



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Πολυκριτήρια αξιολόγηση επενδύσεων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Περονικολής Δημήτριος

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Πολυκριτήρια αξιολόγηση επενδύσεων
ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές
ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Περονικολής Δημήτριος

Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η ΑΠΡΙΛΙΟΥ.

.....
Ιωάννης Ψαρράς

.....
Δημήτριος Ασκούνης

.....
Βασίλειος Ασημακόπουλος

Αθήνα, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014

.....
Περονικολής Δημήτριος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright Περονικολής Δημήτριος, 2014
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η ανάγκη για απαγκίστρωση από τις συμβατικές μορφές ενέργειας καθώς και τα αυξανόμενα μέτρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε) προς αυτήν τη κατεύθυνση οδηγούν στην προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε). Πιο συγκεκριμένα η Ελλάδα, η οποία είναι η ικανή να υποστηρίξει οποιαδήποτε μορφή Α.Π.Ε ιδίως υδάτινη, αιολική και ηλιακή, έχει μείνει πίσω σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε στην εφαρμογή τους. Εντούτοις, είναι ισχυρά τα κίνητρα που παρέχει η Ελλάδα και η Ε.Ε τα τελευταία χρόνια για τις επενδύσεις ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε.

Στα πλαίσια της Παρούσας διπλωματικής επιχειρείται να αναπτυχθεί ένα μοντέλο αξιολόγησης επενδύσεων στην ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) της τάξης των 10 MW με τη χρήση πολυκριτήριας μεθόδου βασισμένη σε 5 άξονες: (α) Τεχνικός (β) Οικονομικός (γ) Κοινωνικός (δ) Περιβαλλοντικός και (ε) Πολιτικός.

Αρχικά, οι επενδύσεις που αξιολογούνται κατηγοριοποιούνται με βάση το είδος της Α.Π.Ε (ηλιακή, βιομάζα, γεωθερμία κ.λ.π) και την περιοχή εγκατάστασης στην ηπειρωτική Ελλάδα ή σε νησί.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της μοντελοποίησης αυτής ως εργαλείο λήψης αποφάσεων για την αξιολόγηση και επιλογή της βέλτιστης μεταξύ των εναλλακτικών επενδύσεων σε Α.Π.Ε. Διαμορφώνεται το πρόβλημα απόφασης και εφαρμόζεται η κατάλληλη μέθοδος για ένα υποψήφιο επενδυτή.

Τέλος, ακολουθεί η επιλογή της βέλτιστης επένδυσης μετά από τη σύγκριση των διαφόρων εναλλακτικών έργων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε για τις ανάγκες του υποψήφιου επενδυτή.

Λέξεις Κλειδιά: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Πολυκριτηριακή Υποστήριξη Αποφάσεων, Ενεργειακή Πολιτική, Ηλεκτροπαραγωγή.

Abstract

The necessity for disengagement from the conventional energy sources, along with the increasingly strict measures of the European Union (EU) towards this direction, lead to the promotion of the renewable energy sources (RES). In particular, Greece, although having high potential in electricity production from RES, mainly hydroelectric, wind and solar, is still behind in comparison with the other EU countries in the area of RES adoption. Nevertheless, the incentives provided by Europe and the Greek government, during the last few years, for investing on electricity production from RES, are significant and great in number

The aim of this paper is to evaluate medium-scale investment on electricity production from RES, of approximately 10 MW. Specifically, a multicriteria evaluation system is outlined, based on five points of view: (i) technical (ii) economic, (iii) social, (iv) environmental, and (v) political.

Initially the investments assessed are categorized with respect to the type of RES invested upon (i.e. solar, biomass, geothermal, etc.) and the area of implementation (mainland or islands).

The method of analysis and modelling for multicriteria this decision-making tool follows for the assessment of the alternative R.E.S investment and is presented incorporating the process of selection of the most appropriate investment. The method being used ELECTRE IS takes into account the presence of pseudo-criteria through the proposed evaluation system.

Finally, following the selection of the best investment after the comparison takes place based on the requirements of the prospective investor.

Keywords: Renewable Energy Sources, Multicriteria Decision Support, Energy Policy, Electricity Production.

Περιεχόμενα

| | | |
|-------|---|----|
| 0 | ΠΡΟΛΟΓΟΣ..... | 8 |
| 1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 9 |
| 2 | ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 11 |
| 2.1 | Ηλιακή Ενέργεια - Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία | 11 |
| 2.2 | Ηλιακή Ενέργεια- Ηλιοθερμική Τεχνολογία | 14 |
| 2.3 | Αιολική Ενέργεια - Αιολικά Συστήματα..... | 18 |
| 2.4 | Υδάτινη Ενέργεια -Υδροηλεκτρικά Συστήματα | 21 |
| 2.5 | Βιομάζα και Βιοενέργεια | 24 |
| 2.6 | Γεωθερμία | 27 |
| 3 | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ | 30 |
| 4 | ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ | 34 |
| 4.1 | Η πολυκριτηριακή ανάλυση για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων..... | 34 |
| 4.2 | Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης..... | 35 |
| 4.3 | Μεθοδολογικό πλαίσιο..... | 36 |
| 4.3.1 | Αντικείμενο της απόφασης..... | 36 |
| 4.3.2 | Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων..... | 37 |
| 4.3.3 | Μοντέλο ολικής προτίμησης | 39 |
| 4.3.4 | Πολυκριτηριακά μοντέλα αποφάσεων..... | 39 |
| 5 | ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ Α.Π.Ε | 41 |
| 5.1 | Ορισμός του προβλήματος..... | 41 |
| 5.2 | Εναλλακτικές επενδύσεις σε έργα Α.Π.Ε | 42 |
| 5.2.1 | Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)..... | 42 |
| 5.2.2 | Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)..... | 43 |
| 5.2.3 | Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)..... | 43 |
| 5.2.4 | Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)..... | 44 |
| 5.2.5 | Ηλιοθερμικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος) | 44 |
| 5.2.6 | Ηλιοθερμικός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένος) | 44 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.7 | Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος) | 45 |
| 5.2.8 | Διάταξη παραγωγής ηλεκτρισμού από Γεωθερμία..... | 45 |
| 5.2.9 | Διάταξη παραγωγής ηλεκτρισμού από Βιομάζα..... | 46 |
| 5.3 | Κατασκευή Συνεπούς Οικογένειας Κριτηρίων | 46 |
| 5.4 | Περιγραφή και αξία κριτηρίων | 48 |
| 6 | ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ | 59 |
| 6.1 | Επιλογή μεθόδου | 59 |
| 6.1.1 | Η μέθοδος ELECTRE IS | 60 |
| 6.1.2 | Προσδιορισμός των βαρών των κριτηρίων – Η μέθοδος των καρτών SIMOS 62 | |
| 6.1.3 | Προσδιορισμός Κατωφλίων Βέτο..... | 68 |
| 6.1.4 | Προσδιορισμός Κατωφλίων αδιαφορίας και προτίμησης | 68 |
| 6.2 | Εφαρμογή της ELECTRE IS στο πρόβλημα επιλογής επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής | 70 |
| 6.2.1 | Έλεγχος συμφωνίας | 71 |
| 6.2.2 | Έλεγχος διαφωνίας | 74 |
| 6.2.3 | Γράφημα Υπεροχής | 76 |
| 6.3 | Υποστήριξη της Απόφασης..... | 77 |
| 7 | ΕΠΙΛΟΓΟΣ | 80 |
| 7.1 | Σύνοψη | 80 |
| 7.2 | Συμπεράσματα | 80 |
| 7.3 | Μελλοντικές προεκτάσεις | 81 |
| 8 | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 82 |
| 9 | Παράρτημα | 87 |

0 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση επενδύσεων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με τη χρήση μεθόδου πολυκριτήριας ανάλυσης.

Η εργασία εκπονήθηκε το έτος 2013 υπό την επίβλεψη του κ. Ιωάννη Ψαρρά, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π) της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών στον οποίο οφείλω και ιδιαίτερες ευχαριστίες. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Β. Ασημακόπουλο και τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Δ. Ασκούνη για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην επιτροπή εξέτασης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Ελευθέριο Σίσκο υποψήφιο Διδάκτορα του Ε.Μ.Π ο οποίος με τη καθοδήγηση και τη συνεχή υποστήριξη του βοήθησε στην ολοκλήρωση της εργασίας. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ιωάννη Σίσκο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πειραιώς για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγηση με σκοπό την διεκπεραίωση της διπλωματικής μου.

Τέλος, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την καθοριστική στήριξη υλική και ηθική που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Ε.Μ.Π. και να της αφιερώσω τη διπλωματική μου εργασία.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για απαγκίστρωση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και τα περιοριστικά μέτρα ενεργειακής πολιτικής που εφαρμόζει η Ευρωπαϊκή ένωση (ΕΕ) προς αυτήν την κατεύθυνση, συγκλίνουν στη προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε). Η Ελλάδα παρόλο που διαθέτει έναν τεράστιο φυσικό πλούτο και μπορεί να υποστηρίξει όλες τις μορφές Α.Π.Ε μένει πίσω σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε στο τομέα αυτό. Τα κίνητρα που δίνουν η Ε.Ε, αλλά και η Ελληνική Κυβέρνηση τα τελευταία χρόνια για επενδύσεις στην παραγωγή ηλεκτρισμού από Α.Π.Ε, αυξάνονται και γίνονται ολοένα και πιο ισχυρά. Αποτελεί, λοιπόν, πρόκληση για τους υποψήφιους επενδυτές, στον ενεργειακό τομέα, να συμμετάσχουν στην ενεργειακή αξιοποίηση του ανανεώσιμου φυσικού πλούτου της Ελλάδας.

Καθώς, όμως η Ελλάδα μπορεί να υποστηρίξει πολλές μορφές ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε είναι εμφανές ότι δημιουργούνται διαφοροποιημένες ευκαιρίες ανά τομέα. Το ζητούμενο, επομένως, είναι να διερευνηθεί ποια ενεργειακή επένδυση ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε κρίνεται καταλληλότερη τη παρούσα χρονική στιγμή με βάση τους στόχους του επενδυτή.

Έως σήμερα, το πρόβλημα αυτό έχουν προσεγγίσει διάφορες έρευνες, αξιολογώντας τη δυναμική των Α.Π.Ε ανά κατηγορία και συγκρίνοντας αυτές ποιοτικά, γεγονός που διαφέρει από τη διεθνή πραγματικότητα. Αυτό συμβαίνει διότι δεν έχει επιχειρηθεί επαρκής προσπάθεια προς την κατεύθυνση της αξιολόγησης των κοινωνικών μέσων με την χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης, ώστε ο υποψήφιος επενδυτής να βασιστεί σε μια επιστημονική μέθοδο αξιολόγησης της επιλογής βέλτιστης για αυτόν επένδυσης.

Αυτό το κενό επιστημονικής προσέγγισης που έχει δημιουργηθεί καλείται να καλύψει η παρούσα διπλωματική. Στα πλαίσια αυτής, λοιπόν, αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στις τεχνολογίες Α.Π.Ε οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν στον Ελληνικό χώρο. Έπειτα περιγράφεται το προς επίλυση πρόβλημα και γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στη μέχρι τώρα έρευνα που σχετίζεται με αυτό.

Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφεται η έννοια της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της μοντελοποίησης για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της διευκολυνόμενης μοντελοποίησης ορίζεται το πλαίσιο του προβλήματος επιλογής της βέλτιστης, για τον αποφασίζοντα, επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε έχοντας ως γνώμονα τους κοινωνικούς, οικονομικούς, τεχνικούς, περιβαλλοντικούς και πολιτικούς άξονες οι οποίοι σχετίζονται με αυτής της τάξης μεγέθους ενεργειακές επενδύσεις.

Τέλος, πραγματοποιείται μια προσομοίωση με τα δεδομένα που μας παρέχει ο υποψήφιος επενδυτής. Επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος πολυκριτηριακής σύνθεσης

και μέσω αυτής αξιολογούνται τα δεδομένα που πηγάζουν από την κάθε μορφή Α.Π.Ε με στόχο την επιλογή της βέλτιστης, για τον επενδυτή, επένδυσης έργου ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε.

2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Ηλιακή Ενέργεια – Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

2.1.1 Εισαγωγή - Η ηλιακή ενέργεια

Ο Ήλιος αποτελεί τη μόνη πηγή θερμότητας και φωτός που δέχεται η επιφάνεια της γης προκειμένου να διατηρείται η ζωή του πλανήτη. Η ηλιακή ενέργεια στέλνεται στη γη από τον ήλιο μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της. Ένα μέρος

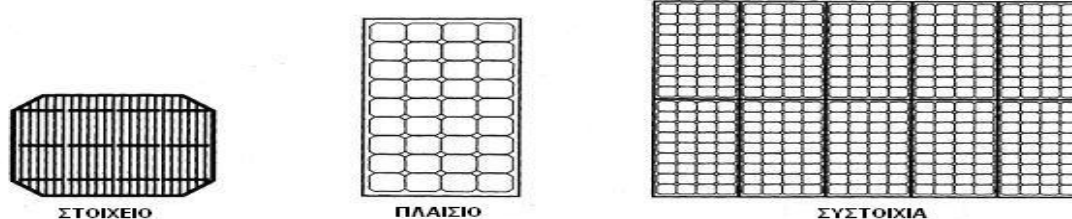


Εικόνα 1 Πανοραμική άποψη φωτοβολταϊκού σταθμού

αυτής απορροφάται από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα, κλπ, ένα άλλο διοχετεύεται εντός της ατμόσφαιρας και ένα τρίτο προσπίπτει απευθείας στην επιφάνεια της. Η συνολική, όμως, ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης είναι το άθροισμα της ακτινικής ή άμεσης ακτινοβολίας και της διάχυτης που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Ο άνθρωπος κατάφερε να αξιοποιήσει την ηλιακή ενέργεια για την ηλεκτροπαραγωγή μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων [1].

2.1.2 Φωτοβολταϊκό σύστημα

Ένα φ/β σύστημα αποτελείται από πολλές Φ/Β συστοιχίες, καθεμία απ τις οποίες αποτελείται από πολλά πλαίσια, τα οποία συντίθεται συνήθως από 6 πάνελ των 12 Φ/Β στοιχείων, όπως φαίνεται στην εικόνα 2 [2].



Εικόνα 2 Απεικόνιση φ/β στοιχείου , πλαισίου και συστοιχίας

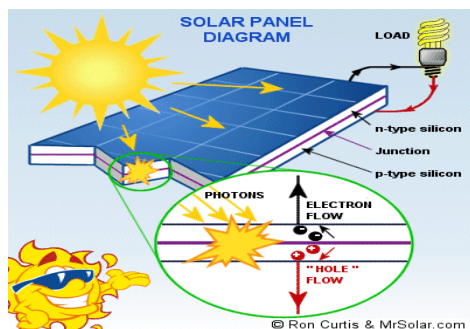
2.1.3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι ένα επίτευγμα της σύγχρονης τεχνολογίας, που μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα μεμονωμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία (PV cells), κοινώς γνωστά σαν ηλιακά στοιχεία/κυψέλες (solar cells) είναι συσκευές που παράγουν ηλεκτρισμό, κατασκευασμένες από ημιαγώγιμα υλικά. Οι ημιαγωγοί αυτοί είναι διαφορετικοί μεταξύ τους και κατασκευάζονται κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο με ελάχιστες ποσότητες προσμίξεων. Ο πρώτος ημιαγωγός περιλαμβάνει κατάλληλες προσμίξεις, έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια ελεύθερων

ηλεκτρονίων (αρνητικό φορτίο) στο υλικό και ονομάζεται n-type. Ο δεύτερος περιλαμβάνει προσμίξεις που δημιουργούν έλλειμμα ελεύθερων ηλεκτρονίων (οπές - θετικό φορτίο) στο υλικό και ονομάζεται p-type [3].

2.1.4 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Υπεύθυνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα φ/β στοιχεία είναι το



Εικόνα 3 Γραφική αναπαράσταση του φ/β φαινομένου

φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Τα φωτόνια που προσπίπτουν στο φ/β στοιχείο ιονίζουν τα άτομα πυριτίου και δημιουργούνται νέα ελεύθερα ηλεκτρόνια στον n-type και νέες οπές στον p-type. Λόγω της ύπαρξης του φράγματος δυναμικού στην περιοχή επαφής p-n, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αδυνατούν να διέλθουν μέσω της επαφής για να καλύψουν τις οπές κι έτσι δημιουργείται ρεύμα σε εξωτερικό κύκλωμα μεταξύ των δύο

ημιαγωγών [3].

2.1.5 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα πιο διαδεδομένα Φ/Β στοιχεία είναι τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου. Η επόμενη γενιά φ/β στοιχείων θα βασίζεται στη τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών, θα χρησιμοποιούνται δηλαδή πολύ λεπτά (πάχους λίγων μικρών) στρώματα ημιαγωγών, ώστε να μειωθεί σημαντικά το συνολικό κόστος. Στη συνέχεια παραθέτονται όλοι οι διαφορετικοί τύποι φ/β στοιχείων [4]:

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, Sc-Si)
- Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)
- Ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)
- Άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, A-Si)
- Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)
- Τελουριούχου καδμίου (CdTe)
- Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)

2.1.6 Ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις

2.1.6.1 Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις

Τα κύρια μέρη μιας φ/β εγκατάστασης είναι:

- Η φ/β γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική (τάση - ένταση)
- Η Διάταξη μετατροπής μέσω της οποίας η παραγόμενη τάση - ένταση προσαρμόζεται προς την κατανάλωση (ή το δίκτυο) ή και την εγκατάσταση συσσωρεύσεως ηλεκτρικής ενέργειας (συσσωρευτές)

2.1.6.2 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

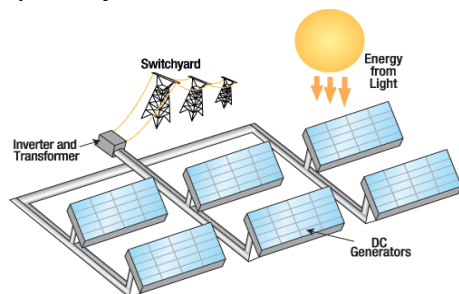
Τα φ/β στοιχεία παράγουν πολύ μικρή τάση (περί τα 0,5V) και ισχύ (περί τα 0,4W) και γι' αυτό παραδίδονται από τους κατασκευαστές ως φ/β πλαίσια. Ένα τυπικό φ/β πλαίσιο του εμπορίου περιλαμβάνει 35 Φ/Β στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά. Κατά κανόνα απαιτείται η εγκατάσταση περισσότερων του ενός πλαισίου, οπότε σχηματίζεται ένας φ/β συλλέκτης και συνεπώς ένας μεγάλος αριθμός αυτών θα σχηματίσει τη φ/β γεννήτρια [2].

2.1.6.3 Η φωτοβολταϊκή διάταξη

Η φωτοβολταϊκή διάταξη αποτελείται καταρχήν από τη φ/β γεννήτρια, η οποία είναι και το βασικότερο συστατικό του συστήματος, αφού εκεί γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Έπειτα περιλαμβάνει συσσωρευτές τόσο για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, σε περιόδους που η παραγόμενη ενέργεια εμφανίζει περίσσεια, όσο και για την χρησιμοποίησή της, όταν η παραγωγή είναι ανεπαρκής. Τέλος, αναπόσπαστα συστατικά ενός αυτόνομου συστήματος είναι οι διατάξεις για την μετατροπή της παραγόμενης ενέργεια από τα φ/β στοιχεία σε μορφή κατάλληλη για την τροφοδότηση των φορτίων, οι οποίες περιέχουν έναν DC/DC μετατροπέα σε συνδυασμό με έναν ανιχνευτή μέγιστης ισχύος (MPPT) και έναν DC/AC αντιστροφέα [5].

2.1.7 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η διασύνδεση ενός φ/β συστήματος με το δίκτυο δύναται να εφαρμοστεί με δύο τρόπους:



Εικόνα 4 Απλοποιημένη απεικόνιση του διασυνδεδεμένου συστήματος

α) Με αυτοπαραγωγή, όπου ο επενδυτής χρησιμοποιεί την παραγόμενη ενέργεια για να καλύψει καταρχήν τις ανάγκες των δικών του ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο και πωλείται στη ΔΕΗ, ενώ σε περίπτωση έλλειψης, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις τροφοδοτούνται από το δίκτυο.

β) Με πώληση όλης της παραγόμενης ενέργειας στη ΔΕΗ και κάλυψη των ιδίων ενεργειακών αναγκών του επενδυτή από το κεντρικό δίκτυο. Η τιμή πώλησης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στη ΔΕΗ είναι υψηλότερη από την τιμή αγοράς του ρεύματος του δικτύου, άρα γενικά συμφέρει η εξολοκλήρου πώληση της παραγόμενης ενέργειας, σε σχέση με την περίπτωση αυτοπαραγωγής.

Τέλος, ένα βασικό πλεονέκτημα των διασυνδεδεμένων φ/β συστημάτων έναντι των αυτόνομων είναι το γεγονός ότι η σύνδεση με το δίκτυο ουσιαστικά δίνει την δυνατότητα απεριόριστης αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [4].

2.1.8 Μη Διασυνδεδεμένα νησιά

Η Ελλάδα είναι μια Χώρα με δεκάδες μικρά και μεγάλα νησιά που λειτουργούν απομονωμένα από το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, κυρίως λόγω της απόστασης τους από την Ηπειρωτική Χώρα. Ιδιαίτερα τα νησιά του Αιγαίου πελάγους, όπου σε αυτά κατοικούν περισσότερο από ένα εκατομμύριο άνθρωποι, χωρίς τους τουρίστες που τα επισκέπτονται το καλοκαίρι. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτά τα νησιά είναι περίπου 4% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, ενώ η ετήσια ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται κατά 8%, σχεδόν το διπλάσιο της ετήσιας αύξησης της ζήτησης στην ηπειρωτική χώρα (4,2% αντίστοιχα) τους καλοκαιρινούς μήνες. Επιπλέον, ο συντελεστής φορτίου και πολύ περισσότερο ο συντελεστής μέγιστου προς ελάχιστο είναι σημαντικά μεγαλύτερος από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα [6].

Περιπτώσεις Μη Διασυνδεδεμένων Νησιωτικών Συστημάτων (Μ.Δ.Ν.Σ.) είναι τα δίκτυα των νησιών όπως η Κρήτη, η Ρόδος και τα υπόλοιπα Δωδεκάνησα, η Λέσβος και τα υπόλοιπα νησιά του Βορείου Αιγαίου, τα νησιά των Κυκλάδων, τα Αντικύθηρα και άλλα μικρότερα τα οποία είναι Μη Διασυνδεδεμένα λόγω της μεγάλης απόστασης που έχουν από το Ε.Δ.Σ.

Τα περισσότερα νησιά της Χώρας, διαθέτουν υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό και η εκμετάλλευσή τους μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην οικονομική λειτουργία των ευρύτερων Σ.Η.Ε [6].

2.2 Ηλιακή Ενέργεια– Ηλιοθερμική Τεχνολογία

2.2.1 Εισαγωγή

Μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που κάνει χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι η ηλιοθερμική τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής (CSP-Concentrating Solar Power), η οποία βρίσκει εφαρμογή στους ηλιοθερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλιοθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής αποτελούν μία νέα μορφή αξιοποίησης του ηλιακού δυναμικού για ηλεκτροπαραγωγή, μετά τα φωτοβολταϊκά. Η γενική αρχή λειτουργίας των ηλιοθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι η συγκέντρωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από κατάλληλα κάτοπτρα προς παραγωγή υψηλών θερμοκρασιών και η εκμετάλλευσή της συλλεγόμενης θερμότητας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [7].



Εικόνα 5 Ηλιοθερμικός σταθμός (Τεχνολογίας Ηλιακού Πύργου)

2.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Σε γενικές γραμμές, οι ηλιοθερμικοί σταθμοί παράγουν θερμότητα και εν συνεχεία ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας εκατοντάδες κατάλληλα κάτοπτρα για να συγκεντρώσουν τις ακτίνες του ήλιου σε σημεία όπου αναπτύσσεται πολύ υψηλή θερμοκρασία. Η λειτουργία των ηλιοθερμικών σταθμών είναι απλή: η άμεση ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται από κάτοπτρα και αποδίδεται σε ένα μέσο μεταφοράς θερμότητας, όπως συνθετικό λάδι, υγροποιημένο άλας, μείγμα νερού-ατμού, αέρας κ.α. Τα μέσα αυτά οδηγούνται στη συνέχεια σε εναλλάκτες θερμότητας αποδίδοντας την ενέργεια που έχει απορροφηθεί σε μείγμα νερού-ατμού προς παραγωγή ατμού. Όταν ως μέσο μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιείται το μείγμα νερού-ατμού, τότε αυτό οδηγείται κατευθείαν στον στρόβιλο και δεν παρεμβάλλεται εναλλάκτης. Εάν, ο ηλιοθερμικός σταθμός αποτελείται από μηχανές Stirling (θα εξεταστούν αναλυτικά παρακάτω), τότε κάποιο αέριο παίζει το ρόλο του μέσου μεταφοράς θερμότητας και οδηγείται κατευθείαν στους κυλίνδρους της μηχανής, προς παραγωγή μηχανικής ενέργειας [7][8].

Υπάρχουν διάφορα σχήματα κατόπτρων που χρησιμοποιούνται στους ηλιοθερμικούς σταθμούς για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως και διάφορες εκδοχές στη διαδικασία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Όλοι, όμως, οι ηλιοθερμικοί σταθμοί λειτουργούν με την ίδια βασική αρχή. Η ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται μετατρέπεται σε θερμική και, εν συνεχεία, σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τα βασικά επιμέρους τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας ηλιοθερμικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- οι συλλέκτες ή συγκεντρωτήρες (collectors)
- ο δέκτης (receiver)
- το μέσο μεταφοράς ή/και αποθήκευσης της θερμότητας, και
- το σύστημα μετατροπής της ενέργειας (power conversion system).

2.2.3 Κύρια είδη τεχνολογιών

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη συγκέντρωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα εστιακά σημεία όπου και αναπτύσσονται οι επιθυμητές υψηλές θερμοκρασίες [7][8][9].

2.2.3.1 Τεχνολογία παραβολικών κατόπτρων



Εικόνα 6 Συστοιχία παραβολικών κατόπτρων

Η τεχνολογία παραβολικών κατόπτρων είναι η πιο ώριμη από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες και αυτό αποδεικνύεται και από την εμπορική της εφαρμογή έως τώρα. Η συλλογή και η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιείται σε έναν

υπαίθριο χώρο μεγάλης έκτασης που καλείται ηλιακό πεδίο. Το ηλιακό πεδίο αυτών των σταθμών αποτελείται από μακριές παράλληλες σειρές από πανομοιότυπα συγκεντρωτικά στοιχεία, για τα οποία χρησιμοποιούνται κοίλα κάτοπτρα. Τα παραβολικά κάτοπτρα συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία στους σωλήνες απορρόφησης, που αποτελούν τους δέκτες και βρίσκονται κατά μήκος της εστιακής ευθείας των καναλιών. Οι δέκτες είναι σχεδιασμένοι ώστε να απορροφούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που εστιάζεται σε αυτούς [7][8][9].

2.2.3.2 Τεχνολογία ηλιακού πύργου ή κεντρικού Δέκτη

Το ηλιακό πεδίο των ηλιοθερμικών σταθμών τεχνολογίας ηλιακού πύργου, ή



Εικόνα 7 Ηλιοθερμικός σταθμός τεχνολογίας Κεντρικού Δέκτη

αλλιώς κεντρικού δέκτη, αποτελείται από μεμονωμένα μεγάλα κάτοπτρα που ονομάζονται ηλιοστάτες, σε κυκλική διάταξη. Οι ηλιοστάτες, των οποίων η επιφάνεια μπορεί να ξεπερνάει ακόμη και τα 100 τ.μ., ανακλούν τις ηλιακές ακτίνες σε έναν κεντρικό δέκτη που είναι ενσωματωμένος στην κορυφή ενός πύργου. Το ύψος του κεντρικού πύργου μπορεί να

προσεγγίσει ακόμη και τα 200 μ. ανάλογα με το μέγεθος του σταθμού. Ο κάθε ηλιοστάτης είναι εφοδιασμένος με σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου δύο αξόνων. Η θερμική ενέργεια που συγκεντρώνεται στον κεντρικό δέκτη αποδίδεται στο μέσο μεταφοράς θερμότητας, κατά τρόπο αντίστοιχο με το σταθμό παραβολικών κατόπτρων. Η ηλιακή ενέργεια απορροφάται υπό μορφή θερμότητας από το ρευστό ή το αέριο λειτουργίας και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού ο οποίος κινεί ένα συμβατικό στρόβιλο. Ως μέσο μεταφοράς θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί υγροποιημένο άλας, αέρας κ.α., ενώ σε περίπτωση χρήσης νερού-ατμού δεν χρησιμοποιούνται εναλλάκτες, αλλά ο παραγόμενος ατμός από τον συλλέκτη οδηγείται απ' ευθείας στον στρόβιλο [7][8][9].

2.2.3.3 Τεχνολογία παραβολικών δίσκων

Τα συστήματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούν για τη συγκέντρωση της ηλιακής



Εικόνα 8 Συστοιχία Παραβολικών Δίσκων

ακτινοβολίας ένα μεγάλο, αντανάκλαστικό, παραβολικό δίσκο. Ο δίσκος συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται στο εστιακό του σημείο, όπου βρίσκεται ο δέκτης. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το δέκτη προκειμένου να θερμανθεί ένα ρευστό ή ένα αέριο σε θερμοκρασία περίπου 750°C. Μια θερμική μηχανή εκμεταλλεύεται αυτή τη θερμότητα για να παρέχει μηχανική

κίνηση σε μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Οι τυπικές διαστάσεις ενός παραβολικού δίσκου είναι από 5 έως 10 μ. σε διάμετρο με επιφάνεια κατόπτρων από 40 έως 120 τ.μ., αν και έχουν κατασκευαστεί δίσκοι επιφάνειας ως και 400 τ.μ. Κάθε μονάδα παραβολικού δίσκου είναι ένα ξεχωριστό σύστημα με δική του θερμική μηχανή και αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρισμού. Εξαιτίας του μεγέθους τους, αλλά και της δομοστοιχειωτής τους φύσης, οι παραβολικοί δίσκοι είναι κατάλληλοι για αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος και για απομονωμένα, αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας [7][8][9].

2.2.3.4 Τεχνολογία κατόπτρων Fresnel



Εικόνα 9 Ηλιοθερμικός σταθμός παραγωγής τεχνολογίας Fresnel

Πρόκειται για τη δεύτερη τεχνολογία ηλιοθερμικών συστημάτων που εφαρμόζουν γραμμική εστίαση. Αυτοί οι σταθμοί χρησιμοποιούν σειρές από μακρόστενα κάτοπτρα, είτε επίπεδα είτε με πολύ μικρή καμπυλότητα, τα οποία εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν ή περισσότερους γραμμικούς δέκτες που είναι τοποθετημένοι πάνω από τα κάτοπτρα.. Συνήθως, πάνω από το δέκτη εγκαθίσταται ένας μικρός παραβολικός καθρέφτης για επιπλέον συγκέντρωση του φωτός. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι η χρήση των αντανάκλαστικών κατόπτρων Fresnel. Τα κάτοπτρα αυτά κάνουν χρήση των κατόπτρων με μεγάλο διάφραγμα και μικρή εστιακή απόσταση μειώνοντας ταυτόχρονα τον απαιτούμενο όγκο υλικού. Αυτό μειώνει το κόστος του συστήματος, εφόσον τα καμπυλωτά παραβολικά κάτοπτρα είναι αρκετά ακριβότερα. Τα κάτοπτρα είναι στοιχισμένα με προσανατολισμό βορά-νότου, ώστε με το ελεγχόμενο σύστημα ιχνηλάτησης να παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου από την ανατολή ως τη δύση [7][8][9].

2.2.4 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, τα ηλιοθερμικά συστήματα παράγουν σε πρώτη φάση θερμική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται στη συνέχεια σε ένα συμβατικό στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την αποθήκευση της ενέργειας στο στάδιο της θερμότητας, μια διαδικασία η οποία είναι σχετικά απλή και φθηνή [7].

