



**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΕ**

**Διπλωματική Εργασία του**

**Μάριου Ι. Καλογερόπουλου (ΑΜ: 2004030050)**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Σταυρακάκης Γεώργιος**

(Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών)

**Καθηγητής Ματσατσίνης Νικόλαος (ΜΠΔ)**

(Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης)

**Καθηγητής Καλαϊτζάκης Κωσταντίνος**

(Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών)

**ΧΑΝΙΑ**

**ΜΑΪΟΣ 2015**



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>	<b>7</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>8</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>9</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγες Ενέργειας (ΑΠΕ)</b>	<b>13</b>
1.1.1. Αιολική ενέργεια	14
1.1.2. Ηλιακή ενέργεια - ενεργητικά ηλιακά θερμικά συστήματα	14
1.1.3. Υδροηλεκτρική ενέργεια	15
1.1.4. Γεωθερμική ενέργεια	15
1.1.5. Ενέργεια από βιομάζα	16
1.1.6. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και η σύνδεση με το διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας	17
1.1.7. Υφιστάμενη κατάσταση στη Κρήτη	18
<b>1.2. Εισαγωγή στις MCDA</b>	<b>19</b>
1.2.1. Εφαρμογές ΑΠΕ και λήψη αποφάσεων	20
1.2.2 Μοντελοποίηση προβλημάτων απόφασης	21
1.2.3. MCDA και ΑΠΕ	26
1.2.4. Multicriteria μέθοδοι	27
<b>1.3. Τεχνικές απόκτησης πληροφοριών προτίμησης</b>	<b>32</b>
1.3.1. Βασικοί οροί	32
1.3.2. Direct Assignment μέθοδος	34
1.3.3. Eigenvector μέθοδος	34
1.3.4. Entropy μέθοδος	34
1.3.5. Simple Multi-Attribute Rating Technique	35

<b>1.3.6. Kano's Model</b>	<b>35</b>
<b>1.3.7. Distance-to-target μέθοδος</b>	<b>36</b>
<b>1.4. Τυπικές Non-compensatory Decision Analysis μέθοδοι</b>	<b>36</b>
<b>1.4.1. Conjunctive μέθοδος</b>	<b>37</b>
<b>1.4.2. Disjunctive μέθοδος</b>	<b>38</b>
<b>1.4.3. Μέθοδος κυριαρχίας</b>	<b>38</b>
<b>1.4.4. ELECTRE μέθοδος</b>	<b>39</b>
<b>1.4.5. Elimination by Aspects μέθοδος</b>	<b>45</b>
<b>1.4.6. Lexicographic μέθοδος</b>	<b>45</b>
<b>1.4.7. Maximin μέθοδος</b>	<b>46</b>
<b>1.4.8. Maximax μέθοδος</b>	<b>46</b>
<b>1.5. Τυπικές Compensatory Decision Analysis μέθοδοι</b>	<b>46</b>
<b>1.5.1. Analytic Hierarchy Process μέθοδος</b>	<b>47</b>
<b>1.5.2. Expected Utility Theory</b>	<b>48</b>
<b>1.5.3. Multi-Attribute Utility Theory</b>	<b>48</b>
<b>1.5.4. Multiplicative Weighting μέθοδος</b>	<b>49</b>
<b>1.5.5. PROMETHEE μέθοδος</b>	<b>49</b>
<b>1.5.6. Simple Additive Weighting μέθοδος</b>	<b>52</b>
<b>1.5.7. TOPSIS μέθοδος</b>	<b>52</b>
<b>1.6. Αναδυόμενες MCDA προσεγγίσεις και πώς συνδέονται με άλλες πρακτικές</b>	<b>54</b>
<b>Κεφάλαιο 2ο: Ανάπτυξη &amp; Υλοποίηση Πολυκριτήριας Μεθοδολογίας</b>	<b>56</b>
<b>2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ MCDA</b>	<b>57</b>
<b>2.2 Ιστορική αναδρομή</b>	<b>57</b>

2.3 Μία εξελιγμένη προσέγγιση για επιλογή κριτηρίων σε 8 βήματα	59
2.3.1 Ορισμός προβλήματος	59
2.3.2 Ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης	60
2.3.3 Εκτέλεση αρχικής διαλογής	61
2.3.4 Ορισμός προτιμήσεων στα κριτήρια αξιολόγησης	62
2.3.5 Υπολογισμός του Appropriateness Index	62
2.3.6 Εκτίμηση των MCDA μεθοδολογιών	62
2.3.7 Επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου	63
2.3.8 Εφαρμογή ανάλυσης ευαισθησίας	63
2.3.9 Σενάρια που μπορεί να προκύψουν	63
2.4 Ένα έξυπνο σύστημα υποστήριξης Multicriteria αποφάσεων	65
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b>	<b>67</b>
3.1. Εισαγωγή	68
3.2. Μεθοδολογία AHP, Τουρκία 2010	68
3.3. Μεθοδολογία PROMETHEE II, Κρήτη 2009	75
3.4. Μεθοδολογία ELECTRE III, Κρήτη 1996	81
3.5. Μεθοδολογία ELECTRE III, Ιταλία 2003	89
3.6. Μεθοδολογία PROMETHEE II, Ιταλία 2005	97
3.7. Μεθοδολογία ELECTRE I, Βελγιάδι 2014	102
3.8. Μεθοδολογία ELECTRE III, Θεσσαλονίκη 2007	110
3.9. Συμπεράσματα	113
3.9.1. Πλεονεκτήματα των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν	113
3.9.2. Σύγκριση μεθοδολογιών	115
3.9.3. Αδυναμίες μεθοδολογιών	117
3.9.4. Συνοπτικός πίνακας μεθοδολογιών	118
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ TOPSIS ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΠΕ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ</b>	<b>121</b>
4.1 Πλαίσιο μεθοδολογίας για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ	122

4.1.1 Καθορισμός συνόλου εναλλακτικών επιλογών	122
4.1.2 Εργαλεία και πηγές δεδομένων	122
4.1.3 Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης	123
4.2 Προσδιορισμός επιτρεπόμενων περιοχών με βάση τη νομοθεσία	126
4.2.1 Προσδιορισμός ζωνών αποκλεισμού – ασυμβατότητας	126
4.2.2 Ελάχιστες αποστάσεις από περιοχές περιβαλλοντολογικού ενδιαφέροντος	127
4.2.3 Ελάχιστες αποστάσεις από περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς	128
4.2.4 Ελάχιστες αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες	128
4.2.5 Ελάχιστες αποστάσεις από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικές χρήσεις	129
4.2.6 Ελάχιστες αποστάσεις από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων	131
4.2.7 Δίκτυο Natura 2000	132
4.3 Προσδιορισμός διαθέσιμων περιοχών μετά από τα κριτήρια αποκλεισμού	132
4.3.1 Προσδιορισμός περιοχών κατάλληλης χωροθέτησης Α/Γ	133
4.3.2 Προσδιορισμός φέρουσας ικανότητας περιοχών κατάλληλης χωροθέτησης ΑΠΕ	133
4.3.3 Ανάλυση των κριτηρίων αξιολόγησης	135
4.3.4 Σύγκριση με προηγούμενες έρευνες	145
4.3.5 Σύνοψη	148
4.4 Εφαρμογή στη περιφέρεια της Κρήτης	149
4.4.1 Περιοχές που εξετάστηκαν	149
4.4.2 Επιλογή της κατάλληλης MCDA Μεθόδου	149
4.4.3 Συλλογή στοιχείων	150
4.4.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων από ειδικούς	155
4.4.5 Καθορισμός Βαρών	158

<b>4.4.6 Αποτελέσματα εκτίμησης χρησιμοποιώντας την TOPSIS</b>	<b>158</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>163</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB</b>	<b>168</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>173</b>

# Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το χρονικό διάστημα από το Σεπτέμβριο του 2014 μέχρι τον Μάιο του 2015. Η εργασία αυτή ανατέθηκε από το εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας του τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Νοιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Γεώργιο Σταυρακάκη για την ανάθεση της διπλωματικής αυτής εργασίας και την σημαντική βοήθειά για την πραγματοποίηση και ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ματσατσίνη Νικόλαο, καθηγητή Πληροφοριακών Συστημάτων, του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, καθώς και τον κ. Παπαευθυμίου, επίκουρο καθηγητή Συστημάτων και Τεχνολογιών Διαχείρισης και Εξοικονόμησης Ενέργειας, του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης για τις ουσιαστικές συμβουλές και υποδείξεις τους, που με βοήθησαν για την πραγματοποίηση, ολοκλήρωση και συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας. Χωρίς τη συνεχή και ουσιαστική βοήθειά τους η εργασία αυτή θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την ουσιαστική συμβολή και ψυχολογική συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της.



# Περίληψη

Ο ρυθμός ανάπτυξης των εγκαταστάσεων ΑΠΕ αυξάνει ραγδαία κατά τα τελευταία χρόνια ενώ παράλληλα αρχίζουν να εμφανίζονται και τα προβλήματα από την τυχαία χωροθέτησή τους. Η επιλογή των καταλληλότερων χώρων εγκατάστασης μονάδων είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο πρόβλημα μιας και εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων και από πολλαπλά κριτήρια.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας πολλαπλών κριτηρίων για την αξιολόγηση των εναλλακτικών περιοχών χωροθέτησης των εγκαταστάσεων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας θα γίνει στην περιοχή της Κρήτης για χωροθέτηση Αιολικών Πάρκων.

Οι μέθοδοι πολλαπλών κριτηρίων που θα επιλεγούν για εφαρμογή θα υλοποιηθούν σε MATLAB. Στους σημαντικότερους παράγοντες που θα μελετηθούν συμπεριλαμβάνονται η τοποθεσία, η στρατηγική χωροθέτησης των ΑΠΕ, η απόδοσή τους, η τυχόν όχληση που θα προκαλέσουν, η κατανομή τους, κ.α. Τέλος, θα γίνει αναφορά στην μεταβολή της σημαντικότητας των παραγόντων αυτών στον χρόνο.

Η μεθοδολογία αυτή θα είναι σε θέση να αξιολογήσει τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις μονάδων ΑΠΕ καθώς και να αξιολογήσει και να βοηθήσει στην επιλογή των χώρων εγκατάστασης των νέων μονάδων ΑΠΕ

# Εισαγωγή

## Πρόβλημα

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει ως στόχο την επίλυση του προβλήματος της χωροθέτησης εγκαταστάσεων ΑΠΕ στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης.

Η αναμενόμενη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω αύξησης του βιοτικού επιπέδου, του αριθμού των κατοίκων, της ανάπτυξης της τεχνολογίας, της βιομηχανίας και της γεωργίας θα έχει σαν αποτέλεσμα και την αύξηση των εγκαταστάσεων ΑΠΕ. Τα προβλήματα που εμφανίζονται από μια τυχαία χωροθέτησή τους είναι ιδιαίτερα σύνθετα και εξαρτώνται από μια σειρά παραγόντων που στηρίζονται σε πολλαπλά κριτήρια.

## Καθορισμός προβλήματος

Αντικείμενο της παρούσης εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση των εναλλακτικών περιοχών χωροθέτησης εγκαταστάσεων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη περιφέρεια της Κρήτης, μέσω της μεθοδολογίας των πολλαπλών κριτηρίων. Λαμβάνεται υπόψιν η ελληνική νομοθεσία, βιβλιογραφικές αναφορές και προηγούμενες έρευνες καθώς και η εμπειρία σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και η ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα των συνεχόμενων πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής. Την αμέσως επόμενη δεκαετία παγιώθηκε, μετά τη συνειδητοποίηση της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασσικών πηγών ενέργειας.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας εξαιρετικά φιλικές προς το περιβάλλον. Συνιστούν κατά συνέπεια ειδικότερη έκφανση αλλά και βασική συνιστώσα της αειφόρου ανάπτυξης, αποτελούν δε βασική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Σύμφωνα με Εθνική Έκθεση του Υπουργείου Ανάπτυξης του 2005 για το επίπεδο διείσδυσης των ΑΠΕ μέχρι το έτος 2020, οι τεχνολογίες ΑΠΕ που υπερτερούν, όσο αφορά στο ποσοστό συμμετοχής τους στην ηλεκτροπαραγωγή, θα είναι τα αιολικά και τα Μικρά Υδροηλεκτρικά, ενώ για λόγους ενεργειακούς, χωροθέτησης, περιβαλλοντικούς και οικονομίας κλίμακος, τα αιολικά, σε σχέση με τα ΜΥΗΕ, έχουν προτεραιότητα στην προσπάθεια κάλυψης των στόχων. Στα πλαίσια της εθνικής ενεργειακής πολιτικής άλλωστε, η παραγόμενη από αιολικές εγκαταστάσεις ηλεκτρική ενέργεια αναμένεται να καλύψει περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ.

