) ‘Advances in geographic information systems’, *Computers, Environment and Urban Systems*, 10(3–4), pp. 175–184. doi:10.1016/0198-9715(86)90006-2.

Coskun, C., Oktay, Z. and Dincer, I. (2011) ‘Estimation of monthly solar radiation distribution for solar energy system analysis’, *Energy*, 36(2), pp. 1319–1323. doi:10.1016/j.energy.2010.11.009.

Dupraz, C. et al. (2011) ‘Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new AGRIVOLTAIC schemes’, *Renewable Energy*, 36(10), pp. 2725–2732. doi:10.1016/j.renene.2011.03.005.

Eshraghi, J. et al. (2014) ‘A comprehensive feasibility study of applying solar energy to design a zero energy building for a typical home in Tehran’, *Energy and Buildings*, 72, pp. 329–339. doi:10.1016/j.enbuild.2014.01.001.

Georgiou, A. and Skarlatos, D. (2016) ‘Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and Geographical Information Systems’, *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 5(2), pp. 321–332. doi:10.5194/gi-5-321-2016.

Gong, J., Li, C. and Wasielewski, M.R. (2019) ‘Advances in solar energy conversion’, *Chemical Society Reviews*, 48(7), pp. 1862–1864. doi:10.1039/c9cs90020a.

Goodchild, M.F. (2005) ‘Geographic Information Systems’, *Encyclopedia of Social Measurement*, pp. 107–113. doi:10.1016/b0-12-369398-5/00335-2.

Goodchild, M.F. (2010) ‘Formalizing place in geographic information systems’, *Communities, Neighborhoods, and Health*, pp. 21–33. doi:10.1007/978-1-4419-7482-2\_2.

Hafez, A.Z., Yousef, A.M. and Harag, N.M. (2018) ‘Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A Review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, pp. 754–782. doi:10.1016/j.rser.2018.03.094.

- Hassan, Q. et al. (2024) ‘GIS-based multi-criteria analysis for solar, wind, and biomass energy potential: A case study of Iraq with implications for climate goals’, *Results in Engineering*, 22, p. 102212. doi:10.1016/j.rineng.2024.102212.
- Hayat, M.B. et al. (2018) ‘Solar energy-a look into power generation, challenges, and a solar-powered future’, *International Journal of Energy Research*, 43(3), pp. 1049–1067. doi:10.1002/er.4252.
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S. and Alonso-Gómez, V. (2019) ‘A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance’, *Solar Energy*, 188, pp. 426–440. doi:10.1016/j.solener.2019.06.017.
- Hosenuzzaman, M. et al. (2015) ‘Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, pp. 284–297. doi:10.1016/j.rser.2014.08.046.
- Iqbal, M. (1983) *An introduction to solar radiation*. Toronto: Academic Press.
- Kabir, E. et al. (2018) ‘Solar energy: Potential and future prospects’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp. 894–900. doi:10.1016/j.rser.2017.09.094.
- Kannan, N. and Vakeesan, D. (2016) ‘Solar Energy for future world: - A Review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, pp. 1092–1105. doi:10.1016/j.rser.2016.05.022.
- Hassan, Q. et al. (2024) ‘GIS-based multi-criteria analysis for solar, wind, and biomass energy potential: A case study of Iraq with implications for climate goals’, *Results in Engineering*, 22, p. 102212. doi:10.1016/j.rineng.2024.102212.
- Kent, A. and Vujakovic, P. (2018) *The Routledge Handbook of Mapping and Cartography*. Milton Park, Abingdon, Oxon: Routledge.
- Landis, P. (2019) 28 uses of GIS Technology, LinkedIn. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/28-uses-gis-technology-peter-landis/> (Accessed: 14 April 2024).
- Lewis, N.S. (2016) ‘Research opportunities to advance solar energy utilization’, *Science*, 351(6271). doi:10.1126/science.aad1920.