Οι ηλιοθερμικοί σταθμοί με εγκαταστάσεις αποθήκευσης θα μπορούν να ξεπεράσουν τις δυσκολίες της διακοπτόμενης φύσης της ηλιακής ενέργειας και να διασφαλίσουν αξιόπιστη λειτουργία και αυξημένη ποιότητα παρεχόμενης ισχύος (χωρίς έντονες διακυμάνσεις) σε συνθήκες συννεφιάς, αλλά και λειτουργία ακόμη και κατά τη διάρκεια της νύχτας [7][8][9].

Η γενική ιδέα της αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας είναι ότι η θερμότητα από τον ήλιο που συλλέγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας αντί να χρησιμοποιηθεί εξ

ολοκλήρου για άμεση ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να αποθηκευτεί σε ορισμένα μέσα αποθήκευσης, όπως για παράδειγμα τηγμένα άλατα. Στους ηλιοθερμικούς σταθμούς με σύστημα αποθήκευσης θερμότητας υπερδιαστασιολογείται το ηλιακό πεδίο, ούτως ώστε ο σταθμός κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας να μπορεί να βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία και ταυτόχρονα να αποθηκεύει το πλεόνασμα ηλιακής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε συνθήκες συννεφιάς η θερμότητα αποδίδεται από το μέσο στο οποίο βρίσκεται αποθηκευμένη μέσω εναλλάκτη θερμότητας στο μέσο μεταφοράς θερμότητας του σταθμού, προκειμένου να διατηρηθεί η λειτουργία του στροβίλου [8][9].

2.3 Αιολική Ενέργεια - Αιολικά Συστήματα

2.3.1 Εισαγωγή -Η αιολική ενέργεια

Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται εδώ και εκατοντάδες χρόνια από τον άνθρωπο για καθημερινές ανάγκες σε τομείς, όπως η ναυσιπλοΐα, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για άλεση δημητριακών και άντληση νερού. Οι αρχαιότεροι ανεμόμυλοι (κατακόρυφου άξονα) κατασκευάστηκαν στην Περσία τον 6ο έως τον 9ο αιώνα μ.Χ., ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά γίνεται στην Κίνα το 13ο αιώνα μ.Χ. Ο πρώτος ανεμόμυλος για παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio. Είχε διάμετρο πτερωτής 17 μέτρα και ισχύ 12 KW [10].



Εικόνα 10 Πανοραμική άποψη Ανεμογεννητριών

Η αιολική ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια του κινούμενου αέρα. Η ακανόνιστη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί τους ανέμους. Η θερμότητα που απορροφάται από το έδαφος ή το νερό μεταφέρεται στον αέρα, όπου προκαλεί διαφορές στη θερμοκρασία, την πυκνότητα και την πίεσή του. Με τη σειρά τους οι διαφορές αυτές προκαλούν δυνάμεις που ωθούν τον αέρα ολόγυρα. Σύμφωνα με τη μηχανική των ρευστών ο αέρας κινείται από τις υψηλής πίεσης προς τις χαμηλής πίεσης περιοχές του πλανήτη [11].

Οι αιολικές μηχανές είναι κατασκευές επινοημένες από τον άνθρωπο, με σκοπό την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, μέρος της οποίας μετατρέπουν σε στρεφόμενη μηχανική ενέργεια. Εάν η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιηθεί απευθείας από κατάλληλο μηχανισμό για άντληση ή άλεση, τότε η αιολική μηχανή συνήθως λέγεται ανεμόμυλος. Εάν η μηχανική ενέργεια μετατραπεί σε ηλεκτρική, τότε η μηχανή λέγεται ανεμογεννήτρια (Α/Γ) [10].

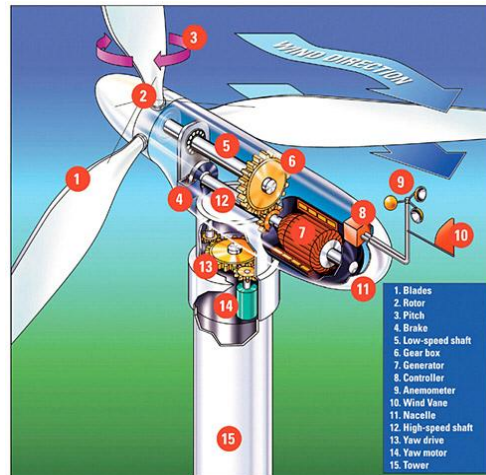
2.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ο άνεμος περιέχει ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό με τη χρήση των ανεμογεννητριών(A/Γ). Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγουν οι A/Γ εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας του διερχόμενου, μέσω της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια της A/Γ, στην μονάδα του χρόνου ανέμου.

2.3.2.1 Δομή A/Γ

Μια τυπική A/Γ αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το δρομέα που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα.
- Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης.
- Την ηλεκτρική γεννήτρια .
- Το σύστημα προσανατολισμού.
- Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου [12].



Εικόνα 11 Τεχνικά μέρη A/Γ

2.3.2.2 Συστήματα ελέγχου

Σύστημα ελέγχου ταχύτητας: χρησιμεύει για να διατηρεί την απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής και για να προστατεύει το σύστημα από υπερβολικές ταχύτητες.

Σύστημα Προσανατολισμού της έλικας: χρησιμεύει για να προσανατολίζει την έλικα όταν αλλάζει η διεύθυνση του ανέμου.

Σύστημα Ελέγχου εξόδου/φορτίου: Εάν το φορτίο είναι μικρότερο από την παρεχόμενη ισχύ, η πρόσθετη ισχύς οδηγείται σε κάποιο ψευδοφορτίο. Αντίθετα, αν το φορτίο είναι μεγαλύτερο από την παρεχόμενη ισχύ, το πρόσθετο φορτίο απορρίπτεται, διαφορετικά σταματάει η λειτουργία του κινητήρα [12].

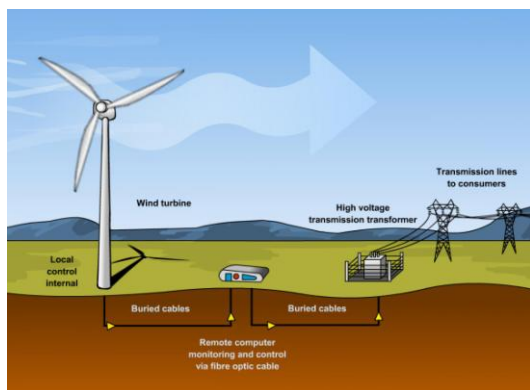
2.3.2.3 Μέγεθος A/Γ

Η ισχύς εξόδου αυξάνεται όσο αυξάνει η επιφάνεια που καλύπτει ο δρομέας της A/Γ. Η επιφάνεια του δίσκου που καλύπτει ο ρότορας καθώς και η ταχύτητα του ανέμου καθορίζουν την ενέργεια που παράγει η A/Γ [13].

2.3.2.4 Μέθοδοι λειτουργίας A/Γ

Υπάρχουν δυο βασικές μέθοδοι λειτουργίας των συστημάτων μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική:

Σταθερής ταχύτητας A/Γ: Λειτουργία σταθερής ταχύτητας σημαίνει ο δρομέας της A/Γ στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών ανεξάρτητα της ταχύτητας του ανέμου.



Εικόνα 12 Σύνδεση Α/Γ στο δίκτυο

σταθερής συχνότητας χρησιμοποιείται μετατροπέας συχνότητας. Με τον τρόπο αυτό η ταχύτητα περιστροφής, αποδεδεμεύεται από τη σταθερή συχνότητα του δικτύου και είναι δυνατή η μεταβολή της [13].

2.3.3 Είδη Αιολικών Πάρκων

Αιολικό πάρκο ονομάζεται μια ομάδα Α/Γ εγκατεστημένες στην ίδια τοποθεσία.



Εικόνα 13 Χερσαίο Αιολικό Πάρκο

κατασκευάζονται στις κορυφογραμμές περιοχών με μεγάλο σχετικά υψόμετρο τουλάχιστον τρία χιλιόμετρα προς το εσωτερικό από την πλησιέστερη ακτογραμμή. Αυτό συμβαίνει για την εκμετάλλευση της λεγόμενης τοπογραφικής επιτάχυνσης, την επιτάχυνση δηλαδή του ανέμου καθώς διασχίζει μια κορυφογραμμή. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην ακριβή τοποθέτηση των Α/Γ η οποία γίνεται μετά από αναλυτική παρακολούθηση των τοπικών ανέμων για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα πριν την εγκατάσταση. Όπως αναφέρθηκε στα φωτοβολταϊκά και ηλιοθερμικά, έτσι και στα χερσαία αιολικά πάρκα έχουμε διάκριση συνδεδεμένων στο εθνικό δίκτυο ή σε μη διασυνδεδεμένο νησί. Τα Αιολικά πάρκα κοντά στην ακτή βρίσκονται στην ξηρά εντός της ζώνης των τριών χιλιομέτρων από την ακτογραμμή ή στην θάλασσα εντός της ζώνης των δέκα χιλιομέτρων από την ακτογραμμή. Αυτές οι τοποθεσίες είναι αποδοτικές για εγκατάσταση λόγω του ανέμου που δημιουργείται από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ θάλασσας και ξηράς καθημερινά [13].

Τα Παράκτια Αιολικά πάρκα είναι εγκατεστημένα σε θαλάσσιες περιοχές πέραν των δέκα χιλιομέτρων από την ακτή. Ακριβώς επειδή η επιφάνεια του νερού είναι ομαλότερη αυτής του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη από την

Ο τρόπος σύνδεσης της γεννήτριας με το δίκτυο, είναι ο ίδιος με τον τρόπο σύνδεσης γεννητριών που τροφοδοτούνται από συμβατικές πηγές ενέργειας [13].

Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας: Στην λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας, η ταχύτητα του δρομέα της Α/Γ μεταβάλλεται κατά ελεγχόμενο τρόπο, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

Για τη σύνδεση της Α/Γ με το δίκτυο

ξηρά. Έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης γιατί οι πύργοι είναι μεγαλύτεροι των χερσαίων [13].

2.4 Υδάτινη Ενέργεια -Υδροηλεκτρικά Συστήματα

2.4.1 Εισαγωγή στην υδάτινη και υδροηλεκτρική ενέργεια

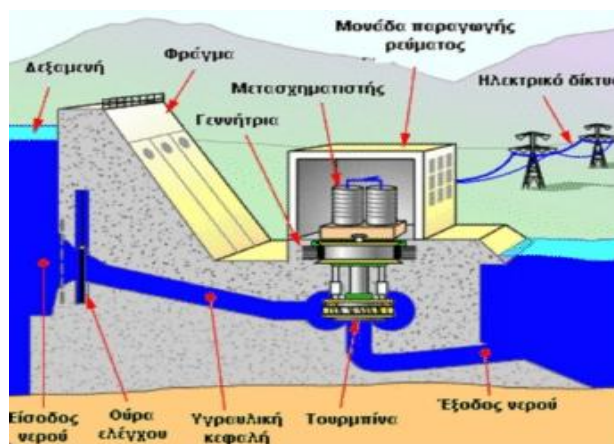
Η Υδροηλεκτρική ενέργεια στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει κατηφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Πιο αναλυτικά, η δυναμική (λόγω βαρύτητας) ενέργεια που συνδέεται με το νερό το αναγκάζει να διατηρεί μία καθοδική ροή. Αυτή η προς τα κάτω κίνηση του ύδατος περιέχει την κινητική ενέργεια, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια, και έπειτα από τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική στους σταθμούς υδροηλεκτρικής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική, όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν είναι μια καινούργια ιδέα. Αντίθετα, από τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, που χρειάζονται αρκετό χρόνο για να ξεκινήσουν την παραγωγή ενέργειας, οι σταθμοί υδροηλεκτρικής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος μπορούν να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια πολύ γρήγορα και αυτό τους καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμους στις ξαφνικές αυξήσεις για ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας [14][15].



Εικόνα 14 Υδροηλεκτρικό σταθμός μεγάλης κλίμακας

2.4.2 Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό πτώσεως, το νερό κινεί έναν στροβίλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας



Εικόνα 15 Τεχνικά μέρη Υδροηλεκτρικού Σταθμού

του ταμιευτήρα και του στροβίλου . Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι τοποθετημένοι όπου μπορούν να εκμεταλλευθούν τη μέγιστη πτώση μιας μεγάλης ποσότητας νερού - στο χαμηλότερο σημείο μιας βαθιάς και απότομα-πλαισιωμένης κοιλάδας ή ενός φαράγγιού, ή κοντά στη βάση ενός φράγματος. Το νερό συλλέγεται και αποθηκεύεται σε ένα φράγμα, επάνω από το σταθμό παραγωγής, για να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται [15].

2.4.2.1 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Μικρής Κλίμακας

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι διαθέσιμη από μερικές εκατοντάδες Watt μέχρι και 10GW. Στο χαμηλό σημείο αυτού του φάσματος, η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες. Οι ορισμοί των κατηγοριών ποικίλλουν, αλλά συνήθως διακρίνονται στους: μικρό (δυναμικό λιγότερο από 100kW), μίνι (100kW-1MW) και μικρό (1MW-10MW) υδροηλεκτρικός σταθμός. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά συστήματα λειτουργούν με την καθοδήγηση μέρους της ροής κάποιου ποταμού στον ρυθμιστή ροής και στον υδροστρόβιλο, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια και παραγάγει την ηλεκτρική ενέργεια . Το νερό ρέει έπειτα πίσω στον



Εικόνα 16 Υδροηλεκτρικός σταθμός μικρής κλίμακας

ποταμό. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά συστήματα λειτουργούν συνήθως παράλληλα στη ροή του ποταμού, και έτσι δεν διακόπτεται η ροή του. Αυτό είναι προτιμότερο από περιβαλλοντική άποψη, καθώς οι εποχιακές αυξομειώσεις νερού δεν επηρεάζουν την ροή του ποταμού στην κατεύθυνση του ρεύματος, ενώ δεν πλημμυρίζουν κοιλάδες σε υψηλότερα από το σύστημα επίπεδα. Μια περαιτέρω επίπτωση είναι ότι η παραγωγή ενέργειας δεν καθορίζεται με κάποιο έλεγχο της ροής του ποταμού, αλλά αντίθετα ο στρόβιλος λειτουργεί όταν υπάρχει κάποια ροή και σε παραγωγή ενέργειας εξαρτάται αποκλειστικά από αυτή. Αυτό σημαίνει ότι το μηχανικό σύστημα ρύθμισης της ροής του νερού δεν είναι απαραίτητο με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος και οι απαιτήσεις συντήρησης. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά συστήματα είναι ιδιαίτερα κατάλληλα ως μακρινές παροχές ηλεκτρικού ρεύματος για τις αγροτικές και απομονωμένες κοινότητες, ως οικονομική εναλλακτική λύση στην επέκταση ή αναβάθμιση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα παρέχουν μια πηγή οικονομικής, ανεξάρτητης και συνεχούς ενέργειας, χωρίς υποβάθμιση του περιβάλλοντος [15].

2.4.2.2 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Μεγάλης Κλίμακας

Τα συστήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας έχουν εγκατασταθεί σε όλο τον κόσμο, με το μεγαλύτερο να έχει δυναμικότητα 10.000 MW (10 GW). Κάθε ένα από αυτά τα συστήματα μεγάλης κλίμακας απαιτεί ένα πολύ μεγάλο φράγμα, ή μια σειρά φραγμάτων, για να αποθηκεύσει τις τεράστιες ποσότητες νερού που απαιτούνται από το σύστημα. Το φράγμα Kariba στη Ζάμπια της Αφρικής συγκρατεί 160 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερό, και παράγει 1.300



Εικόνα 17 Μεγάλης κλίμακας Υδροηλεκτρικός σταθμός

MW ηλεκτρικό ρεύμα. Ενώ η παραγωγή ενέργειας από το νερό έχει πολλά οφέλη, από την άποψη των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και της ατμοσφαιρικής

ρύπανσης, έχει επίσης σημαντικές αρνητικές περιβαλλοντικές

επιπτώσεις. Για την κατασκευή μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικών έργων χρειάζεται συνήθως να πλημμυριστούν μεγάλες εκτάσεις εδάφους, οδηγώντας στη μετατόπιση των ανθρώπων που ζουν στην περιοχή, και επηρεάζοντας αρνητικά την τοπική πανίδα και χλωρίδα. Τα προτεινόμενα σχέδια παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζουν συχνά την έντονη αντίδραση περιβαλλοντικών οργανώσεων και φορέων προάσπισης των ανθρωπίνων δικαιωμάτων καθώς προβληματίζονται για τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιδράσεις αυτών των αναπτυξιακών προγραμμάτων [15].

2.4.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά και κύρια μέρη ενός Υ/Η σταθμού

Ένα ΥΗΕ αποτελείται από έργα πολιτικού μηχανικού και ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Τα κύρια μέρη των έργων πολιτικού μηχανικού ενός ΥΗΕ έργου είναι το Φράγμα, το υδραυλικό σύστημα και ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός [14].

2.4.3.1 Το φράγμα

Σκοπός του φράγματος είναι η δημιουργία δεξαμενής, του ταμιευτήρα, στην οποία συγκεντρώνεται ποσότητα νερού (προερχόμενη από την φυσική απορροή του υδατορεύματος) από την οποία, μέσω του αγωγού προσαγωγής, το νερό προσάγεται στον υδροστρόβιλο. Με τον σχηματισμό ταμιευτήρα μεγάλης χωρητικότητας επιτυγχάνεται ευελιξία στην λειτουργία του έργου, η παραγωγή δηλαδή ενέργειας γίνεται, ως ένα βαθμό, ανεξάρτητη από την φυσική παροχή [14].

2.4.3.2 Το υδραυλικό σύστημα

Το υδραυλικό σύστημα προσαγωγής και απαγωγής της παροχής από την υδροληψία στους υδροστρόβιλους και στη συνέχεια στη φυσική κοίτη του υδατορεύματος αποτελείται από ανοικτό αγωγό (διώρυγα ή κανάλι), ή σήραγγα (συναντάται συνήθως μόνο στα μεγάλα ΥΗΕ), την δεξαμενή φόρτισης (στο άκρο της διώρυγας προσαγωγής) και τον αγωγό προσαγωγής, τις βάννες και τα θυροφράγματα και ενδεχόμενα τον πύργο ή τους πύργους ανάπλασης όταν απαιτείται η προστασία των αγωγών προσαγωγής ή και απαγωγής από υπερπιέσεις και υποπιέσεις που

λαμβάνουν χώρα κατά τα μεταβατικά φαινόμενα εκκίνησης ή απόρριψης φορτίου των υδροστρόβιλων (υδραυλικό πλήγμα). Ανάλογα με την διαμόρφωση του έργου το σύστημα προσαγωγής μπορεί να μην περιλαμβάνει σήραγγα ή και διώρυγα προσαγωγής [14].

2.4.3.3 Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός αποτελείται από τους υδροστρόβιλους, τους ρυθμιστές στροφών, τις ηλεκτρογεννήτριες, τους μετασχηματιστές, τους ηλεκτρικούς πίνακες, τους ασφαλειοαποξεύκτες και τον βοηθητικό εξοπλισμό, όπως τα ανυψωτικά μηχανήματα (γερανογέφυρες), το σύστημα πεπιεσμένου ελαίου και αέρα, τους αυτοματισμούς κλπ. Κάθε ηλεκτρογεννήτρια είναι κατ' ευθείαν συνδεδεμένη με τον υδροστρόβιλο στην ίδια άτρακτο, εκτός από πολύ μικρές μονάδες στις οποίες παρεμβάλλεται γραναζωτή μετάδοση. Σκοπός των μετασχηματιστών είναι η ανύψωση της τάσεως που παράγουν οι γεννήτριες στην υψηλή τάση του διασυνδεδεμένου δικτύου ώστε η μεταφορά της ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες απώλειες [14].

2.5 Βιομάζα και Βιοενέργεια

2.5.1 Εισαγωγή στη βιομάζα

Ως βιομάζα θεωρούνται: τα προϊόντα, τα παραπροϊόντα και τα κατάλοιπα της γεωργικής, δασικής και ζωικής παραγωγής, τα παραπροϊόντα από τη βιομηχανική επεξεργασία των παραπάνω προϊόντων, τα αστικά λύματα και σκουπίδια και οι οργανικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα π.χ. αυτοφυή φυτά, δάση, τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου [16].



Εικόνα 18 Αγροτικές διαδικασίες που σχετίζονται με τη βιομάζα

Ο φυσικός ενεργειακός κύκλος της βιομάζας βασίζεται στην αέναη χρήση των φυσικών ενεργειακών ροών, μιμείται τους οικολογικούς κύκλους της Γης και ελαχιστοποιεί την εκπομπή ρύπων στον αέρα, τους ποταμούς και τους ωκεανούς. Το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα για την δημιουργία της βιομάζας προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και αργότερα επιστρέφει σε αυτήν. Οι θρεπτικές ουσίες για την δημιουργία της λαμβάνονται από το έδαφος και στη συνέχεια επιστρέφουν σε αυτό. Τα υπολείμματα ενός σταδίου του κύκλου συνιστούν τις εισροές του επόμενου σταδίου [16].

2.5.2 Πηγές Βιομάζας

Πηγές της βιομάζας θεωρούνται τα υπολείμματα της δασικής ύλης που προκύπτουν



από την υλοτόμηση και την επεξεργασία του ξύλου, τα υπολείμματα των αγροτικών καλλιεργειών και της αγροτικής βιομηχανίας, τα υπολείμματα της κτηνοτροφίας, τα αστικά απορρίμματα, αλλά και οι ενεργειακές καλλιέργειες.

Σήμερα, οι πιο συμφέρουσες οικονομικά κατηγορίες βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι τα υπολείμματα, δηλαδή τα οργανικά υποπροϊόντα τροφών, ινών και δασικής παραγωγής. Συνήθως χρησιμοποιούνται το πριονίδι, τα κελύφη ρυζιού και η ζαχαροκαλαμοσκόνη.

Πίνακας 1 Πηγές βιομάζας ανά κατηγορία

Πηγή [17]

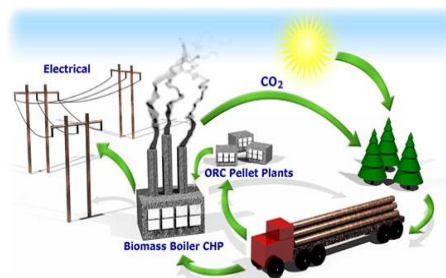
| | |
|--------------------------|--|
| Απόβλητα | <ul style="list-style-type: none"> • Φυτικής παραγωγής, ζωικής παραγωγής • Επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων (βιομηχανία τροφίμων & ζωοτροφών) • Υπολείμματα καλλιεργειών βιομηχανίας ξύλου • Αστικά απόβλητα |
| Δασική Βιομάζα | <ul style="list-style-type: none"> • Ξύλο • Υπολείμματα δασικής ξυλείας (φλοιοί, κλαδιά, φύλλα κ.α) • Δένδρα, θάμνοι και υπολείμματα του δασικού κύκλου |
| Ενεργειακές Καλλιέργειες | <ul style="list-style-type: none"> • Δασικές καλλιέργειες μικρού κύκλου • Φυλλώδεις δασικές καλλιέργειες • Μονοετείς μη-ξύλωδεις καλλιέργειες • Δημητριακά • Σακχαρώδεις καλλιέργειες • Κτηνοτροφικές καλλιέργειες (τριφύλλι, βοσκότοποι) • Ελαιούχες καλλιέργειες (κράμβη, σόγια, ηλιάνθος) • Υδρόβια φυτά (άλγες, καλαμιώνες, υδρόβιος υάκινθος) |

2.5.3 Ηλεκτροπαραγωγή από Βιομάζα

Η ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα διαφέρει από τις άλλες Α.Π.Ε στο γεγονός ότι η αρχική ενεργειακή πηγή αποτελείται από ένα πλήθος πρώτων υλών με ποικίλες ιδιότητες. Για την παραγωγή ισχύος από βιομάζα πρέπει να συνεργάζονται δυο εντελώς διαφορετικού χαρακτήρα συστήματα [17]:

1. ένα σύστημα τροφοδοσίας που παράγει συλλέγει και παραδίδει το καύσιμο
2. και ένας σταθμός που παράγει και διαθέτει την ηλεκτρική ενέργεια.

Αντίθετα με τα άλλα συστήματα ΑΠΕ που

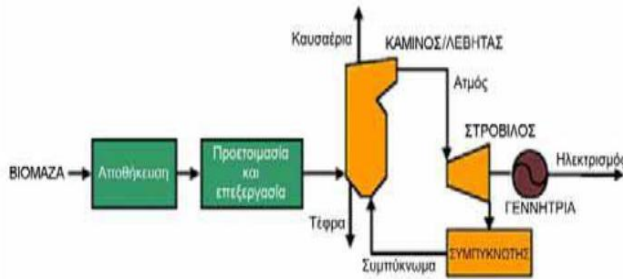


Εικόνα 20 Γραφική απεικόνιση της ηλεκτροπαραγωγής με πρώτη ύλη τη βιομάζα

απαιτούν ακριβές και εξελιγμένες τεχνολογίες (όπως φωτοβολταϊκά και αιολικά) η βιομάζα μπορεί να παράγει την ηλεκτρική ενέργεια με εξοπλισμό και σταθμούς ίδιου τύπου με αυτούς που τώρα λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα. Οι κύριες τεχνολογίες για την ηλεκτροπαραγωγή είναι:

- η άμεση καύση,
- η αεριοποίηση και
- η πυρόλυση

Η άμεση καύση αντιστοιχεί στην οξείδωση της βιομάζας με περίσσεια αέρα η οποία παρέχει θερμά καυσαέρια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ατμού στους

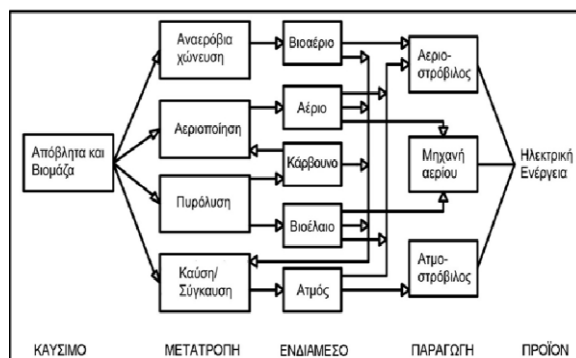


Σχήμα 1 Από τη βιομάζα στην ηλεκτροπαραγωγή
Πηγή:[17]

εναλλάκτες λεβήτων. Στην συνέχεια ο ατμός χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή εκπονόμενος μέσω στροβίλου σε ένα κύκλο Rankine. Συνήθως σε ένα κύκλο ατμού με συμπύκνωσης παράγεται μόνο ηλεκτρισμός ενώ σε ένα

κύκλο με απομάστευση έχουμε συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και ατμού ανεβάζοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης. Στους κύκλους αεριοποίησης με βάση τον αέρα, η βιομάζα οξειδώνεται μερικώς με υποστοιχειομετρικές για την μετατροπή της υπόλοιπης βιομάζας σε αέρια και οργανικούς ατμούς. Στους κύκλους έμμεσης αεριοποίησης χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή θερμότητας για να προσδώσει ενέργεια για την αεριοποίηση με ατμό υψηλής θερμοκρασίας του οργανικού μέρους της βιομάζας σε ατμούς και αέρια. Για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τα καθαρισμένα αέρια τροφοδοτούνται στον θάλαμο καύσης ενός στροβίλου [17]. Στο σχήμα 2 έχουμε συγκεντρωτικά όλες τις τεχνολογίες για την ηλεκτροπαραγωγή.

Η ηλεκτροπαραγωγή από την βιομάζα συνήθως αναπτύσσεται εκεί όπου:



Σχήμα 2 Τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής με πρώτη ύλη τη βιομάζα

Πηγή [17]

- Τα υπολείμματα βιομάζας δημιουργούν πρόβλημα διάθεσης των αποβλήτων.
- Η διάθεση χαμηλού κόστους υπολειμμάτων βιομάζας συνδυάζεται με μια έντονη αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρισμό.
- Οι φιλοπεριβαλλοντικές πολιτικές και οι ανησυχίες γύρω από την κλιματική αλλαγή ενθαρρύνουν την εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών.
- Σε μη διασυνδεδεμένα πολυσυναρτησιακά συστήματα.

2.6 Γεωθερμία

2.6.1 Εισαγωγή στη γεωθερμία

Γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης με μορφή νερών, ατμών αερίων ή μειγμάτων αυτών ή ακόμη και ως ενέργεια από τα πετρώματα και αποτελεί μια σημαντική Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας. Είναι η φυσική ενέργεια της γης που διαρρέει το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια [18].



Εικόνα 21 Αξιοποίηση ενέργειας γεωθερμίας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη, συνεπώς ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, η οποία αποτελεί φυσικό εγχώριο πλούτο που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό ποσοστό από τις ενεργειακές ανάγκες των κρατών. Παρακάτω ακολουθούν ορισμοί κάποιων βασικών εννοιών [19]:

1) Γεωθερμικό Δυναμικό είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους 24 °C.

2) Γεωθερμικό Πεδίο είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο ταυτίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό. Τα Γεωθερμικά πεδία ανάλογα με το θερμοκρασιακό τους επίπεδο διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

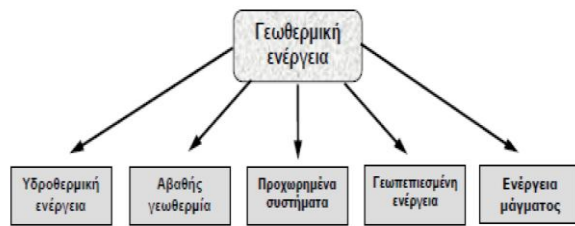
- Υψηλής ενθαλπίας (>150)
- Μέσης ενθαλπίας (80-90 έως 150)
- Χαμηλής ενθαλπίας (25 έως 80-90)
- Περιβαλλοντική (ή πολύ χαμηλής ενθαλπίας) που χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού.

2.6.2 Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα, δηλαδή οι μορφές με τις οποίες συναντάται η γεωθερμική ενέργεια μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, η κυκλοφορία ή όχι ρευστών στον ταμιευτήρα κ.ά.

Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης σε βάθη ως 150m, με θερμοκρασίες εδάφους έως 18°C.

Ένας άλλος διαχωρισμός των γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτός που βασίζεται



Σχήμα 3 Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων

Πηγή [18]

στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας. Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται. Στη συνέχεια ο

ταμιευτήρας αποφορτίζεται, είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια, είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού συναγωγής και της κυκλοφορίας του ρευστού.

2.6.3 Χρήσεις Γεωθερμικής ενέργειας

Οι δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας είναι σε άμεση συνάρτηση με το θερμικό περιεχόμενο (θερμοκρασία) των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία ταξινομούνται στις κατηγορίες που αναφέρθηκαν παραπάνω:

Υψηλής Ενθαλπίας (θερμοκρασίες ρευστών $>80-90^{\circ}\text{C}$)

Χαμηλής Ενθαλπίας ($25^{\circ}\text{C} <$ θερμοκρασίες ρευστών $<80-90^{\circ}\text{C}$)

Οι δυνατές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι αυτές που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα [18]:

2.6.3.1 Χρήση Γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας

Ο πλέον συνήθης (και τεχνικοοικονομικά συμφέρον) τρόπος αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας είναι η χρήση τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τύπος μετατροπής που χρησιμοποιείται εξαρτάται από την κατάσταση του ρευστού (είτε είναι ατμός είτε νερό), τη θερμοκρασία του, την πίεση και την παροχή. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι τρεις:

- **Ξηρού ατμού (Θερμοκρασία ρευστών $>180^{\circ}\text{C}$).** Ο ατμός οδηγείται σε στρόβιλο, ο οποίος θέτει σε λειτουργία γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.
- **Στρόβιλοι υγρού ατμού (Θερμοκρασία ρευστών $>150^{\circ}\text{C}$).** Το γεωθερμικό ρευστό, είτε έρχεται ως διφασική ροή από τη γεώτρηση, είτε εκτονώνεται σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης και μετατρέπεται σε διφασικό μίγμα. Το μίγμα αυτό διαχωρίζεται σε κατακόρυφο διαχωριστή και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.