## **Δομή**

Η συνολική δομή της εργασίας, όπως αυτή διαμορφώνεται στα κεφάλαια που ακολουθούν έχει ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τις ΑΠΕ, τις πολυκριτήριες μεθοδολογίες, καθώς και στη μεταξύ τους σύνδεση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο θεωρητικό μέρος που σχετίζεται με την ανάπτυξη και την υλοποίηση μιας πολυκριτήριας μεθοδολογίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια επισκόπηση της υφιστάμενης κατάστασης όσον αφορά την επίλυση παρομοίων προβλημάτων μέσω πολυκριτήριων μεθόδων και γίνεται ανάλυση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο καθορίζεται το πρόβλημα προς επίλυση. Αναζητούνται μέσω γεωπολιτικών χαρτών οι κατάλληλες περιοχές που τηρούν όλες τις νομοθετικές και περιβαλλοντολογικές προϋποθέσεις, πληρούν ικανοποιητικά το αιολικό δυναμικό, τη γεωφυσική του τόπου κλπ.

Εξετάζονται 5 από τις εν λόγω κατάλληλες περιοχές σύμφωνα με αντιπροσωπευτικά κριτήρια, που τα βάρη τους καθορίζονται αναλόγως των προτιμήσεων των DM. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας τη πολυκριτήρια μεθοδολογία TOPSIS και αναλύοντας τα αποτελέσματά της, για κάθε DM ξεχωριστά

και ύστερα για την ομάδα, καταλήγουμε σε κατάταξη των περιοχών εγκατάστασης των αιολικών πάρκων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα της μελέτης και γίνονται ορισμένες προτάσεις.



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

## **1.1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ).**

Ανανεώσιμη ενέργεια είναι η ενέργεια που αντλείται από πηγές, οι οποίες δεν εξαντλούνται ή αντικαθίστανται. Ο όρος ΑΠΕ αναφέρεται κυρίως στις ακόλουθες πηγές ενέργειας:

- Την Αιολική ενέργεια.
- Την Ηλιακή Ενέργεια.
- Την Υδροηλεκτρική Ενέργεια.
- Την Γεωθερμική ενέργεια.
- Την ενέργεια της Βιομάζας.

Παραπομπές: (Μ. Π. Παπαδόπουλος, 1997 και Ανδρονίκου Ε., 2012)

### **1.1.1. Αιολική ενέργεια**

Αιολική Ενέργεια είναι η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή/και σε ηλεκτρική ενέργεια. Υπολογίζεται ότι η κινητική ενέργεια των ανέμων, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες του πλανήτη σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται μέσω ανεμογεννητριών (Α/Γ). Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες Α/Γ: οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα. Τα αιολικά πάρκα είναι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούμενοι από συστοιχίες ανεμογεννητριών. Οι θέσεις εγκατάστασής τους χαρακτηρίζονται από αξιόλογο αιολικό δυναμικό, δηλαδή μεγάλης διάρκειας και μέσης ή μεγάλης έντασης ανέμους.

Παραπομπή: (Νάκου, Ευτυχία Χ., 2007)

Αξίζει να αναφερθεί ότι η αιολική ενέργεια πλεονεκτεί σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας λόγω του κόστους της, που είναι πολύ κοντά σε εκείνο της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Παραπομπή: (Greenpeace, 2011)

### **1.1.2. Ηλιακή ενέργεια**

Η Ηλιακή Ενέργεια περιλαμβάνει:

- Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.
- Το βιοκλιματικό σχεδιασμό και τα παθητικά ηλιακά συστήματα που αφορούν αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της άμεσης εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.
- Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.

Παραπομπή: (Νάκου, Ευτυχία Χ., 2007)

Με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας, αποφεύγεται η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Το περιβαλλοντικό όφελος από τη χρήση ηλιακών θερμικών συστημάτων προκύπτει από την εξοικονόμηση ενέργειας και κατ' επέκταση τη μείωση των εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου.

Παραπομπή: Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών (2010)

### **1.1.3. Υδροηλεκτρική ενέργεια**

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή/και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια.

Οι πιο κοινοί τύποι εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- 1) Φράγματα σε ποταμό για να αποθηκεύσουν το νερό σε δεξαμενή. Όταν το νερό που απελευθερώνεται από τη δεξαμενή, ρέει μέσα από μία τουρμπίνα, μια γεννήτρια ενεργοποιείται για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια με την περιστροφή της.
- 2) Εγκαταστάσεις άντλησης και αποθήκευσης ενέργειας. Η ενέργεια στέλνεται από ένα ενεργειακό δίκτυο σε ηλεκτρικές γεννήτριες.

### **1.1.4. Γεωθερμική ενέργεια**

Η Γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, κάτω από την επιφάνεια της γης. Προέρχεται από το εσωτερικό της Γης σε μορφή υδάτων, ατμών, αερίων ή



μειγμάτων αερίων ή ακόμα και ως ενέργεια από τα πετρώματα και αποτελεί μια σημαντική Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας όσο αφορά την ψύξη και τη θέρμανση.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο αριθμό δραστηριοτήτων και εφαρμογών ανάλογα με τη θερμοκρασία και την ποιότητα των ρευστών, οι οποίες διακρίνονται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για άμεσες χρήσεις. Στις άμεσες χρήσεις όπου γίνεται αξιοποίηση της θερμότητας των ρευστών, χωρίς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνονται η θέρμανση χώρων (κτιρίων, εγκαταστάσεων), οι αγροτικές χρήσεις (θέρμανση θερμοκηπίων, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, υπεδάφια θέρμανση, θέρμανση κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων), οι υδατοκαλλιέργειες, οι βιομηχανικές χρήσεις (π.χ. αφαλάτωση νερού, επεξεργασία γάλακτος, χώνευση βιολογικής λάσπης, ανάκτηση πετρελαίου, ξήρανση ξυλείας) και η λουτροθεραπεία (ιαματικά λουτρά, πισίνες).

Παραπομπή: (Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών, 2010)

#### **1.1.5. Ενέργεια από βιομάζα**

Η βιομάζα αναφέρεται σε ζωντανό και πρόσφατα νεκρό βιολογικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ή για βιομηχανική παραγωγή. Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων, ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα, ενώ δύναται να παραχθεί βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα φιλικά προς το περιβάλλον. Αποκλείει το οργανικό υλικό που έχει μετασχηματιστεί με γεωλογικές διαδικασίες σε ουσίες όπως ο άνθρακας ή το πετρέλαιο.

Παραπομπή: (<http://climate.wwf.gr/> )

Η ενεργειακά αξιοποιήσιμη βιομάζα εμφανίζεται με τις εξής μορφές:

- Κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια, σφαγεία.
- Αγροτοβιομηχανικά απόβλητα (απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων όπως ελαιοτριβεία, τυροκομεία κ.α.).
- Αστικά απόβλητα (Οργανικό μέρος αστικών στερεών αποβλήτων και αστικά λύματα).

- Ενεργειακές καλλιέργειες, που αφορά καλλιέργειες φυτών οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα, το καλάμι, γλυκό σόργο, ευκάλυπτος κ.α.
- Γεωργικά υπολείμματα, η οποία περιλαμβάνει υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών και επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων.
- Βιομάζα δασικής προέλευσης, η οποία περιλαμβάνει καυσόξυλα, υπολείμματα καλλιέργειας και καθαρισμών δασών (αραιώσεων, υλοτομιών) και υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου.

Παραπομπή: (Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών, 2010)

#### **1.1.6. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και η σύνδεση τους με το διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.**

Οι ανανεώσιμες πηγές δεν εξαντλούνται και δε ρυπαίνουν. Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα πιο επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης των εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Εξαιτίας της συνεχώς αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων και τις δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον από την εκτεταμένη χρήση τους, το παγκόσμιο ενδιαφέρον στέφεται στην ανάπτυξη τεχνολογιών των προς εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το ενδιαφέρον αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις η τεχνολογία των ΑΠΕ όχι μόνο είναι οικονομικά εφικτή αλλά και αρκετά αποδοτική.

Από τεχνικής πλευράς, το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερο από την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Ταυτόχρονα, τη στιγμή που οι περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες εξαρτώνται σήμερα από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας αποτελούν μια ευκαιρία για αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας. Τέτοιου τύπου αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας δημιουργεί τοπικά περισσότερες θέσεις εργασίας. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν ανοίγουν μόνο προοπτικές για την περιβαλλοντικά συμβατή αναδιάρθρωση της ενεργειακής αλυσίδας αλλά συμβάλλουν στην εκτόνωση εντάσεων στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, και κατ' επέκταση στη πολιτική και οικονομική ασφάλεια.

Παραπομπή: (<http://climate.wwf.gr/> )

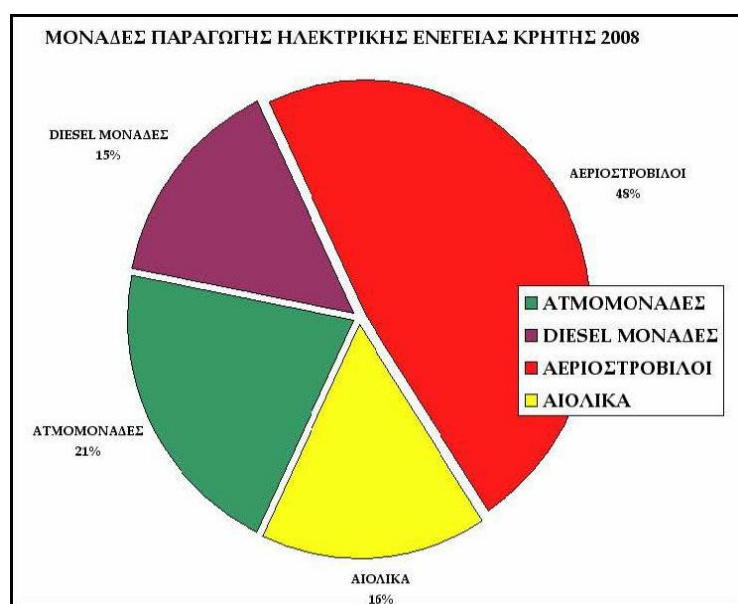
Το γεγονός ότι η παραγωγή της από συμβατικά (κάρβουνο, πετρέλαιο) ή από πυρηνικά καύσιμα γίνεται τόσο οικονομικότερη όσο αυξάνει το μέγεθος των Σταθμών Παραγωγής, οδήγησε στην ανάπτυξη των σύγχρονων διασυνδεδεμένων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ).

Οι ΑΠΕ καθώς και η εγκαταστάσεις συμπαραγωγής θερμότητας - ηλεκτρισμού, αποτελούν μονάδες μικρής σχετικά ισχύος και είναι διάσπαρτες σε διάφορες περιοχές, η αποδοτική τους εκμετάλλευση επιβάλλει την σύνδεση και παράλληλη λειτουργία τους στο δίκτυο του ΣΗΕ, το οποίο έτσι λειτουργεί ως αποθήκη πολύ μεγάλης χωρητικότητας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για την Αιολική, Υδροηλεκτρική και Ηλιακή παραγωγή, για τις οποίες ο έλεγχος του ρυθμού παροχής της πρωτογενούς ενέργειας είναι αδύνατος.

Παραπομπή: (Μ. Π. Παπαδόπουλος, 1997)

### 1.1.7. Υφιστάμενη κατάσταση στη Κρήτη

Η ενέργεια που παράγεται στη Κρήτη με συμβατικούς τρόπους (πετρέλαιο) και ΑΠΕ επαρκεί για τη κάλυψη των αναγκών του νησιού.



Η παραγωγή Η/Ε δε γίνεται με τον καλύτερο τρόπο όσον αφορά το ενεργειακό μίγμα, το κόστος και το περιβάλλον.

Η Κρήτη έχει το πλεονέκτημα ενός πλούσιου, δυναμικού ΑΠΕ. Η μέγιστη αξιοποίηση του δυναμικού αυτού όχι μόνο θα επαρκούσε για τη κάλυψη των αναγκών του νησιού σε Η/Ε αλλά θα

μπορούσε να τροφοδοτήσει μέσω υποβρύχιου καλωδίου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας την ηπειρωτική Ελλάδα.

Ο σχεδιασμός της χωροθέτησης των ΑΠΕ είναι ένα από τα κυρίαρχα ζητήματα που θα απασχολήσουν για το γενικότερο ενεργειακό σχεδιασμό στο νησί.