- Li, Y. and Feng, H. (2023) ‘GIS for the potential application of renewable energy in buildings towards net zero: A perspective’, *Buildings*, 13(5), p. 1205. doi:10.3390/buildings13051205.
- Malczewski, J. (2004) ‘GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview’, *Progress in Planning*, 62(1), pp. 3–65. doi:10.1016/j.progress.2003.09.002.
- Mekhilef, S., Saidur, R. and Safari, A. (2011) ‘A review on solar energy use in industries’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), pp. 1777–1790. doi:10.1016/j.rser.2010.12.018.
- Meral, M.E. and Dinçer, F. (2011) ‘A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based Electricity Generation Systems’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), pp. 2176–2184. doi:10.1016/j.rser.2011.01.010.
- Parida, B., Iniyar, S. and Goic, R. (2011) ‘A review of Solar Photovoltaic Technologies’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), pp. 1625–1636. doi:10.1016/j.rser.2010.11.032.
- Randy Gimblett, H. (2002) ‘Integrating Geographic Information Systems and agent-based technologies for modeling and simulating social and ecological phenomena’, *Integrating Geographic Information Systems and Agent-Based Modeling Techniques for Understanding Social and Ecological Processes* [Preprint]. doi:10.1093/oso/9780195143362.003.0007.
- Resch, B. et al. (2014) ‘GIS-based planning and modeling for renewable energy: Challenges and future research avenues’, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(2), pp. 662–692. doi:10.3390/ijgi3020662.
- Sarrau, J., Alkaabi, K. and Bin Hdhaiba, S.O. (2024) ‘Exploring GIS techniques in sea level change studies: A comprehensive review’, *Sustainability*, 16(7), p. 2861. doi:10.3390/su16072861.
- Sanchez-Lozano, J.M. et al. (2013) ‘Geographical Information Systems (GIS) and Multi-criteria Decision making (MCDM) methods for the evaluation of Solar Farms

locations: Case study in south-eastern Spain’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, pp. 544–556. doi:10.1016/j.rser.2013.03.019.

Sánchez-Lozano, J.M. et al. (2014) ‘GIS-based Photovoltaic Solar Farms site selection using Electre-tri: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, southeast of Spain’, *Renewable Energy*, 66, pp. 478–494. doi:10.1016/j.renene.2013.12.038.

Sward, J.A. et al. (2021) ‘Integrating social considerations in multicriteria decision analysis for utility-scale solar photovoltaic siting’, *Applied Energy*, 288, p. 116543. doi:10.1016/j.apenergy.2021.116543.

Tammaro, M. et al. (2016) ‘Experimental investigation to evaluate the potential environmental hazards of photovoltaic panels’, *Journal of Hazardous Materials*, 306, pp. 395–405. doi:10.1016/j.jhazmat.2015.12.018.

Tawalbeh, M. et al. (2021) ‘Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and Future Outlook’, *Science of The Total Environment*, 759, p. 143528. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143528.

Tiba, C. et al. (2010) ‘A GIS-based decision support tool for Renewable Energy Management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil’, *Renewable Energy*, 35(12), pp. 2921–2932. doi:10.1016/j.renene.2010.05.009.

Tunc, A. et al. (2019) ‘GIS based solar power plants site selection using Analytic Hierarchy Process (AHP) in Istanbul, Turkey’, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W13, pp. 1353–1360. doi:10.5194/isprs-archives-xlii-2-w13-1353-2019.

Turek, T. and Stępnia, C. (2021) ‘Areas of integration of GIS technology and Smart City Tools. research findings’, *Procedia Computer Science*, 192, pp. 4681–4690. doi:10.1016/j.procs.2021.09.246.

Uyan, M. (2013) ‘GIS-based Solar Farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, pp. 11–17. doi:10.1016/j.rser.2013.07.042.

Wahyuddin, S. et al. (2021) ‘Land suitability analysis using Geographic Information System (GIS): A case study in soppeng district’, *Journal of Physics: Conference Series*, 1918(4), p. 042154. doi:10.1088/1742-6596/1918/4/042154.

Wang, L. et al. (2016) ‘Solar radiation prediction using different techniques: Model Evaluation and comparison’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, pp. 384–397. doi:10.1016/j.rser.2016.04.024.

Xia, J. et al. (2014) ‘Development of a GIS-based decision support system for diagnosis of river system health and restoration’, *Water*, 6(10), pp. 3136–3151. doi:10.3390/w6103136.