- *Διαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (Θερμοκρασία ρευστών >90°C).* Το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση σε έναν εναλλάκτη του δευτερεύοντος ρευστού (νερό και αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, CO₂ κ.λπ.) το οποίο έχει μικρότερο σημείο ζέσεως σε σχέση με το νερό. Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στο στρόβιλο και εν συνεχεία στο συμπυκνωτή [18]:

2.6.3.2 Χρήση Γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας

Οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας είναι:

- *Άμεση θέρμανση χώρων*
- *Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών*
- *Υδατοκαλλιέργειες.* Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε υδατοκαλλιέργειες ψαριών.
- *Βιομηχανικές εφαρμογές* (προπαρασκευή κονσερβοποιημένων τροφών, εμφιάλωση ποτών, λεύκανση λαχανικών, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, τροφίμων, δερμάτων, εξαγωγή CO₂ κλπ.)
- *Θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές*
- *Άλλες χρήσεις* (αφαλάτωση θαλασσινού νερού, η ψύξη κτιρίων, η άρδευση αγροτικών καλλιεργειών, το λιώσιμο του χιονιού σε πεζοδρόμια και άλλες εφαρμογές) [18]:

3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται έντονο ενδιαφέρον για επενδύσεις σε ΑΠΕ λόγω της κλιματικής αλλαγής και της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής που στηρίζει την ανεξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Παρόλο που εδώ και αρκετά χρόνια λειτουργεί μια πληθώρα από εφαρμογές αυτών των τεχνολογιών π.χ. φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κλπ., η ανάγκη για συγκεντρωτική ηλεκτροπαραγωγή από Α.Π.Ε παραμένει, στη προσπάθεια για ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας. Όπως διαφαίνεται λοιπόν, είναι πρόσφορο το έδαφος για μια πληθώρα επενδύσεων στον ενεργειακό χώρο της Ελλάδας που διαθέτει τεράστιο φυσικό πλούτο ικανό να υποστηρίξει και να δώσει βιώσιμο χαρακτήρα σε οποιαδήποτε επένδυση Α.Π.Ε.

Καθώς η επιστήμη ολοένα εξελίσσει την τεχνολογία των Α.Π.Ε, η επιστημονική κοινότητα εξετάζει ενδελεχώς το θέμα της αξιολόγησης των επενδύσεων προς αυτό το προσανατολισμό. Όπως η πλειοψηφία των επενδύσεων που αξιολογούνται, έτσι και οι επενδύσεις που αφορούν τον ενεργειακό σχεδιασμό, και στη συγκεκριμένη περίπτωση της δημιουργίας ενός έργου Α.Π.Ε για ηλεκτροπαραγωγή, δεν χαρακτηρίζονται ως μονοδιάστατα προβλήματα.

Οι επενδύσεις ηλεκτροπαραγωγής σε Α.Π.Ε επηρεάζουν όχι μόνο την ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας, αλλά την καθημερινότητα των τοπικών κοινωνιών και τη περιβαλλοντική ισορροπία στις περιοχές εγκατάστασης. Είναι σαφές ότι αρκετοί παράγοντες της Ελληνικής πραγματικότητας (πχ γραφειοκρατία), οι τοπικές κοινωνικές τάσεις, η ποικιλομορφία του γεωλογικού και κλιματικού δυναμικού, η διαφοροποίηση στη τεχνολογία των διαφόρων Α.Π.Ε και άλλες διαστάσεις συνθέτουν το πάζλ ενός πολυδιάστατου προβλήματος που χρήζει επιστημονικής μοντελοποιημένης μεθόδου για την επίλυση.

Ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία βλέπουμε μια πληθώρα προβλημάτων προς επίλυση, όσον αφορά τον ενεργειακό σχεδιασμό, όπως η οργάνωση ενός σχεδίου δράσης με τη χρήση Α.Π.Ε για συγκεκριμένη περιοχή, η ποιοτική αξιολόγηση και σύγκριση των τεχνολογιών Α.Π.Ε, η σύγκριση των Α.Π.Ε με συμβατικές μορφές κ.α.

Όλα αυτά τα προβλήματα αποτελούν προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων, των οποίων ο προσδιορισμός της αξίας επιφέρει υψηλή αβεβαιότητα, που σε πολλές περιπτώσεις περιλαμβάνουν πολλαπλούς αποφασίζοντες. Παράλληλα είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη οι προτιμήσεις των επενδυτών γεγονός δύσκολο προς ερμηνεία και συμπερίληψη στο μοντέλο επίλυσης.

Γίνεται σαφές ότι για τους παραπάνω λόγους το παρόν πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε ως ερευνητές είναι αναγκαίο να βασιστεί σε μια πολυκριτηριακή ανάλυση για την υποστήριξη της απόφασης ενός πιθανού επενδυτή που καλείται να επιλέξει την καταλληλότερη, για τις προτιμήσεις του, επένδυση ηλεκτροπαραγωγής

από Α.Π.Ε. Ο αποφασίζων συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία της πολυκριτήριας ανάλυσης, καθώς μέσα από δομημένο διάλογο μαζί του οριοθετούμε και σταθμίζουμε τα δεδομένα και τους στόχους του προβλήματος.

Κρίνεται αναγκαίο προτού γίνει η εισαγωγή στη θεμελίωση του προβλήματος να ερευνησουμε την υπάρχουσα βιβλιογραφία, ώστε να έχουμε μια εικόνα της μέχρι τώρα επιστημονικής έρευνας γύρω από το πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε. Μέτα από την έρευνα μας παραθέτουμε παρακάτω ανά κατηγορία τις επιστημονικές δημοσιεύσεις που σχετίζονται ως προς το αντικείμενο ή την επιστημονική σκοπιά με τη παρούσα ανάλυση:

- Ποσοτική ή ποιοτική σύγκριση όλων των εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις έρευνες που συγκρίνουν Α.Π.Ε, αλλά και συμβατικές μορφές ενέργειας με τη χρήση μαθηματικού μοντέλου, όπως οι Tolga Kaya, Cengiz Kahraman στην έρευνα τους με τίτλο "*Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology*" όπου συγκρίνουν όλες τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας με τη μέθοδο TOPSIS.

Αντίστοιχη της παραπάνω έρευνας είναι αυτή των Ch Karakosta, Ch.Pappas, V.Marinakis, και J.Psarras με τίτλο "*Renewable energy and nuclear power towards sustainable development: Characteristics and prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews*" όπου γίνεται ποιοτική ανάλυση των Α.Π.Ε σε σύγκριση με την πυρηνική ενέργεια.

- Ποιοτική αξιολόγηση επενδύσεων Α.Π.Ε.

Καθώς εξειδικευόμαστε στις Α.Π.Ε. έχουμε τις αξιολογήσεις με τη χρήση ποιοτικών δεδομένων και όχι κάποιου μαθηματικά δομημένου μοντέλου όπως στην έρευνα των L. Adair Turner με τίτλο "*The Renewable Energy Review Committee on Climate Change*" όπου γίνεται αναφορά στις επιδόσεις των Α.Π.Ε και τα σενάρια αυτών ανά τεχνολογία στη Βρετανία. Στο ίδιο κλίμα, αλλά χωρίς συγκεκριμένα γεωγραφικά δεδομένα οι J. Shah, J. Li, M. King στην έρευνα τους με τίτλο "*Comparing Renewable Sources of Energy*" αναλύουν και συγκρίνουν τις Α.Π.Ε στον ενεργειακό σχεδιασμό, χωρίς να προσθέτουν στη σύγκριση κάποιο μαθηματικοποιημένου μοντέλου πόρισμα.

- Ποσοτική αξιολόγηση Α.Π.Ε.

Πλησιέστερα στο πρόβλημα που εξετάζουμε είναι εκείνα που συγκρίνουν τις Α.Π.Ε με τη χρήση ποσοτικών μεθόδων. Ο Fausto Cavallaro εφάρμοσε την μέθοδο Promethee για την αξιολόγηση και σύγκριση των βιώσιμων ενεργειακών πηγών στην έρευνα με τίτλο "*An Integrated MultiCriteria System to Assess Sustainable Energy Options: An Application of the Promethee Method, february 2005*" ενώ ο Η. Πολατίδης στη Διδακτορική του διατριβή με τίτλο "*Ανάπτυξη μοντέλου πολυκριτήριας μεθόδου για θέματα ενεργειακού σχεδιασμού*" επιχειρεί μια ανάλυση

των μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού όπως αυτό που εξετάζουμε.

➤ Αξιολόγηση διαφορετικών περιπτώσεων μίας συγκεκριμένης Α.Π.Ε

Σε μεγαλύτερη εξειδίκευση προχωρούν κάποιες έρευνες οι οποίες αναλύουν διαφορετικά ενδεχόμενα μιας συγκεκριμένης Α.Π.Ε. όπως ο Η. Πολατίδης στην έρευνα του με τίτλο “*Ενεργειακή Ανάλυση και Λήψη Αποφάσεων: Ένα Πολυκριτηριακό Μεθοδολογικό Πλαίσιο*”, όπου χρησιμοποιεί τις πολυκριτήριες μεθόδους Promethee 2 και Electre III για την επιλογή καταλληλότερου σεναρίου εφαρμογής διάταξης παραγωγής ενέργειας γεωθερμίας.

➤ Πολυκριτήρια αξιολόγηση επενδύσεων ενεργειακού σχεδιασμού

Το πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε ανήκει σε αυτή τη κατηγορία όπου σχετικές έρευνες έχουν γίνει με τη χρήση διαφορετικών πολυκριτήριων μεθόδων και δεδομένων του προβλήματος. Οι *Theocharis Tsoutsos* , *Maria Drandaki* , *Niki Frantzeskaki*, *Eleftherios Iosifidi* και *Ioannis Kiosses* στην έρευνα τους με τίτλο “*Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete*” θεμελιώνουν τον ενεργειακό σχεδιασμό της Κρήτης με τη χρήση των μεθόδων promethee 1 και 2 για τον βιώσιμο ενεργειακό σχεδιασμό του νησιού της Κρήτης. Για το ίδιο νησί μοντελοποιείται με την μέθοδο electre 3 ο ενεργειακός σχεδιασμός με Α.Π.Ε στη μελέτη: “*A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option*” των Ε. Georgopoulou , D. Lalas και L. Papagiannakis.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι έρευνες που αναφέρθηκαν αλλά και άλλες που ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας.

Πίνακας 2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

| Μελέτη-Δημοσίευση | Περιγραφή | Είδος Μεθόδου | Πηγή |
|---|---|--|------|
| <i>Ch Karakosta, Ch.Pappas, V.Marinakis, J.Psarras, 2012</i> | Σύγκριση των ΑΠΕ με την πυρηνική ενέργεια | Ποιοτική σύγκριση | 20 |
| <i>H.Polatidis,Haralambopoulos, G. Munda, R. Vreeker,2006</i> | Ανάλυση και σύγκριση των πολυκριτηριακών μεθόδων ως προς τη καταλληλότητα τους στον ενεργειακό σχεδιασμό από ΑΠΕ. | Outranking,utility,based nodels,programming. | 21 |
| <i>Th. Tsoutsos, M. Drandaki, N. Frantzeskaki, El. Iosifidis, I. Kiosses,2008</i> | Χρήση πολυκριτήριας μεθόδου για τον ενεργειακό σχεδιασμό της Κρήτης | Promethee I&II | 22 |
| <i>Γ. Ζ. Αικατερίνη,2012</i> | Αξιολόγησηκαι σύγκριση των ΑΠΕ | Ποιοτική σύγκριση | 23 |
| <i>Ευ. Χρ. Μόσχου,2012</i> | Αξιολόγηση όλων των εναλλακτικών πηγών ενέργειας | Ποιοτική σύγκριση | 24 |
| <i>Ηρακλής Πολατιδής,Οκτώβριος, 2003</i> | Εφαρμογή πολυκριτήριας μεθόδου για ένα πρόβλημα Γεωθερμικού πεδίου | Promethee 2 και electre III | 25 |
| <i>E. Georgopoulou, D. Lalas, L. Papagiannakis, January 1996</i> | Εφαρμογή της electre III για την σύγκριση των ΑΠΕ στο νησί της Κρήτης | Electre III | 26 |
| <i>L. Adair Turner,May 2011</i> | Σενάρια για τις Α.Π.Ε στη Βρετανία μέχρι το 2020 | Ποιοτική σύγκριση | 27 |
| <i>J. Shah, J. Li, M. King</i> | Ανάλυση των πλεονεκτημάτων & μειονεκτημάτων των Α.Π.Ε | Ποιοτική σύγκριση | 28 |
| <i>T. Kaya, C. Kahraman,2010</i> | Ενεργειακός σχεδιασμός (Περιλαμβάνονται όλες οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας) | TOPSIS | 29 |
| <i>C Kahraman, I Kaya, S Cebi,2008</i> | Πολυκριτηριακή αξιολόγηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας | AHP | 30 |
| <i>Naim H. Afgan, Maria G. Carvalho,2001</i> | Πολυκριτηριακή αξιολόγηση εναλλακτικών σταθμών παραγωγής | Μαθηματικό μοντέλο με μεταβαλητά βάρη | 31 |
| <i>J. Burton, K. Hubacek,2007</i> | Εφαρμογή πολυκριτηριακής σύγκρισης για μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής | Macbeth & cost-benefit | 32 |
| <i>F Cavallaro, 2005</i> | Γενικά για τον ενεργειακό σχεδιασμό | Promethee I&II | 33 |
| <i>J-J. Wang, Y-Y Jing, C-F Zhang, J-H Zhao,2009</i> | Περιγραφή των μεθόδων χρήσιμες στον ενεργειακό σχεδιασμό | | 34 |
| <i>Espen Løken,2005</i> | Περιγραφή των μεθόδων χρήσιμες στον ενεργειακό σχεδιασμό | | 35 |

4 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

4.1 Η πολυκριτηριακή ανάλυση για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων

Η πολυκριτηριακή ανάλυση (Multicriteria Decision Analysis – MCDA) αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για να περιορίσει τη σύγχυση που προκαλείται σε προβλήματα λήψης απόφασης όπου εμπλέκονται πολλά



και διαφορετικά κριτήρια τα οποία αφορούν συγκεκριμένες επιλογές. Αποτελεί κομμάτι της Επιχειρησιακής Έρευνας και μέσω αυτής της μεθόδου επιτυγχάνεται η σύνθεση ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών, διατηρώντας παράλληλα τους στόχους και τις προτιμήσεις του εκάστοτε λήπτη της απόφασης [36].

Η πολυκριτηριακή ανάλυση δεν αποτελεί μια μεθοδολογία εύρεσης της άριστης λύσης στο εκάστοτε πρόβλημα, καθώς άριστη λύση δεν μπορεί ουσιαστικά να υπάρξει. Η ικανοποίηση των στόχων δεν μπορεί να είναι πλήρης γιατί τότε δε θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης, καθώς η λύση που θα εμφάνιζε τις καλύτερες επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια θα προκρινόταν χωρίς αμφιβολία ως προς την ορθότητα της απόφασης [37].

Οι διαθέσιμες λύσεις λοιπόν, παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς έναν ή περισσότερους στόχους, αλλά όχι σε όλους. Στην πράξη οι αποφασίζοντες έρχονται αντιμέτωποι με αντιμαχόμενους στόχους και καλούνται να επιλέξουν για ποιους στόχους δεν είναι διατεθειμένοι να δεχτούν απόκλιση από το βέλτιστο και για ποιους μπορούν να είναι ελαστικοί. Με άλλα λόγια, η επίλυση προβλημάτων με πολλαπλά κριτήρια είναι συνδεδεμένη με την έννοια του συμβιβασμού. Συμβιβασμός για τον ίδιο το λήπτη της απόφασης που αποδέχεται ως αναγκαία τη σχετική απομάκρυνση από κάποιους στόχους του και συμβιβασμός μεταξύ των διαφορετικών ληπτών της απόφασης που αποδέχονται πιθανά επιπλέον απομάκρυνση από κάποιον στόχο προκειμένου να επιτευχθεί συναίνεση ως προς μια αποδεκτή λύση [37].

Η χρησιμότητα της πολυκριτηριακής ανάλυσης έγκειται στο γεγονός ότι βοηθάει τον αποφασίζοντα να οργανώσει τις διαθέσιμες πληροφορίες, να σκεφθεί συστηματικά για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε λύσης, να συνειδητοποιήσει τις προτιμήσεις και τις ανοχές του, έτσι ώστε να κάνει τους λιγότερο οδυνηρούς συμβιβασμούς.

Κάθε πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει τέσσερα σημαντικά στοιχεία [36]:

- α) το σύνολο των *εναλλακτικών δραστηριοτήτων*, που συμβολίζεται με A , ενώ κάθε στοιχείο του A από το οποίο γίνεται η επιλογή της απόφασης, συμβολίζεται με a ,
- β) το σύνολο των *κριτηρίων αξιολόγησης*, που συμβολίζεται με $g=(g_1, \dots, g_q)$, το οποίο έχει ουσιώδη σημασία για τη λήψη μιας σωστής απόφασης,
- γ) το αποτέλεσμα της κάθε επιλογής, $g(a)=(g_1(a), \dots, g_q(a))$, υπολογιζόμενο με τους όρους των κριτηρίων, που σημαίνει τη *βαθμολογία* της εκάστοτε εναλλακτικής δραστηριότητας x ως προς το κριτήριο g_i ,
- δ) και τις *δομές προτίμησης* του λήπτη της απόφασης.

4.2 Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης

Η επιστημονική περιοχή της πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει κατ' αρχήν ένα θεωρητικό υπόβαθρο, στο οποίο αναπτύσσεται η βασική λογική για την προσέγγιση τέτοιου είδους προβλημάτων. Με βάση αυτό το θεωρητικό υπόβαθρο έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος τεχνικών, κατάλληλων για την αντιμετώπιση ενός μεγάλου εύρους προβλημάτων που προκύπτουν στην πράξη. Αν και η ταξινόμηση των τεχνικών αυτών σε ιδιαίτερες κατηγορίες δεν είναι αυστηρή, διακρίνονται τέσσερις βασικές ομάδες μεθόδων:

- Μέθοδοι Υπεροχής
- Πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός
- Πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας
- Αναλυτική – Συνθετική Προσέγγιση

Το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί τις δύο πρώτες κατηγορίες είναι το είδος του συνόλου των επιλογών. Συγκεκριμένα, η πρώτη κατηγορία εφαρμόζεται σε προβλήματα που εξετάζουν ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών επιλογών, ενώ η δεύτερη σε προβλήματα με συνεχές σύνολο άπειρου αριθμού επιλογών, στα οποία κατ' αναλογία με τα προβλήματα γραμμικού μονοκριτηριακού προγραμματισμού, οι μεταβλητές απόφασης μπορεί να παίρνουν οποιαδήποτε τιμή εντός ενός καθορισμένου πεδίου [38]:

Η ταυτοποίηση του αντικείμενου της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελεί ένα πρώτο στάδιο της αναλυτικής διαδικασίας, που διευκολύνει την κατανόηση του προβλήματος και επιτρέπει την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επίλυσης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται [39]:

Στο στάδιο του προβλήματος:

1. καθορισμός του προβλήματος και επιλογή των πιθανών εναλλακτικών σεναρίων
2. επιλογή των κριτηρίων
3. μέτρηση των επιδόσεων και ταξινόμηση των κριτηρίων
4. εκτίμηση της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου
5. δημιουργία του μοντέλου αξιολόγησης

6. καθορισμός των πιθανών περιοριστικών παραμέτρων ανάλογα με το αντικείμενο του εξεταζόμενου προβλήματος
7. τελική ταξινόμηση των εξεταζόμενων σεναρίων κατά σειρά βαθμολογίας με βάση τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που θα επιλεγθεί

Στο στάδιο ανάλυσης των αποτελεσμάτων:

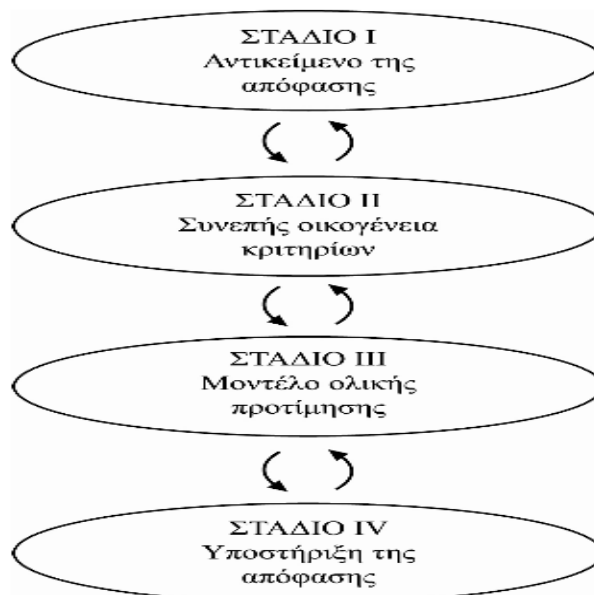
1. ανάλυση ευαισθησίας της λύσης
2. προσδιορισμός της σύγκρουσης των κριτηρίων

4.3 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Βάσει των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζουν τα προβλήματα λήψης αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια, ο χώρος της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (Π.Α.Α) έχει τους ακόλουθους τρεις βασικούς στόχους [40]:

- την ανάλυση της ανταγωνιστικής φύσης των κριτηρίων.
- τη μοντελοποίηση των προτιμήσεων του αποφασίζοντος.
- τον εντοπισμό ικανοποιητικών λύσεων.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων ο Roy (1985) πρότεινε ένα γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο, το οποίο και ακολουθείται στα πλαίσια της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις-στάδια τα οποία επιτρέπουν την μεταξύ τους ανάδραση. Τα στάδια αυτά φαίνονται στο σχήμα 4 και αναλύονται στη συνέχεια [39].



Σχήμα 4 Στάδια του μεθοδολογικού πλαισίου

Πηγή [41]

4.3.1 Αντικείμενο της απόφασης

Το πρώτο αυτό στάδιο του μεθοδολογικού πλαισίου της Π.Α.Α αφορά τον καθορισμό του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων και της

προβληματικής της ανάλυσης. Ως «εναλλακτική δραστηριότητα» ή απλά «εναλλακτική» (alternative ή action) ορίζεται κάθε πιθανή επιλογή η οποία αποτελεί λύση του εξεταζόμενου προβλήματος και η οποία πρέπει να αξιολογηθεί ως προς την καταλληλότητά της. Το σύνολο των εναλλακτικών δραστηριοτήτων μπορεί να προσδιοριστεί είτε ως ένα διακριτό σύνολο (discrete set), είτε ως ένα συνεχές σύνολο (continuous set).

Μετά τον προσδιορισμό του συνόλου των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, απαιτείται ο καθορισμός της προβληματικής της ανάλυσης (decision problematic). Γενικά, υπάρχουν τέσσερις προβληματικές που καλύπτουν το σύνολο των πρακτικών περιπτώσεων [40]:

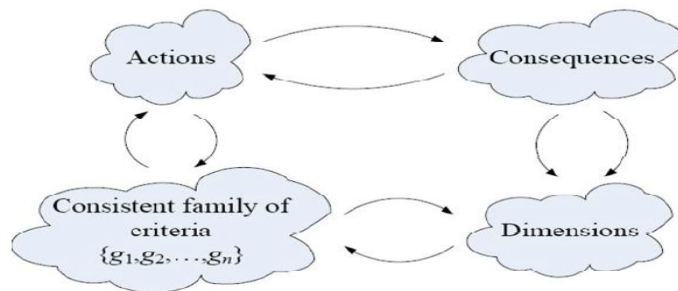
- Προβληματική α (επιλογή, choice): Η προβληματική τύπου α αναφέρεται στην επιλογή μίας ή περισσότερων εναλλακτικών οι οποίες θεωρούνται ως οι πλέον κατάλληλες. Για παράδειγμα, κατά την χωροθέτηση ενός εργοστασίου η προβληματική αφορά την επιλογή της πλέον κατάλληλης τοποθεσίας.
- Προβληματική β (ταξινόμηση, classification / sorting): Η προβληματική τύπου β αναφέρεται στην ταξινόμηση των εναλλακτικών δραστηριοτήτων σε προκαθορισμένες ομοιογενείς κατηγορίες. Για παράδειγμα, κατά την αξιολόγηση μιας αίτησης δανειοδότησης το αντικείμενο της ανάλυσης αφορά την αξιολόγηση του αιτούντα (επιχείρηση ή ιδιώτη) και την ταξινόμησή του είτε στην κατηγορία των αποδεκτών αιτήσεων, είτε στην κατηγορία των απορριπτέων αιτήσεων.
- Προβληματική γ (κατάταξη, ranking): Η προβληματική τύπου γ αναφέρεται στην κατάταξη των εναλλακτικών δραστηριοτήτων από τις καλύτερες προς τις χειρότερες. Για παράδειγμα, κατά εισαγωγή των μαθητών σε μια πανεπιστημιακή σχολή απαιτείται η κατάταξή τους βάσει της βαθμολογίας τους στις εισαγωγικές εξετάσεις.
- Προβληματική δ (περιγραφή, description): Η προβληματική τύπου δ αναφέρεται στην περιγραφή των εναλλακτικών δραστηριοτήτων βάσει των επιδόσεών τους στα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης. Η επιλογή της κατάλληλης προβληματικής σχετίζεται αποκλειστικά και μόνο με το πρόβλημα που εξετάζεται. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις πιθανόν να απαιτείται ο συνδυασμός δύο προβληματικών για την καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος.

4.3.2 Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων

Κάθε δυνατή δράση από το σύνολο A προϋποθέτει ένα σύνολο επιπτώσεων και απαιτήσεων, το οποίο περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα, μέσω των οποίων είναι δυνατή η αξιολόγηση της δράσης από τον αποφασίζοντα [41].

Σύμφωνα με τον Bernard Roy η καταλληλότερη μέθοδος για την επίτευξη αυτού του στόχου βασίζεται στα εξής σημαντικά σημεία:

- Αυστηρός ορισμός συνόλου δράσεων.
- Ανάλυση στοιχειωδών επιπτώσεων συνόλου δράσεων .
- Καθορισμός Αξόνων Προτίμησης.
- Επιλογή Διαστάσεων.
- Ορισμός Συνεπούς Οικογένειας Κριτηρίων [42].



Σχήμα 5 Απεικόνιση σταδίων κατασκευής της συνεπούς οικογένειας κριτηρίων

Πηγή: [42]

Σε κάθε περίπτωση, ένα κριτήριο ορίζεται μέσω μιας κλίμακας προτίμησης. Στη μαθηματική γλώσσα, ένα κριτήριο μοντελοποιείται από μια πραγματική συνάρτηση:

$$g: A \longrightarrow R / a \longrightarrow g(a)$$

όπου $g(a)$ είναι η τιμή ή αξιολόγηση (evaluation) της δράσης a του A πάνω στο κριτήριο g . Η συνάρτηση αυτή οφείλει να πληροί την ιδιότητα συνέπειας ή μονοτονίας (cohesiveness). Εάν δηλαδή a και b είναι δύο δράσεις του συνόλου A , ισχύει [38]:

$$g(a) > g(b) \longrightarrow aSb$$

όπου aSb σημαίνει ‘‘η δράση a υπερέχει της δράσης b ’’.

Ένα σύστημα αξιολόγησης των δράσεων του προβλήματος μοντελοποιείται μέσω μιας **συνεπούς οικογένειας κριτηρίων** (consistent family of criteria) $f = \{(g_1, g_2, \dots, g_n)\}$ η οποία περιλαμβάνει n κριτήρια που οφείλουν να πληρούν τρεις θεμελιώδεις συνθήκες :

1. Συνέπεια ή μονοτονία (cohesiveness)
2. Επάρκεια (exhaustiveness)
3. Μη πλεονασμός (non redundancy)

Μία συνεπής οικογένεια κριτηρίων απεικονίζει το σύνολο των δράσεων A μέσα στον n - διάστατο πραγματικό χώρο R^n .

Τέλος, με $g(a) = (g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a))$ συμβολίζουμε το διάνυσμα-γραμμή των τιμών της δράσης a που ανήκει στο σύνολο δράσεων A πάνω στα n κριτήρια, το οποίο και ονομάζουμε πολυκριτήρια αξιολόγηση (Multicriteria Evaluation) της δράσης a [38].

4.3.3 Μοντέλο ολικής προτίμησης

Μετά την ολοκλήρωση των δύο προηγούμενων σταδίων της ανάλυσης (αντικείμενο του προβλήματος, διαμόρφωση συνεπούς οικογένειας κριτηρίων), το επόμενο στάδιο αφορά την κατασκευή και χρησιμοποίηση ενός μοντέλου ολικής προτίμησης (global evaluation model).

Ως μοντέλο ολικής προτίμησης θεωρείται η σύνθεση όλων των κριτηρίων, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ανάλυσης ανάλογα με την προβληματική που έχει καθοριστεί [40].

Το μοντέλο ολικής προτίμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για:

- τον προσδιορισμό μιας συνολικής αξιολόγησης κάθε εναλλακτικής.
- την πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών.
- τη διερεύνηση του συνόλου των εναλλακτικών λύσεων, όταν αυτό είναι συνεχές.

Η ανάπτυξη του μοντέλου ολικής προτίμησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

1. Αλληλεπιδραστικά μέσω της συνεργασίας του αναλυτή με τον αποφασίζοντα. Στην προσέγγιση αυτή ο αποφασίζοντας καθορίζει ένα σύνολο παραμέτρων σχετικών με την πολιτική λήψης των αποφάσεων που ακολουθεί (για παράδειγμα, τα βάρη των κριτηρίων).
2. Αναλύοντας τις αποφάσεις που λαμβάνει ο αποφασίζων, έτσι ώστε να αναπτυχθεί το κατάλληλο μοντέλο ολικής προτίμησης που είναι συμβατό με την πολιτική λήψης των αποφάσεων που αυτός ακολουθεί. Η προσέγγιση αυτή έχει αρκετές ομοιότητες με τη μεθοδολογία της γραμμικής παλινδρόμησης (ordinal regression), η οποία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στο χώρο της στατιστικής.

4.3.4 Πολυκριτηριακά μοντέλα αποφάσεων

Τα πολυκριτηριακά μοντέλα με μια γενική θεώρηση χωρίζονται στις εξής κατηγορίες [43][44]:

- *Αντισταθμιστικά μοντέλα (compensatory models)* : Είναι τα μοντέλα στα οποία η υποβάθμιση ενός κριτηρίου είναι δυνατόν να αποζημιωθεί από τη βελτίωση της τιμής ενός άλλου κριτηρίου.
- *Μη αντισταθμιστικά μοντέλα (non compensatory models)* : Είναι μοντέλα στα οποία η αντιστάθμιση ενός κριτηρίου από ένα άλλο δεν είναι επιτρεπτή.

Σε θεωρητική βάση οι κατηγορίες των μοντέλων σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων είναι οι εξής [43][44]:

- *Συναρτησιακές μέθοδοι* : Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων συναρτήσεων αξίας ή χρησιμότητας.
- *Σχισιακές μέθοδοι* : Η σύνθεση των κριτηρίων επιτυγχάνεται μέσω μιας ή περισσότερων σχέσεων υπεροχής .

- *Αναλυτικές μέθοδοι* : Το μοντέλο σύνθεσης των κριτηρίων συμπεραίνεται έμμεσα από δεδομένα ολικής προτίμησης του αποφασίζοντος.

Για τη **μοντελοποίηση των προτιμήσεων** του αποφασίζοντος στη διαδικασία της απόφασης υπάρχουν δύο επιλογές μοντέλων ουσιαστικά που σχετίζονται είτε:

- Με την έννοια της διμερούς σχέσης
- Ή με την έννοια της συνάρτησης.

Μοντελοποίηση μέσω διμερών σχέσεων

Το πρώτο βασικό μοντέλο κάθε θεωρίας που χρησιμοποιεί την έννοια της προτίμησης είναι εκείνο της διμερούς σχέσης (binary relation) η οποία ορίζεται πάνω σε ένα σύνολο A δράσεων.

Η πιο κλασσική οικογένεια μοντέλων αυτής της κατηγορίας κάνει χρήση μιας και μόνο σχέσης, της *σχέσης υπεροχής*. Η σχέση υπεροχής μεταξύ δύο δράσεων παριστάνεται με ένα προσανατολισμένο γράφημα δύο κορυφών κι ενός τόξου που έχει για αρχή την κορυφή a και τέλος την κορυφή b . Ένα τέτοιο γράφημα που συνδέει όλες τις δράσεις του συνόλου A ονομάζεται γράφημα υπεροχής (outranking graph).