## **1.2. Εισαγωγή στις MCDA (Πολλαπλά Κριτήρια Λήψης Απόφασης)**

Όπως αναφέρει ο Loken E. (2007), ένας βιώσιμος ενεργειακός προγραμματισμός περιλαμβάνει ποικίλους στόχους.

Επειδή η λήψη αποφάσεων συσχετίζεται άμεσα με τις διαδικασίες της ανάλυσης και της διαχείρισης των διαφορετικών τύπων πληροφοριών (τεχνολογικές, περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές), πολύ συχνά, οι παραδοσιακές μέθοδοι αξιολόγησης, όπως η ανάλυση προσοδοφόρων επενδύσεων και οι μακροοικονομικοί δείκτες, δεν είναι επαρκείς για να ενσωματώσουν όλα τα στοιχεία που περιλαμβάνονται σε ένα περιβαλλοντικά λεπτομερές ενεργειακό σχέδιο.

Αντίθετα οι πολλαπλές μέθοδοι κριτηρίων παρέχουν ένα εργαλείο, το οποίο είναι κατάλληλο να συγκεντρώσει και να χειριστεί ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών που αξιολογείται με διαφορετικούς τρόπους και προσφέρει έτσι μια έγκυρη υποστήριξη απόφασης.

Κατά τη λήψη αποφάσεων, οι αποφασίζοντες (DMs) πάντα προσπαθούν να επιλέξουν τη βέλτιστη λύση. Δυστυχώς, μια πραγματική βέλτιστη λύση υπάρχει εάν εξετάζεται μόνο ένα κριτήριο. Σε πραγματικές καταστάσεις, είναι ανεπαρκές να βασιστεί η απόφαση αποκλειστικά σε ένα κριτήριο. Όπως αναφέρουν οι Ehr Gott M και Gandibleux X., (2002), για τον λόγο αυτό θα πρέπει να εξετάζονται πολλοί αλληλοσυγκρουόμενοι και ασύμβατοι στόχοι. Επίσης οι Bogetoft P. και Pruzan PM., (1997) αναφέρουν ότι τα πολλαπλά κριτήρια λήψης αποφάσεων (MCDM) είναι ένας γενικός όρος για όλες τις μεθόδους που υπάρχουν για τη βοήθεια λήψης αποφάσεων σύμφωνα με τις προτιμήσεις των DMs, σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν περισσότερα από ένα αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια. Χρησιμοποιώντας MCDM, μπορούμε να πούμε ότι είναι ένας τρόπος αντιμετώπισης σύνθετων προβλημάτων με το σπάσιμο του προβλήματος σε μικρότερα κομμάτια. Αφού ζυγιαστούν μερικές εκτιμήσεις και ληφθούν αποφάσεις σχετικά με τα επιμέρους συστατικά, τα κομμάτια ανακατασκευάζονται για να παρουσιάσουν μια συνολική εικόνα για τους DMs.

Παραπομπή: (Dodgson J, Spackman M, Pearman A και Phillips L., 2001).

Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται συχνά είναι η ανάλυση (ή ενίσχυση) απόφασης πολλαπλών κριτηρίων (MCDA). Ο λόγος για τη χρήση του όρου «ανάλυση απόφασης» ή «ενίσχυση απόφασης» αντί «λήψη αποφάσεων» είναι για να τονιστεί ότι οι μέθοδοι θα πρέπει να βοηθούν τους DM στη λήψη καλύτερων αποφάσεων. Οι ίδιες οι MCDA μέθοδοι δεν μπορούν να πάρουν τις πραγματικές αποφάσεις, αλλά αποσκοπούν να βοηθήσουν τους DM να οργανώσουν και να συνθέσουν τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί, έτσι ώστε να αισθάνονται σίγουροι στις αποφάσεις τους. Όπως αναφέρουν οι Belton V και Stewart TJ (2002), με τη χρήση MCDA μεθόδων, οι DM πρέπει να αισθάνονται ότι όλα τα σημαντικά κριτήρια έχουν ληφθεί υπόψιν. Στην ιδανική περίπτωση, οι μέθοδοι MCDA θα βοηθήσουν τους DM να κατανοήσουν και να προσδιορίσουν τα θεμελιώδη κριτήρια στο πρόβλημα απόφασης, και να αποφευχθεί η λήψη σημαντικών αποφάσεων από συνήθεια.

### **1.2.1. Λήψη αποφάσεων για σχεδιασμό ΑΠΕ**

Όπως αναφέρουν οι Polatidis H et al. (2006), η λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) είναι ένας κλάδος των λειτουργικών ερευνητικών μοντέλων και ένα πολύ γνωστό πεδίο λήψης αποφάσεων. Οι Pohekar SD. και Ramachandran M., (2004) αναφέρουν επίσης ότι αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χειριστούν τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά κριτήρια και να αναλύσουν τη σύγκρουση στα κριτήρια και στους λήπτες αποφάσεων. Υπάρχουν αρκετές ταξινομήσεις και κατηγοριοποιήσεις, αλλά σε γενικές γραμμές αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: πολυκριτήρια λήψη αποφάσεων (MODM) και πολυχαρακτηριστική λήψη αποφάσεων (MADM).

Παραπομπή: (Climaco J, 1997).

Όπως αναφέρουν οι Diakaki C et al., (2010), στις MODM, το πρόβλημα της απόφασης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη πολλαπλών και ανταγωνιστικών στόχων που πρέπει να βελτιστοποιηθούν κατά ένα σύνολο εφικτών και διαθέσιμων περιορισμών ενώ στην MADM με την αξιολόγηση ενός συνόλου εναλλακτικών λύσεων βάσει ορισμένων κριτηρίων. Όπως αναφέρουν οι Wang M et al., (2010), η MADM είναι μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους MCDM που θα ληφθεί υπόψιν για την επίλυση προβλημάτων που συνδέονται με διαφορετικές οπτικές γωνίες. Περιέχει διάφορες μεθόδους, εκ των οποίων οι πιο σημαντικές είναι οι Analytic hierarchy process (AHP), Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations (PROMETHEE), ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELimination and Choice Expressing REality ή πιο

συχνά —ELECTRE), και Multi-attribute utility theory (MAUT).

Παραπομπή: (San Cristóbal JR, 2011).

Η σύγκριση των MCDM μεθόδων, που σχετίζονται με τον σχεδιασμό για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αναφέρεται στη βιβλιογραφία των Pohekar SD, Ramachandran M (2004), Polatidis H et al., (2006), Chu M-T et al., (2007), Hobbs BF., Horn GTF., (1997), Wang, J., Jing, Y., Zhang, C., Zhao, J. (2009) και Zhou P et al., (2006). Σε μια προηγούμενη ανάλυση από τους Pohekar et al., η multi-attribute utility theory (MAUT) ήταν η πιο κοινή μέθοδος MCDM που χρησιμοποιήθηκε σε ενεργειακό σχεδιασμό, AHP, PROMETHEE, ELECTRE, MAUT, fuzzy μεθόδους και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (DSS)

Ο κύριος στόχος της MADM είναι να επιλεγεί η εναλλακτική λύση που έχει την υψηλότερη βαθμολογία σύμφωνα με το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης.

### **1.2.2 Μοντελοποίηση προβλημάτων απόφασης**

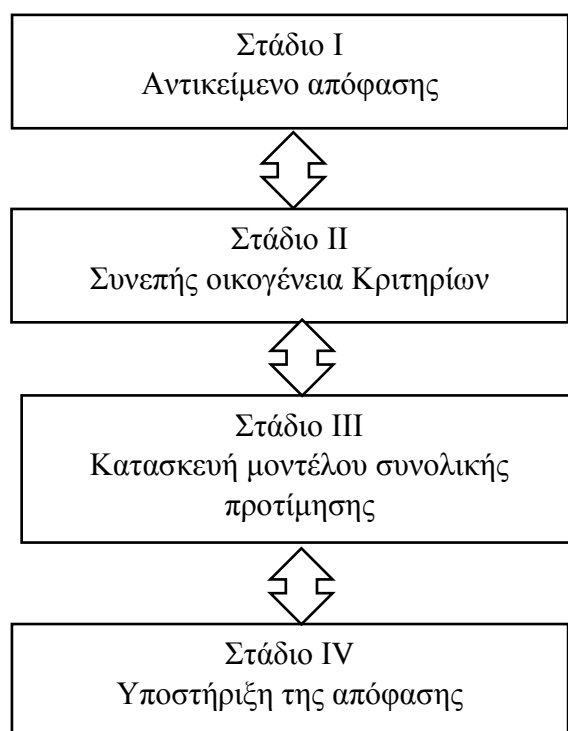
Όπως αναφέρει ο Πάλλης Πέτρος (2011), το γενικό πλαίσιο μοντελοποίησης προβλημάτων στο πεδίο της πολυκριτήριας ανάλυσης οροθετείται από τέσσερα διαδοχικά και αλληλοεπιδρώντα στάδια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 (Roy, 1985, Roy και Bouyssou, 1993, Σίσκος, 1981, 1986, Ματσατσίνης, 2010, Σίσκος και Γρηγορούδης, 2005).

#### **Στάδιο I: Αντικείμενο της απόφασης**

Κάθε απόφαση αναλύεται σε ένα πεπερασμένο ή συνεχές σύνολο εναλλακτικών ενεργειών, πράξεων, αποφάσεων,  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξής:

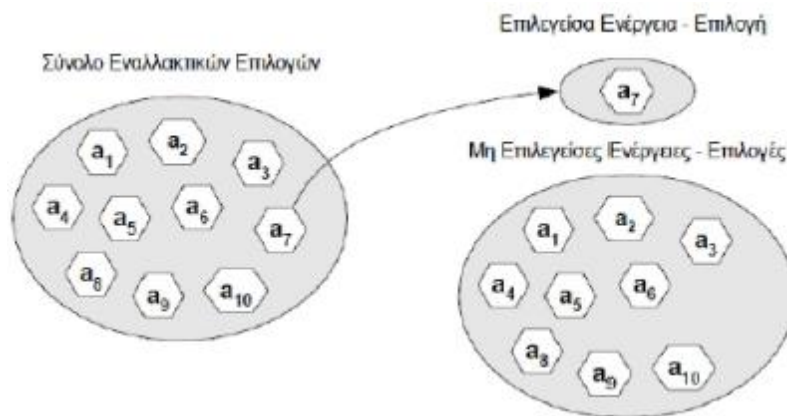
1. Σταθερό (stable): Αν δεν επιτρέπει να γίνουν μεταβολές στη σύνθεση του κατά τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης
2. Δυναμικό (evaluative): Αν κατά τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης είναι δυνατές οι μεταβολές.
3. Ολοκληρωμένο (globalized): Αν κάθε στοιχείο του  $A$  αποκλείει τα υπόλοιπα.

4. Αποσπασματικό (fragmented): Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας αφορούν ένα τμήμα του Α. Επίσης στο στάδιο αυτό ορίζεται μια προβληματική (problem formulation), που δίνει ρόλο στο έργο υποστήριξης της απόφασης, χωρίς αναγκαστικά να παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της απόφασης (decision process). Κατά τον Roy (1985) ορίζονται οι εξής προβληματικές (Ματσατσίνης, 2010):



**Σχήμα 1:** Διαδικασία μοντελοποίησης συστημάτων απόφασης (Siskos, 1981, 1986)

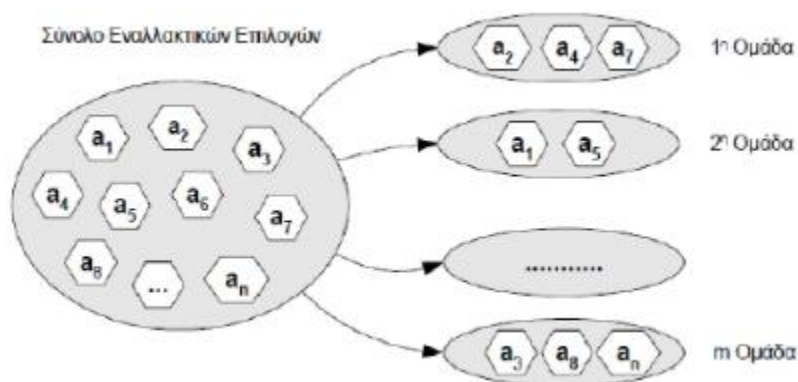
Προβληματική α: Επιλογή μιας και μόνο δράσης από το σύνολο Α.