Μοντελοποίηση μέσω συναρτήσεων

Το δεύτερο βασικό μοντέλο για τη μοντελοποίηση προτιμήσεων είναι εκείνο της συνάρτησης που ορίζεται πάνω στο σύνολο A και ακούει στο όνομα : *συνάρτηση χρησιμότητας*, *συνάρτηση αξίας* ή *συνάρτηση κριτηρίου*. Η μέθοδος αυτή στοχεύει στην αναπαράσταση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνειδητά ακολουθεί ο αποφασίζων. Η αναπαράσταση αυτή γίνεται με την χρήση μιας κατάλληλης συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας, προσθετικό μοντέλο αξίας (MAUT – MultiAttribute Utility Theory).

Κύριες εφαρμογές αυτής της μεθόδου έχουμε στην επίλυση προβλημάτων με διακριτές εναλλακτικές λύσεις και ειδικότερα για προβλήματα επιλογής. Μπορεί όμως, να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου επιθυμείται η κατάταξη ή η ταξινόμηση των εναλλακτικών σε προκαθορισμένες κατηγορίες [44].

5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ Α.Π.Ε

5.1 Ορισμός του προβλήματος

Οι ευκαιρίες που δημιουργεί η παρούσα κατάσταση στην Ελλάδα στον τομέας της ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε δίνουν τη δυνατότητα σε υποψήφιους επενδυτές να συμμετάσχουν στον ενεργειακό χάρτη της χώρας.

Μια εταιρεία (επενδυτής) ενδιαφέρεται να επενδύσει στην κατασκευή και στη λειτουργία ενός έργου Α.Π.Ε στον Ελλαδικό χώρο κι επιθυμεί να γίνει η κατάλληλη επιλογή του είδους Α.Π.Ε και της μορφής αυτού (Διασυνδεδεμένου ή μη).

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας επιχειρείται η μοντελοποίηση του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει ο παραπάνω υποψήφιος επενδυτής όσον αφορά την επιλογή της καταλληλότερης επένδυσης με βάση τους στόχους τις οριοθετήσεις και τις προτιμήσεις αυτού. Η πολυδιάστατη μορφή του προβλήματος, μας οδηγεί στη πλέον επιστημονικά ορθή μέθοδο όπως αυτή της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να επισημανθεί ότι η τάξη μεγέθους του προς ανάλυση έργου είναι 8 έως 10 MW, ενώ για την αντικειμενικότερη διεκπεραίωση της έρευνας θεωρείται δεδομένο ότι κάθε εναλλακτικό έργο Α.Π.Ε καλείται να καλύψει την ίδια ετήσια ενεργειακή ζήτηση.

Στη συνέχεια ακολουθούν με κάθε βήμα τα στάδια της εφαρμογής της πολυκριτηριακής ανάλυσης για την επιλογή της βέλτιστης επένδυσης όπως αυτά αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 4.

Σε αυτό το σημείο θα γίνει ο προσδιορισμός δυο βασικών ζητημάτων:

1. Ο αυστηρός ορισμός του συνόλου Α των δράσεων και
2. Ο καθορισμός μιας προβληματικής.

Το αντικείμενο της απόφασης αναλύεται σε ένα σύνολο δράσεων (actions) στο οποίο δίνουμε το όνομα ‘‘Σύνολο Α’’. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις: η πρώτη είναι όταν το σύνολο Α είναι διακριτό, ενώ η δεύτερη όταν το σύνολο Α είναι συνεχές και ορίζεται έμμεσα από μαθηματικές σχέσεις.

Ο καθορισμός μιας προβληματικής πάνω στο σύνολο Α αποσκοπεί στο να δώσει επιχειρησιακό ρόλο στο έργο μας. Μια προβληματική σχετίζεται άμεσα με ερωτήματα όπως "πώς θα διαχειριστούμε τις δράσεις;" ή γενικότερα "τι θέλουμε να επιτύχουμε;" [43][44].

Στόχος αυτής της έρευνας είναι να επιλεγθεί η βέλτιστη επένδυση, ώστε ο επενδυτής που επιλέχθηκε να συμμετάσχει στην έρευνα, να αντιληφθεί βάσει επιστημονικής ανάλυσης ποια επένδυση ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε πρέπει να επιλέξει για να υλοποιήσει με σκοπό να επιτύχει με το καλύτερο συνδυασμό τους στόχους του.

Ως σύνολο δράσεων ορίζονται, λοιπόν τα υπό αξιολόγηση εναλλακτικά επενδυτικά έργα Α.Π.Ε, ένα εκ των οποίων θα αξιολογηθεί ως βέλτιστο. Συνεπώς, θα υιοθετηθεί η προβληματική α, η οποία όπως προαναφέρθηκε περιγράφει την επιλογή μιας εκ των εναλλακτικών δράσεων του συνόλου Α που κρίνεται βέλτιστη για τον αποφασίζοντα.

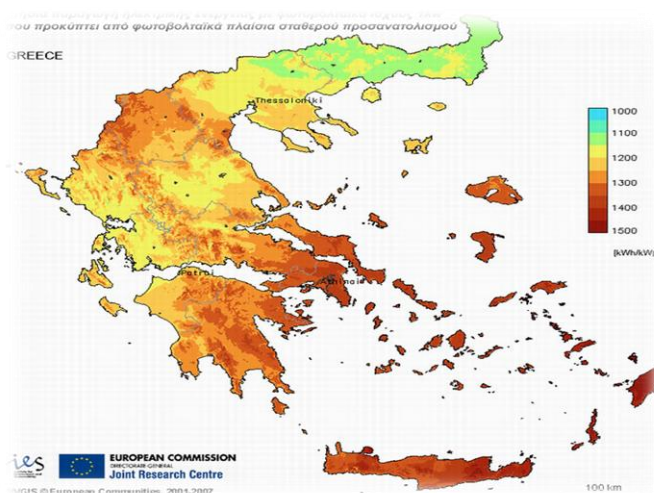
5.2 Εναλλακτικές επενδύσεις σε έργα Α.Π.Ε

Στην παρούσα ανάλυση, τα έργα Α.Π.Ε που θα αξιολογηθούν, επιλέχθηκαν με βάση τα ήδη υπάρχοντα και αυτά που μπορεί να υποστηρίξει ο Ελλαδικός χώρος με βάση τα κλιματικά και γεωλογικά δεδομένα του. Επίσης, επιλέχθηκε ως μέγεθος τους η τάξη των 8-10MW, μια περιοχή μεγέθους όπου μπορούν να υφίστανται όλες σχεδόν οι μορφές Α.Π.Ε.

5.2.1 Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)

Μια προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων φ/β συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτεί το δίκτυο. Όπως αναφέρθηκε με περισσότερη λεπτομέρεια στην παράγραφο 2.1.7, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι υλοποίησης, ανάλογα με το αν τροφοδοτείται κάποιο φορτίο απευθείας από το σύστημα ή όχι. Σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα το δίκτυο ενεργεί όπως μια μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος, θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός αυτόνομου συστήματος, αφού το δίκτυο έχει πρακτικά απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης και επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται.

Όπως έχει ειπωθεί για τα δεδομένα της παρούσας έρευνας θα αναφερθούμε σε φωτοβολταϊκό πάρκο τάξης μεγέθους 8~10 MW. Με δεδομένο το χάρτη της εικόνας 23, όπου έχουμε τη κατανομή ηλιοφάνειας στον Ελλαδικό χώρο, γίνεται αντιληπτό ότι οι καταλληλότερες περιοχές



για υποστήριξη διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι οι εξής :

- Αττική
- Περιοχές της Εύβοιας
- Περιοχές της Πελοποννήσου

5.2.2 Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)

Όπως αναφέρθηκε και στη παράγραφο 2.1.8 εκτός από τα διασυνδεδεμένα συστήματα η Ελλάδα υποστηρίζει και μη διασυνδεδεμένα συστήματα φωτοβολταϊκής τεχνολογίας για μικρά ή μεγάλα νησιά της.

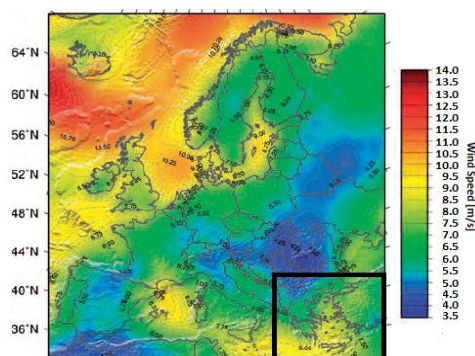
Οι αυτόνομες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν ίσως τις πληρέστερες εφαρμογές της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ενέργεια ή να στέλνουν την περίσσεια της παραγόμενης. Αποτελούν την ιδανικότερη λύση για περιοχές που βρίσκονται μακριά από το κεντρικό δίκτυο και στις οποίες η διασύνδεσή τους με αυτό θα απαιτούσε τεράστια οικονομικά κεφάλαια.

Τα συστήματα αυτά λειτουργούν αποκλειστικά για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης του μη διασυνδεδεμένου νησιού. Για νησιά όπως η Κρήτη, η Ρόδος, η Χίος κ.α. η ημερήσια ζήτηση ενέργειας ιδίως σε μέρες τουριστικής περιόδου μπορεί να αγγίζει πολύ υψηλές τιμές. Συνεπώς η ενεργειακή εξάρτηση από συμβατικά καύσιμα, ή άλλοτε τα συνεχή black-out αποτελούν μόνιμο πρόβλημα για τις τοπικές κοινωνίες.

Συμπεραίνουμε ότι τα έργα Α.Π.Ε σε τέτοιες περιοχές μπορούν να αποτελέσουν χρυσή τομή. Τα παραπάνω νησιά σύμφωνα με την εικόνα 23 μπορούν να υποστηρίξουν αποδοτικά ένα φωτοβολταϊκό σταθμό. Στον ελλαδικό χώρο, ο οποίος έχει πολυάριθμα μικρά νησιά και μικρούς οικισμούς, τα αυτόνομα φ/β συστήματα έχουν βρει πολλές εφαρμογές, ενώ υπάρχουν ακόμα πολλές δυνατότητες ανάπτυξης.

5.2.3 Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)

Το πρώτο αιολικό πάρκο παγκοσμίως είναι αυτό της Κύθνου του οποίου τα εγκαίνια έγιναν το 1982 [Wikipedia]. Από τότε μέχρι σήμερα ο Ελλαδικός χώρος φιλοξενεί μια πληθώρα αιολικών πάρκων, τόσο στον ηπειρωτικό, όσο και το νησιωτικό χώρο. Στην εικόνα 24 φαίνεται ο χάρτης αιολικού δυναμικού της Ευρώπης από τον οποίο εξηγείται και η πρωτοπορία της Ελλάδας σε αυτό το τομέα Α.Π.Ε. σε σχέση με τα υπόλοιπα Κράτη της Ε.Ε.



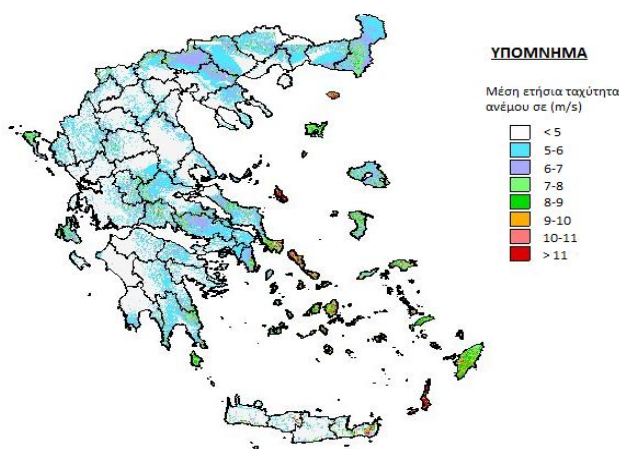
Εικόνα 23 Χάρτης αιολικού δυναμικού Ευρώπης

Όπως και οι υπόλοιπες Α.Π.Ε, έτσι και η

αιολική μπορεί να συμβάλει στο ενεργειακό ζήτημα της Ελλάδας και των τοπικών κοινωνιών, ενώ παράλληλα η κατασκευή και η συντήρηση ενός αιολικού πάρκου είναι διαδικασίες πλέον αυτοματοποιημένες και πολύ οικείες για τη τοπική κοινωνία. Τα σύγχρονα αιολικά πάρκα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο έχουν ξεπεράσει όλα τα εμπόδια του παρελθόντος που επηρέαζαν την αξιοπιστία στη λειτουργία τους και έχουν ενταχθεί πλήρως σε αυτό, όπως και οι υπόλοιπες μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής.

5.2.4 Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)

Κατά αντιστοιχία με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά πάρκα σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, θα εξετάσουμε και την επένδυση σε αιολικό πάρκο μη διασυνδεδεμένο στο Εθνικό Δίκτυο. Το συγκριτικό πλεονέκτημα των Α/Π στη νησιωτική Ελλάδα έναντι αυτών στην ηπειρωτική είναι η εκμετάλλευση ενός αιολικού δυναμικού αρκετά μεγαλύτερου από το αντίστοιχο της ηπειρωτικής, όπως φαίνεται στην εικόνα 25. Όπως είναι φυσικό, και σε αυτήν την εναλλακτική πρόταση, στόχος είναι η ενεργειακή κάλυψη ενός νησιού το οποίο εξαρτάται από συμβατικά καύσιμα και σε πολλές περιπτώσεις η κοινωνία αντιμετωπίζει προβλήματα ασυνεχούς λειτουργίας αυτού εξαιτίας της υψηλής ζήτησης.



Εικόνα 24 Κατανομή αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα

5.2.5 Ηλιοθερμικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν μόνο μικρής κλίμακας εφαρμογές της ηλιοθερμικής τεχνολογίας κυρίως για τη θέρμανση νερού (ηλιακός θερμοσίφωνα). Η απουσία συγκεντρωτικού ηλιοθερμικού σταθμού αυτής της τάξης μεγέθους για τη παραγωγή ηλεκτρισμού είναι απόρροια του μικρού ρυθμού ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας στη χώρα μας, με μη υποστήριξή της από το κράτος, και όχι της ασυμβατότητας της με τον Ελλαδικό χώρο. Όπως φαίνεται από το χάρτη ηλιοφάνειας που παρατέθηκε στην ενότητα 5.2.1, η ηλιοθερμική τεχνολογία είναι συμβατή και μάλιστα θα μπορούσε να είναι αποδοτική σε περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας. Είναι συνεπώς, μια δυνατή εναλλακτική επένδυση προς έρευνα.

5.2.6 Ηλιοθερμικός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένος)

Όπως και η ηπειρωτική Ελλάδα, έτσι και η νησιωτική μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία σταθμού παραγωγής ηλεκτρισμού από ηλιοθερμικά συστήματα, όπως φαίνεται από το χάρτη ηλιοφάνειας. Στη Κρήτη μάλιστα έχουν ήδη ξεκινήσει μελέτες για τη δημιουργία ενός τέτοιου έργου. Μια μονάδα παραγωγής 8-10MW από ηλιοθερμικό

σταθμό θα ήταν μια μεγάλη ενεργειακή ανάσα στο γνωστό πρόβλημα κάλυψης της ζήτησης των μη διασυνδεδεμένων νησιών της Ελλάδας όπως η Κρήτη.

5.2.7 Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)

Η επόμενη προς εξέταση εναλλακτική είναι ένας Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός μεγέθους 8-10 MW . Στην Ελλάδα λειτουργούν υδροηλεκτρικοί σταθμοί εδώ και αρκετά χρόνια. Ο υδάτινος φυσικός πλούτος της ηπειρωτικής Ελλάδας με τα πολυάριθμα ποτάμια μπορεί να υποστηρίξει πολλά ακόμη όμοια έργα. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί λόγω της σταθερότητας στη λειτουργία τους, αλλά και το μεγάλο χρόνο ζωής τους, αποτελούν σταθμό παραγωγής ηλεκτρισμού με δυναμική ανάλογη εκείνης των ατμοηλεκτρικών σταθμών συμβατικών καυσίμων. Αποτελούν μεγάλα έργα, τόσο σε ζωή, όσο σε μελέτη και κατασκευή .

Η χώρα μας και στον τομέα των Μικρών Υδροηλεκτρικών παρουσιάζει σημαντική υστέρηση και παρακολουθεί τις εξελίξεις με μεγάλη χρονική διαφορά φάσης. Άρα, το γεγονός ότι η υπάρχουσα νομοθεσία περί των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας επέτρεπε τη λειτουργία Μικρών Υδροηλεκτρικών, η ακολουθούμενη μέχρι πρότινος τιμολογιακή πολιτική της ΔΕΗ συνιστούσε τον κύριο ανασταλτικό παράγοντα για την προώθηση των κατάλληλων επενδύσεων στον τομέα αυτό [35].

Εκατοντάδες μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να εγκατασταθούν σε πολλά μικρά και μεγάλα υδατορρέυματα με σημαντική συμβολή στο ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο, στην ελληνική οικονομία, στην τοπική, περιφερειακή και στην εθνική ανάπτυξη.

5.2.8 Διάταξη παραγωγής ηλεκτρισμού από Γεωθερμία

Όπως η ηλιοθερμία, έτσι και η γεωθερμία είναι μία τεχνολογία που στην Ελλάδα έχει μείνει αρκετά πίσω στο τομέα της συγκεντρωτικής ηλεκτροπαραγωγής. Μέχρι σήμερα υπάρχουν κυρίως οικιακές εφαρμογές για την αξιοποίηση της ενέργειας της γεωθερμίας και τη χρήση της σε θέρμανση και ηλεκτρισμό. Το γεγονός αυτό όμως, έρχεται σε αντίφαση με τα δεδομένα ερευνών ως προς το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας. Τα σημαντικότερα πεδία γεωθερμικού δυναμικού βρίσκονται στη Μήλο και στη Νίσυρο και είναι ικανά να υποστηρίξουν σταθμό ηλεκτροπαραγωγής των 8-10 MW ή και μεγαλύτερο. Άλλα πιθανά πεδία βρίσκονται σε Κίμωλο, Σαντορίνη, Κω, Λέσβο. Παρακάτω φαίνεται ένας χάρτης με τα γεωθερμικά πεδία ανά την Ελλάδα [45].

Η μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική προϋποθέτει εγκαταστάσεις ανάλογες με αυτές των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, γεγονός που υποδεικνύει το μεγάλο χρόνο ζωής του έργου, αλλά και την σταθερότητα σε παροχή ενέργειας με αδιάλειπτη



Εικόνα 25 Γεωθερμικά πεδία Ελλάδας

λειτουργία [45]. Επίσης για τα δεδομένα της έρευνας θα εξετάσουμε την παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας η οποία κρίνεται καταλληλότερη.

5.2.9 Διάταξη παραγωγής ηλεκτρισμού από Βιομάζα

Ολοκληρώνοντας τα 9 εναλλακτικά επενδυτικά έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε θα εξετάσουμε την αξιοποίηση της βιομάζας προς αυτήν τη κατεύθυνση. Η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θέρμανση ξεκίνησε στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια με μικρά βήματα. Μέχρι σήμερα δεν έχει εντατικοποιηθεί η αξιοποίηση αυτής της μορφής Α.Π.Ε σε μεγάλη κλίμακα. Εντούτοις τα δεδομένα είναι πολύ ενθαρρυντικά για τους μελλοντικούς επενδυτές, καθώς είναι πρόσφορο το έδαφος για την ανάπτυξή της. Η αγροτική παραγωγή σε συνδυασμό με τη κτηνοτροφία, τα αποθέματα ξυλείας, αλλά και την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών παρέχουν όλη την απαραίτητη πρώτη ύλη για την ανάπτυξη ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Υπολογίζεται ότι άμεσα διαθέσιμα η Ελλάδα διαθέτει 10 εκατ. υποψήφια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης τα οποία έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί και αναμένεται να εγκαταλειφθούν, υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών που αγγίζουν τους 7.500.000 τόνους/έτος, δασικά υπολείμματα υλοτομίας τους 2.700.000 τόνους/έτος, ενώ τη προσεχή δεκαετία μπορούν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100-150 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης [47].

Η μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια και πιο συγκεκριμένα σε ηλεκτρική ενέργεια απαιτεί την καύση της διαθέσιμης πρώτης ύλης και στη συνέχεια τη χρήση του προϊόντος με τις γνωστές μεθόδους. Επομένως, οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις για τη παραγωγή ηλεκτρισμού και βιομάζας, πέραν των καλλιεργειών, είναι και οι συμβατικές μέθοδοι αεριοποίησης. Συνεχής παροχή πρώτης ύλης συνεπάγεται και συνεχή αδιάλειπτη λειτουργία παροχή ηλεκτρισμού, γεγονός που τη καθιστά μια από τις πιο αξιόπιστες μορφές ηλεκτροπαραγωγής [47].

Ως εκ τούτου, συνάγουμε το συμπέρασμα πως η βιομάζα η οποία βρίσκεται σε αναπτυσσόμενη φάση αποτελεί δικαίως υποψήφια προς έρευνα για την επένδυση και αναμένεται στο μέλλον να διαδραματίσει καίριο ρόλο στον ενεργειακό σχεδιασμό της Ελλάδας.

5.3 Κατασκευή Συνεπούς Οικογένειας Κριτηρίων

Στόχος μας ως αναλυτές είναι η διασαφήνιση του εύρους αυτού του συνόλου της κάθε δράσης του συνόλου Α που ορίσαμε παραπάνω και έπειτα η επιλογή και μοντελοποίηση των κριτηρίων πάνω στα οποία θα στηριχθεί η απόφαση. Επιτελώντας αυτή τη διαδικασία θα φτάσουμε και στην κατασκευή ενός συστήματος κριτηρίων που ονομάζεται “συνεπής οικογένεια κριτηρίων”.

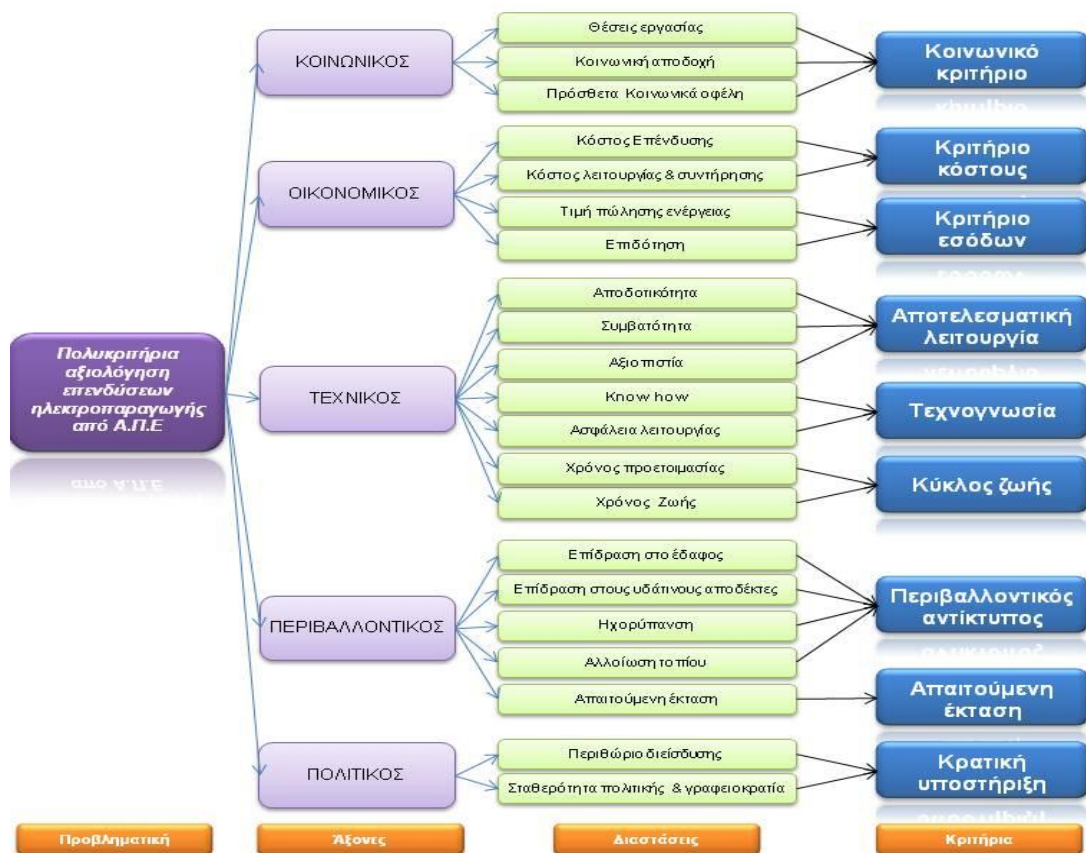
Μετά τον καθορισμό του συνόλου δράσεων, καταγράφουμε όλες τις παραμέτρους του συνόλου επιπτώσεων και απαιτήσεων των δράσεων και εν συνεχεία τις

κατηγοριοποιούμε σε άξονες προτίμησης (οικονομικός, τεχνολογικός, κοινωνικός, περιβαλλοντικός και πολιτικός). Αφού ολοκληρωθεί αυτό το στάδιο , θα επιλεχθεί η κλίμακα προτίμησης η οποία δίνει υπόσταση στις διαστάσεις στο πλαίσιο κάθε άξονα προτίμησης .

Με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας (αντίστοιχων ερευνών στον ενεργειακό σχεδιασμό) καταλήξαμε στους άξονες και τις διαστάσεις που επιδρούν στο πρόβλημα. Ως μελετητές του ορισμένου προβλήματος κατηγοριοποιούμε τους παράγοντες που επιδρούν στην τελική απόφαση – επένδυση στους παρακάτω 5 βασικούς άξονες:

- Οικονομικός
- Περιβαλλοντικός
- Κοινωνικός
- Πολιτικός
- Τεχνολογικός

Στη συνέχεια οι άξονες αυτοί αναλύονται στις διαστάσεις αξιολόγησης του προβλήματος από τις οποίες προκύπτουν τα κριτήρια αξιολόγησης. Η όλη μοντελοποίηση του συστήματος αξιολόγησης, όπως προέκυψε κατόπιν διαλόγου με τον αποφασίζοντα, παρουσιάζεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5 Συνεπής Οικογένεια Κριτηρίων

Στο σύστημα αξιολόγησης των κριτηρίων πρέπει να συμπεριλαμβάνονται όλες οι πιθανές επιπτώσεις και απαιτήσεις που αναμένεται να αντιμετωπίσει ή να κληθεί να ικανοποιήσει ο υποψήφιος επενδυτής αφότου επιλέξει το είδος της επένδυσης Α.Π.Ε.

Εμείς σε ρόλο αναλυτή καλούμαστε να αναλύσουμε αυτά τα κριτήρια (ποιοτικά και ποσοτικά) και να επιλύσουμε ένα μαθηματικοποιημένο πρόβλημα το οποίο θα μας δώσει τη βέλτιστη για τον επενδυτή δράση. Αυτή η ποσοτικοποιημένη ανάλυση θα είναι βασισμένη στις προτιμήσεις και τα όρια που θέτει ο επενδυτής.

5.4 Περιγραφή και αξία κριτηρίων

Κοινωνικός Άξονας

- $\{g_1\}$: Κοινωνικό κριτήριο

Είναι το κριτήριο που αναφέρεται στην υποστήριξη που δέχεται από τους κατοίκους της τοπικής κοινωνίας η εκάστοτε εναλλακτική. Προκύπτει από τη σύνθεση των εξής τριών διαστάσεων:

- Οι θέσεις εργασίας: που δημιουργεί η εκάστοτε επένδυση. Ένα επενδυτικό έργο που δημιουργεί πολλές θέσεις εργασίας (έμμεσες και άμεσες) χαίρει εκτίμησης και θετικής αντιμετώπισης από τις τοπικές αρχές, αλλά και από την ίδια τη τοπική κοινωνία των πολιτών. Η μέτρηση των θέσεων εργασίας έγινε σε εργατοέτη ανά εγκατεστημένο MW. Περισσότερα εργατοέτη συνεπάγονται δημιουργία περισσότερων θέσεων εργασίας [48].
- Η Κοινωνική αποδοχή. Είναι η διάσταση που αντικατοπτρίζει την αποδοχή, την ενημέρωση και τη τελική στάση των τοπικών κοινωνιών στην Ελλάδα απέναντι στην εγκατάσταση και λειτουργία της εκάστοτε Α.Π.Ε στην περιοχή τους. Για τη μέτρηση της κοινωνικής αποδοχής χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 όπου μεγαλύτερη τιμή στη κλίμακα υποδηλώνει περισσότερη γνώση και θετικότερη εκτίμηση σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί της κάθε εναλλακτικής από τους κατοίκους, [49] [50] [51] (βλέπε Παράρτημα).
- Τα Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη. Είναι η διάσταση που αναφέρεται σε επιπλέον οφέλη που προσκομίζουν οι τοπικές κοινωνίες (ποιοτικά ή ποσοτικά) και τα οποία δεν παρουσιάζουν όλες οι εναλλακτικές. Για τη μέτρηση αυτής της διάστασης χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 όπου μεγαλύτερη τιμή σημαίνει περισσότερα πρόσθετα οφέλη [52][53][54][55][56] (βλέπε Παράρτημα).

Στο πίνακα 3 φαίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των διαστάσεων και η τελική τιμή του κοινωνικού κριτηρίου. Στο παράρτημα αναλύεται η μέθοδος συγχώνευσης των επιμέρους τιμών των διαστάσεων.

Πίνακας 3 Αξία Κριτηρίου g₁

| Εναλλακτική | Θέσεις εργασίας (Εργατοέτη / MW) | Κοινωνική Αποδοχή (1-5) | Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη(1-5) | Κοινωνικό κριτήριο (1 - 5) |
|---|--|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 45 | 5 | 1 | 4 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 45 | 5 | 4 | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 7,5 | 4 | 1 | 2 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 7,5 | 4 | 4 | 3 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 27 | 3 | 5 | 3 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 19 | 5 | 3 | 3 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 20 | 5 | 4 | 3 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 56 | 1 | 2 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 48 | 2 | 3 | 3 |

Οικονομικός Άξονας :

- {g₂}: Κριτήριο κόστους

Είναι το κριτήριο που περιλαμβάνει τα δύο κόστη, που παρουσιάζει κάθε έργο, αρχικό κόστος και πάγιο. Το κριτήριο αυτό προκύπτει από τη σύνθεση των παρακάτω διαστάσεων:

- Κόστος εγκατάστασης: Είναι το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο για την κατασκευή της κάθε εναλλακτικής. Η μέτρηση αυτής της διάστασης περιγράφεται σε € ανά εγκατεστημένο MW. Όπως είναι λογικό, προτιμότερη είναι η εναλλακτική με το μικρότερο κόστος εγκατάστασης [57][58].
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης: Είναι το πάγιο οικονομικό κόστος για τις απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και συντήρησης του κάθε έργου. Ομοίως οι τιμές αυτής της διάστασης είναι σε € ανά εγκατεστημένο

MW. Και εδώ είναι προτιμότερο το μικρότερο δυνατό κόστος λειτουργίας και συντήρησης [57][58].

Στο πίνακα 4 φαίνονται οι τιμές των δύο αυτών διαστάσεων και η αξία του κριτηρίου κόστους (g_2) που προκύπτει από την συγχώνευση αυτών. (βλέπε Παράρτημα)

Πίνακας 4 Αξία κριτηρίου g_2

| Εναλλακτική | Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/MW) | Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (χιλιάδες €/GWh) | Κριτήριο κόστους (Εκατομμύρια €/MW) |
|--|---|---|--|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 2 | 1,9 | 2,0 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 2,3 | 2,1 | 2,2 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 1,4 | 15 | 5,5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 1,7 | 17 | 6,3 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 2,4 | 20 | 7,7 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 5 | 1,8 | 4,0 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 5,8 | 2 | 4,7 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 3,3 | 43 | 15,2 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 3,1 | 53 | 18,1 |

- $\{g_3\}$: Κριτήριο καθαρών εσόδων
Είναι το κριτήριο που περιλαμβάνει τις διαστάσεις που επηρεάζουν άμεσα τα έσοδα που προκύπτουν από τη λειτουργία της κάθε εναλλακτικής. Οι διαστάσεις αυτές είναι οι εξής:
 - Επιδότηση: Η διάσταση αυτή προσδιορίζει το ύψος της οικονομικής επιδότησης από το Κράτος στον επενδυτή για το εκάστοτε έργο Α.Π.Ε. Η περιγραφή της επιδότησης είναι σε ποσοστό (%) επί του αρχικού κόστους της επένδυσης όταν και αν αυτή εγκριθεί από τις αρμόδιες αρχές [59].
 - Τιμή πώλησης ενέργειας: Η διάσταση αυτή παρουσιάζει την ισχύουσα τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε μορφή Α.Π.Ε. Η

μέτρησης της τιμής πώλησης είναι σε €/MWh. Μεγαλύτερη τιμή πώλησης για συγκεκριμένο ποσό παραγόμενης ενέργειας αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα για την εκάστοτε εναλλακτική [60].

Στο πίνακα 5 φαίνονται οι τιμές των παραπάνω διαστάσεων και η τελική αξία του κριτηρίου εσόδων που προκύπτει από την συγχώνευση αυτών. (βλέπε παράρτημα)

Πίνακας 5 Αξία κριτηρίου g_3

| Εναλλακτική | Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh) | Επιδότηση (%) | Κριτήριο εσόδων (€/MWh) |
|---|--------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 290 | 40 | 406 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 290 | 30 | 377 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 87,85 | 40 | 123 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 99,45 | 30 | 129 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 87,85 | 45 | 127 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 274,85 | 40 | 385 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 274,85 | 30 | 357 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 99,45 | 40 | 139 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 150 | 45 | 218 |

Τεχνικός Άξονας :

- { g_4 }: Αποτελεσματική λειτουργία
Είναι το κριτήριο που αναφέρεται στην αποτελεσματική λειτουργία της εκάστοτε εναλλακτικής για τα δεδομένα της Ελλάδας σε συνδυασμό με τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε μορφής Α.Π.Ε. Προκύπτει από το συνδυασμό των παρακάτω διαστάσεων:
 - Αποδοτικότητα : Ως αποδοτικότητα μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται ο λόγος μεταξύ της παραγόμενης ωφέλιμης ηλεκτρικής

ενέργειας από τη μονάδα παραγωγής, σε μια συγκεκριμένη χρονική μονάδα, προς τη θεωρητική ενεργειακή αξία της ενεργειακής πηγής που παρέχεται στη μονάδα, το ίδιο χρονικό διάστημα. Η διάσταση αυτή παρουσιάζει με μαθηματική ακρίβεια την αποδοτικότητα της εκάστοτε Α.Π.Ε. Η μέτρηση της είναι σε (%) ποσοστό. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό της κάθε εναλλακτικής τόσο αποδοτικότερη χαρακτηρίζεται [61].

- Συμβατότητα : Η διάσταση αυτή αναφέρεται στη συμβατότητα της εκάστοτε Α.Π.Ε με τις γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες του Ελλαδικού χώρου. Για την περιγραφή και αξιολόγηση των εναλλακτικών ως προς αυτό το κριτήριο χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένη κλίμακα 1 έως 5 η οποία αναλύεται στο παράρτημα. Μεγαλύτερη τιμή της κάθε εναλλακτικής στη κλίμακα συνεπάγεται και μεγαλύτερη συμβατότητα αυτής στα δεδομένα της Ελλάδας [46][47][62][52][63].
- Αξιοπιστία: Η διάσταση αυτή αντικατοπτρίζει την αξιοπιστία που παρουσιάζει η εκάστοτε Α.Π.Ε και αναφέρεται κυρίως στο μέγεθος εξάρτησης αυτών από εξωτερικές συνθήκες (Κλιματολογικές). Για τη περιγραφή και αυτής της διάστασης χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 όπου μεγαλύτερη τιμή υποδηλώνει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ανεξαρτησία ως προς τους εξωτερικούς παράγοντες [52][53][54][55][56][64].

Στο πίνακα 6 φαίνονται οι τιμές των τριών παραπάνω διαστάσεων όπως και η τελική αξία της αποτελεσματικής λειτουργίας που προκύπτει από το συνδυασμό αυτών. (βλέπε παράρτημα)

Πίνακας 6 Αξία κριτηρίου g₄

| Εναλλακτική | Αποδοτικότητα (%) | Συμβατότητα (1-5) | Αξιοπιστία (1-5) | Αποτελεσματική Λειτουργία (1-5) |
|--|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 15 | 1 | 3 | 3 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 15 | 5 | 3 | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 35 | 3 | 1 | 2 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 35 | 5 | 1 | 3 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 90 | 5 | 5 | 5 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 16 | 1 | 2 | 2 |

| | | | | |
|--|-----|---|---|---|
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 16 | 5 | 2 | 3 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 15 | 3 | 5 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 40% | 3 | 5 | 4 |

- {g₅}:Τεχνογνωσία

Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στη τεχνογνωσία που παρέχεται από την Ελλάδα όσον αφορά τη κατασκευή και συντήρηση του εκάστοτε έργου Α.Π.Ε αλλά και την πρόβλεψη στη λειτουργία αυτού. Για τη σύνθεση της τεχνογνωσίας συμμετέχουν οι παρακάτω διαστάσεις:

- Ασφαλείς λειτουργία: Η διάσταση αυτή προσεγγίζει με ποσοτικά δεδομένα την ασφαλή διαχρονική λειτουργία του κάθε έργου για τα Ελληνικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, αντικατοπτρίζει τη δυνατότητα πρόβλεψης λειτουργίας δίχως ανεπιθύμητες διακοπές ή παρεμβολές. Για τη μέτρηση της διάστασης αυτής χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5. Μεγαλύτερη τιμή στη κλίμακα συνεπάγεται και ασφαλέστερη λειτουργία. (βλέπε παράρτημα) [60]
- Know how: Η διάσταση αυτή αντικατοπτρίζει την εμπειρία της Ελλάδας στο χώρο της κάθε μορφής Α.Π.Ε και την γνώση που έχει αποκτήσει σε υπαρκτές εφαρμογές έως και σήμερα όσον αφορά την κατασκευή και τη συντήρηση . Σε έμψυχο και άψυχο δυναμικό η Ελλάδα έχει εξελιχθεί με διαφορετικό βαθμό σε κάθε εναλλακτική μορφή Α.Π.Ε. Για τη μέτρηση αυτού του κριτηρίου χρησιμοποιήθηκε η μέχρι σήμερα ποσότητα των εγκατεστημένων MW ανά κατηγορία εναλλακτικής [60].

Στο πίνακα 7 φαίνονται οι τιμές των παραπάνω διαστάσεων και η τελική αξία της τεχνογνωσίας της κάθε εναλλακτικής που προκύπτει από το συνδυασμό αυτών.(βλέπε παράρτημα)

Πίνακας 7 Αξία κριτηρίου g₅

| Εναλλακτική | Ασφαλής Λειτουργία (1- 5) | Know How (MW) | Τεχνογνωσία (Κλίμακα 1-5) |
|--|---------------------------|---------------|---------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 4 | 1400 | 5 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 4 | 120 | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 5 | 1500 | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 5 | 280 | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 5 | 213 | 4 |

| | | | |
|--|---|----|----------|
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 1 | 0 | 1 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 1 | 0 | 1 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 1 | 0 | 1 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 2 | 45 | 2 |

- {g₆}:Κύκλος ζωής

Είναι το κριτήριο που αναφέρεται στις χρονικές παραμέτρους που αφορούν την προετοιμασία και κατασκευή, αλλά και τον χρόνο ζωής του κάθε έργου. Προκύπτει από τη σύνθεση των παρακάτω διαστάσεων:

- Χρόνος προετοιμασίας : Η διάσταση αυτή αναφέρεται κατά προσέγγιση στο απαιτούμενο χρονικό διάστημα προετοιμασίας (απαιτούμενες μελέτες) και κατασκευής του κάθε έργου. Μικρότερο διάστημα προετοιμασίας συνεπάγεται και πιο ασφαλείς προβλέψεις αλλά και ταχύτερη εισροή εσόδων από τη λειτουργία του έργου [65][66][67][68][69].
- Χρόνος ζωής: Η διάσταση αυτή αναφέρεται στον εκτιμώμενο χρόνο βιώσιμης λειτουργίας του εκάστοτε έργου. Μεγαλύτερος χρόνος ζωής συνεπάγεται εισροή εσόδων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα [64][70][62][71].

Στο πίνακα 8 φαίνονται οι τιμές των παραπάνω διαστάσεων και η αξία του κύκλου ζωής για την κάθε εναλλακτική. (βλέπε παράρτημα)

Πίνακας 8 Αξία κριτηρίου g₆

| Εναλλακτική | Χρόνος προετοιμασίας & εγκατάστασης (Ετη) | Χρόνος Ζωής (Ετη) | Κύκλος ζωής (Ετη) |
|--|---|-------------------|--------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 0,5 | 20 | 18 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 1 | 20 | 15 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 2,5 | 20 | 8 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 3 | 20 | 5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 4,5 | 70 | 48 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 3,5 | 27 | 10 |

| | | | |
|--|-----|----|-----------|
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 3,5 | 27 | 10 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 6,5 | 80 | 48 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 2,5 | 50 | 38 |

Περιβαλλοντικός Άξονας :

- {g₇}: Περιβαλλοντικός αντίκτυπος
 Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχει η κάθε εναλλακτική κατά την κατασκευή και λειτουργία της. Η τελική αξία αυτού προκύπτει από την σύνθεση των παρακάτω διαστάσεων για την αξιολόγηση των οποίων χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 .(βλέπε παράρτημα)
 - Επίδραση στο έδαφος: Είναι η διάσταση που αναφέρεται στις επιδράσεις που δέχεται το έδαφος πάνω στο οποίο εγκαθίσταται κάθε έργο, τόσο κατά την εγκατάσταση, όσο και κατά τη λειτουργία του.
 - Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες: Η διάσταση αυτή προσδιορίζει την επίδραση των υδάτινων αποδεκτών του γύρω περιβάλλοντος το οποίο φιλοξενεί κάθε έργο.
 - Ηχορύπανση: Η διάσταση αυτή περιγράφει την ηχητική ρύπανση που πιθανόν να προκαλεί το εκάστοτε έργο σε όλες της φάσης του (μελέτη, κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση).
 - Αλλοίωση τοπίου : Η διάσταση αυτή αναφέρεται στην πιθανή (και ποικίλης κλίμακας) αλλοίωση τοπίου που προκαλεί το εκάστοτε έργο Α.Π.Ε στην περιοχή εγκατάστασης του.

Στο πίνακα 9 φαίνονται οι τιμές των παραπάνω διαστάσεων και η αξία του περιβαλλοντικού αντίκτυπου που προκύπτει από το συνδυασμό αυτών. (βλέπε παράρτημα) [72][73][74].

Πίνακας 9 Αξία κριτηρίου g₇

| Εναλλακτική | Επίδραση στο έδαφος (1-5) | Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες(1-5) | Ηχορύπανση (1-5) | Αλλοίωση τοπίου(1-5) | Περιβαλλοντικό αντίκτυπο (1 - 5) |
|--|---------------------------|---|------------------|----------------------|----------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 |

| | | | | | |
|--|---|---|---|---|----------|
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 1 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 3 | 4 | 1 | 3 | 3 |

- {g8} : Απαιτούμενη έκταση

Το κριτήριο αυτό προσδιορίζει την έκταση που απαιτείται για την χωροταξική υποστήριξη του εκάστοτε έργου. Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται η παραγωγή σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο για την κάθε εναλλακτική. Όσο μικρότερο χώρο δεσμεύει η κάθε εγκατάσταση, τόσο μικρότερο είναι το όποιο χωροταξικό αντίκτυπο επιβάλλει αυτή [67][68][69][75][76][77].

Πίνακας 10 Αξία κριτηρίου g8

| Εναλλακτική | Απαιτούμενη έκταση (w/m ²) |
|--|--|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 15 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 15 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 25 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 40 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 40 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 60 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 4 |

Πολιτικός Άξονας :

- {g9}:Κρατική υποστήριξη

Είναι το κριτήριο που αναφέρεται στην υποστήριξη που μπορεί να προσφέρει το κράτος στην υλοποίηση του κάθε έργου. Το κριτήριο αυτό προκύπτει από τη σύνθεση των παρακάτω διαστάσεων:

- Περιθώριο διείσδυσης: Είναι η διάσταση που αναφέρεται στη συμβατότητα του εκάστοτε έργου με την Ελληνική ενεργειακή πολιτική στο μέλλον και τα περιθώρια διείσδυσης κάθε Α.Π.Ε όπως ορίζονται από αυτήν. Η περιγραφή αυτής της διάστασης είναι σε ποσοστό (%) του απομείναντος περιθωρίου Α.Π.Ε επί του στόχου που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση για την Ελλάδα [43][58].
- Σταθερότητα πολιτικής και γραφειοκρατία: Είναι το κριτήριο που περιγράφει το υπάρχον νομοθετικό και γραφειοκρατικό περιβάλλον όσον αφορά τις εναλλακτικές Α.Π.Ε. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίζει το διάστημα αδειοδότησης, τη σταθερότητα στη νομοθεσία και τις πιθανές τροποποιήσεις για γραφειοκρατικές διευκολύνσεις που επηρεάζουν τη λειτουργία, τη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα της επένδυσης σε όλα τα στάδια (μελέτη, κατασκευή και λειτουργία). Για τη μέτρηση αυτού του κριτηρίου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 όπου μεγαλύτερη τιμή συνεπάγεται και ευνοϊκότερες ρυθμίσεις στο τομέα της γραφειοκρατίας [60].

Στο πίνακα 11 φαίνονται οι τιμές των παραπάνω διαστάσεων και η τελική αξία της κρατικής υποστήριξης που προκύπτει από τη σύνθεση αυτών. (βλέπε παράρτημα).

Πίνακας 11 Αξία κριτηρίου g₉

| Εναλλακτική | Περιθώριο διείσδυσης | Γραφειοκρατία (1-5) | Κρατική υποστήριξη (1-5) |
|--|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 13% | 5 | 3 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 13% | 5 | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 77% | 4 | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 77% | 4 | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 37% | 3 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 100% | 2 | 4 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 100% | 2 | 4 |

| | | | |
|--------------------------------------|------|---|---|
| Διάταξη γεωθερμίας | 100% | 1 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 87% | 3 | 4 |

Στο πίνακα 12 έχουμε συγκεντρωτικά όλα την αξιολόγηση κάθε εναλλακτικής επένδυσης για κάθε κριτήριο.

Πίνακας 12 Συγκεντρωτικός Πίνακας Τιμών κριτηρίων

| Εναλλακτική | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | g_7 | g_8 | g_9 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 4 | 2,0 | 406 | 3 | 5 | 18 | 4 | 15 | 3 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 4 | 2,2 | 377 | 3 | 3 | 15 | 4 | 15 | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 2 | 5,5 | 123 | 2 | 5 | 8 | 4 | 5 | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 3 | 6,3 | 129 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 3 | 7,7 | 127 | 5 | 4 | 48 | 2 | 25 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 3 | 4,0 | 385 | 2 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 3 | 4,7 | 357 | 3 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 3 | 15,2 | 139 | 3 | 1 | 48 | 3 | 60 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 3 | 18,1 | 218 | 4 | 2 | 38 | 3 | 4 | 4 |

Στο πίνακα 13 έχουμε το εύρος διακύμανσης των τιμών των κριτηρίων μέσω της βέλτιστης και χειρίστης τιμής, τη μονοτονία αυτών και τις πηγές όπου βρέθηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες για το προσδιορισμό των διαστάσεων που διαμορφώνουν κάθε κριτήριο.

Πίνακας 13 Εύρος τιμών κριτηρίων, μονοτονία και πηγές

| Εναλλακτική δράση | Βέλτιστη τιμή | Χειρίστη τιμή | Μονοτονία κριτηρίου | Πηγές |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------------|--|
| Κοινωνικό κριτήριο g_1 | 4 | 2 | Αύξουσα | [49][50][51][52][53][54][55][56] |
| Κριτήριο κόστους g_2 | 2 | 18 | Φθίνουσα | [57][58] |
| Κριτήριο εσόδων g_3 | 406 | 123 | Αύξουσα | [59][60] |
| Αποτελεσματική Λειτουργία g_4 | 5 | 2 | Αύξουσα | [46][47][52][53][54][55][56][62][63][64] |
| Τεχνογνωσία g_5 | 5 | 1 | Αύξουσα | [60] |
| Κύκλος Ζωής g_6 | 48 | 18 | Αύξουσα | [62][64][65][66][67][68][69][70][71] |
| Περιβαλλοντικός Αντίκτυπος g_7 | 4 | 2 | Αύξουσα | [72][73][74] |
| Απαιτούμενη έκταση g_8 | 60 | 4 | Αύξουσα | [67][68][69][75][76][77] |
| Κρατική υποστήριξη g_9 | 4 | 2 | Αύξουσα | [43][58][60] |

6 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

6.1 Επιλογή μεθόδου

Στα πλαίσια της έρευνας, εφόσον το πλήθος των εναλλακτικών που αξιολογούνται και των κριτηρίων απόφασης είναι μικρό, προτιμάται να χρησιμοποιηθεί μια σχεσιακή μέθοδος, (βλ. Κεφάλαιο 4). Αυτή θα μας επιτρέψει να αξιολογήσουμε πιο ολιστικά τα υπέρ και κατά των εναλλακτικών συγκρίνοντας άμεσα την μία με την άλλη.

Οι σημαντικότερες και πιο επιτυχημένες στην πράξη μέθοδοι υπεροχής είναι οι μέθοδοι ELECTRE οι οποίες οφείλονται στον Γάλλο καθηγητή Bernard Roy και στις οποίες η κατασκευή της σχέσης S πραγματοποιείται με τον πλέον ρεαλιστικό τρόπο. Εννοιολογικά, μια δράση a κυριαρχεί της b , όταν η a έχει καλύτερες αξιολογήσεις από τη b σε όλα τα κριτήρια. Η δράση a υπερέχει της b , όταν η a έχει τουλάχιστον καλύτερες αξιολογήσεις από την b στη μεγάλη πλειοψηφία των κριτηρίων ενώ στα λιγοστά κριτήρια όπου είναι καλύτερη η b οι διαφορές είναι πολύ μικρές. Εκτός από τις μεθόδους ELECTRE στην κατηγορία των μεθόδων υπεροχής συγκαταλέγονται και οι μέθοδοι PROMETHEE I και II [78][79].

Στα πλαίσια εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE, εκτός από τον πίνακα πολυκριτηρίων αξιολογήσεων των δράσεων, απαιτείται και η ύπαρξη δεδομένων τριών τύπων:

- Συντελεστές σημαντικότητας (βάρη, weights) των κριτηρίων p_1, p_2, \dots, p_n τα οποία κανονικοποιούνται από τη σχέση (1):

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (1)$$

Τα βάρη εκφράζουν τη σχετική σημαντικότητα των κριτηρίων και δίνονται από τον αποφασίζοντα.

- Κατώφλι συμφωνίας (concordance thresholds): Είναι καθαρός αριθμός που δίνεται από τον αναλυτή του προβλήματος και κυμαίνεται από 0.5 έως 1.
- Κατώφλια βέτο (veto thresholds) v_1, v_2, \dots, v_n : Πρόκειται για n αριθμούς όσα και τα κριτήρια, που έχουν ως στόχο τους τον έλεγχο των μεγάλων διαφορών μεταξύ των τιμών των δράσεων [78][79].
- Οι μέθοδοι ELECTRE διαφοροποιούνται μεταξύ τους ως προς την προβληματική στην οποία ανταποκρίνονται και τον τύπο των κριτηρίων που χρησιμοποιούν. Εμείς επιλέγουμε την ELECTRE IS.

Για την επίλυση του προβλήματος που μοντελοποιήσαμε θα χρησιμοποιήσουμε την ELECTRE IS, καθώς θα γίνει επιλογή της βέλτιστης εναλλακτικής σε συνδυασμό με την ύπαρξη ψευδοκριτηρίων των οποίων οι τιμές χρήζουν την ύπαρξη κατωφλίων αδιαφορίας και προτίμησης όπως αναλύεται στο κεφάλαιο 6.2.

6.1.1 Η μέθοδος ELECTRE IS

Η κυριότερη καινοτομία της μεθόδου ELECTRE IS είναι η χρήση ψευδοκριτηρίων αντί πραγματικών κριτηρίων.

Μια συνάρτηση κριτηρίου g ονομάζεται ψευδοκριτήριο (pseudo-criterion) εάν υπάρχουν δυο συναρτήσεις κατώφλια, ένα κατώφλι αδιαφορίας (indifference threshold) $q(g)$ και ένα κατώφλι προτίμησης (preference threshold) $p(g)$ τέτοιες ώστε, εάν $g(a) \geq g(b)$ για δυο δράσεις a και b , ισχύουν οι σχέσεις :

$$g(a) > g(b) + p [g(b)] \leftrightarrow aPb \quad (2)$$

$$g(b) + q[g(b)] < g(a) \leq g(b) + p[g(b)] \leftrightarrow aQb \quad (3)$$

$$g(b) \leq g(a) \leq g(b) + q[g(b)] \leftrightarrow aIb \quad (4)$$

Επίσης, τα κατώφλια οφείλουν να ικανοποιούν την εξής συνθήκη :

Οι συναρτήσεις $g + q(g)$ και $g + p(g)$ είναι μονότονες και μη φθίνουσες, δηλαδή ισχύει :

$$g \geq g' \rightarrow g + q(g) \geq g' + q(g') \ \& \ g + p(g) \geq g' + p(g') \quad (5)$$

Η προβληματική στην οποία ανταποκρίνεται η μέθοδος είναι η α (επιλογή εναλλακτικής) [73].

Στόχος της μεθόδου ELECTRE IS είναι :

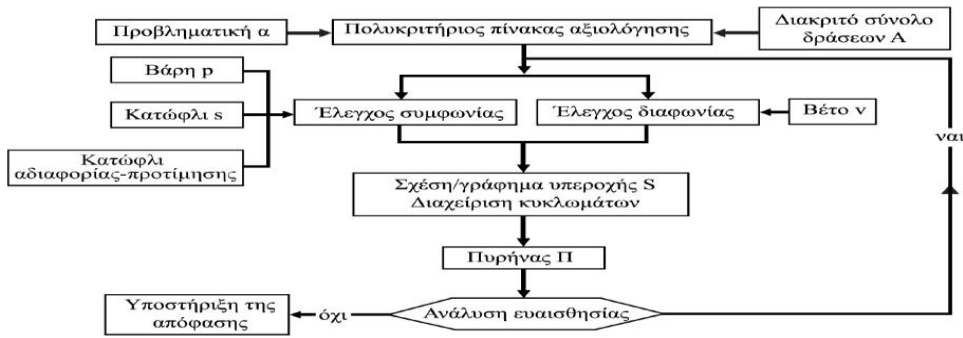
- Να συμπεριλάβει πιθανά κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης σε ορισμένα κριτήρια της συνεπούς οικογένειας κριτηρίων.
- Και να αυξήσει την επίδραση του κατωφλίου βέτο σε περιπτώσεις όπου η συμφωνία κριτηρίων αδυνατεί [79].

Ένα ψευδοκριτήριο διαθέτει ένα κατώφλι αδιαφορίας q (indifference threshold), το οποίο είναι η μέγιστη διαφορά τιμών μεταξύ δύο δράσεων ώστε ο αποφασίζων να δηλώσει αδιάφορος κι ένα κατώφλι προτίμησης p (preference threshold), το οποίο είναι η ελάχιστη διαφορά τιμών μεταξύ δύο δράσεων πέραν της οποίας ο αποφασίζων δηλώνει προτίμηση υπέρ της καλύτερης. Τα κατώφλια αδιαφορίας προτίμησης και βέτο είναι γενικά συναρτήσεις της τιμής $g(a)$ με (α ένα μικρό ποσοστό):

$$\alpha g(a) + \beta, \alpha \geq 0 \quad (6)$$

[78][79]

Στο σχήμα 6 φαίνεται λεπτομερώς το λογικό διάγραμμα της ELECTRE IS.



Σχήμα 6 Διάγραμμα ροής ELECTRE IS

Πηγή [41]

Για ένα ζεύγος δράσεων (a,b) η σχέση της υπεροχής ορίζεται με τον εξής τρόπο :

$$aSb \leftrightarrow (a, b)$$

Ο έλεγχος συμφωνίας στη μέθοδο ELECTRE IS περιγράφεται στα επόμενα.

Έχουμε τα δύο σύνολα δεικτών :

$$J^s = \{ j \in J / g_j(a) + q_j[g_j(a)] \geq g_j(b) \} \quad (7)$$

που είναι οι δείκτες των κριτηρίων που συνηγορούν υπέρ της πρότασης : aSb (aIb ή aQb ή aPb), και

$$J^o = \{ j \in J / g_j(a) + q_j[g_j(a)] < g_j(b) \leq g_j(a) + p_j[g_j(a)] \} \quad (8)$$

Που είναι οι δείκτες κριτηρίων για τα οποία bQa (b προτιμάται ασθενώς της a).

Ο έλεγχος συμφωνίας είναι θετικός για την πρόταση aSb, όταν:

$$C(a,b) = \sum_{j \in J^s} w_j + \sum_{j \in J^o} \varphi_j w_j \geq s \quad (9)$$

Όπου:

$$\varphi_j = \frac{g_j(a) + p_j[g_j(a)] - g_j(b)}{p_j[g_j(a)] - q_j[g_j(a)]} \quad (10)$$

όπου

w_j : το βάρος του κριτηρίου g_j

και ο συντελεστής φ_j μειώνεται γραμμικά από 1 έως 0 όσο g_j διατρέχει το διάστημα $[g_j(a) + q_j[g_j(a)], g_j(a) + p_j[g_j(a)]]$.

Ο έλεγχος διαφωνίας είναι θετικός όταν για κάθε κριτήριο g_j ισχύει:

$$g_j(b) - g_j(a) \leq v_j[g_j(a)] - \eta_j q_j[g_j(b)] \quad (11)$$

όπου

$$n_j = \frac{1 - C(a,b) - w_j}{1 - s - w_j} \quad (12)$$

Εδώ, όταν $C(a,b) = s$ τότε $n_j = 0$ και ο έλεγχος διαφωνίας είναι εκείνος της ELECTRE I, ενώ όταν $C(a,b) > s$, όσο υψηλότερο είναι το $C(a,b)$ τόσο εξασθενεί κι ο έλεγχος διαφωνίας [78][79].

6.1.2 Προσδιορισμός των βαρών των κριτηρίων – Η μέθοδος των καρτών SIMOS

Υπάρχουν δύο μέθοδοι προσδιορισμού των βαρών στις ELECTRE μεθόδους [43]:

- Η άμεση εκτίμηση
- Η έμμεση εκτίμηση από διμερείς συγκρίσεις/άλλες μεθόδους (π.χ. SIMOS, MACBETH)

Στα πλαίσια των μεθόδων λήψης αποφάσεων ο καθορισμός των βαρών των διαφόρων κριτηρίων είναι μια δύσκολη υπόθεση. Για αυτό τον λόγο ο J.Simos (1990α) πρότεινε μια πολύ απλή διαδικασία ώστε ο αποφασίζων να ορίσει κατάλληλες αριθμητικές τιμές για τα βάρη, χρησιμοποιώντας κάρτες [80].

Στη μέθοδο αυτή, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά για προβλήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης, ακολουθείται μια πρακτική διαδικασία κατάταξης των κριτηρίων μέσω ενός συνόλου καρτών που περιλαμβάνει μια κάρτα ανά κριτήριο και πανομοιότυπες λευκές κάρτες.

Σύμφωνα με τον Simos, η τεχνική αυτή επιτρέπει στον λήπτη αποφάσεων, ακόμη κι όταν δεν έχει εμπειρία στη λήψη αποφάσεων, να αναλογιστεί τον τρόπο με τον οποίο θα εκφράσει την ιεράρχηση των διαφόρων κριτηρίων στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Η μέθοδος αυτή στοχεύει επίσης να μεταδώσει στον αναλυτή όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται ώστε να οριστούν αριθμητικές τιμές στα βάρη κάθε κριτηρίου. Η διαδικασία αυτή έχει εφαρμοστεί σε διάφορα πραγματικά προβλήματα και έχει γίνει αποδεκτή από πολλούς λήπτες αποφάσεων, γεγονός το οποίο δείχνει ότι οι πληροφορίες που γίνονται διαθέσιμες μέσω αυτής της διαδικασίας είναι ιδιαίτερα σημαντικές όσον αφορά τις προτιμήσεις του λήπτη αποφάσεων.

Η κύρια καινοτομία της μεθόδου αυτής του Simos (1990α και 1990β) έγκειται στη συσχέτιση μίας «κάρτας» με κάθε ένα κριτήριο. Το γεγονός ότι το άτομο που εξετάζεται πρέπει να χειριστεί τις κάρτες ώστε να τις κατατάξει εισάγοντας ορισμένες άσπρες κάρτες, επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση του σκοπού της διαδικασίας αυτής [80][81].

Πρακτικά, ο αποφασίζων πρέπει να επιλέξει πρώτα τα κριτήρια που είναι τα λιγότερο σημαντικά ή που έχουν την ίδια βαρύτητα. Μετά την αφαίρεση των

καρτών από το πακέτο, επιλέγονται τα επόμενα λιγότερο σημαντικά μέχρις ότου εξαντληθούν οι κάρτες με τα κριτήρια. Στο μεταξύ, προκειμένου να πολλαπλασιαστεί η απόσταση μεταξύ των καρτών και να τονιστεί η σημαντικότητα ενός κριτηρίου έναντι ενός άλλου, ο αποφασίζων μπορεί να παρεμβάλει λευκές κάρτες.

Πιο αναλυτικά, η συγκέντρωση των πληροφοριών ώστε να γίνει λήψη απόφασης, ακολουθεί την εξής διαδικασία σύμφωνα με τους Figueira και Roy (2002) [83]:

- i. Στον χρήστη δίνεται ένα πακέτο με n κάρτες. Πάνω σε κάθε κάρτα αναγράφεται το όνομα κάθε κριτηρίου το οποίο ανήκει στο ευρύτερο σύνολο κριτηρίων και ορισμένες επιπλέον πληροφορίες (εάν αυτό είναι απαραίτητο). Επομένως ο αριθμός των κριτηρίων είναι και αυτός n . Αυτές οι κάρτες δεν πρέπει να αναγράφουν κανένα αριθμό επάνω για να μην επηρεάσουν το αποτέλεσμα. Επίσης στον χρήστη δίνεται ένα πακέτο με λευκές κάρτες του ίδιου του μεγέθους. Ο αριθμός των λευκών καρτών εξαρτάται από τις ανάγκες του χρήστη.
- ii. Σύμφωνα με τους Figueira και Roy (2002), ο χρήστης καλείται να κατατάξει τις κάρτες των κριτηρίων με αύξουσα σειρά, δηλαδή από τη λιγότερο σημαντική στην πιο σημαντική, ανάλογα δηλαδή με τη σημαντικότητα που θέλει να αποδώσει σε κάθε κριτήριο. Αν σύμφωνα με τη γνώμη του χρήστη κάποιες κάρτες-κριτήρια είναι εξίσου σημαντικές (έχουν το ίδιο βάρος) δημιουργείται μια κλάση, δηλαδή ένα υποσύνολο από κάρτες οι οποίες κρατιούνται μαζί με ένα συνδετήρα [83].
- iii. Σε όλο αυτή τη διαδικασία ο χρήστης πρέπει να σκεφτεί την σημαντικότητα κάθε κριτηρίου. Για το λόγο αυτό ο χρήστης ζητείται να εισάγει τόσες περισσότερες άσπρες κάρτες μεταξύ δύο διαδοχικών καρτών όσο μεγαλύτερη είναι και η διαφορά της σημαντικότητας μεταξύ των κριτηρίων.

Ο υπολογισμός των βαρών, με άθροισμα 100, ακολουθεί την εξής διαδικασία:

- *Αριθμός Καρτών*: για κάθε κλάση που δημιουργείται, συμπεριλαμβάνονται και οι κλάσεις των λευκών καρτών, καταγράφονται οι κάρτες που την αποτελούν και υπολογίζεται το άθροισμά τους.
- *Θέσεις*: για κάθε κάρτα γίνεται η αρίθμηση της θέσης της.
- *Μη κανονικοποιημένα βάρη*: ως βάρος της κάθε κλάσης υπολογίζεται το άθροισμα των θέσεων της κλάσης προς τον αριθμό των καρτών της κάθε κλάσης.
- *Κανονικοποιημένα βάρη*: τα μη κανονικοποιημένα βάρη που έχουν ήδη υπολογιστεί, διαιρούνται δια του αθροίσματος των θέσεων, χωρίς να υπολογίζονται οι λευκές κάρτες, και πολλαπλασιάζονται επί 100. Τέλος τα βάρη στρογγυλοποιούνται.