**Σχήμα 2:** Προβληματική επιλογής μιας μόνο ενέργειας από ένα σύνολο (Ματσατσίνης, 2010)

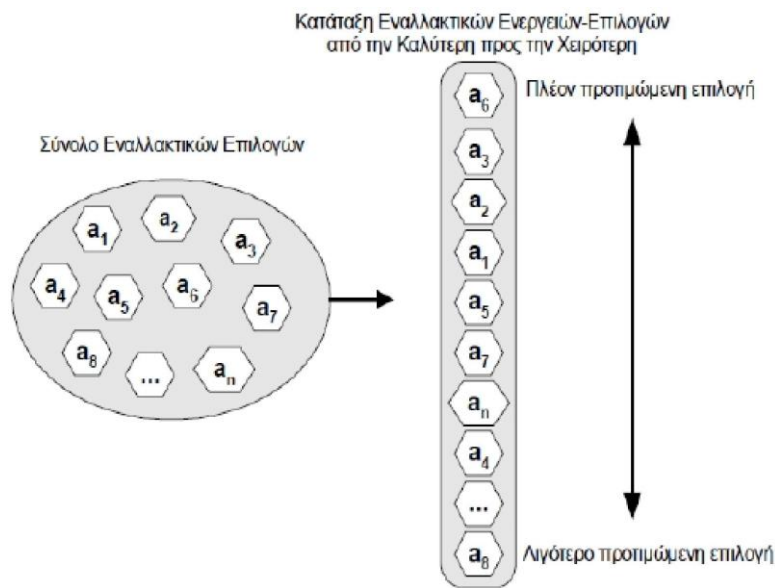
Προβληματική β: Κατάταξη όλων των εναλλακτικών ενεργειών του συνόλου A, σε ομάδες με συγκεκριμένες ιδιότητες.

Προβληματική γ: Κατάταξη όλων των εναλλακτικών ενεργειών του συνόλου A, από την πλέον προτιμώμενη προς τη λιγότερο προτιμητέα.



**Σχήμα 3:** προβληματική κατάταξης σε ομάδες (Ματσατσίνης, 2010)





**Σχήμα 4:** Προβληματική κατάταξης από την καλύτερη προς την χειρότερη (Ματσατσίνης, 2010)

Προβληματική δ: Απλή περιγραφή των εναλλακτικών ενεργειών – πράξεων του συνόλου  $A$ , καθώς και των συνεπειών τους σε γλώσσα κατανοητή προς τους managers.

## Στάδιο II: Συνεπής οικογένεια κριτηρίων

Κάθε εναλλακτική ενέργεια / επιλογή του συνόλου  $A$  μπορεί να εκτιμηθεί από τους αποφασίζοντες με βάση ενός νέφους στοιχειωδών επιπτώσεων αποτελούμενα από ιδιότητες, χαρακτηριστικά, μειονεκτήματα, πλεονεκτήματα, (Roy, 1985). Η ανάλυση του νέφους των στοιχειωδών επιπτώσεων κάθε εναλλακτικής ενέργειας/επιλογής οδηγεί τους αποφασίζοντες στην επιλογή και μοντελοποίηση των κριτηρίων με βάση τα οποία αυτοί θα οδηγηθούν στην τελική απόφαση. Σαν κριτήριο ορίζεται κάθε μονότονη μεταβλητή δηλωτική των προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Τα κριτήρια μπορεί να είναι είτε ποσοτικά και να εκφράζονται από μια συνεχή κλίμακα (χρόνος, θερμοκρασία,...), είτε ποιοτικά για τη μοντελοποίηση των οποίων χρησιμοποιούνται κλίμακες διακριτών τιμών. Τα κριτήρια συμβολίζονται:  $g_j(a_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  και  $j = 1, 2, \dots, m$

Ορίζουμε:  $g: A \rightarrow R$  και  $a \rightarrow g(a)$  όπου:  $g(a)$  είναι η εκτίμηση της εναλλακτικής ενέργειας/επιλογής  $a$  του συνόλου  $A$ , πάνω στο κριτήριο  $g$ . Η συνάρτηση αυτή οφείλει να πληροί την ιδιότητα μονοτονίας σύμφωνα με την οποία, δεδομένων δυο εναλλακτικών επιλογών  $a$  και  $b$  του συνόλου  $A$  θα πρέπει να ισχύουν:

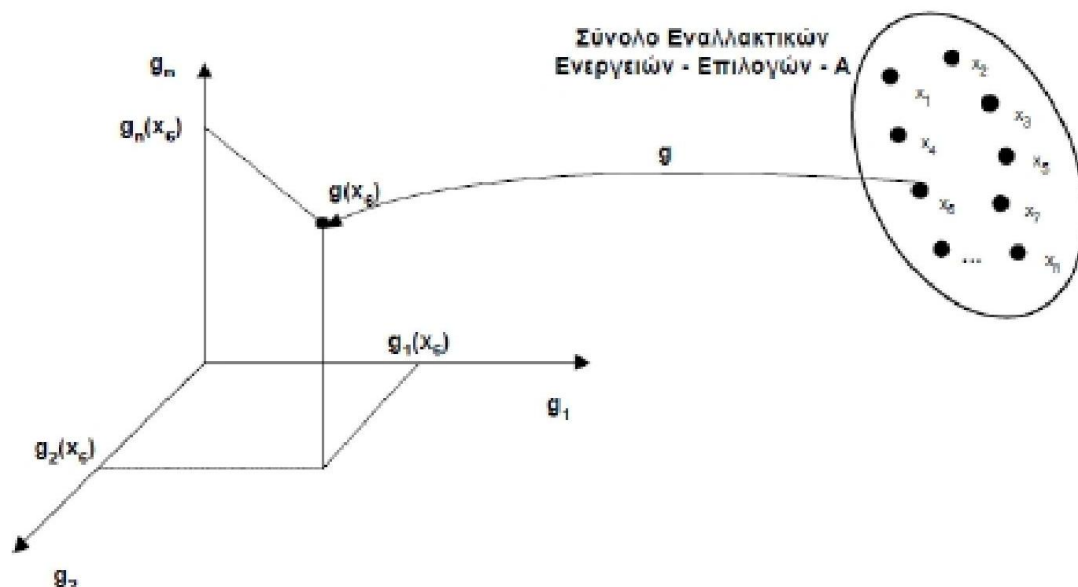
$g(a) > g(b)$ , τότε η  $a$  προτιμάται από την  $b$

$g(a) = g(b)$ , τότε η  $a$  είναι ισοδύναμη με την  $b$

Το σύνολο των κριτηρίων τα οποία είναι ποιοτικές ή ποσοτικές μεταβλητές, που χρησιμοποιούνται στη λήψη μιας απόφασης ονομάζεται συνεπής οικογένεια κριτηρίων (consistent family of criteria) και πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες ιδιότητες (Ματσατσίνης, 2010):

- Μονοτονίας (monotonicity): Να είναι μονότονα και συναφή με τις ατομικές προτιμήσεις. Αυτό σημαίνει ότι δοθέντων δυο εναλλακτικών ενεργειών  $a$  και  $b$ , η  $a$  προτιμάται της  $b$  όταν ισχύει:  $g_i(a) = g_i(b) \ \forall \ i \neq j$  και  $g_j(a) > g_j(b)$ , τότε η εναλλακτική  $a$  προτιμάται από την  $b$ .
- Επάρκειας (exhaustive) στα πλαίσια της διαθέσιμης πληροφορίας. Εάν για ένα ζεύγος εναλλακτικών ενεργειών  $a$  και  $b$ , ισχύει:  $g_i(a) = g_i(b) \ \forall \ i = 1, 2, \dots$ , τότε η εναλλακτική  $a$  είναι ισοδύναμη της  $b$ , δηλαδή δεν απουσιάζει κανένα κριτήριο απόφασης από το σύνολο των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων.
- Να μην είναι πλεοναστικά (non redundancy). Η αφαίρεση ενός κριτηρίου από το σύνολο των κριτηρίων απόφασης είναι ικανή να αναιρέσει μια από τις προηγούμενες δυο συνθήκες για κάποιο ζευγάρι εναλλακτικών ενεργειών-επιλογών.

Με τη συνεπή οικογένεια κριτηρίων απεικονίζεται το σύνολο των εναλλακτικών ενεργειών του συνόλου  $A$  στον  $n$ -διάστατο πραγματικό χώρο  $R_n$  (Σχήμα 5). Στο σχήμα αυτό με  $g(x_6) = \{g_1(x_6), g_2(x_6), \dots, g_n(x_6)\}$ , συμβολίζεται το διάνυσμα των πολυκριτήριων εκτιμήσεων της εναλλακτικής ενέργειας  $x_6 \in A$  πάνω στα κριτήρια.



*Σχήμα 5: Πολυκριτήρια απεικόνιση του συνόλου A (Ματσατσίνης, 2010)*

### **Στάδιο III: Καταγραφή του μοντέλου ολικής προτίμησης (απόφασης ή συμπεριφοράς)**

Στο στάδιο αυτό της ανάλυσης του προβλήματος καθορίζεται η μορφή του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων βάσει του οποίου θα αντιμετωπιστεί το αντικείμενο του προβλήματος, όπως αυτό καθορίστηκε στο στάδιο I (επιλογή, κατάταξη, ταξινόμηση, περιγραφή).

### **Στάδιο IV: Υποστήριξη απόφασης**

Το μοντέλο ολικής προτίμησης που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο δίνει μια λύση η οποία δεν είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη. Στο στάδιο αυτό ο αναλυτής του προβλήματος αναζητεί και οργανώνει τα στοιχεία απάντησης σε συγκεκριμένα ερωτήματα του προβλήματος.

#### **1.2.3. MCDA και ΑΠΕ**

Οι Polatidis H et al., (2006) αναφέρουν ότι την τελευταία δεκαετία, η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αποκτήσει ένα τεράστιο ενδιαφέρον, και πολλές χώρες έχουν δεσμευτεί να τις συμπεριλάβουν στα συστήματα ενεργειακής τροφοδότησης τους. Αυτό είναι επειδή θεωρούνται περιβαλλοντικά φιλικές και ικανές να αντικαταστήσουν τα συμβατικά καύσιμα σε

ανταγωνιστικές τιμές. Η συμβολή τους, ωστόσο, στον τρέχων ανεφοδιασμό ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ακόμη μικρό παρά την σημαντική τεχνολογική πρόοδο σε αυτόν τον τομέα.

Τα κυριότερα εμπόδια για την ευρεία εφαρμογή των ΑΠΕ στα συστήματα ενέργειας αφορούν τα οικονομικά, τεχνικά, θεσμικά και κοινωνικά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Επιπλέον, τα ΑΠΕ παρουσιάζουν εντοπισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η αλλοίωση του τοπίου, η διαταραχή του οικοσυστήματος, τεράστιες απαιτήσεις σε έκταση και χρήση νερού, θορύβου, κτλ.

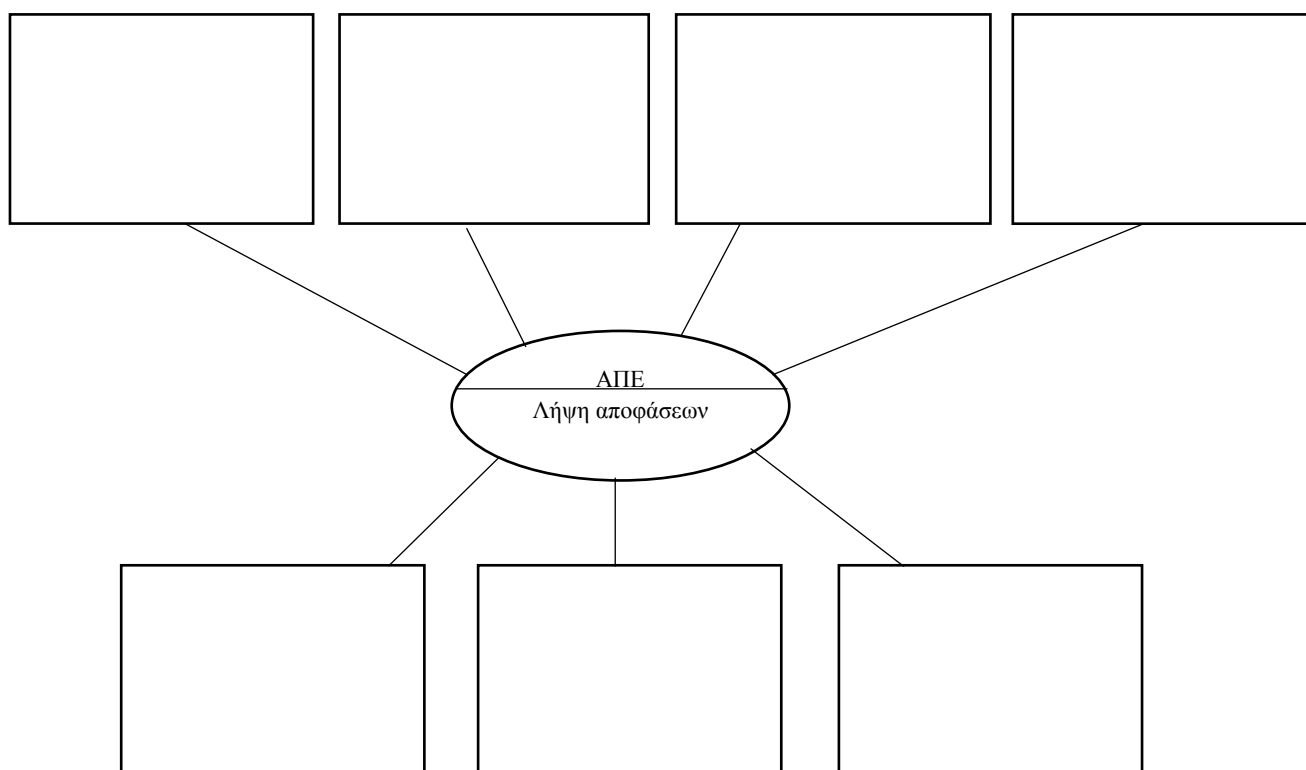
Μια σειρά παραγόντων θα πρέπει επομένως να λαμβάνεται υπόψη. Προκύπτουν από τον αποκεντρωμένο χαρακτήρα των ΑΠΕ και τις ιδιαιτερότητες που επιβλήθηκε στην αντίστοιχη διαδικασία λήψης αποφάσεων (σχήμα 6). Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτές οι παράμετροι θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στην πράξη μέσω της ένταξης αρκετών τεχνολογικών, οικονομικών, κοινωνικών, ρίσκου, και περιβαλλοντολογικών κριτηρίων στην άσκηση προγραμματισμού. Η διαδικασία ανάπτυξης είναι ακόμη πιο περίπλοκη, λόγω της συμμετοχής των ενδιαφερομένων, που επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Είναι αυτονόητο ότι τα θέματα αυτά σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι ευθέως συμβατά. Ο πολυδιάστατος χαρακτήρας του ενεργειακού προγραμματισμού στόχων και σχεδίων, καθιστά την εφαρμογή συμβατικών εργαλείων της οικονομικής αξιολόγησης προβληματική.

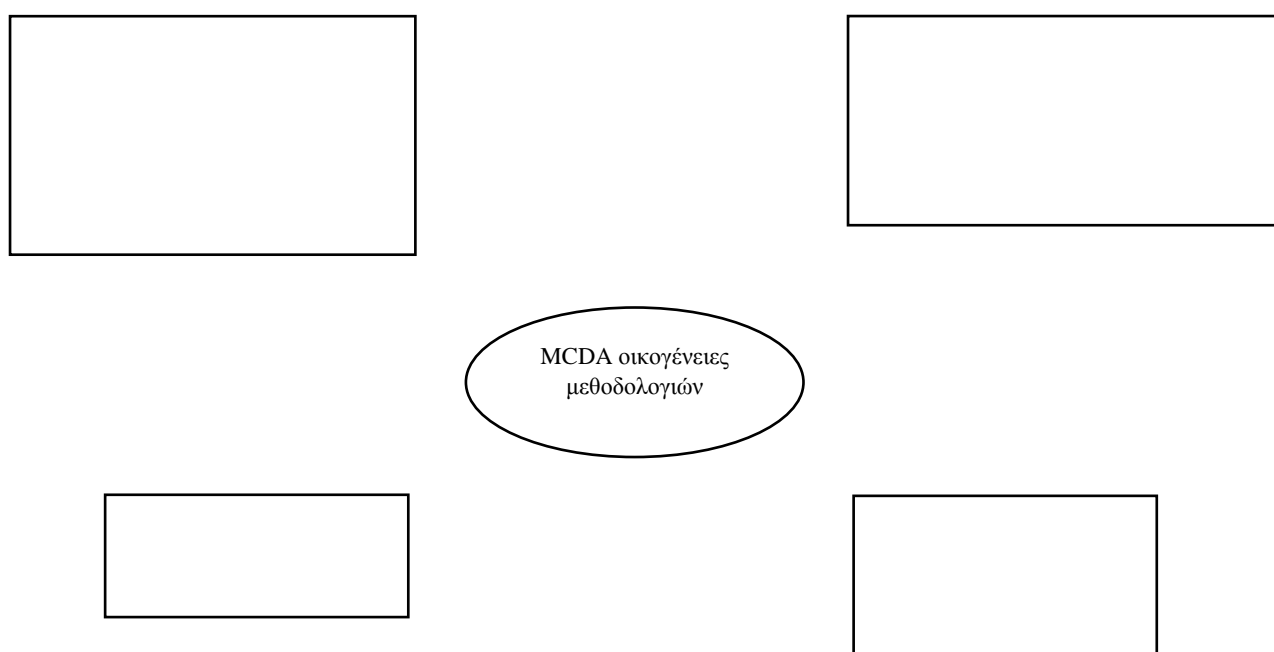
Διαφορετικές μεθοδολογίες MCDA παρουσιάζονται και προτείνονται παρακάτω ως το κατάλληλο μέσο για μια ολοκληρωμένη αποτίμηση έργων ΑΠΕ.

#### **1.2.4. Multicriteria μέθοδοι**

Διαφορετικές πολυκριτήριες μέθοδοι έχουν συσχετιστεί με ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα. Οι κύριες προσεγγίσεις μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τον τύπο του μοντέλου απόφασης που ισχύουν (σχήμα 7). Σε πολλές περιπτώσεις, οι εναλλακτικές λύσεις που θα μπορούσαν να θεωρηθούν είναι αρχικά άπειρες. Όπως αναφέρουν οι Pokharel, Sh, Chandrashekar, M. (1998), Ramanathan, R., και Ganesh, L. S. (1995), η χρήση της πολυστοχικής μεθόδου προγραμματισμού για την αντιμετώπιση αυτών των περιπτώσεων είναι πολύ καλά γνωστή. Ωστόσο, οι προσεγγίσεις αυτές αντιμετωπίζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα: καταλήγουν μερικές φορές με ανέφικτη εναλλακτική. Για το λόγο αυτόν προτείνονται διακριτές MCDA τεχνικές για την αντιμετώπιση θεμάτων ενεργειακού σχεδιασμού.



**Σχήμα 6:** Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και λήψη αποφάσεων.



**Σχήμα 7:** Πολυκριτήριες μέθοδοι.

Δίνεται μια συνοπτική επισκόπηση των μεθόδων διακριτής ανάλυσης πολλαπλών κριτηρίων στις επόμενες παραγράφους.

Οι κύριες οικογένειες των μεθοδολογιών περιλαμβάνουν τις:

1. Outranking μεθόδους, όπως η Elimination Et Coix Traduisant la Realite (ELECTRE) οικογένεια, οι Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) I και II μέθοδοι, και η Regime Method Analysis.

Για τις Outranking μεθόδους έχουν αναφερθεί μεταξύ των άλλων οι: (Brans, J., Vincke, P., Mareschal, B., 1986, Nijkamp, P., Rietvelt, P., Voogd, H. 1990, Roy, B., Vincke, Ph., 1981 και Vincke, P., 1992)

2. Value ή utility function-based μέθοδοι, όπως Multi-Attribute Utility Theory (MAUT), η Simple Multi-Attribute Rated Technique (SMART), η Analytic Hierarchy Process (AHP), και η πιο στοιχειώδης τεχνική πολλαπλών κριτηρίων, η Simple Additive Weighting (SAW).

Για τις utility function-based μεθόδους έχουν αναφερθεί μεταξύ των άλλων οι: (Keeney, R.L., Raia, H., 1993, Saaty, T.L., 1988, von Winterfeldt, D., και Edwards, W. 1986)

3. Άλλες μέθοδοι όπως η Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environment (NAIADE), Flag Model και Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis (SMAA).

Για τις εν λόγω μεθόδους έχουν αναφερθεί μεταξύ των άλλων οι: (Nijkamp, P., Vreeker, R., 2000, Lahdelma, R., Hokkanen, J., Salminen, P. 1998, και Munda, 1995).

Τίθεται το ερώτημα: πώς κάποιος μπορεί να επιλέξει την κατάλληλη μέθοδο για μια ειδική απόφαση κατάστασης; Στον Πίνακα 1 παρατίθενται οι ειδικές λειτουργικές απαιτήσεις για μια τεχνική MCDA για να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ΑΠΕ όπως αυτά παρατίθενται από τις συγκεκριμένες πτυχές της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα. Πολλές MCDA μέθοδοι περιλαμβάνουν ορισμένες απαιτήσεις που παρατέθηκαν, αλλά καμία μέθοδος δεν είναι ικανή να ενσωματώσει όλες την ίδια στιγμή. Ειδικά η τελευταία κατάσταση της χρονικής διάστασης στην ανάλυση φαίνεται να διέφυγε από την προσοχή των ερευνητών. Αυτό θεωρείται ότι μειώνει τη δυνατότητα εφαρμογής των MCDA μεθόδων στο σχεδιασμό ΑΠΕ, δεδομένου ότι τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά θέματα προβλέπουν ταυτόχρονα μικρής και μεγάλης διάρκειας συνέπειες. Όπως αναφέρουν οι Polatidis, H., Haralambopoulos, D., Kemp, R., και Rothman, D. (2003), για να συμπεριληφθεί ο χρονικά μεταβαλλόμενος χαρακτήρας των κριτηρίων βάρους, προτάθηκε

πρόσφατα ένα πλαίσιο που ενσωματώνει ολοκληρωμένη αξιολόγηση, διαχείριση της μετάβασης, και την ανάλυση βάσει πολλαπλών κριτηρίων. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία ρητή τεχνική MCDA, που αρχικά εφαρμόζει στην πράξη τη διάσταση του χρόνου, και αυτό το θέμα θεωρείται ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

Προϋποθέσεις των τεχνικών MCDA	Αιτιολόγηση
Καθορισμός της βαρύτητας των κριτηρίων	Για να παρέχουν τις πληροφορίες προτίμησης μεταξύ των κριτηρίων αξιολόγησης
Κρίσιμες τιμές κατώτατων ορίων, veto	Για να καταστήσει λειτουργική τη απορροφητική ικανότητα του περιβαλλοντικών και οικονομικών πόρων, και της κοινωνικής βάσης
Συγκρισιμότητα	Για να εκτελέσουν μια ενσωματωμένη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών ενεργειών
Ποιοτική και ποσοτική πληροφορία.	Για να χειριστεί τις μικτές πληροφορίες, συνήθως παρούσες στα προβλήματα της λήψης αποφάσεων ΑΠΕ
Ακαμψία	Για να δώσουν στιβαρά αποτελέσματα
Ομαδική λήψη αποφάσεων	Για να περιλάβουν ένα ευρύ ακροατήριο συμμετοχών
Γραφική αναπαράσταση	Για να καταστήσει το αποτέλεσμα κατανοητό
Ευκολία στη χρήση	Για να εξοικειώσει τους ιθύνοντες (DMs) με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων
Ανάλυση ευαισθησίας	Για να ενισχύσει τη διαφάνεια της διαδικασίας
Πληθώρα εναλλακτικών	Για να ενσωματωθούν όλα τα πιθανά σχέδια δράσης
Μεγάλος αριθμός κριτηρίων	Για να αγκαλιάσουν όλες τις διαφορετικές πτυχές
Διαδικασίες αναζήτησης συμβιβασμού	Για να φθάσει επάνω σε έναν γενικό συμβιβασμό
Ενσωμάτωση ακαθόριστων πτυχών	Για να είναι σε θέση να λαμβάνει υπόψιν τις «κρυμμένες» διαστάσεις του προβλήματος
Incommensurability	Για να κρατήσει τα κριτήρια απόφασης στις αρχικές μονάδες τους και να παρέχει μια καλύτερη σύνθεση του ζητήματος
Αντιμετώπιση της ασάφειας	Για να μεταχειριστεί αποκλειστικά τα ατελή στοιχεία (αβέβαια, ανακριβή, ελλιπή, λανθασμένα, κ.λπ.)
Μερικός συμβιβασμός	Για να καταστήσει λειτουργική μια ισχυρή σύλληψη ικανότητας υποστήριξης
Ιεράρχηση της κλίμακας	Για να μειώσει τις ασάφειες και να επιβληθεί η συνέπεια
Συγκεκριμένες έννοιες για τις χρησιμοποιούμενες παραμέτρους	Για να βελτιώσει την αξιοπιστία της διαδικασίας
Εκπαιδευτική διάσταση	Για να αναγνωρίσει και να δεχτεί νέες πληροφορίες που αποκαλύπτονται κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της διαδικασίας
Χρονικές πτυχές	Για να εξετάσει τη σημασία της κατάστασης και να διευκρινίσει τις μακροχρόνιες και βραχυπρόθεσμες ανησυχίες

**Πίνακας 1:** Προϋποθέσεις των τεχνικών MCDA για μελέτη ΑΠΕ

Επιπλέον, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι για να αντιμετωπίσουμε την πολύπλοκη φύση της ενέργειας και τη λήψη αποφάσεων περιβαλλοντικού χαρακτήρα. Εκ των υστέρων ανάλυση των αποτελεσμάτων των περιπτώσιολογικών μελετών θα μπορούσε να αποκαλύψει τι είδους πρόσθετα τεχνικά στοιχεία λείπουν στις τεχνικές. Αυτή η διαδικασία της βελτίωσης των MCDA τεχνικών είναι συνεχής από τη φύση της. Η ανάλυση των πραγματικών εφαρμογών θα μπορούσε να

αποκαλύψει τα μειονεκτήματα των διαδικασιών και θα μπορούσε να υπονοήσει αλλαγές ή νέες ενότητες που παρεμβάλλονται με τις μεθοδολογίες.