Η αναθεωρημένη μέθοδος SIMOS

Η αναθεωρημένη μέθοδος SIMOS λαμβάνει υπόψη και ένα νέο είδος επιπρόσθετης πληροφορίας για τον decision maker και αλλάζει ορισμένους υπολογιστικούς κανόνες και μεθόδους. Αυτή η νέα πληροφορία αφορά στην απόσταση μεταξύ των πιο σημαντικών κριτηρίων και των λιγότερο σημαντικών κριτηρίων στην κατάταξη.

Σε γενικές γραμμές είναι πολύ εύκολο για έναν χρήστη να εκφράσει την προτίμησή του για ένα κριτήριο. Αυτό μπορεί να συμβεί εκχωρώντας μια αριθμητική τιμή σε κάθε κριτήριο. Δυστυχώς αυτές οι τιμές δεν μπορούν εύκολα να μετατραπούν σε βάρη.

Στον αναθεωρημένο Simos εισάγεται μια νέα πληροφορία η οποία ουσιαστικά καλεί τον χρήστη να δηλώσει πόσες φορές πιο σημαντικό είναι το τελευταίο κριτήριο από το πρώτο.

Ας υποθέσουμε ότι z είναι αυτή η τιμή. Αυτή η τιμή δεν είναι συνήθως εύκολο να οριστεί από την μεριά του χρήστη.

Η τιμή z ορίζεται ως εξής:

$$Z = \frac{(\sum_{i=0}^{q-1} T-i)p}{(\sum_{i=0}^{p-1} i-1)q}.$$

Όπου T είναι ο αριθμός των καρτών, p το λιγότερο σημαντικό κριτήριο και q το πιο σημαντικό κριτήριο.

Ο Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος πρέπει να αποδώσει σωστά μια αριθμητική τιμή στο βάρος κάθε κριτηρίου p_i για $i=1, 2, \dots, n$.

Πρέπει να καθορίσει επιτυχώς:

- Τα μη κανονικοποιημένα βάρη $k(1), \dots, k(r), \dots, k(n)$ συνδεδεμένα με κάθε υποσύνολο ίσων κριτηρίων ανάλογα με την κατάταξή τους θέτοντας $k(1)=1$.
- Τα κανονικοποιημένα βάρη που απαιτούν διαφορετική σύμβαση

$$\sum_{i=1}^n k_i = 100$$

Το k_i υποδηλώνει το κανονικοποιημένο βάρος για κάθε κριτήριο p_i για $i=1, 2, \dots, n$.

Καθορίζοντας τα μη κανονικοποιημένα βάρη $k(r)$

Ας υποθέσουμε ότι e'_r είναι ο αριθμός των λευκών καρτών μεταξύ της κατάταξης r και $r+1$.

Τότε,

$$\left\{ \begin{array}{l} e_r = e'_r + 1 \quad \forall r = 1, \dots, n-1 \\ e = \sum_{r=1}^{n-1} e_r \\ u = \frac{z-1}{e} \end{array} \right.$$

Έτσι,

$$K(r) = 1 + u(e_0 + \dots + e_{r-1}) \quad \text{με } e_0 = 0.$$

(αυτά τα βάρη διατηρούν μόνο δυο δεκαδικά ψηφία, χρησιμοποιώντας τεχνική στρογγυλοποίησης προς την αμέσως μεγαλύτερη ή μικρότερη τιμή.

Καθορίζοντας τα κανονικοποιημένα βάρη k_i

Ας υποθέσουμε ότι p_i είναι ένα κριτήριο κατάταξης r και k'_i το βάρος αυτού του κριτηρίου στην μη κανονικοποιημένη του έκφραση $k'_i = k(r)$. Τότε

$$\left\{ \begin{array}{l} K' = \sum_{i=1}^n k'_i \\ k_i^* = \frac{100}{K'} K'_i \end{array} \right.$$

Εφαρμογή της SIMOS - Προσδιορισμός των βαρών

Η μέθοδος SIMOS ξεχωρίζει για την απλότητα της και την ευκολία με την οποία αποσπά από τον αποφασίζοντα τις προτιμήσεις του αναφορικά με τα βάρη των κριτηρίων. Στο πρόβλημα της αξιολόγησης των εναλλακτικών επενδύσεων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, λόγω του μεγάλου αριθμού των κριτηρίων και της μεγάλης διαφορετικότητας και πολυπλοκότητας μεταξύ τους, αποφασίστηκε να γίνει χρήση της SIMOS και όχι κάποια άλλη μεθόδου ή διμρών συγκρίσεων.

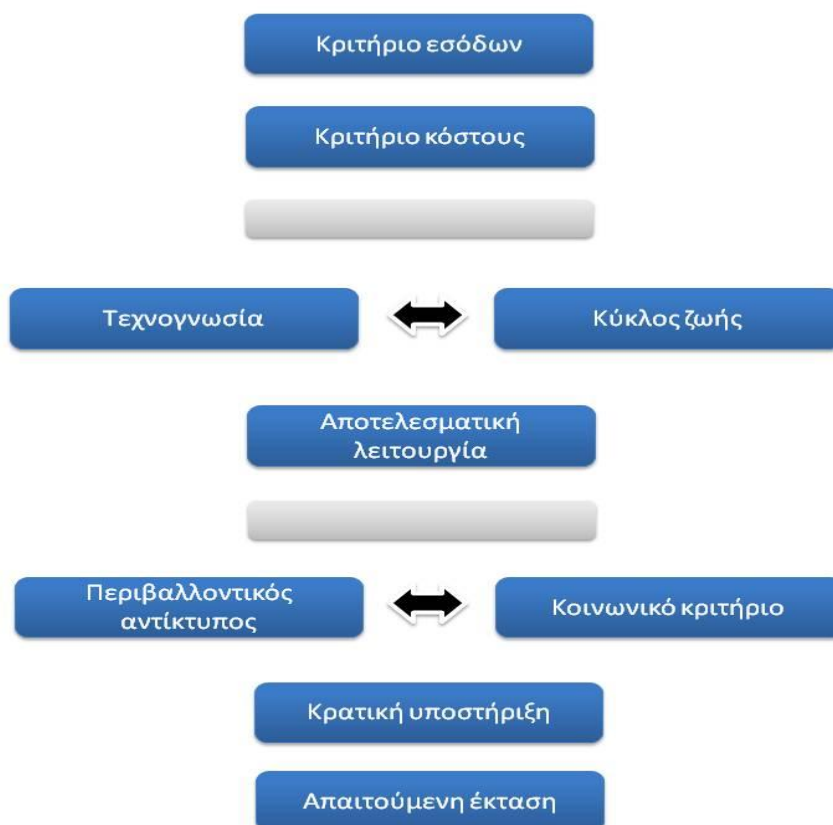
Παρόλα αυτά, ο μαθηματικός προσδιορισμός των βαρών σύμφωνα με τη μέθοδο SIMOS παρουσιάζει μειωμένη ευστάθεια, δηλαδή ενώ το set βαρών υπολογίζεται μεν μονοσήμαντα, δεν αποτελεί το μοναδικό που είναι συμβατό με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα, όπως εξωτερικεύονται από την ιεράρχιση των καρτών (Siskos et al, 2013). Γι αυτό το λόγο και κατόπιν συνεννόησης με τον αποφασίζοντα αποφασίστηκε η επίλυση του γραμμικού συστήματος ανισοτήτων που προκύπτει, θέτοντας σαν αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση (μεγιστοποίηση) το βάρος του πρώτου στην ιεραρχία κριτηρίου, δηλαδή του κριτηρίου εσόδων. Επομένως, πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση του συστήματος ανισοτήτων στο

λογισμικό LP SOLVE IDE όπως θα φανεί παρακάτω και κατόπιν εκτελέσεως της Simplex, προέκυψαν τα βάρη των κριτηρίων.[82]

Αφού επεξηγήθηκε στον επενδυτή η έννοια των βαρών και η διαδικασία για τον προσδιορισμό τους δόθηκαν σε αυτόν 9 κάρτες κάθε μια με ένα κριτήριο, λευκές κάρτες και συνδετήρες . Ο επενδυτής όρισε την παρακάτω κατάταξη για τις κάρτες:

- 1) Κριτήριο Εσόδων
- 2) Κριτήριο Κόστους
- 3) Λευκή καρτα
- 4) Τεχνογνωσία & Κύκλος ζωής
- 5) Αποτελεσματική λειτουργία
- 6) Λευκή κάρτα
- 7) Περιβαλλοντικός αντίκτυπο & Κοινωνικό κριτήριο
- 8) Κρατική υποστήριξη
- 9) Απαιτούμενη έκταση

Μια παραστατική απεικόνιση αυτής της κατάταξης φαίνεται στην εικόνα 26



Εικόνα 26 Εφαρμογή της μεθόδου SIMOS (Κατάταξη του αποφασίζοντα)

Από τη κατάταξη αυτή κατασκευάσαμε ένα πρόβλημα ανισώσεων (γραμμικός προγραμματισμός) και για την επίλυση του χρησιμοποιήσαμε το *LP SOLVE IDE*.

Στις εικόνες 27 και 28 (εικόνες από το πρόγραμμα επίλυσης) έχουμε την αρχικοποίηση και τα αποτελέσματα του προβλήματος

```

1 /* Objective function */
2 max: p3;
3
4 /* Variable bounds */
5
6 p3 - p2 >= 0.02 ;
7 p2 - w1 >= 0.02 ;
8 w1 - p5 >= 0.02 ;
9 p5 - p6 = 0 ;
10 p5 - p4 >= 0.02 ;
11 p4 - w2 >= 0.02 ;
12 w2 - p7 >= 0.02 ;
13 p7 - p1 = 0 ;
14 p1 - p9 >= 0.02 ;
15 p9 - p8 >= 0.02 ;
16
17 p3 - 7p8 = 0;
18
19 p1 + p2 + p3 + p4 + p5 + p6 + p7 + p8 + p9 = 1 ;
20

```

Log Messages
Excellent numeric accuracy ||*|| = 0

MEMO: lp_solve version 5.5.2.0 for 32 bit OS, with 64 bit REAL variables.
In the total iteration count 12, 0 (0.0%) were bound flips.
There were 2 refactorizations, 0 triggered by time and 0 by density.
... on average 6.0 major pivots per refactorization.
The largest [LUSOL v2.2.1.0] fact(B) had 39 NZ entries, 1.1x largest basis.
The constraint matrix inf-norm is 7, with a dynamic range of 7.
Time to load data was 0.003 seconds, presolve used 0.005 seconds,
... 0.009 seconds in simplex solver, in total 0.017 seconds.

4:2 ITE: 11 INV: 6 NOD: 0 TME: 0,01

Εικόνα 27 Γραμμικό πρόβλημα της μεθόδου SIMOS για τον προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων

Στην εικόνα 28 έχουμε τα αποτελέσματα της επίλυσης του γραμμικού προβλήματος.

| Variables | result |
|-----------|--------|
| p3 | 0,224 |
| p2 | 0,172 |
| w1 | 0,152 |
| p5 | 0,132 |
| p6 | 0,132 |
| p4 | 0,112 |
| w2 | 0,092 |
| p7 | 0,072 |
| p1 | 0,072 |
| p9 | 0,052 |
| p8 | 0,032 |

Log Messages
Excellent numeric accuracy ||*|| = 0

MEMO: lp_solve version 5.5.2.0 for 32 bit OS, with 64 bit REAL variables.
In the total iteration count 12, 0 (0.0%) were bound flips.
There were 2 refactorizations, 0 triggered by time and 0 by density.
... on average 6.0 major pivots per refactorization.
The largest [LUSOL v2.2.1.0] fact(B) had 39 NZ entries, 1.1x largest basis.
The constraint matrix inf-norm is 7, with a dynamic range of 7.
Time to load data was 0.003 seconds, presolve used 0.005 seconds,
... 0.009 seconds in simplex solver, in total 0.017 seconds.

4:2 ITE: 11 INV: 6 NOD: 0 TME: 0,01

Εικόνα 28 Αποτελέσματα της μεθόδου SIMOS

Με βάση αυτά έχουμε ως αποτέλεσμα τη κατανομή των βαρών των κριτηρίων ως εξής (Πίνακας 14) :

Πίνακας 14 Τα ελικά αποτελέσματα μεθόδου SIMOS: Βάρη κριτηρίων

| LP ranking | SIMOS results |
|------------|---------------|
| g_3 | $w_3=0,224$ |
| g_2 | $w_2=0,172$ |
| w | $w_5=0,132$ |
| $g_5 g_6$ | $w_6=0,132$ |
| g_4 | $w_4=0,112$ |
| w | $w_7=0,072$ |
| $g_7 g_1$ | $w_1=0,072$ |
| g_9 | $w_9=0,052$ |
| g_8 | $w_8=0,032$ |

6.1.3 Προσδιορισμός Κατώφλιων Βέτο

Το κατώφλι βέτο ενός κριτηρίου είναι η ελάχιστη υστέρηση που θα πρέπει να παρουσιάζει σε αυτό το κριτήριο η προτεινόμενη λύση σε σχέση με τις εναλλακτικές προκειμένου αυτή να μην απορριφθεί [43].

Αφού επεξηγήθηκε στον επενδυτή ότι το κατώφλι βέτο ενός κριτηρίου είναι η ελάχιστη υστέρηση που θα πρέπει να παρουσιάζει σε αυτό το κριτήριο η προτεινόμενη λύση σε σχέση με τις εναλλακτικές, προκειμένου αυτή να απορριφθεί, ακολούθησε ο παρακάτω διάλογος και προσδιορίστηκαν τα κατώφλια βέτο:

Αναλυτής : Ας θεωρήσουμε δύο εναλλακτικά επενδυτικά έργα το Α και το Β. Ας θεωρήσουμε, επίσης, ότι το Α υπερέρχει του Β σε όλα τα υπόλοιπα κριτήρια εκτός του κριτηρίου g_2 . Ποια είναι η μέγιστη διαφορά στο κριτήριο g_2 , που αφορά το κόστος του επενδυτικού έργου σε εκατομμύρια €/MW, του Α έναντι του Β, ώστε το Α να υπερέρχει συνολικά του Β;

Αποφασίζων : 10 εκατομμύρια €/MW

6.1.4 Προσδιορισμός Κατώφλιων αδιαφορίας και προτίμησης

Για τον προσδιορισμό των κατώφλιων αδιαφορίας και προτίμησης ακολούθησε ο παρακάτω διάλογος με την αποφασίζοντα:

Αναλυτής: Ας θεωρήσουμε δυο εναλλακτικά επενδυτικά έργα Α και Β. Για το κριτήριο g_2 (κριτήριο κόστους) όπου το Α επιφέρει κόστος 2 εκατομμύρια €/MW και το Β 1,6 εκατομμύρια €/MW θεωρείτε ότι το Β προτιμάται του Α;

Αποφασίζων: Όχι η διαφορά είναι πολύ μικρή.

Αναλυτής: Εάν το Β κόστιζε 1 εκατομμύριο €/MW ;

Αποφασίζων: Το ίδιο.

Αναλυτής: Ποια είναι η μέγιστη διαφορά που πρέπει να υπάρχει, ώστε η διαφορά στο κόστος των δυο εναλλακτικών να είναι αδιάφορη (επομένως ισοδύναμες εναλλακτικές στο κριτήριο αυτό) ;

Αποφασίζων: 1,5 εκατομμύρια €/MW.

Άρα το κατώφλι αδιαφορίας για το κριτήριο g_2 είναι $q_2 = 1,5$ εκατομμύρια €/MW .

Για το κατώφλι προτίμησης:

Αναλυτής: Ας θεωρήσουμε δυο εναλλακτικά επενδυτικά έργα Α και Β. Για το κριτήριο g_2 (κριτήριο κόστους) όπου το Α επιφέρει κόστος 10 εκατομμύρια €/MW και το Β, 2 εκατομμύρια €/MW θεωρείτε ότι το Β προτιμάται του Α ;

Α; Αποφασίζων: Ναι.

Αναλυτής: Εάν το Β επιφέρει 4 εκατομμύρια €/MW;

Αποφασίζων: Το ίδιο.

Αναλυτής: Ποια είναι η ελάχιστη τιμή που προκαλεί προτίμηση του Α έναντι του επενδυτικού έργου Β;

Αποφασίζων: Τα 5 εκατομμύρια €/MW

Άρα το κατώφλι προτίμησης για το κριτήριο g_2 είναι $p_2 = 5$ εκατομμύρια €/MW.

Ανάλογη διαδικασία για τα κατώφλια βέτο αδιαφορίας και προτίμησης ακολουθήσαμε και για το κριτήριο εσόδων. Παρακάτω έχουμε συγκεντρωτικά όλα τα δεδομένα αυτά που θα χρειαστούμε για την εκτέλεση της Electre IS.

Πίνακας 15 Συγκεντρωτικός πίνακας : Τιμές κριτηρίων , βάρη και κατώφλια αδιαφορίας, προτίμησης και βέτο.

| Εναλλακτική | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | g_7 | g_8 | g_9 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>a</i> | 4 | 2,0 | 406 | 3 | 5 | 18 | 4 | 15 | 3 |
| <i>b</i> | 4 | 2,2 | 377 | 3 | 3 | 15 | 4 | 15 | 3 |
| <i>c</i> | 2 | 5,5 | 123 | 2 | 5 | 8 | 4 | 5 | 4 |
| <i>d</i> | 3 | 6,3 | 129 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| <i>e</i> | 3 | 7,7 | 127 | 5 | 4 | 48 | 2 | 25 | 2 |
| <i>f</i> | 3 | 4,0 | 385 | 2 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| <i>g</i> | 3 | 4,7 | 357 | 3 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| <i>h</i> | 3 | 15,2 | 139 | 3 | 1 | 48 | 3 | 60 | 3 |
| <i>i</i> | 3 | 18,1 | 218 | 4 | 2 | 38 | 3 | 4 | 4 |
| Βάρος | 0,072 | 0,172 | 0,224 | 0,112 | 0,132 | 0,132 | 0,072 | 0,032 | 0,052 |
| Κατώφλι αδιαφορίας | - | 1,5 | 20 | - | - | - | - | - | - |
| Κατώφλι προτίμησης | - | 5 | 70 | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|----|-----|-------|-------|---|---|---|---|
| Κατόφλι βέτο | - | 10 | 170 | {2,5} | {1,5} | - | - | - | - |
|--------------|---|----|-----|-------|-------|---|---|---|---|

Όπου για ευκολία τέθηκαν οι παρακάτω συμβολισμοί (Πίνακας 16):

Πίνακας 16 Ανάθεση συμβολισμών

| | |
|---|----------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | <i>a</i> |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | <i>b</i> |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | <i>c</i> |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | <i>d</i> |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | <i>e</i> |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | <i>f</i> |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | <i>g</i> |
| Διάταξη γεωθερμίας | <i>h</i> |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | <i>i</i> |

6.2 Εφαρμογή της ELECTRE IS στο πρόβλημα επιλογής επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής

Η αλγοριθμική εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE IS για την επίλυση του προβλήματος που εξετάζουμε έγινε με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου excel. Παρακάτω φαίνονται δύο βοηθητικοί πίνακες που μαζί με τον πίνακα 15 δημιούργησαν τη βάση για την εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου επίλυσης.

Πίνακας 17 Βοηθητικός πίνακας q_i+g_i

| | q_1+g_1 | q_2+g_2 | q_3+g_3 | q_4+g_4 | q_5+g_5 | q_6+g_6 | q_7+g_7 | q_8+g_8 | q_9+g_9 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>a</i> | 4 | 3 | 426 | 3 | 5 | 18 | 4 | 15 | 3 |
| <i>b</i> | 4 | 4 | 397 | 3 | 3 | 15 | 4 | 15 | 3 |
| <i>c</i> | 2 | 7 | 143 | 2 | 5 | 8 | 4 | 5 | 4 |
| <i>d</i> | 3 | 8 | 149 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| <i>e</i> | 3 | 9 | 147 | 5 | 4 | 48 | 2 | 25 | 2 |
| <i>f</i> | 3 | 6 | 405 | 2 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| <i>g</i> | 3 | 6 | 377 | 3 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| <i>h</i> | 3 | 17 | 159 | 3 | 1 | 48 | 3 | 60 | 3 |
| <i>i</i> | 3 | 20 | 238 | 4 | 2 | 38 | 3 | 4 | 4 |

Πίνακας 18 Βοηθητικός πίνακας p_i+g_i

| p_1+g_1 | p_2+g_2 | p_3+g_3 | p_4+g_4 | p_5+g_5 | p_6+g_6 | p_7+g_7 | p_8+g_8 | p_9+g_9 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

| | | | | | | | | | |
|---|---|----|-----|---|---|----|---|----|----|
| a | 4 | 7 | 476 | 3 | 5 | 18 | 4 | 15 | 3 |
| b | 4 | 7 | 447 | 3 | 3 | 15 | 4 | 15 | 20 |
| c | 2 | 10 | 193 | 2 | 5 | 8 | 4 | 5 | 4 |
| d | 3 | 11 | 199 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| e | 3 | 13 | 197 | 5 | 4 | 48 | 2 | 25 | 2 |
| f | 3 | 9 | 455 | 2 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| g | 3 | 10 | 427 | 3 | 1 | 10 | 2 | 40 | 4 |
| h | 3 | 20 | 209 | 3 | 1 | 48 | 3 | 60 | 3 |
| i | 3 | 23 | 288 | 4 | 2 | 38 | 3 | 4 | 4 |

6.2.1 Έλεγχος συμφωνίας

Στο στάδιο αυτό αρχικά ορίζουμε για κάθε ζεύγος (α,β) τα σύνολα J^S και J^Q σύμφωνα με του τύπους (7) - (10).

Το βήμα αυτό, λόγω της πολυπλοκότητας του, υλοποιήθηκε με την χρήση της εντολής if του excel για κάθε δυνατό συνδυασμό σύγκρισης και για κάθε κριτήριο. Έτσι, ενδεικτικά αναφέρουμε τον πίνακα 19 όπου έχουμε τα εξής:

Πίνακας 19 Ενδεικτικός πίνακας συνθήκης συνόλου J^S

| (α,β) | Συνθήκη συνόλου J^S | | | | | | | | | ΣW_J^S |
|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | g_1 | g_2 | g_3 | g_4 | g_5 | g_6 | g_7 | g_8 | g_9 | |
| a,b | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,816 |
| b,c | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,644 |
| c,d | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,816 |
| d,e | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0,652 |
| e,f | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,692 |
| f,g | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,816 |
| g,h | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,48 |
| h,i | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,308 |

Επισημάνουμε τα εξής:

- Στη πρώτη στήλη φαίνονται τα ζεύγη συγκρίσεων . Για κάθε ζεύγος γίνεται σύγκριση ως προς όλα τα κριτήρια.
- Αν ισχύει η συνθήκη συνόλου J^S (σχέση 7) τότε για το εκάστοτε ζεύγος στο εκάστοτε κριτήριο η τιμή στο πίνακα είναι 1.
- Αν δεν ισχύει η σχέση 7 τότε η αντίστοιχη τιμή είναι 0.
- Η τελευταία σχέση αποτελεί το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων τα οποία επαληθεύουν την σχέση 7, ανήκουν επομένως στο σύνολο J^S .

Η διαδικασία συνεχίστηκε για όλα τα ζεύγη δυνατών συγκρίσεων. Έτσι, κατασκευάστηκε ο πίνακας που περιέχει τις τιμές Σw_j για το σύνολο J^S .

Για την κατασκευή του συνόλου J^Q εφαρμόσαμε την ανάλογη διαδικασία, η οποία αφορούσε μόνο τα ψευδοκριτήρια (δηλαδή μόνο τα κριτήρια g_2, g_3 στο πρόβλημα που εξετάζουμε). Έτσι ενδεικτικά έχουμε τον πίνακα 20:

Πίνακας 20 Συνθήκη συνόλου J^Q και υπολογισμός $\Phi_J * W_J$

| Ζεύγη | Σύνολο J^Q | | $\Phi_J(g_2)$ | $\Phi_J(g_3)$ | $\Sigma w_j \Phi_J$ | $C = W_{JS} + W_{JQ} * \Phi_J$ |
|------------|--------------|-------|---------------|---------------|---------------------|--------------------------------|
| | g_2 | g_3 | | | | |
| <i>a,b</i> | g_2 | g_3 | | | | |
| <i>b,c</i> | 0 | 0 | 1,3514 | 1,98 | 0,00 | 0,82 |
| <i>c,d</i> | 1 | 0 | 0,5029 | 6,48 | 0,09 | 0,73 |
| <i>d,e</i> | 0 | 0 | 1,1971 | 1,27 | 0,00 | 0,82 |
| <i>e,f</i> | 0 | 0 | 1,0314 | 1,44 | 0,00 | 0,65 |
| <i>f,g</i> | 0 | 0 | 2,4686 | -3,75 | 0,00 | 0,69 |
| <i>g,h</i> | 0 | 0 | 1,2514 | 1,95 | 0,00 | 0,82 |
| <i>h,i</i> | 0 | 0 | -1,585 | 5,76 | 0,00 | 0,48 |
| <i>a,b</i> | 1 | 0 | 0,6114 | -0,17 | 0,11 | 0,41 |

Επισημαίνουμε τα εξής:

- Στη πρώτη στήλη φαίνονται τα ζεύγη συγκρίσεων. Για κάθε ζεύγος γίνεται σύγκριση ως προς τα κριτήρια $g_{2,3}$.
- Αν ισχύει η συνθήκη συνόλου J^Q (σχέση 8) τότε για το εκάστοτε ζεύγος στο εκάστοτε κριτήριο η τιμή στο πίνακα στη στήλη g_8 είναι 1.
- Αν δεν ισχύει η σχέση 8 τότε η αντίστοιχη τιμή είναι 0.
- Η τελευταία σχέση αποτελεί το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων τα οποία επαληθεύουν την σχέση 8, ανήκουν επομένως στο σύνολο J^Q .
- Στη στην επόμενη στήλη έχουμε τον υπολογισμό του ϕ_j σύμφωνα με την σχέση 10.
- Τέλος έχουμε τον υπολογισμό του γινομένου $\Phi_J * W_J^Q$.

Ο τελικός πίνακας 21 συμφωνίας που προκύπτει φαίνεται παρακάτω σύμφωνα με τη σχέση 9:

$$C(a,b) = \sum_{j \in J^S} w_j + \sum_{j \in J^Q} \phi_j w_j \geq s$$

Παρατηρώντας τον πίνακα 21 βλέπουμε ότι μία καλή τιμή για το κατώφλι συμφωνίας είναι 0,7. Συνεπώς με $s = 0,7$ έχουμε επισημάνει τα ζεύγη που παρουσιάζουν θετικό έλεγχο συμφωνίας.

Πίνακας 21 Πίνακας ελέγχου συμφωνίας

| | | C(α,β) | | | | | | | | |
|---|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | a | b | c | d | e | f | g | h | i |
| a | | | 0,82 | 0,72 | 0,70 | 0,55 | 0,89 | 0,75 | 0,50 | 0,53 |
| b | 0,70 | | | 0,73 | 0,69 | 0,42 | 0,90 | 0,87 | 0,61 | 0,53 |
| c | 0,43 | 0,43 | | | 0,82 | 0,62 | 0,43 | 0,43 | 0,48 | 0,29 |
| d | 0,41 | 0,43 | 0,74 | | | 0,65 | 0,54 | 0,43 | 0,48 | 0,29 |
| e | 0,45 | 0,58 | 0,74 | 0,88 | | | 0,69 | 0,69 | 0,67 | 0,48 |
| f | 0,47 | 0,48 | 0,74 | 0,60 | 0,37 | | | 0,82 | 0,48 | 0,38 |
| g | 0,46 | 0,48 | 0,74 | 0,74 | 0,48 | 0,97 | | | 0,48 | 0,38 |
| h | 0,50 | 0,50 | 0,74 | 0,74 | 0,68 | 0,72 | 0,65 | | | 0,41 |
| i | 0,47 | 0,47 | 0,71 | 0,71 | 0,52 | 0,69 | 0,62 | 0,76 | | |

Κατά συνέπεια θετικό έλεγχο συμφωνίας παρουσιάζουν τα ζεύγη:

- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) ➡ Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) [a,b]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) ➡ Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [a,c]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) ➡ Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) [a,d]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) [a,f]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος)[a,g]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) ➡ Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) [b,a]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) ➡ Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [b,c]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος)[b,f]
- Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος)[b,g]
- Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) ➡ Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) [c,d]
- Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) ➡ Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [d,c]
- Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός ➡ Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [e,c]
- Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός ➡ Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) [e,d]
- Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [f,c]
- Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος)[f,g]
- Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός(Μη Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [g,c]
- Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός(Μη Διασυνδεδεμένος) ➡ Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) [g,d]
- Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός(Μη Διασυνδεδεμένος) ➡ Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος)[g,f]

- Διάταξη γεωθερμίας ➡ Μικρός Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [h,c]
- Διάταξη γεωθερμίας ➡ Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) [h,d]
- Διάταξη γεωθερμίας ➡ Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος)[h,f]
- Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη τη βιομάζα ➡ Μικρός Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) [i,c]
- Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη τη βιομάζα ➡ Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) [i,d]
- Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη τη βιομάζα ➡ Διάταξη γεωθερμίας [i,h]

6.2.2 Έλεγχος διαφωνίας

Στο πρόβλημα που επιλύουμε ο έλεγχος διαφωνίας αφορά τα κριτήρια 2,3,4,5 στα οποία ο αποφασίζων έθεσε τιμή βέτο. Υπενθυμίζουμε τις σχέσεις 11,12 τις οποίες θα χρειαστήκαμε σε αυτό το στάδιο:

$$g_j(b) - g_j(a) \leq v_j[g_j(a)] - \eta_j q_j[g_j(b)] \quad (11)$$

όπου

$$\eta_j = \frac{1 - C(a,b) - w_j}{1 - s - w_j} \quad (12)$$

Ξεκινήσαμε τους υπολογισμούς μας από τον υπολογισμό του η_j και στη συνέχεια της παράστασης $v_j[g_j(a)] - \eta_j q_j[g_j(b)]$ με τη βοήθεια του excel όπως φαίνεται παρακάτω στο πίνακα 22:

Πίνακας 22 Υπολογισμός παράστασης $v \cdot n^*q$

| Ζεύγος (α,β) | v-n*q | | | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | g ₂ | g ₃ | g ₄ | g ₅ |
| a,b | 9,86 | 180,53 | 3,00 | 4,00 |
| a,c | 9,86 | 180,53 | 3,00 | 4,00 |
| a,d | 10,00 | 170,00 | 3,00 | 4,00 |
| a,f | 10,70 | 199,47 | 3,00 | 4,00 |
| a,g | 9,03 | 161,98 | 3,00 | 4,00 |
| b,a | 10,00 | 170,00 | 3,00 | 4,00 |
| b,c | 8,86 | 158,02 | 3,00 | 4,00 |
| b,f | 10,86 | 202,96 | 3,00 | 4,00 |
| b,g | 10,50 | 194,94 | 3,00 | 4,00 |
| c,d | 9,86 | 180,53 | 3,00 | 4,00 |
| d,c | 8,92 | 159,47 | 3,00 | 4,00 |
| e,c | 9,02 | 161,58 | 3,00 | 4,00 |
| e,d | 10,56 | 196,32 | 3,00 | 4,00 |
| f,c | 9,02 | 161,58 | 3,00 | 4,00 |
| f,g | 9,86 | 180,53 | 3,00 | 4,00 |
| g,c | 9,02 | 161,58 | 3,00 | 4,00 |
| g,d | 8,94 | 159,90 | 3,00 | 4,00 |
| g,f | 11,62 | 220,12 | 3,00 | 4,00 |

| | | | | |
|-----|------|--------|------|------|
| h,c | 9,02 | 161,58 | 3,00 | 4,00 |
| h,d | 9,02 | 161,58 | 3,00 | 4,00 |
| h,f | 8,78 | 156,32 | 3,00 | 4,00 |
| I,c | 8,64 | 153,16 | 3,00 | 4,00 |
| I,d | 8,64 | 153,16 | 3,00 | 4,00 |
| I,h | 9,25 | 166,84 | 3,00 | 4,00 |

Στη συνέχεια υπολογίσαμε για τα ζεύγη που προέκυψαν από τον έλεγχο συμφωνίας την παράσταση $g_j(b) - g_j(a)$ του εκάστοτε ζεύγους (a,b):

Πίνακας 23 Υπολογισμός της παράστασης $g_i b - g_i a$

| Ζεύγος | $g_2 b - g_2 a$ | $g_3 b - g_3 a$ | $g_4 b - g_4 a$ | $g_5 b - g_5 a$ |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| a,b | 0,27 | -29,00 | 0,80 | -2,00 |
| a,c | 3,51 | -283,01 | -0,59 | 0,50 |
| a,d | 4,32 | -276,72 | 0,21 | -1,00 |
| a,f | 2,07 | -21,21 | -0,39 | -3,50 |
| a,g | 2,69 | -48,70 | 0,41 | -3,50 |
| b,a | -0,27 | 29,00 | -0,80 | 2,00 |
| b,c | 3,24 | -254,01 | -1,39 | 2,50 |
| b,f | 1,80 | 7,79 | -1,19 | -1,50 |
| b,g | 2,42 | -19,70 | -0,39 | -1,50 |
| c,d | 0,81 | 6,30 | 0,80 | -1,50 |
| d,c | -0,81 | -6,30 | -0,80 | 1,50 |
| e,c | -2,20 | -4,39 | -2,99 | 1,50 |
| e,d | -1,39 | 1,90 | -2,19 | 0,00 |
| f,c | 1,44 | -261,80 | -0,20 | 4,00 |
| f,g | 0,62 | -27,49 | 0,80 | 0,00 |
| g,c | 0,82 | -234,32 | -1,00 | 4,00 |
| g,d | 1,63 | -228,02 | -0,20 | 2,50 |
| g,f | -0,62 | 27,49 | -0,80 | 0,00 |
| h,c | -9,73 | -16,24 | -1,39 | 4,00 |
| h,d | -8,92 | -9,95 | -0,59 | 2,50 |
| h,f | -11,17 | 245,56 | -1,19 | 0,00 |
| i,c | -12,59 | -94,51 | -1,65 | 3,50 |
| i,d | -11,78 | -88,22 | -0,85 | 2,00 |
| i,h | -2,86 | -78,27 | -0,27 | -0,50 |

Τέλος χρησιμοποιήθηκαν οι δυο προηγούμενοι πίνακες για τη συνθήκη ελέγχου διαφωνίας. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας ελέγχου διαφωνίας όπου οι τιμές 0 υποδηλώνουν αρνητικό έλεγχο διαφωνίας για το εκάστοτε ζεύγος στο εκάστοτε κριτήριο ενώ 1 για θετικό έλεγχο διαφωνίας.