Πρόσφατες βασικές τεχνικές στη χρήση μπορεί να χρειαστούν τροποποιήσεις, προκειμένου να συμπεριλάβουν, για παράδειγμα, τη χρονική διάσταση ή να αξιοποιήσουν την αρχή της προφύλαξης. Το τελευταίο είναι υψηλής σημασίας επειδή, στην ενέργεια και περιβαλλοντική λήψη αποφάσεων, οι εμπλεκόμενες πολύχρονες κλίμακες, συνδυασμένες με την αβεβαιότητα των παγκόσμιων περιβαλλοντικών επιπτώσεων (αλλαγή του κλίματος, απώλεια βιοποικιλότητας, κ.λπ.), επιβάλει την άποψη ότι οι άνθρωποι πρέπει να βασίζονται σε επιστημονικά στοιχεία. Φαίνεται συνετό επομένως να εφαρμοστεί προφύλαξη και διαίσθηση για την αξιολόγηση των βαρών για τα περιβαλλοντικά κριτήρια. Αυτό μπορεί να γίνει από την ελαχιστοποίηση του στοιχείου του ρίσκου και την υιοθέτηση μόνο απολύτως καθιερωμένων γεγονότων.

Όπως περιγράφεται από τον Smets, Ph. (1988) και (1997), είναι δυνατόν να λεχθεί ότι οι belief functions μπορούν να ενεργούν ως έμμεσο μέσο για να εφαρμόσουν την αρχή της προφύλαξης στον προγραμματισμό των ΑΠΕ. Σύμφωνα με μια outranking προσέγγιση, ο Decision-Maker (DM) συνήθως καλείται να αξιολογήσει άμεσα το βάρος των παραγόντων των κριτηρίων αξιολόγησης. Για τα κριτήρια με έντονη αβεβαιότητα (π.χ. περιβαλλοντικά κριτήρια), οι αναλυτές θα μπορούσαν να πάρουν το συντελεστή βάρους του DM και να υποθέσουν ότι αυτό αντιπροσωπεύει μόνο μέρος του συνολικού βάρους, το credal μέρος. Όπως αναφέρουν οι Smets, Ph., και Kennes, R. (1994), στη συνέχεια, εφαρμόζοντας την Transferable Belief Model, ο υπολογισμός του συνόλου του βάρους μπορεί να πραγματοποιηθεί ως η πρόσθετη απόδοση των credal και pignistic ακεραίων. Αυτή η διαδικασία θα έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη δύναμη για τα περιβαλλοντικά κριτήρια, όπου επικρατεί μεγάλη αβεβαιότητα, αν όχι και άγνοια.

### **1.3. Τεχνικές απόκτησης πληροφοριών προτίμησης**

#### **1.3.1. Βασικοί Οροί**

##### **Μήτρα Αποφάσεων**



Η έννοια της μήτρας αποφάσεων είναι βασική για τις MCDA τεχνικές. Έστω  $A_i$  η  $i$ -οστή εναλλακτική λύση ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) και  $x_j$  έστω το  $j$ -οστό κριτήριο ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). Υποθέτουμε ότι το  $x_{ij}$  αντιπροσωπεύει τη τιμή του κριτηρίου  $x_j$  όσον αφορά την εναλλακτική  $A_i$ . Τότε, ένα ποσοτικό MCDA πρόβλημα μπορεί να αντιπροσωπευτεί χρησιμοποιώντας μήτρες αποφάσεων, όπως φαίνεται στο πίνακα 2.

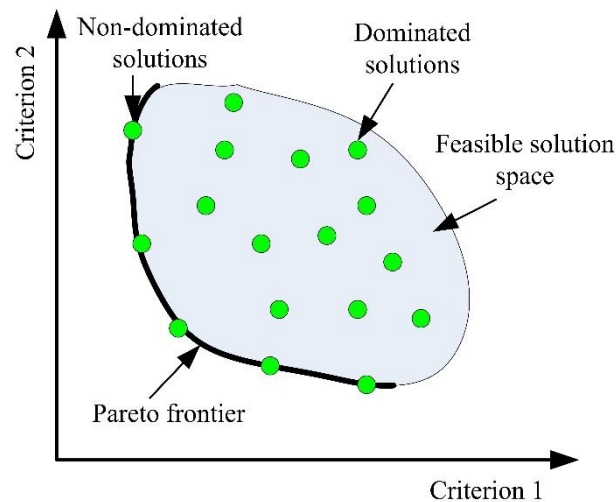
Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, 2012)

Εναλλακτικές	Κριτήρια			
$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	$\dots$	$x_{1n}$
$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	$\dots$	$x_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\dots$	$\vdots$
$A_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	$\dots$	$x_{mn}$

**Πίνακας 2:** Μήτρα αποφάσεων

## PARETO FRONTIER

Όπως αναφέρουν οι Hwang, C.L. και Masud, A.S., (1979), τα Pareto frontier εισάγονται για να βρουν την πιο συμβατή λύση που έχει τη μέγιστη γενική απόδοση. Στο εφικτό διάστημα λύσης, μια λύση υπερκαλύπτεται εάν υπάρχει μια άλλη λύση που υπερέχει σε ένα ή περισσότερα κριτήρια και ισάζια στα υπόλοιπα. Μια μη-επικαλυπτόμενη λύση είναι μια που κανένα κριτήριο δεν μπορεί να τη βελτιώσει χωρίς μια ταυτόχρονη ζημία τουλάχιστον σε ένα από τα άλλα. Δισδιάστατα Pareto frontier για την ελαχιστοποίηση δύο κριτηρίων διευκρινίζονται στο σχήμα 8.



**Σχήμα 8:** *Pareto Frontier σε δύο διαστάσεις.*

Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, 2012, Calpine, H.C., Golding, A., 1976)

### **Μήτρα Pairwise Σύγκρισης**

Η pairwise έννοια σύγκρισης προήλθε από ένα πείραμα που εκτελέστηκε από τον Weber το 1846 εξετάζοντας το θέμα των ερεθισμάτων και των αντιδράσεων. Ο Weber δήλωσε ότι αλλαγή στην αίσθηση παρατηρήθηκε όταν αυξήθηκε το ερέθισμα από ένα σταθερό ποσοστό του ίδιου του ερεθίσματος. Μια κλίμακα εννέα σημείων βασισμένη στο νόμο του Weber παρουσιάζεται στον πίνακα 3.

### **Πληροφορίες Προτίμησης**

Οι πληροφορίες προτίμησης αντιπροσωπεύουν τη τοποθέτηση του DM υπέρ ενός κριτηρίου κατά την επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων. Το επόμενο κεφάλαιο εισάγει τις πιο χαρακτηριστικές τεχνικές απόκτησης πληροφοριών προτίμησης: direct assignment μέθοδος, για την οποία έχουν αναφερθεί οι Hwang, C.L. και Yoon, K., (1981), eigenvector μέθοδος για την οποία έχει αναφερθεί ο Saaty, T.L., (1988), μέθοδος εντροπίας για την οποία έχουν αναφερθεί οι Hwang, C.L. και Yoon, K., (1981), απλή Multi-Attribute τεχνική εκτίμησης (SMART) για την οποία έχει αναφερθεί ο Edwards, W., (1977), Kano model για το οποίο έχουν αναφερθεί οι Zultner, R. και Mazur, G. (2006), και distance-to-target μέθοδο για την οποία έχουν αναφερθεί οι Miettinen, P. και Hmlinen, R., (1997).

### 1.3.2. Direct Assignment μέθοδος

Σε αυτήν την μέθοδο, ο DM ορίζει άμεσα αριθμούς για να αντιπροσωπεύσει την ανάλογη σημασία ενός κριτηρίου έναντι των άλλων. Μια κλίμακα δέκα σημείων από το 0 έως το 10 δίνει την ανάλογη σπουδαιότητα του κριτηρίου.

Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, 2012)

Βαθμός σημασίας	Ορισμός	Εξήγηση
1	Ιση σημασία	Δύο δραστηριότητες συμβάλλουν εξίσου στο στόχο
3	Μέτριας σημασίας	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ασθενώς μία δραστηριότητα από την άλλη.
5	Ισχυρή σημασία	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ισχυρά μία δραστηριότητα από την άλλη.
7	Πολύ ισχυρή ή αποδεδειγμένη σημασία	Μια δραστηριότητα ευνοείται πολύ έντονα πέρα από άλλη. Η κυριαρχία της καταδεικνύεται στην πράξη.
9	Υψίστης σημασία	Τα στοιχεία που ευνοούν μια δραστηριότητα πέρα από τις άλλες είναι της υψηλότερης κλίμακας επιβεβαίωσης.
Συνδέοντας τους παραπάνω	Εάν η δραστηριότητα $i$ έχει έναν από τους ανωτέρω διαφορετικούς από το μηδέν αριθμούς σε σύγκριση με τη δραστηριότητα $j$ , τότε το $j$ έχει κοινή αξία σε σύγκριση με το $i$ .	Μια λογική υπόθεση.

*Πίνακας 3: Κλίμακα Pairwise Σύγκρισης. Παραπομπή: (Saaty, T.L., 1988)*

### 1.3.3. Eigenvector μέθοδος

Η Eigenvector μέθοδος είναι ένας αναλυτικός τρόπος εκμαίευσης πληροφοριών προτίμησης στην Analytical Hierarchy Process (AHP). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί pairwise συγκρίσεις μεταξύ των κριτηρίων που αντιπροσωπεύονται από μια μήτρα σύγκρισης  $M$ , τα σχετικά βάρη των κριτηρίων μπορούν να ληφθούν με την επίλυση της eigenvalue εξίσωσης.

Στα περισσότερα DM προβλήματα, η eigenvalue εξίσωσης λύνεται για να αξιολογήσει τις προτεραιότητες των διαφορετικών κριτηρίων. Στην AHP, η συνέπεια των βαρών αξιολογείται από

την αναλογία συνέπειας (CR)

Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, 2012, Saaty, T.L., 1988)

#### **1.3.4. Entropy μέθοδος**

Η μέθοδος της εντροπίας παρέχει έναν εναλλακτικό τρόπο για ανάθεση βαρών, όταν τα εισαγόμενα δεδομένα ενός προβλήματος λήψης απόφασης εκπροσωπούνται από μια μήτρα αποφάσεων.

Η μέθοδος εντροπίας βοηθά στη διερεύνηση της αντίθεσης μεταξύ συνόλων δεδομένων, δηλαδή, το βάρος του ενός κριτηρίου είναι μικρό όταν όλες οι εναλλακτικές λύσεις έχουν παρόμοιες τιμές για το κριτήριο αυτό. Με άλλα λόγια, ένα κριτήριο δεν συμβάλλει πολύ όταν έχει παρόμοιες τιμές για όλες τις εναλλακτικές λύσεις.

Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, 2012)

#### **1.3.5. Simple Multi-Attribute Rating Technique**

Η Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART) αναπτύχθηκε αρχικά ως μια πλήρης διαδικασία βαθμολογίας εναλλακτικών λύσεων και στάθμισης κριτηρίων.

Παραπομπή: (Edwards, W., 1977). Τα βάρη έχουν παραχθεί σε δύο βήματα:

- Πρώτον, ο DM ταξινομεί τη σημασία των αλλαγών στα κριτήρια από τα χειρότερα επίπεδα κριτηρίου στα καλύτερα
- Στη συνέχεια, ο DM κάνει εκτιμήσεις ανάλογα με τη σχετική σημασία του κάθε κριτηρίου σε σχέση με αυτό που κατατάσσεται τελευταίο στην σημασία.

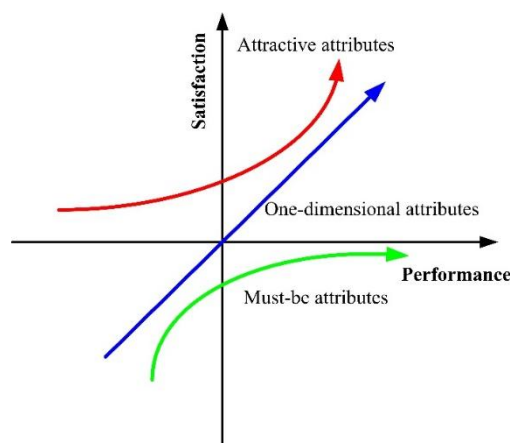
Το δεύτερο βήμα ξεκινά συνήθως με την εκχώρηση δέκα πόντων στα λιγότερο σημαντικά κριτήρια. Στη συνέχεια η σχετική σημασία των άλλων κριτηρίων αξιολογείται με τη βαθμολόγηση από δέκα και άνω.

#### **1.3.6. Kano's Model**

Το Kano's model παρέχει έναν τρόπο κατάταξης των ήσσονος σημασίας μεταξύ χαρακτηριστικών των εναλλακτικών λύσεων. Υπάρχουν τρεις τύποι ιδιοτήτων στο Kano's model: must-be χαρακτηριστικά, one-dimensional χαρακτηριστικά και attractive χαρακτηριστικά.

Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, 2012, Kaygusuz, K. (2002)).

Κάθε τύπος χαρακτηριστικού που αναφέρεται παραπάνω επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο την ικανοποίηση του καταναλωτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 9. Όσο περνάει ο χρόνος, τα ελκυστικά χαρακτηριστικά θα εξελιχθούν σε μονοδιάστατα και τα μονοδιάστατα σε Must-be, και θα προκύψουν νέα ελκυστικά χαρακτηριστικά.



**Σχήμα 9:** Κατηγοριοποίηση ιδιοτήτων στο Kano's Model.

Παραπομπή: (Calpine, H.C., Golding, A., 1976)

### 1.3.7. Distance-to-target μέθοδος

Όπως αναφέρουν οι Miettinen, P. και Hmlinen, R., (1997), η distance-to-target μέθοδος εφαρμόζεται ευρέως στον Life Cycle Assessment (LCA), ο οποίος περιγράφει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία από multi-attribute αξιολογήσεις προϊόντων. Όπως αναφέρουν οι Ahlroth, S., Nilsson, M., Finnveden, G., Hjelm, O. και Hochschorner, E (2011), η distance-to-target μέθοδος αντλεί τα βάρη από την απόσταση μεταξύ των τωρινών επιπέδων των κριτηρίων και των τιμών των μελλοντικών στόχων. Αυτή η μέθοδος ταξινομεί τις επιπτώσεις ως σημαντικότερες όσο πιο μακριά βρίσκονται από την επιτυχία του επιθυμητού πρότυπου.

Παραπομπή: (Seppala, J., Hamalainen, R., 2001, Xiaoqian Sun, 2012)

Έχει επισημανθεί ότι η ρύθμιση των στόχων είναι σπάνια διαφανής, μπορεί να ποικίλλει μεταξύ κρατών και μπορεί να ληφθεί περισσότερο πολιτικά παρά επιστημονικά, όπως αναφέρει ο Lindeijer,

E. (1996). Προτάθηκε να χρησιμοποιήσει τον συντελεστή διόρθωσης που δηλώνει τη σχετική σημασία της κατηγορίας επιπτώσεων σχετικά με άλλες κατηγορίες επιπτώσεων σε μια δεδομένη περιοχή.

Παραπομπή: (Lee, K., 1999).

#### 1.4. Τυπικές Non-compensatory Decision Analysis μέθοδοι

Οι Non-compensatory decision μέθοδοι ανάλυσης δεν επιτρέπουν συμβιβασμούς μεταξύ κριτηρίων, δηλαδή, μειονεκτική θέση σε ένα κριτήριο που δεν μπορεί να αντισταθμισθεί από μια πλεονεκτική θέση σε άλλο κριτήριο. Οι Non-compensatory μέθοδοι προτιμώνται για την απλότητά τους, συνοψίζονται στον πίνακα 4 και εξηγούνται λεπτομερώς στις παρακάτω υπό-ενότητες.

Non-compensatory μέθοδοι	Compensatory μέθοδοι
Conjunctive μέθοδος	Analytic hierarchy process
Disjunctive μέθοδος	Expected utility theory
Dominance μέθοδος	Multi-attribute utility theory
ELECTRE	Multiplicative weighting μέθοδος
Elimination by aspects	PROMETHEE
Lexicographic μέθοδος	Simple additive weighting
Maximin μέθοδος	TOPSIS
Maximax μέθοδος	

**Πίνακας 4:** Τυπικές Non-compensatory και Compensatory Decision Analysis μέθοδοι. Παραπομπή:

(Hwang, C.L., Yoon, K., 1981)

##### 1.4.1. Conjunctive μέθοδος

Όπως αναφέρουν οι Hwang, C.L. και Yoon, K., (1981), Xiaoqian Sun, (2012), στη μέθοδο αυτή, ο DM καθορίζει τις ελάχιστες αποδεκτές τιμές των κριτηρίων. Οποιαδήποτε εναλλακτική λύση που έχει μια αξία κριτηρίου μικρότερη από το αποδεκτό επίπεδο θα απορριφθεί.

Οι τιμές της αποκοπής διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην εξάλειψη των εναλλακτικών λύσεων. Εάν η τιμή είναι πολύ υψηλή, δεν μένει καμμία, ενώ αν είναι σχετικά χαμηλή, έχουν μείνει κάποιες εναλλακτικές λύσεις μετά το φιλτράρισμα. Ως εκ τούτου, αυξάνοντας το ελάχιστο επίπεδο πρότυπου με επαναληπτικό τρόπο, οι εναλλακτικές λύσεις μπορούν να περιοριστούν σε μια ενιαία επιλογή.

Η Conjunctive μέθοδος δεν απαιτεί τα κριτήρια να είναι αριθμητικά, και η σχετική σημασία των κριτηρίων δεν είναι απαραίτητη. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για να διχοτομήσει εναλλακτικές λύσεις σε κατηγορίες αποδεκτών και μη αποδεκτών.

#### **1.4.2. Disjunctive μέθοδος**

Όπως αναφέρουν οι Hwang, C.L. και Yoon, K., (1981), Xiaoqian Sun, (2012), στη Disjunctive μέθοδο, μια εναλλακτική λύση αξιολογείται στη μέγιστη αξία ενός κριτηρίου

Όπως και η Conjunctive, η Disjunctive μέθοδος δεν απαιτεί τα κριτήρια να είναι αριθμητικά, και η σχετική σημασία των κριτηρίων δεν είναι απαραίτητη.

#### **1.4.3. Μέθοδος κυριαρχίας**

Όπως αναφέρουν οι Calpine, H.C. και Golding, A., (1976), η μέθοδος κυριαρχίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις εναλλακτικές λύσεις προκειμένου να ληφθεί ένα σύνολο μη κυρίαρχων λύσεων πριν από την τελική επιλογή. Οι διαδικασίες της μεθόδου κυριαρχίας περιγράφονται ως εξής.

- Συγκρίνουμε τις πρώτες δύο εναλλακτικές λύσεις και εάν κάποια κυριαρχείται από την άλλη, απορρίπτουμε την πιο αδύναμη.
- Έπειτα, συγκρίνουμε τη διατηρημένη εναλλακτική λύση με την τρίτη εναλλακτική λύση και απορρίπτουμε την πιο αδύναμη.
- Αφού συγκρίνουμε όλες οι εναλλακτικές λύσεις, καθορίζουμε το μη-κυρίαρχο σύνολο.

Η μέθοδος κυριαρχίας δεν απαιτεί οποιαδήποτε υπόθεση ή οποιοδήποτε μετασχηματισμό των κριτηρίων. Το μη-κυρίαρχο σύνολο έχει συνήθως πολλαπλές εναλλακτικές λύσεις, ως εκ τούτου, η μέθοδος κυριαρχίας χρησιμοποιείται κυρίως για το αρχικό φιλτράρισμα.

#### 1.4.4. ELECTRE μέθοδος

Οι ELECTRE (Elimination and Choice Translation Reality) μέθοδοι χρησιμοποιούν την έννοια της outranking σχέσης, που εισάγεται από τους Benayoun, R., Roy, B. και Sussman, N., (1973).

Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις  $m$  βασισμένες στα κριτήρια αξιολόγησης  $n$ , με τους παράγοντες στάθμισης  $[w_1, w_2, \dots, w_n]$ , όπου  $x_{ij}$  η αξία του κριτηρίου  $x_j$  όσον αφορά το εναλλακτικό  $A_i$ .

Μια outranking σχέση μεταξύ της εναλλακτικής  $A_k$  και της εναλλακτικής  $A_l$  ( $k, l = 1, 2, \dots, m, k \neq l$ ) ορίζεται ως εξής: Το  $A_k$  προτιμάται από το  $A_l$  όταν  $A_k$  είναι τουλάχιστον τόσο καλό όσο το  $A_l$  όσον αφορά μια πλειοψηφία των κριτηρίων και όταν  $A_k$  δεν είναι μειονεκτικό σχετικά με οποιαδήποτε άλλα κριτήρια. Μετά από την αξιολόγηση των outranking σχέσεων για κάθε ζευγάρι των εναλλακτικών λύσεων, οι κυρίαρχες εναλλακτικές λύσεις μπορούν να αποβληθούν και οι μη-κυρίαρχες εναλλακτικές λύσεις μπορούν να ληφθούν για περαιτέρω εκτίμηση.

Όπως αναφέρουν οι Roy, B., 1991, Collette, Y. και Siarry, P., (2003), υπάρχουν διάφορες εκδόσεις των μεθόδων ELECTRE, συμπεριλαμβανομένου των ELECTRE I, IS, II, III, IV και TRI. Η ELECTRE I είναι η πρώτη μέθοδος ανάλυσης απόφασης που χρησιμοποιεί την έννοια της outranking σχέσης, οι άλλες εκδόσεις των μεθόδων ELECTRE είναι επεκτάσεις της ELECTRE I.

Σε αυτήν την υποενότητα, οι σταδιακοί υπολογισμοί της ELECTRE I περιγράφονται λεπτομερώς και οι άλλες μέθοδοι ELECTRE αναφέρονται εν συντομία.

Όπως αναφέρουν οι (Hwang, C.L. και Yoon, K., (1981), η ELECTRE I αποτελείται από τα ακόλουθα εννέα βήματα.



1. Ομαλοποίηση της μήτρας αποφάσεων.

$$R = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{vmatrix} \quad r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

2. Υπολογισμός της βεβαρημένης μήτρας αποφάσεων.

$$V = RW = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{vmatrix} \quad (2.2)$$

3. Καθορισμός συνόλων συμφωνίας και ασυμφωνίας.

Για κάθε ζευγάρι εναλλακτικών λύσεων  $A_k$  και  $A_l$ , το σύνολο κριτηρίων απόφασης  $J = \{j / j = 1, 2, \dots, n\}$  διαιρείται σε δύο ξεχωριστά υποσύνολα. Το σύμφωνο  $C_{kl}$  του  $A_k$  και  $A_l$  αποτελείται από όλα τα κριτήρια που υποστηρίζουν ότι το  $A_k$  προτιμάται από το  $A_l$ . Το ασύμφωνο  $D_{kl}$  είναι το συμπληρωματικό υποσύνολο του σύμφωνου  $C_{kl}$ .

$$C_{kl} = \{j / x_{kj} \geq x_{lj}, (k, l = 1, 2, \dots, m, \text{ and } k \neq l) \quad D_{kl} = \{j / x_{kj} < x_{lj}\} = J - C_{kl} \quad (2.3)$$

4. Υπολογισμός της μήτρας συμφωνίας  $C$ .

Κάθε στοιχείο της μήτρας συμφωνίας  $C$  υπολογίζεται από το ποσό των βαρών κριτηρίων που περιλαμβάνονται στο σύνολο συμφωνίας. Παραδείγματος χάριν, το στοιχείο  $c_{kl}$  μεταξύ  $A_k$  και  $A_l$  υπολογίζεται από την εξίσωση 2.4.

$$C = \begin{vmatrix} \dots & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & \dots \end{vmatrix} \quad c_{kl} = \sum_{j \in c_{kl}} w_j \quad (2.4)$$

##### 5. Υπολογισμός της μήτρας ασυμφωνίας $D$ .

Κάθε στοιχείο της μήτρας ασυμφωνίας  $D$  υπολογίζεται από το ποσό των βαρών κριτηρίων που περιλαμβάνονται στο σύνολο ασυμφωνίας. Παραδείγματος χάριν, το στοιχείο  $d_{kl}$  μεταξύ  $A_k$  και  $A_l$  υπολογίζεται από την εξίσωση 2.5.

$$D = \begin{vmatrix} \dots & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & \dots \end{vmatrix}$$

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |u_{kj} - u_{lj}|}{\max_{j \in J} |u_{kj} - u_{lj}|} \quad (2.5)$$

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι οι διαφορές μεταξύ των παραγόντων στάθμισης περιλαμβάνονται στη μήτρα συμφωνίας  $C$ , ενώ οι διαφορές μεταξύ των τιμών κριτηρίων απεικονίζονται στη μήτρα ασυμφωνίας  $D$ .