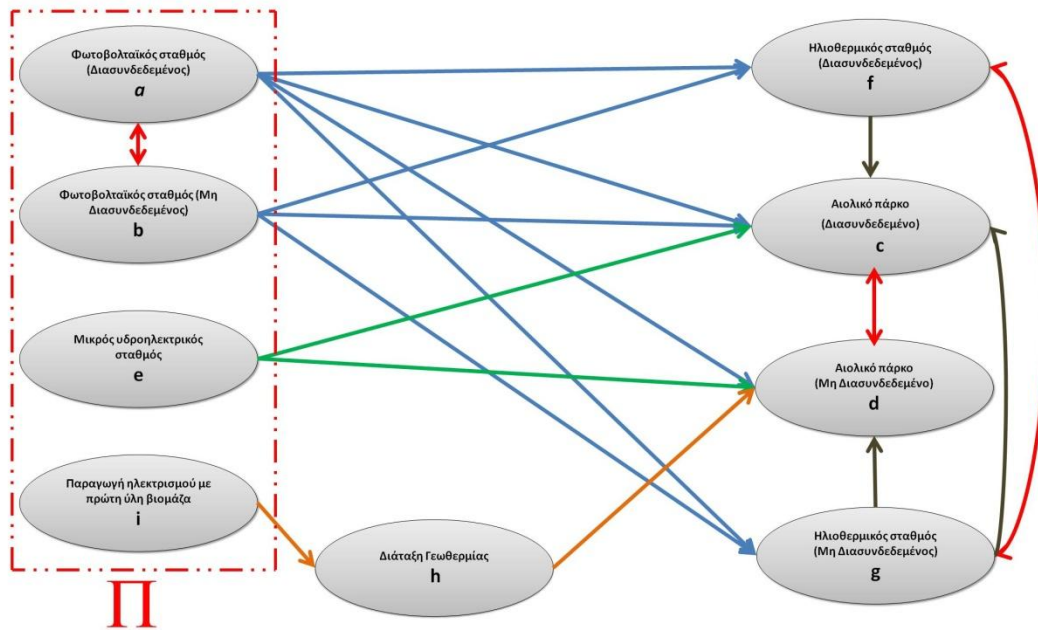
Πίνακας 24 Έλεγχος διαφωνίας

| Έλεγχος διαφωνίας | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ζεύγη | g ₂ | g ₃ | g ₄ | g ₅ |
| a,b | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a,c | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a,d | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a,f | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a,g | 1 | 1 | 1 | 1 |
| b,a | 1 | 1 | 1 | 1 |
| b,c | 1 | 1 | 1 | 1 |
| b,f | 1 | 1 | 1 | 1 |
| b,g | 1 | 1 | 1 | 1 |
| c,d | 1 | 1 | 1 | 1 |
| d,c | 1 | 1 | 1 | 1 |
| e,c | 1 | 1 | 1 | 1 |
| e,d | 1 | 1 | 1 | 1 |
| f,c | 1 | 1 | 1 | 1 |
| f,g | 1 | 1 | 1 | 1 |
| g,c | 1 | 1 | 1 | 1 |
| g,d | 1 | 1 | 1 | 1 |
| g,f | 1 | 1 | 1 | 1 |
| h,c | 0 | 1 | 1 | 1 |
| h,d | 1 | 1 | 1 | 1 |
| h,f | 0 | 0 | 1 | 1 |
| i,c | 0 | 1 | 1 | 1 |
| i,d | 0 | 1 | 1 | 1 |
| i,h | 1 | 1 | 1 | 1 |

Συνεπώς δεν μπορεί να εκφραστεί σχέση προτίμησης (αδιαφορία) μεταξύ των ζευγών h,c h,f i,c και i,d όπως φαίνεται και στο γράφημα υπεροχής παρακάτω.

6.2.3 Γράφημα Υπεροχής

Με βάση το παραπάνω πίνακα και τα ζεύγη που έδωσαν θετικό έλεγχο διαφωνίας κατασκευάζουμε το διάγραμμα υπεροχής που φαίνεται στο σχήμα 6. Στο διάγραμμα έχουμε σε πλαίσιο τον πυρήνα (Π) που αποτελείται από τις εναλλακτικές εκείνες οι οποίες δεν “χάνουν” από καμία άλλη (a,b,e,i). Οι a,b σύμφωνα με το πίνακα συμφωνίας θεωρούνται ισάξιες σε αυτό το στάδιο (κόκκινο αμφίδρομο βέλος). Εκτός του πυρήνα βρίσκονται οι υπόλοιπες εναλλακτικές οι οποίες “χάνουν” από τουλάχιστον μία άλλη εναλλακτική.



Σχήμα 6 Γράφημα Υπεροχής

6.3 Υποστήριξη της Απόφασης

Στο στάδιο αυτό καλούμαστε να διερευνήσουμε τις εναλλακτικές που αποτελούν το πυρήνα του διαγράμματος με σκοπό να επιλέξουμε τη βέλτιστη εξ' αυτών. Ένα προφανές συμπέρασμα για την ισοτιμία των εναλλακτικών a, b είναι το εξής:

Η εναλλακτική a υπερिशύει της b στα κριτήρια g_3, g_4, g_5, g_6 ενώ στα υπόλοιπα κρίνονται ισάξιες. Συνεπώς η εναλλακτική b παρόλο που τυπικά βρίσκεται στο πυρήνα της Electre IS ουσιαστικά υστερεί σε σχέση με την a άρα και αποκλείεται από τη διερεύνηση που ακολουθεί.

Στο σημείο αυτό θα έχουμε ένα διάλογο με τον αποφασίζοντα. Αφού του έγιναν γνωστά τα αποτελέσματα της Electre IS αλλά και η ερμηνεία αυτών είχαμε το παρακάτω διάλογο:

Διερεύνηση καταλληλότητας της i :

Αναλυτής: Η επένδυση στην παραγωγή ηλεκτρισμού με πρώτη ύλη από τη βιομάζα υπερτερεί ξεκάθαρα μόνο της γεωθερμίας ενώ δεν υστερεί ξεκάθαρα σε σχέση με κάποια σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πολυκριτήριας μεθόδου θεωρείτε ότι μπορεί να αποτελέσει τη βέλτιστη επένδυση;

Αποφασίζων: Όχι, δεν μπορεί να αποτελέσει τη βέλτιστη επιλογή.

Διερεύνηση καταλληλότητας της e:

Αναλυτής: Η επένδυση σε μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό υπερτερεί ξεκάθαρα δύο εναλλακτικών ενώ δεν υστερεί σε σχέση με καμία θεωρείτε ότι θα μπορούσε να αποτελέσει βέλτιστη επιλογή;

Αποφασίζων: Ναι θα μπορούσε υπό προϋποθέσεις να είναι η βέλτιστη επιλογή

Διερεύνηση καταλληλότητας της a:

Αναλυτής: Η επένδυση σε διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σταθμό υπερτερεί ξεκάθαρα τεσσάρων εναλλακτικών ενώ δεν υστερεί σε σχέση με καμία θεωρείτε ότι θα μπορούσε να αποτελέσει βέλτιστη επιλογή;

Αποφασίζων: Ναι φυσικά θα μπορούσε να είναι η βέλτιστη επιλογή.

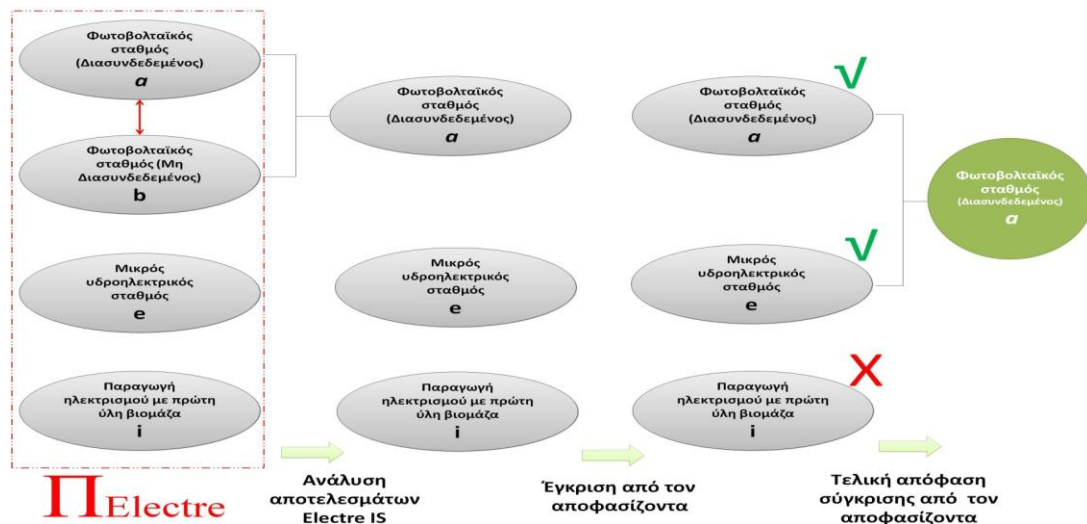
Σύγκριση a-e:

Αναλυτής: Πρέπει να επιλέξετε ανάμεσα στην επένδυση σε διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σταθμό και σε μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό. Για το σκοπό αυτό πέραν των προηγούμενων πληροφοριών σας παραθέτουμε ένα πίνακα με τις τιμές που λαμβάνουν οι δύο αυτές εναλλακτικές σε όλα τα κριτήρια. Η εναλλακτική a κερδίζει την e στα κριτήρια g₁, g₂, g₃, g₅, g₇, και g₉ ενώ χάνει στα g₄, g₆ και g₈. Με βάση τα δεδομένα αυτά ποια θεωρείτε ότι κρίνεται καλύτερη επιλογή.

| | Κοινωνικό κριτήριο (1-5) | Κριτήριο Κόστους (Εκατ. €/MW) | Κριτήριο Εσόδων (€/MWh) | Αποτελεσματική λειτουργία (1-5) | Τεχνογνωσία (1-5) | Κύκλος ζωής (Ετη) | Περιβαλλοντικός αντίκτυπος (1-5) | Απαιτούμενη έκταση (W/m ²) | Κρατική υποστήριξη (1-5) |
|----------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|--|--------------------------|
| a | 4 | 2,0 | 406 | 3 | 5 | 18 | 4 | 15 | 3 |
| e | 3 | 7,7 | 127 | 5 | 4 | 48 | 2 | 25 | 2 |

Αποφασίζων: Τα κριτήρια κόστους και εσόδων είναι της μεγαλύτερης βαρύτητας. Στα κριτήρια αυτά η εναλλακτική a υπερισχύει εμφανώς της b ενώ παράλληλα η υπερίσχυση της e στα κριτήρια g₄, g₆ και g₈ δεν είναι μεγάλου εύρους. Θεωρώ λοιπόν ότι η a είναι καλύτερη της e.

Παρακάτω έχουμε μια γραφική απεικόνιση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε μέχρι την εύρεση της βέλτιστης εναλλακτικής μεταξύ αυτών που αποτελούν το πυρήνα της Electre IS (σχήμα 7).



Σχήμα 7 Υποστήριξη της απόφασης

Με βάση τα κριτήρια απόφασης που διαμορφώθηκαν στους πέντε άξονες και τα στοιχεία που δόθηκαν από τον αποφασίζοντα-υποψήφιο επενδυτή την ηλεκτροπαραγωγή από Α.Π.Ε προκύπτει το συμπέρασμα ότι για τις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα **κρίνεται καταλληλότερη επένδυση αυτή του φωτοβολταϊκού σταθμού στην ηπειρωτική Ελλάδα διασυνδεδεμένου στο ενιαίο διασυνδεδεμένο εθνικό δίκτυο.**

Καθίσταται σαφές ότι η αυτή η εναλλακτική αποτελεί τη βέλτιστη εναλλακτική για τον υποψήφιο επενδυτή ώστε να ικανοποιήσει με το καλύτερο τρόπο του στόχους και τις προσδοκίες του σε όλα τα επίπεδα υπερಿಸχύοντας στις περισσότερες από τις διαστάσεις που συνθέτουν τα κριτήρια του προβλήματος.

Παράλληλα, αν αλλάξουν τα δεδομένα του προβλήματος και ο επενδυτής δέχεται να ικανοποιήσει τους στόχους του σε κάποιο από τα κριτήρια όπου η εναλλακτική που επιλέχθηκε, δεν υπερисχύει των υπολοίπων έχει την ευχέρεια να μελετήσει τη περίπτωση επένδυσης και σε επιπλέον εναλλακτική που μπορεί να τον ικανοποιεί.

Πιο συγκεκριμένα, η επένδυση σε μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό (e) υπερέχει στα κριτήρια της αποτελεσματικής λειτουργίας και του κύκλου ζωής γεγονός που σημαίνει ότι εάν ο αποφασίζων κρίνει σκόπιμο να αυξήσει τη βαρύτητα των στόχων του προς αυτή τη κατεύθυνση τότε ο συνδυασμός αυτών των δύο επενδύσεων θα είναι η βέλτιστη επιλογή. Απ την άλλη η παραγωγή ηλεκτρισμού με πρώτη ύλη τη βιομάζα υπερέχει του διασυνδεδεμένου φ/β σταθμού στα κριτήρια της αποτελεσματικής λειτουργίας και της κρατικής υποστήριξης γεγονός που σημαίνει ότι εάν ο αποφασίζων κρίνει σκόπιμο να αυξήσει τη βαρύτητα των στόχων του προς αυτή τη κατεύθυνση τότε ο συνδυασμός αυτών των δύο επενδύσεων θα είναι η βέλτιστη επιλογή. Υπό αυτές τις υποθετικές συνθήκες και ο συνδυασμός επενδύσεων σε υδροηλεκτρικό σταθμό και παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα θα μπορούσε να αποτελεί κατάλληλη επιλογή για τον αποφασίζοντα.

7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

7.1 Σύνοψη

Συνοψίζοντας στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας εξετάστηκε η μοντελοποίηση του προβλήματος απόφασης επιλογής της βέλτιστης επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε στην Ελλάδα.

Αρχικά, παρουσιάστηκαν οι κατηγορίες των Α.Π.Ε οι οποίες μπορούν να βρουν εφαρμογή στον Ελληνικό χώρο. Στη συνέχεια έγινε μια περιγραφή του προβλήματος και η απαραίτητη, μέχρι σήμερα, βιβλιογραφική ανασκόπηση στη περιοχή του προβλήματος που εξετάζουμε. Έπειτα αναλύθηκε η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης ως μέθοδος λήψης αποφάσεων και μοντελοποιήθηκε, στα δεδομένα αυτής, το πρόβλημα που εξετάσαμε με βάση κριτήρια που κινούνται γύρω από πέντε άξονες: (α) Τεχνικός (β) Οικονομικός (γ) Κοινωνικός (δ) Περιβαλλοντικός και (ε) Πολιτικός.

Τέλος, αφού εφαρμόστηκε η προτεινόμενη μέθοδος στα δεδομένα ενός υποψήφιου επενδυτή για 9 εναλλακτικές επενδύσεις κι αφού επιτελέστηκε η προσομοίωση κάνοντας χρήση της πολυκριτηριακής μεθόδου ELECTRE IS επιλέχθηκε η βέλτιστη επένδυση.

7.2 Συμπεράσματα

Η υπάρχουσα κατάσταση στην Ελληνική αγορά ενέργειας και το πλούσιο γεωλογικό και κλιματικό δυναμικό της χώρας δίνει ξεκάθαρα επενδυτικά κίνητρα στον τομέα των Α.Π.Ε. Σε αυτή την έρευνα λαμβάνοντας υπόψη τη πολυπλοκότητα του προβλήματος επιλογής του είδους της επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε επιχειρήθηκε ο καθορισμός του προβλήματος απόφασης και η μοντελοποίηση των κριτηρίων απόφασης στους πέντε κύριους άξονες, που συμβάλλουν στην υλοποίηση της.

Η συμβολή της μεθόδου ELECTRE IS, με την ιδιαίτερη διάσταση που προσδίδει στην εξαγωγή συμπερασμάτων η ύπαρξη ψευδοκριτηρίων ήταν καθοριστική και οδήγησε αδιαμφισβήτητα σε έναν ορθολογικό τρόπο υποστήριξης της απόφασης.

Πριν την τελική απόφαση επένδυσης σε ένα έργο Α.Π.Ε ο υποψήφιος επενδυτής θα πρέπει να εξετάσει διεξοδικά την εφαρμογή του αποτελέσματος της έρευνας μέσα από το πρίσμα της επιχειρηματικής του δράσης, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους που δε σχετίζονται άμεσα με το πιθανό αποτέλεσμα όπως εκφράζεται αυτό μέσα από τα κριτήρια. Αυτό έχει να κάνει ενδεχομένως με το βαθμό της συνοχής που παρουσιάζει το αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου με τους στόχους και τις φιλοδοξίες του επενδυτή, το όραμα και τη κουλτούρα του καθώς επίσης σχετίζεται με τη συνοχή που παρουσιάζει η επιλογή της δράσης αυτής με τη γενικότερη επιχειρηματική δραστηριότητα του υποψήφιου επενδυτή.

7.3 Μελλοντικές προεκτάσεις

Η πολυκριτήρια αξιολόγηση των εναλλακτικών επενδύσεων ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε αναλύθηκε και περιγράφηκε λεπτομερώς και επιτυχώς στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Εντούτοις πρέπει να επισημανθεί ότι αυτή η εργασία αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση σε ένα πολυδιάστατο αντικείμενο μελέτης όπως είναι αυτό του ενεργειακού σχεδιασμού από Α.Π.Ε με τη χρήση της πλέον εγκεκριμένης μεθόδου στον τομέα της επιχειρησιακής έρευνα όπως η αυτή της πολυκριτήριας ανάλυσης.

Αυτή η έρευνα προσφέρει τη δυνατότητα νέων προοπτικών για εφαρμογές προς αυτή τη κατεύθυνση οι οποίες:

- Έχουν τη δυνατότητα να συμπεριλάβουν ως εναλλακτικές επενδύσεις ηλεκτροπαραγωγής και συνδυασμούς των αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα έρευνα (πχ υβριδικά συστήματα) ή ακόμα και επενδύσεις σε διατάξεις που στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και συμπαραγωγής και πυρηνικής ενέργειας.
- Αφορούν χώρες εκτός της Ελλάδας στις οποίες οι παράμετροι του προβλήματος διαφοροποιούνται, διαφορετικές εναλλακτικές αναδύονται και διαφορετικές βέλτιστες λύσεις είναι πολύ πιθανό να επέλθουν.
- Εξετάζουν την παρουσία πολλαπλών αποφασιζόντων στα πλαίσια της λήψης απόφασης. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και να συναθροιστούν τα προτιμησιακά δεδομένα περισσότερων αποφασιζόντων, σε ένα ολιστικό μοντέλο προτίμησης.
- Λαμβάνουν ως υποψήφιο επενδυτή το ελληνικό κράτος και χρησιμοποιούν την πολυκριτήρια μέθοδο σε συγκεκριμένες περιοχές της χώρας, με αποτέλεσμα να αποτελούν ένα βασικό εργαλείο του κρατικού ενεργειακού σχεδιασμού.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σ. Παπαθανασίου. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Αθήνα, 2008.
- [2] Μ. Παπαδόπουλος. *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές*. Αθήνα, 1997.
- [3] Κ.Θ. Ζέρβος. *Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις*. Αθήνα, 2011.
- [4] Α. Ζερβός. *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Αθήνα, 2008
- [5] Κ. Καγκαράκης. *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*. Αθήνα, 1992.
- [6] Α. Τσακρίδης. Πτυχιακή εργασία: *Επίπτωση της διείσδυσης φωτοβολταϊκών συστημάτων στο μη διασυνδεδεμένο Σ.Η.Ε. της Κρήτης*. 2012.
- [7] Α. Μαντήκος. Διπλωματική εργασία: *Προσομοίωση Ηλιοθερμικού Σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τεχνολογίας παραβολικών κατόπτρων*. Σεπτέμβριος 2011.
- [8] Greenpeace. *Concentrating Solar Power: Global Outlook*. 2009.
- [9] Greenpeace. *Concentrated Solar Thermal Power now*. 2005.
- [10] Ν. Μαμάσης. *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Αιολική ενέργεια*. 2011.
- [11] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Κ.Α.Π.Ε., Ζ.Ρ.Ε.Υ., ECOLE DE MINES DE PARIS. *Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε*. 1999.
- [12] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. *Ανεμογεννήτριες*, 2013.
- [13] Π. Πασχαλίδου. Διπλωματική εργασία: *Μελέτη των διαφορετικών μεθόδων και τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας*. 2010.
- [14] Δ.Ε. Παπαντώνης. Εκδόσεις Συμείων: *Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα*. Αθήνα, 2001.
- [15] Δ. Καραμπατάκη. Διπλωματική εργασία: *Η συμβολή των υδροηλεκτρικών έργων στις πολλαπλές χρήσεις νερού: η κατάσταση στην Ελλάδα*. Οκτώβριος, 2009.
- [16] Ε. Μπουτσέτσιου. Διπλωματική εργασία: *Ενεργειακή αξιοποίηση δασικής βιομάζας: η περίπτωση του Μετσόβου*. Οκτώβριος 2010.
- [17] Α. Μπουσδέκης, Διπλωματική εργασία: *Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ελληνικά νησιά*. Αθήνα, 2012.
- [18] Ο. Πολύζου, Διδακτορική Διατριβή: *Γεωθερμία: Βιώσιμη Ανάπτυξη και Τοπικές Κοινωνίες*. Αθήνα, 2007.
- [19] Ν. Αβραμίδου. Πτυχιακή εργασία: *Γεωθερμία*. Φεβρουάριος, 2011.
- [20] Ch Karakosta, Ch. Pappas, V. Marinakis, J. Psarras (2012). Renewable energy and nuclear power towards sustainable development: Characteristics and prospects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, pp. 187-197.
- [21] Η. Polatidis, Haralambopoulos, G. Munda, R. Vreeker, (2006). Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning, *Energy sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 1, pp. 181-193.

- [22] Th. Tsoutsos , M. Drandaki , N. Frantzeskaki, El. Iosifidis, I. Kiosses (2009), Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete, *Energy policy*, 37, pp. 1587-1600.
- [23] Α. Ζ. Γαλανού, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Χρονική Εξέλιξη-Σύγκριση*.2012.
- [24] Ευ. Χρ. Μόσχου, *Σύγκριση των Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας*. 2012.
- [25] Η. Πολατίδης, *Ενεργειακή Ανάλυση και Λήψη Αποφάσεων: Ένα Πολυκριτηριακό Μεθοδολογικό Πλαίσιο*. Οκτώβριος 2003.
- [26] E. Georgopoulou, D. Lalas , L. Papagiannakis (January 1996), A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option, *European journal of operational research*, 103,pp. 38-54.
- [27] L. Adair Turner. *The Renewable Energy Review Committee on Climate Change*. May 2011.
- [28] J. Shah, J. Li, M. King, *Comparing Renewable Sources of Energy*.2013.
- [29] T. Kaya ,C. Kahraman (2010), Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy Topsis methodology. *Expert systems with applications*,38,pp.6577-6585.
- [30] C Kahraman, I Kaya, S Cebi (2008), A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process.*Energy*,34,pp 1603-1616.
- [31] Naim H. Afgan , Maria G. Carvalho (2001), Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy* ,27,pp 739-755.
- [32] J. Burton, K. Hubacek (2007), Is small beautiful? A multicriteria assessment of small-scale energy technology applications in local governments.*Energy policy* ,35,pp 6402-6412.
- [33] F Cavallaro (February 2005), *An Integrated Multi-Criteria System to Assess Sustainable Energy Options: An Application of the Promethee Method*.
- [34] J-J. Wang , Y-Y Jing, C-F Zhang, J-H Zhao (2009), Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and sustainable energy reviews*,13,pp. 2263-2278.
- [35] Espen Løken (2005), *Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. Renewable and sustainable energy reviews*,11,pp. 1584-1595.
- [36] Π. Καρασαββίδης, Χ. Τζιμόπουλος, Χ. Ευαγγελίδης, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, *Εφαρμογή της μεθόδου AHP στην επιλογή της βέλτιστης θέσης κατασκευής φράγματος στην περιοχή Λιβαδιού Λαρίσης. Σύγκριση με το Συμβιβαστικό Προγραμματισμό*. Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου 2009.
- [37] Δ. Διακουλάκη. Σημειώσεις: *Ανάλυση Συστημάτων και Λήψη Αποφάσεων*. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. 2005.
- [38] Ν. Ματσατσίνης, Κ. Ζοπουνίδης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, *Συστήματα Αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια*. Αθήνα 2007.

- [39] Υπηρεσία Περιβάλλοντος. Υπουργείο Γεωργίας & Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος και Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών. *Development of Best Management Systems for High Waste Streams in Cyprus*. 2005.
- [40] Μ. Δούμπος, Σημειώσεις μαθήματος: *Πολυκριτήρια Συστήματα Αποφάσεων*, Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά, 2007.
- [41] Ε. Π. Σμυρλή. Διπλωματική εργασία: *Επιλογή κοινωνικών μέσων για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων με τη χρήση πολυκριτήριας ανάλυσης*. Ιούλιος 2012.
- [42] B. Roy, *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica. Paris, 1985.
- [43] Γ. Σίσκος, *Μοντέλα Αποφάσεων*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα, 2008.
- [44] Ph. Vincke, *Multicriteria Decision Aid*. New York Wiley, 1992.
- [45] European Commission, "Current Situation and Perspectives of Small Hydro in Greece", Workshop Proceedings on "New and Improved Small Hydropower Technologies for the Balkan Peninsula Market", Athens, 1999.
- [46] Εισαγωγή την ενεργειακή τεχνολογία: Γεωθερμική ενέργεια ,Ιωάννης Στεφανάκος, Αθήνα, 2010.
- [47] Εισαγωγή την ενεργειακή τεχνολογία: Βιομάζα, Αλεξάνδρα Κατσίρη, Αθήνα, 2011.
- [48] Greenpeace. *Πράσινη ανάπτυξη και θέσεις εργασίας*. Μάιος, 2009.
- [49] N.Zografakis, E.Sifaki, M.Pagalou, G.Nikitaki, V.Psarakis, K.Tsagarakis,(2010). Assessment of public acceptance and willingness to pay for renewable energy sources in Crete. *Renewable and sustainable energy reviews*,14,pp 1088-1095.
- [50] Κουβαρά Ιωάννα. Πτυχιακή εργασία: *Κοινωνική αποδοχή των Α.Π.Ε στην Ελλάδα*. Αθήνα, 2010.
- [51] Τζανακάκη Ε, Μαυρογιώργου Δ, ,Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας. *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εξοικονόμηση ενέργειας: Η αποδοχή του κοινού*.2005.
- [52] Νίκος Μαμάσης. Σημειώσεις μαθήματος «Εισαγωγή στην ενεργειακή Τεχνολογία», *Αιολική Ενέργεια*. Αθήνα, 2010.
- [53] International Energy Agency. *Technology Roadmap: Concentrating Solar Power* .2010
- [54] International Energy Agency. *Technology Roadmap Concentrating Solar Power*.2009
- [55] International Energy Agency. *Renewable Energy Essentials: Hydropower*. 2010
- [56] International Energy Agency. *Technology Roadmap Wind energy*. 2009
- [57] Department of Energy and Climate Change. *Review of the generation costs and deployment potential of renewable electricity technologies in the UK* , October 2011.

- [58] UK Department of Energy and Climate Change. *UK Electricity Generation Costs Update*. Mott MacDonald, 2010.
- [59] Δικηγορική Εταιρεία Κοσμίδης & Partner. Διαδικτυακός ιστότοπος: www.dikigoros.com.gr . 2013.
- [60] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. Διαδικτυακός ιστότοπος: www.rae.gr. 2013.
- [61] Eurelectric. *Efficiency in electricity generation*. July 2003.
- [62] Ν.Μαμάσης. *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα*,2010.
- [63] Ι.Στεφανάκος, Ν.Μαμάσης. *Εισαγωγή στην ενεργειακή Τεχνολογία: Υδροηλεκτρική Ενέργεια*. Αθήνα, 2010.
- [64] International Energy Agency. *Technology Roadmap:Geothermal Heat and Power*.2011.
- [65] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Βιομάζας*.2013.
- [66] Energy sector management Assistance Program. *Technical report ,Geothermal handbook: Planning and Financing Power Generation*.2012.
- [67] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. *Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων*. Απρίλιος 2011.
- [68] Ανδρέας Γαλούσης. Διπλωματική εργασία: *Μελέτη Σκοπιμότητας Ίδρυσης Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού*. Πειραιάς, 2009.
- [69] Solar power plant Lassithi. *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Ηλιοθερμικού Σταθμού*.2012.
- [70] International Energy Agency. *Renewable Energy Essentials: Hydropower*.2010
- [71] Varun , I.K. Bhat , Ravi Prakash , (2008). LCA of renewable energy for electricity generation systems: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13,pp. 1067-1073.
- [72] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Διαδικτυακός ιστότοπος : www.cres.gr .2013.
- [73] European environmental Agency. Διαδικτυακός ιστότοπος : www.eea.europa.eu .2013.
- [74] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Διαδικτυακός ιστότοπος: www.ypeka.gr .2013.
- [75] Ατλαντίς συμβουλευτική Κύπρου. *Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την κατασκευή και λειτουργία αιολικού πάρκου στην περιοχή*. Οκτώβριος 2010.
- [76] Alice Favero, Emanuele Massetti,(2013). Trade of woody Biomass for Electricity Generation under Climate Mitigation Policy. *Resource and Energy Economics* , 36, pp.166-190.
- [77] U.S. Department of Energy. *Geothermal Technologies Program, Energy Efficiency and Renewable Energy*.2006.
- [78] Figueira, J., S. Greco, and M. Ehrgott (Eds.). *State-of-Art of Multiple Criteria Decision Analysis*. *Dortrecht* : Kluwer Academic Publishers, 2005.

- [79] Roy, B. and D. Bouyssou. *Aide multicritère à la décision: Méthodes et cas*. Paris : Economica, 1993.
- [80] Simos, J. . *L'évaluation environnementale: Un processus cognitif négocié*. Thèse de doctorat, DGF EPFL, Lausanne, 1990a.
- [81] Simos, J. *Evaluer l'impact sur l'environnement: Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation.*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1990b.
- [82] Siskos, E., Tsotsolas, N., Christodoulakis, N. (2013). *How robust is the elicitation of criteria weights through Simos' procedure?*, 26th European Conference on Operational Research, Rome.
- [83] Figueira, J. and Roy, R. (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139, pp. 317-326.

9 Παράρτημα

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάστηκαν οι τιμές των διαστάσεων και εν τέλει των κριτηρίων που λήφθηκαν υπόψη για τη μοντελοποίηση του προβλήματος που εξετάσαμε. Από τα εννέα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν τα οκτώ προέκυψαν από συγχώνευση δύο η περισσότερων διαστάσεων. Στο σημείο αυτό γίνεται περιγραφή της μεθόδου συγχώνευσης για το εκάστοτε κριτήριο. Επίσης, παρακάτω έχουμε και τον αρχή βαθμονόμησης των διαστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν σε μορφή κλίμακας.

Κοινωνικό κριτήριο g₁

1. Διάσταση: Θέσεις εργασίας

Οι τιμές της διάστασης φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 25 Αξία διάστασης : Θέσεις Εργασίας

| Εναλλακτική | Θέσεις Εργασίας (Εργατοέτη/MW) |
|--|-----------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 45 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 45 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 7,5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 7,5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 27 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 19 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 20 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 56 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 48 |

2. Διάσταση: Κοινωνική Αποδοχή

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 26 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης: Κοινωνική Αποδοχή

| Κλίμακα 1-5 | Κοινωνική αποδοχή |
|-------------|--|
| 5 | Γενική γνώση 95% και περίπου 90 % θετική εκτίμηση στις έρευνες |
| 4 | Γενική γνώση 95% και περίπου 85 % θετική εκτίμηση στις έρευνες |
| 3 | Γενική γνώση 75% και περίπου 90 % θετική εκτίμηση στις έρευνες |
| 2 | Γενική γνώση 50% και περίπου 55 % θετική εκτίμηση στις έρευνες |
| 1 | Σχεδόν Μηδενική γνώση |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 27 Αξία διάστασης: Κοινωνική Αποδοχή

| Εναλλακτική | "Περιγραφή τιμών" | Κλίμακα |
|--|--|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Γενική γνώση 95% και περίπου 90 % θετική εκτίμηση στις έρευνες | 5 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Γενική γνώση 95% και περίπου 90% θετική εκτίμηση στις έρευνες | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Γενική γνώση 95% και περίπου 85 % θετική εκτίμηση στις έρευνες | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Γενική γνώση 95% και περίπου 85 % θετική εκτίμηση στις έρευνες | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Γενική γνώση 75% και περίπου 90 % θετική εκτίμηση στις έρευνες | 3 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Γενική γνώση 95% και περίπου 90 % θετική εκτίμηση στις έρευνες | 5 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Γενική γνώση 95% και περίπου 90% θετική εκτίμηση στις έρευνες | 5 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Γενική γνώση σχεδόν μηδενική | 1 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Γενική γνώση 50% και περίπου 55 % θετική εκτίμηση στις έρευνες | 2 |

3. Διάσταση: Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 28 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης: Επιπλέον κοινωνικά οφέλη

| Κλίμακα 1-5 | Επιπλέον κοινωνικά οφέλη |
|-------------|---|
| 5 | Γρήγορη κάλυψη αιχμής ζήτησης διασυνδεδεμένου συστήματος και επιπλέον χρήσεις |
| 4 | Κάλυψη ζήτησης μη διασυνδεδεμένου συστήματος |
| 3 | Δυνατότητα αποθήκευσης και συνεχούς παροχής ενέργειας |
| 2 | Συνεχής παροχή ενέργειας |
| 1 | - |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 29 Αξία διάστασης: Επιπλέον κοινωνικά οφέλη

| Εναλλακτική Δράση | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|--|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | - | 1 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Κάλυψη ζήτησης μη διασυνδεδεμένου συστήματος | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | - | 1 |

| | | |
|--|--|---|
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Κάλυψη ζήτησης μη διασυνδεδεμένου συστήματος | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου και δυνατότητα χρήσης του νερού για άρδευση-ύδρευση κ.α. | 5 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Δυνατότητα αποθήκευσης και συνεχούς παροχής ενέργειας | 3 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Κάλυψη ζήτησης μη διασυνδεδεμένου συστήματος και δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας | 4 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Συνεχής παροχή ενέργειας | 2 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Δυνατότητα αποθήκευσης και συνεχούς παροχής ενέργειας | 3 |

Για τη συγχώνευση των τριών διαστάσεων έγινε κλιμάκωση της διάστασης “θέσεις εργασίας” όπου η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί σε 5/5 ενώ η ελάχιστη 1/5. Η τελική τιμή του κριτηρίου προκύπτει με συνδυασμό των τριών διαστάσεων σε κλίμακα 1-5.

Πίνακας 30 Αξία κοινωνικού κριτηρίου

| Εναλλακτική | Θέσεις εργασίας (Εργατοέτη /MW) | Θέσεις εργασίας (1 - 5) | Κοινωνική Αποδοχή (1-5) | Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη (1-5) | Αξία κριτηρίου (1-5) |
|--|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 45 | 4 | 5 | 1 | 4 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 45 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 7,5 | 1 | 4 | 1 | 2 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 7,5 | 1 | 4 | 4 | 3 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 27 | 3 | 3 | 5 | 3 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 19 | 2 | 5 | 3 | 3 |

| | | | | | |
|---|----|---|---|---|----------|
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 20 | 2 | 5 | 4 | 3 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 56 | 5 | 1 | 2 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 48 | 4 | 2 | 3 | 3 |

Κριτήριο κόστους g₂

Η τελική τιμή του κριτηρίου αυτού προκύπτει από τη σταθμισμένη άθροιση των δύο διαστάσεων κόστους επένδυσης (70%) και κόστους λειτουργίας (30%) και συντήρησης.

Πίνακας 31 Αξία κριτηρίου κόστους

| Εναλλακτική | Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/MW) | Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (χιλιάδες €/GWh) | Κριτήριο κόστους (Εκατομμύρια €/MW) |
|--|---|--|--|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 2 | 1,9 | 2,0 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 2,3 | 2,1 | 2,2 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 1,4 | 15 | 5,5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 1,7 | 17 | 6,3 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 2,4 | 20 | 7,7 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 5 | 1,8 | 4,0 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 5,8 | 2 | 4,7 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 3,3 | 43 | 15,2 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 3,1 | 53 | 18,1 |

Κριτήριο εσόδων g₃

Η τελική τιμή του κριτηρίου αυτού προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των δύο διαστάσεων, της τιμής πώλησης ενέργειας και της επιδότησης (σε μορφή ποσοστού).

Πίνακας 32 Αξία κριτηρίου εσόδων

| Εναλλακτική | Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh) | Επιδότηση (%) | Κριτήριο εσόδων (€/MWh) |
|--|--------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 290 | 40 | 406 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 290 | 30 | 377 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 87,85 | 40 | 123 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 99,45 | 30 | 129 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 87,85 | 45 | 127 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 274,85 | 40 | 385 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 274,85 | 30 | 357 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 99,45 | 40 | 139 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 150 | 45 | 218 |

Αποτελεσματική λειτουργία g₄

1. Διάσταση: Αποδοτικότητα

Οι τιμές για την διάσταση αυτή φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 33 Αξία διάστασης : Αποδοτικότητα

| Εναλλακτική | Αποδοτικότητα (%) |
|--|-------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 15% |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 15% |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 35% |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 35% |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 90% |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 16% |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 16% |
| Διάταξη γεωθερμίας | 15% |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 40% |

2. Διάσταση: Συμβατότητα

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 34 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : Συμβατότητα

| Κλίμακα 1-5 | Συμβατότητα |
|-------------|----------------|
| 5 | Πάρα πολύ καλή |
| 4 | - |
| 3 | Πολύ καλή |
| 2 | - |
| 1 | Καλή |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 35 Αξία διάστασης : Συμβατότητα

| Εναλλακτική | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|--|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Καλή σε περιοχές της Πελοποννήσου και της Αττικής | 1 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Πάρα πολύ καλή σε νησί όπως Κρήτη, Ρόδος και Χίος | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Πολύ καλή σε περιοχές της Στερεάς Ελλάδας και της Πελοποννήσου | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Πάρα πολύ καλή σε Κυκλάδες, Επτάνησα και Κρήτη | 5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Πάρα πολύ καλή σε ποτάμι όπως ο Αχελώος | 5 |

| | | |
|---|---|---|
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Καλή σε περιοχές της Πελοποννήσου και της Αττικής | 1 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Πάρα πολύ καλή σε νησί όπως Κρήτη, Ρόδος και Χίος | 5 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Πολύ καλή σε περιοχές της μύλου, Νισύρου και Σαντορίνης | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Πολύ καλή σε αγροτικές περιοχές | 3 |

3. Διάσταση: Αξιοπιστία

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 36 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : Αξιοπιστία

| Κλίμακα | Αξιοπιστία |
|---------|---|
| 5 | Καμία εξάρτηση από γεωλογικές-κλιματικές συνθήκες και συνεχής, διαχρονική συμπεριφορά |
| 4 | Καμία εξάρτηση από γεωλογικές-κλιματικές συνθήκες και μικρή εξάρτηση από πρώτη ύλη |
| 3 | Εξάρτηση από μία γεωλογική-κλιματική συνθήκη |
| 2 | Εξάρτηση από περισσότερες γεωλογικές-κλιματικές συνθήκες |
| 1 | Εξάρτηση από μία γεωλογική-κλιματική συνθήκη και απρόβλεπτη διακύμανση ενέργειας |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 37 Αξία διάστασης : Αξιοπιστία

| Εναλλακτική | "Περιγραφή Τιμών" | Τιμή |
|--|---|------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Εξάρτηση από ηλιοφάνεια | 3 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Εξάρτηση από ηλιοφάνεια | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Εξάρτηση από τον άνεμο και σχετικά απρόβλεπτη διακύμανση ενέργειας | 1 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Εξάρτηση από τον άνεμο και σχετικά απρόβλεπτη διακύμανση ενέργειας | 1 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Άριστη διαχρονική συμπεριφορά και πρακτικά μηδενική εξάρτηση (λιγοστή εξάρτηση από βροχοπτώσεις) | 5 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Εξάρτηση από ηλιοφάνεια και τους κοντινούς υδάτινους αποδέκτες | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Εξάρτηση από ηλιοφάνεια και τους κοντινούς υδάτινους αποδέκτες | 2 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Συνεχής ημερήσια λειτουργία χωρίς εξάρτηση από φυσικές αιτίες που μπορεί να την παρεμποδίσουν (λιγοστή αλλά προβλεπόμενη εξάρτηση γεωθερμικού | 5 |

δυναμικού)

| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Συνεχής ημερήσια λειτουργία χωρίς εξάρτηση από φυσικές αιτίες που μπορεί να την παρεμποδίσουν (λιγιστή αλλά προβλεπόμενη εξάρτηση από την πρώτη ύλη) | 5 |
|--------------------------------------|--|---|

Για τη συγχώνευση των τριών διαστάσεων έγινε κλιμάκωση της διάστασης “Αποδοτικότητα” όπου η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί σε 5/5 ενώ η ελάχιστη 1/5. Η τελική τιμή του κριτηρίου προκύπτει με ένωση των τριών διαστάσεων σε κλίμακα 1-5.

Πίνακας 38 Αξία κριτηρίου αποτελεσματικής λειτουργίας

| Αποτελεσματική Λειτουργία | | | | | |
|--|-------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Εναλλακτική | Αποδοτικότητα (%) | Αποδοτικότητα (κλίμακα 1-5) | Συμβατότητα (1-5) | Αξιοπιστία (1-5) | Αξία κριτηρίου (1-5) |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 15 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 15 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 35 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 35 | 2 | 5 | 1 | 3 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 90 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 16 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 16 | 1 | 5 | 2 | 3 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 15 | 1 | 3 | 5 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 40 | 2 | 3 | 5 | 4 |

Τεχνογνωσία g₅

1. Διάσταση: Ασφαλής Λειτουργία

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 39 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : Ασφαλής λειτουργία

| Κλίμακα 1-5 | Ασφάλεια λειτουργίας |
|-------------|------------------------|
| 5 | Εμπειρία > 15 έτη |
| 4 | Εμπειρία = 14 - 15 έτη |
| 3 | Εμπειρία < 14 έτη |
| 2 | Μικρή εμπειρία < 5έτη |
| 1 | Μηδενική εμπειρία |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 40 Αξία διάστασης : Ασφαλής λειτουργία

| Εναλλακτική | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|---|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Λειτουργία φωτοβολταϊκών σταθμών στην Ελλάδα τα τελευταία 15 έτη | 4 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Λειτουργία φωτοβολταϊκών σταθμών στην Ελλάδα τα τελευταία 15 έτη | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Λειτουργία αιολικού πάρκου στην Ελλάδα από το 1982 | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Λειτουργία αιολικού πάρκου στην Ελλάδα από το 1982 | 5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Πάνω από 20 έτη εμπειρίας με συνεχή λειτουργία χωρίς προβλήματα | 5 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Μηδενική εμπειρία στην Ελλάδα σε αυτής της τάξης μεγέθους εφαρμογές | 1 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Μηδενική εμπειρία στην Ελλάδα σε αυτής της τάξης μεγέθους εφαρμογές | 1 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Μηδενική εμπειρία στην Ελλάδα σε αυτής της τάξης μεγέθους εφαρμογές | 1 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Μικρή εμπειρία | 2 |

2. Διάσταση: Know how

Πίνακας 41 Αξία διάστασης : Know How

| Εναλλακτική | Know How (Mw) |
|--|---------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 1800 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 150 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 1500 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 280 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 218 |

| | |
|--|------|
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 0 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 0 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 0 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 45,5 |

Για τη συγχώνευση των τριών διαστάσεων έγινε κλιμάκωση της διάστασης “know how” όπου η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί σε 5/5 ενώ η ελάχιστη 1/5. Η τελική τιμή του κριτηρίου προκύπτει με ένωση των δύο διαστάσεων σε κλίμακα 1-5.

Πίνακας 42 Αξία Κριτηρίου τεχνογνωσίας

| Εναλλακτική | Ασφαλής Λειτουργία (1-5) | Know How (MW) | Know How (1-5) | Αξία κριτηρίου (1-5) |
|---|----------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------|
| <i>Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος)</i> | 4 | 1400 | 5 | 5 |
| <i>Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος)</i> | 4 | 120 | 1 | 3 |
| <i>Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο)</i> | 5 | 1500 | 5 | 5 |
| <i>Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο)</i> | 5 | 280 | 2 | 4 |
| <i>Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα</i> | 5 | 213 | 2 | 4 |
| <i>Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος)</i> | 1 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος)</i> | 1 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Διάταξη γεωθερμίας</i> | 1 | 0 | 1 | 1 |
| <i>Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα</i> | 2 | 45 | 1 | 2 |

Κύκλος ζωής g₆

Η τελική τιμή του κριτηρίου αυτού προκύπτει ως εξής: Αφαιρείται από το Χρόνο ζωής το πενταπλάσιο του χρόνου προετοιμασίας. Η τελική περιγραφή του κριτηρίου είναι σε έτη.

Πίνακας 43 Αξία κριτηρίου κύκλου ζωής

| <i>Εναλλακτική</i> | <i>Χρόνος προετοιμασίας και εγκατάστασης (Έτη)</i> | <i>Χρόνος Ζωής (Έτη)</i> | <i>Αξία κριτηρίου (Έτη)</i> |
|---|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος)</i> | 0,5 | 20 | 18 |
| <i>Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος)</i> | 1 | 20 | 15 |
| <i>Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο)</i> | 2,5 | 20 | 8 |
| <i>Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο)</i> | 3 | 20 | 5 |
| <i>Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα</i> | 4,5 | 70 | 48 |
| <i>Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος)</i> | 3,5 | 27 | 10 |
| <i>Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος)</i> | 3,5 | 27 | 10 |
| <i>Διάταξη γεωθερμίας</i> | 6,5 | 80 | 48 |
| <i>Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα</i> | 2,5 | 50 | 38 |

Περιβαλλοντικός αντίκτυπος g7

1. Διάσταση: Επίδραση στο έδαφος

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 44 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : Επίδραση στο έδαφος

| Κλίμακα 1-5 | Επίδραση στο έδαφος |
|-------------|--|
| 5 | Απλή δέσμευση εδάφους |
| 4 | Δέσμευση εδάφους και ρύπανση σε ειδικές περιπτώσεις |
| 3 | Απλή δέσμευση εδάφους και καθιζήσεις |
| 2 | Απλή δέσμευση εδάφους , καθιζήσεις σε ειδικές περιπτώσεις και αύξηση φυσικής σεισμικότητας εδάφους |
| 1 | Πάγια ρύπανση και αλλοίωση του εδάφους κατά την λειτουργία και κάλυψη του εδάφους με νερό |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 45 Αξία διάστασης : Επίδραση στο έδαφος

| Εναλλακτική | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|--|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Ρύπανση του εδάφους μόνο σε περιπτώσεις διαρροής κάποιου από τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρησή τους. | 4 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Ρύπανση του εδάφους μόνο σε περιπτώσεις διαρροής κάποιου από τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρησή τους. | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Δεν επηρεάζουν τις χρήσεις της γης στην οποία εγκαθίστανται, εκτός ίσως από το γεγονός ότι καθιστούν αδύνατη τη δόμηση κτιρίων σε αυτή. | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Δεν επηρεάζουν τις χρήσεις της γης στην οποία εγκαθίστανται, εκτός ίσως από το γεγονός ότι καθιστούν αδύνατη τη δόμηση κτιρίων σε αυτή. | 5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Εμποδίζουν την τροφοδοσία με φερτές ύλες των κατάντη εκτάσεων , μεταβάλλονται οι χρήσεις της γης στην περιοχή του ταμιευτήρα και ταυτόχρονα, έχουμε κάλυψη ενός μεγάλου μέρους ξηράς με νερό, γεγονός το οποίο προκαλεί προβλήματα επιβίωσης στα προϋπάρχοντα χερσαία οικοσυστήματα τα οποία δεν προσαρμόζονται εύκολα στην αλλαγή αυτή. | 1 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Ρύπανση του εδάφους μόνο σε περιπτώσεις διαρροής κάποιου από τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρησή τους. | 4 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Ρύπανση του εδάφους μόνο σε περιπτώσεις διαρροής κάποιου από τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρησή τους. | 4 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Καθιζήσεις όταν παρατηρείται μεγαλύτερη απομάκρυνση γεωθερμικών ρευστών από τη φυσική τους εισροή, σε περιοχές γεωθερμικών σταθμών παρατηρείται πολλές φορές αύξηση της φυσικής σεισμικότητας του εδάφους | 2 |

2. Διάσταση: Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 46 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης: Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες

| Κλίμακα 1-5 | Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες |
|-------------|---|
| 5 | Καμία |
| 4 | Απλή χρήση του νερού (έμμεση επιρροή στους υδάτινους αποδέκτες) |
| 3 | Χρήση νερού και χρήση χημικών στους υδάτινους αποδέκτες |
| 2 | Χρήση νερού , αλλοίωση της φυσικής ροής και διατάραξη του υδάτινου οικοσυστήματος |
| 1 | Χρήση νερού, αλλοίωση της φυσικής ροής , χρήση χημικών και διατάραξη του οικοσυστήματος |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 47 Αξία διάστασης : Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες

| Εναλλακτική Δράση | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|---|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Καμία | 5 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Καμία | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Καμία | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Καμία | 5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Διακόπτεται η φυσική ροή του ποταμού και έχουμε προβλήματα υδροληψίας των οικοσυστημάτων που ζουν στα κατάντη. | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Τα χημικά που χρησιμοποιούνται στη συντήρηση και οι μεγάλες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται ως μέσο ψύξης και στη συνέχεια απορρίπτονται στον υδάτινο φορέα απ' όπου αντλήθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του υδάτινου φορέα και τη διατάραξη της ισορροπίας του οικοσυστήματος που ζει στον υγρότοπο. | 3 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Τα χημικά που χρησιμοποιούνται στη συντήρηση και οι μεγάλες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται ως μέσο ψύξης και στη συνέχεια απορρίπτονται στον υδάτινο φορέα απ' όπου αντλήθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του υδάτινου φορέα και τη διατάραξη της ισορροπίας του οικοσυστήματος που ζει στον υγρότοπο. | 3 |

| | | |
|--------------------------------------|---|---|
| Διάταξη γεωθερμίας | Μεγάλες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται ως μέσο ψύξης και στη συνέχεια απορρίπτονται στον υδάτινο φορέα απ' όπου αντλήθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του υδάτινου φορέα και τη διατάραξη της ισορροπίας του οικοσυστήματος που ζει στον υγρότοπο. | 4 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Μεγάλες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται ως μέσο ψύξης και στη συνέχεια απορρίπτονται στον υδάτινο φορέα απ' όπου αντλήθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του υδάτινου φορέα και τη διατάραξη της ισορροπίας του οικοσυστήματος που ζει στον υγρότοπο. | 4 |

3. Διάσταση: Ηχορύπανση

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 48 Βαθμονόμηση κλίμακας διάστασης: Ηχορύπανση

| Κλίμακα 1-5 | Ηχορύπανση |
|-------------|--|
| 5 | Ηχορύπανση μόνο κατά τη τοποθέτηση |
| 4 | - |
| 3 | Ηχορύπανση κατά την λειτουργία που αντιμετωπίζεται με επιπρόσθετο εξοπλισμό ή προηγμένη τεχνολογία |
| 2 | - |
| 1 | Αισθητή και μη αντιμετωπίσιμη ηχορύπανση |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 49 Αξία διάστασης: Ηχορύπανση

| Εναλλακτική Δράση | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|--|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Προκαλείται ηχορύπανση μόνο κατά την φάση τοποθέτησης | 5 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Προκαλείται ηχορύπανση μόνο κατά την φάση τοποθέτησης | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Προκαλείται ηχορύπανση κατά τη λειτουργία η οποία όμως μπορεί να εξαιρεθεί με τις αθόρυβες Α/Γ | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Προκαλείται ηχορύπανση κατά τη λειτουργία η οποία όμως μπορεί να εξαιρεθεί με τις αθόρυβες Α/Γ | 3 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Προκαλείται ηχορύπανση μόνο κατά την φάση τοποθέτησης | 5 |

| | | |
|--|--|---|
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Δημιουργείται έντονος θόρυβος από ανεμιστήρες αντλίες και γεννήτριες κατά τη λειτουργία | 1 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Δημιουργείται έντονος θόρυβος από ανεμιστήρες αντλίες και γεννήτριες κατά τη λειτουργία | 1 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Η ηχορύπανση που δημιουργείται μπορεί να αντιμετωπισθεί μερικώς με τη χρήση σιγαστήρων | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Αξιοσημείωτη ηχορύπανση κατά τη λειτουργία των μηχανών της μονάδας και των οχημάτων μεταφοράς καυσίμου | 1 |

4. Διάσταση: Αλλοίωση τοπίου

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 50 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης: Αλλοίωση τοπίου

| Κλίμακα 1-5 | Αλλοίωση τοπίου |
|-------------|--|
| 5 | Υποκειμενική αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος |
| 4 | Αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος |
| 3 | Αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος με εκπομπές αερίων |
| 2 | Αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος με επιπλέον παρουσία κτηριακών εγκαταστάσεων |
| 1 | Έντονη αλλοίωση και διατάραξη του οικοσυστήματος με μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 51 Αξία διάστασης: Αλλοίωση τοπίου

| Εναλλακτική Δράση | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|---|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Υποβάθμιση του τοπίου ανάλογη της καταλαμβανόμενης έκτασης και μικρή διατάραξη οικοσυστήματος | 4 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Υποβάθμιση του τοπίου ανάλογη της καταλαμβανόμενης έκτασης και μικρή διατάραξη οικοσυστήματος | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Υποκειμενική αλλοίωση του τοπίου χωρίς καμία ουσιαστική διατάραξη του οικοσυστήματος | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Υποκειμενική αλλοίωση του τοπίου χωρίς καμία ουσιαστική διατάραξη του οικοσυστήματος | 5 |

| | | |
|--|---|---|
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Έντονη αλλοίωση με την ύπαρξη φράγματος που διαταράσσει έντονα και το οικοσύστημα ενώ επιπλέον απαιτούνται και κτιριακές εγκαταστάσεις(προβλήματα επιβίωσης στα προϋπάρχοντα χερσαία οικοσυστήματα τα οποία δεν προσαρμόζονται εύκολα στην αλλαγή αυτή) | 1 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Υποβάθμιση του τοπίου ανάλογη της καταλαμβανόμενης έκτασης και μικρή διατάραξη οικοσυστήματος (μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των φ/β) | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Υποβάθμιση του τοπίου ανάλογη της καταλαμβανόμενης έκτασης και μικρή διατάραξη οικοσυστήματος (μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των φ/β) | 2 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Βρίσκεται συνήθως σε περιοχές μεγάλης φυσική ομορφιάς με συνέπεια να έχουμε μεγάλη αισθητική υποβάθμιση του τοπίου ενώ παράλληλα είναι πιθανή η μόλυνση αυτού λόγω των εκπομπών αερίων (CO ₂ ,H ₂ S) | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Έντονη αισθητική υποβάθμιση κυρίως λόγω του μεγέθους των μονάδων και των έντονων εκλυόμενων οσμών | 3 |

Η τελική τιμή του κριτηρίου προκύπτει από το συνδυασμό των τεσσάρων διαστάσεων σε κλίμακα 1-5.

Πίνακας 52 Αξία περιβαλλοντικού αντίκτυπου

| Εναλλακτική | Επίδραση στο έδαφος | Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες | Ηχορύπανση | Αλλοίωση τοπίου | Αξία κριτηρίου (κλίμακα 1-5) |
|--|---------------------|------------------------------------|------------|-----------------|------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 1 | 2 | 5 | 1 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 |

Απαιτούμενη έκταση g_8

Για τον υπολογισμό του λόγου w/m^2 μελετήθηκαν εγκαταστάσεις παραπλήσιου μεγέθους όπως υδροηλεκτρικός σταθμός 7 MW εκτάσεως 300 στρεμμάτων, ηλιοθερμικός σταθμός 70 MW συνολικής εκτάσεως 1.790 στρεμμάτων, φωτοβολταϊκός σταθμός 1 MW συνολικής εκτάσεως 77 στρεμμάτων, αιολικό πάρκο 70 MW έκτασης 1000 στρεμμάτων κ.λ.π.

Πίνακας 53 Αξία απαιτούμενης έκτασης

| Εναλλακτική Δράση | Απαιτούμενη έκταση (W/m^2) |
|---|--------------------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 15 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 15 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 5 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 25 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 40 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 40 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 60 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 3,8 |

Κρατική υποστήριξη g₂

1. Διάσταση: Περιθώριο διείσδυσης

Η συμβατότητα, των υπό εξέταση έργων, με την ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας εκφράζεται μέσω του περιθωρίου διείσδυσης της κάθε Α.Π.Ε στο δίκτυο και εν τέλη με τον ενεργειακό στόχο της Ελλάδας έως το 2020. Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται σε ποσοστό το περιθώριο επί του στόχου.

Πίνακας 54 Αξία διάστασης: Περιθώριο διείσδυσης

| Εναλλακτική | Εγκατεστημένη Ισχύς (Έως 2012) (MW) | Στόχος Ελλάδας 2020 (MW) | Περιθώριο Διείσδυσης |
|--|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 1950 | 2200 | 13% |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 1950 | 2200 | 13% |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 1700 | 7500 | 77% |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 1700 | 7500 | 77% |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 217 | 350 | 37% |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 0 | 250 | 100% |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 0 | 250 | 100% |
| Διάταξη γεωθερμίας | 0 | 120 | 100% |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 45.5 | 350 | 87% |

2. Διάσταση: Σταθερότητα πολιτικής

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της διάστασης:

Πίνακας 55 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης: Σταθερότητα πολιτικής

| Κλίμακα 1-5 | Σταθερότητα Πολιτικής |
|-------------|--|
| 5 | Πολλές διευκολύνσεις και αυτοματοποιημένες διαδικασίες λόγω μεγάλου αριθμού αιτήσεων |
| 4 | Αρκετές αιτήσεις με αυτοματοποιημένες διαδικασίες |
| 3 | Μεγάλο διάστημα αδειοδότησης και επιπλέον απαιτούμενες μελέτες |
| 2 | Ασαφές πλαίσιο και καμία υλοποίηση μέχρι σήμερα |
| 1 | Μεγάλο διάστημα αδειοδότησης με επιπλέον απαιτούμενες μελέτες ύστερα από διαγωνισμό και για συγκεκριμένες περιοχές του Ελλαδικού χώρου |

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών με βάση τη κλίμακα είναι η εξής:

Πίνακας 56 Αξία διάστασης: Σταθερότητα πολιτικής

| Εναλλακτική Δράση | "Περιγραφή Τιμών" | Κλίμακα |
|--|--|---------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Μεγάλος αριθμός αιτήσεων με πολλές γραφειοκρατικές διευκολύνσεις και νομοθετικές τροποποιήσεις τα τελευταία χρόνια | 5 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Μεγάλος αριθμός αιτήσεων με πολλές γραφειοκρατικές διευκολύνσεις και νομοθετικές τροποποιήσεις τα τελευταία χρόνια | 5 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | Ιστορικό αρκετών αιτήσεων και αδειοδοτήσεων που προδιαγράφει αυτοματοποιημένες διαδικασίες. | 4 |
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | Ιστορικό αρκετών αιτήσεων και αδειοδοτήσεων που προδιαγράφει αυτοματοποιημένες διαδικασίες. | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | Παρατηρούνται καθυστερήσεις στην περιβαλλοντική αδειοδότηση καθώς χρειάζονται αρκετές μελέτες όπως μελέτη προέγκρισης χωροθέτησης και έγκρισης περιβαλλοντικών όρων(ΕΠΟ). | 3 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | Έχει δοθεί η δυνατότητα αιτήσεων αλλά σε ασαφές πλαίσιο από το 2010 αλλά μέχρι και σήμερα δεν έχει υλοποιηθεί καμία. | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | Έχει δοθεί η δυνατότητα αιτήσεων αλλά σε ασαφές πλαίσιο από το 2010 αλλά μέχρι και σήμερα δεν έχει υλοποιηθεί καμία. | 2 |
| Διάταξη γεωθερμίας | Αδειοδότηση μέσω διαγωνισμού για έρευνα γεωθερμικού δυναμικού .Μέχρι σήμερα έχουν υλοποιηθεί λιγότερες και μικρές μονάδες. | 1 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | Αρκετές περιβαλλοντικές απαιτήσεις λόγω των έντονων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Δεν έχουν γίνει σοβαρές τροποποιήσεις στη νομοθεσία για απλοποίηση της διαδικασίας τα τελευταία χρόνια. Μέχρι σήμερα έχουν δοθεί αρκετές αδειοδοτήσεις ενώ παράλληλα έχουν υλοποιηθεί. | 3 |

Η τελική τιμή του κριτηρίου προκύπτει με ένωση των δύο διαστάσεων σε κλίμακα 1-5 αφού πρώτα έχουμε μετατρέψει το περιθώριο διείσδυσης σε κλίμακα 1-5.

Πίνακας 57 Αξία κρατικής υποστήριξης

| Εναλλακτική | Περιθώριο διείσδυσης (%) | Περιθώριο διείσδυσης (1-5) | Γραφειοκρατία (1-5) | Αξία κριτηρίου (1-5) |
|--|--------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 13 | 1 | 5 | 3 |
| Φωτοβολταϊκός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 13 | 1 | 5 | 3 |
| Αιολικό πάρκο (Διασυνδεδεμένο) | 77 | 4 | 4 | 4 |

| | | | | |
|--|-----|---|---|----------|
| Αιολικό πάρκο (Μη Διασυνδεδεμένο) | 77 | 4 | 4 | 4 |
| Μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ηπειρωτική Ελλάδα | 37 | 2 | 3 | 2 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Διασυνδεδεμένος) | 100 | 5 | 2 | 4 |
| Μικρός ηλιοθερμικός σταθμός (Μη Διασυνδεδεμένος) | 100 | 5 | 2 | 4 |
| Διάταξη γεωθερμίας | 100 | 5 | 1 | 3 |
| Ηλεκτροπαραγωγή με πρώτη ύλη Βιομάζα | 87 | 4 | 3 | 4 |