#### 6. Καθορισμός κυρίαρχης μήτρας συμφωνίας.

Ένα κατώτατο όριο συμφωνίας  $c$  πρέπει να επιλεχτεί για να εκτελέσει τη δοκιμή συμφωνίας. Η εναλλακτική  $A_k$  πιθανόν να κυριαρχεί της εναλλακτικής  $A_l$ , εάν το στοιχείο  $c_{kl}$  υπερβαίνει τουλάχιστον ένα ορισμένο κατώτατο όριο  $c$ , δηλαδή  $c_{kl} \geq c$ .

Στην ELECTRE I, μια Boolean μήτρα χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τη δοκιμή συμφωνίας σε αριθμητικές τιμές (0 ή 1). Εάν η δοκιμή συμφωνίας ( $c_{kl} \geq c$ ) είναι αληθής, τότε το στοιχείο είναι 1. Αλλιώς είναι 0.

#### 7. Καθορισμός κυρίαρχης μήτρας ασυμφωνίας.

Ένα κατώτατο όριο ασυμφωνίας  $d$  πρέπει να επιλεχτεί για να εκτελέσει τη δοκιμή ασυμφωνίας. Η εναλλακτική  $A_k$  πιθανόν να κυριαρχεί της εναλλακτικής  $A_l$ , εάν το στοιχείο  $d_{kl}$  είναι τουλάχιστον μικρότερο από ένα ορισμένο κατώτατο όριο  $d$ , δηλαδή  $d_{kl} \leq d$ .

Όπως προηγουμένως, μια Boolean μήτρα χρησιμοποιείται για να μετατρέψει τη δοκιμή ασυμφωνίας σε αριθμητικές τιμές (0 ή 1). Εάν τη δοκιμή ασυμφωνίας περαστεί ( $d_{kl} \leq d$ ), τότε το στοιχείο είναι 1. Αλλιώς είναι 0.

#### 8. Άθροισμα της μήτρας κυριαρχίας.

Μια σχέση υπεροχής μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο εάν και η δοκιμή συμφωνίας και η δοκιμή ασυμφωνίας είναι επιτυχείς. Δηλαδή  $c_{kl} \geq c$  και  $d_{kl} \leq d$ . Η αθροισμένη μήτρα κυριαρχίας υπολογίζεται από ένα στοιχείο-προς-στοιχείο προϊόν της μήτρας κυριαρχίας συμφωνίας και της μήτρας κυριαρχίας ασυμφωνίας.

#### 9. Αποβολή των μη κυρίαρχων εναλλακτικών λύσεων.

Η αθροισμένη μήτρα κυριαρχίας δίνει την μερική προτεραιότητα των εναλλακτικών λύσεων. Στην αθροισμένη μήτρα κυριαρχίας, το στοιχείο 1 στη στήλη δείχνει ότι αυτή η εναλλακτική λύση κυριαρχείται από άλλες εναλλακτικές λύσεις. Κατά συνέπεια, οποιαδήποτε εναλλακτική λύση που έχει τουλάχιστον ένα στοιχείο 1 στη στήλη μπορεί να αποβληθεί.

Η ELECTRE I χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της απλής λογικής και των καθαρισμένων υπολογιστικών διαδικασιών της. Εντούτοις, οι δύο τιμές κατώτατων ορίων συμφωνίας και ασυμφωνίας ασκούν σημαντική επίδραση στα τελικά αποτελέσματα. Επιπλέον, οι διαδικασίες υπολογισμού γίνονται πιο σύνθετες καθώς το μέγεθος της μήτρας απόφασης αυξάνεται.

### **ELECTRE IS μέθοδος**

Όπως αναφέρουν οι Roy, B., 1991, Collette, Y. και Siarry, P., (2003), η ELECTRE IS είναι παρόμοια με την ELECTRE I, εκτός από το βήμα 6 (καθορισμός μήτρας κυριαρχίας συμφωνίας), όπου αντί των Boolean αριθμών (0 ή 1), χρησιμοποιούνται τιμές διαστήματος μεταξύ 0 και 1. Προκειμένου να διακριθούν οι εναλλακτικές λύσεις, δύο κατώτατα όρια πρέπει να καθοριστούν για κάθε κριτήριο: κατώτατο όριο αδιαφορίας και ακριβές κατώτατο όριο προτίμησης.

### **ELECTRE II μέθοδος**

Όπως αναφέρει ο Roy, B., (1991), η ELECTRE II είναι επίσης παρόμοια με την ELECTRE I. Η κύρια διαφορά είναι ο καθορισμός δύο σχέσεων προτεραιότητας: ισχυρή προτεραιότητα και αδύναμη προτεραιότητα. Για κάθε κριτήριο, πρέπει να καθοριστούν δύο ισχυρής προτεραιότητας κατώτατα όρια και ένα αδύναμης προτεραιότητας κατώτατο όριο.

### **ELECTRE III μέθοδος**

Η ELECTRE III χρησιμοποιεί την ίδια αρχή με την ELECTRE II. Για κάθε κριτήριο, ένα κατώτατο όριο αδιαφορίας, ένα κατώτατο όριο προτίμησης, και ένα κατώτατο όριο βέτο πρέπει να καθοριστούν προκειμένου να συγκριθούν οι εναλλακτικές λύσεις. Οι μήτρες κυριαρχίας συμφωνίας και κυριαρχίας ασυμφωνίας κατασκευάζονται από τιμές του διαστήματος μεταξύ 0 και 1. Η συνάθροιση της μήτρας κυριαρχίας συμφωνίας και της μήτρας κυριαρχίας ασυμφωνίας λαμβάνεται από μια μήτρα αξιοπιστίας. Όπως αναφέρουν οι Roy, B. (1991) και Collette, Y., Siarry, P. (2003), η τελική ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων είναι βασισμένη στα ανερχόμενα και κατερχόμενα αποτελέσματα.

### **ELECTRE IV μέθοδος**

Όπως αναφέρουν οι Roy, B., (1991), Collette, Y. και Siarry, P., (2003), αντίθετα από τις

προηγούμενες μεθόδους ELECTRE, η ELECTRE IV δεν απαιτεί τα βάρη κριτηρίων στις διαδικασίες υπολογισμού. Αντ' αυτού, χρησιμοποιεί τον αριθμό κριτηρίων στις διαφορετικές περιοχές προτίμησης. Για κάθε κριτήριο, απαιτούνται ένα κατώτατο όριο αδιαφορίας, ένα κατώτατο όριο προτίμησης, και ένα κατώτατο όριο βέτο προκειμένου να συγκριθούν οι εναλλακτικές λύσεις. Παρομοίως με την ELECTRE III, υπολογίζεται μια μήτρα αξιοπιστίας, και η ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων είναι βασισμένη στα ανερχόμενα και κατερχόμενα αποτελέσματα.

### **ELECTRE TRI μέθοδος**

Στην ELECTRE TRI, εισάγονται μερικές εναλλακτικές λύσεις αναφοράς. Όλες οι εναλλακτικές λύσεις συγκρίνονται με αυτές τις εναλλακτικές λύσεις αναφοράς, όπως αναφέρει ο Roy, B., (1991). Παρομοίως με την ELECTRE III, υπολογίζεται μια μήτρα αξιοπιστίας όσον αφορά τις εναλλακτικές λύσεις αναφοράς. Οι σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των υποψηφίων εναλλακτικών λύσεων και των εναλλακτικών λύσεων αναφοράς καθιερώνονται χρησιμοποιώντας τη μήτρα αξιοπιστίας και ένα κατώτατο όριο βέτο. Η ELECTRE TRI μπορεί να μειώσει το υπολογιστικό κόστος των εναλλακτικών συγκρίσεων όταν ο αριθμός εναλλακτικών λύσεων είναι μεγάλος.

### **Σύνοψη των ELECTRE μεθόδων**

Τα κύρια χαρακτηριστικά όλων των εκδόσεων των μεθόδων ELECTRE συνοψίστηκαν από το Roy, B., (1991), όπως φαίνεται στον πίνακα 5. Εξετάζοντας τους διαφορετικές τύπους προβλημάτων, προτάθηκαν μερικές οδηγίες για το πώς να επιλεγεί μία από τις μεθόδους ELECTRE. Για παράδειγμα, εάν χρειάζεται να εργαστούμε με μια πολύ απλή μέθοδο και δεν είναι ρεαλιστικό να υπάρξει καμία πληροφορία για το κατώτατο όριο αδιαφορίας και το κατώτατο όριο προτίμησης, πρέπει να επιλεγεί η ELECTRE προκειμένου να αποβληθούν οι μη κυρίαρχες εναλλακτικές λύσεις, ενώ πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ELECTRE II προκειμένου να χτιστεί ένα μερικό preorder των εναλλακτικών λύσεων. Η ELECTRE IV θα ήταν κατάλληλη μόνο εάν υπάρχει ένας καλός λόγος να απορριφτεί η εισαγωγή των συντελεστών σημασίας. Γενικά, οι ELECTRE I, II, III, IV, και TRI παρέχουν ισχυρή υποστήριξη για την ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων. Εντούτοις, απαιτούν πάρα πολλούς ορισμούς κατώτατων ορίων από DM, που τις καθιστά περίπλοκες για να εφαρμοστούν σε πραγματικά παγκόσμια προβλήματα.

Παραπομπή: (Milani, A.S., Shanian, A., Lahham, C., 2006).

ELECTRE μέθοδος	I	IS	II	III	IV	TRI
Απαιτεί όρια αδιαφορίας	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι
Απαιτεί βάρη	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Outranking σχέσεις	Δυναδικές	Δυναδικές	Ισχυρές και ασθενής	Διαβαθμισμένες τιμές	Αυστηρώς, μερικώς, ασθενώς προτιμώμενες, η αδιάφορες	Διαβαθμισμένες τιμές

**Πίνακας 5:** Βασικά χαρακτηριστικά των *ELECTRE Methods*. Παραπομπή: (Roy, B., 1991)

#### 1.4.5. Elimination by Aspects μέθοδος

Σε αυτήν την μέθοδο, ο DM υποτίθεται ότι εισάγει το ελάχιστο όριο αποκοπής για κάθε κριτήριο. Επιλέγεται ένα κριτήριο, και όλες οι εναλλακτικές λύσεις που δεν περνούν το όριο αποκοπής σε σύγκριση με εκείνο το κριτήριο αποβάλλονται. Κατόπιν ένα άλλο κριτήριο επιλέγεται, και ούτω καθεξής. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι όλες, πλην μίας, οι εναλλακτικές λύσεις να έχουν αποβληθεί.

Παραπομπή (Hwang, C.L., Yoon, K., 1981).

Η elimination by aspects μέθοδος αποβάλλει τις εναλλακτικές λύσεις που δεν ικανοποιούν κάποιο τυποποιημένο επίπεδο, και συνεχίζεται έως ότου έχουν αποβληθεί όλες οι εναλλακτικές λύσεις εκτός από μια. Εντούτοις, μόνο μικρό μέρος των πληροφοριών χρησιμοποιείται κατά τη σύγκριση των εναλλακτικών λύσεων.

#### 1.4.6. Lexicographic μέθοδος

Στη λεξικογραφική μέθοδο, ο DM συγκρίνει τις εναλλακτικές λύσεις στο σημαντικότερο κριτήριο. Εάν μια εναλλακτική λύση έχει μια καλύτερη αξία κριτηρίου από όλες τις άλλες εναλλακτικές λύσεις, η εναλλακτική λύση επιλέγεται και η διαδικασία απόφασης τελειώνει. Εντούτοις, εάν μερικές εναλλακτικές λύσεις είναι συνδεδεμένες στο σημαντικότερο κριτήριο, το υποσύνολο των συνδεδεμένων εναλλακτικών λύσεων έπειτα συγκρίνεται με το δεύτερο πλέον σημαντικό κριτήριο. Η διαδικασία συνεχίζεται διαδοχικά έως ότου να επιλέγει μια ενιαία εναλλακτική λύση ή έως ότου όλα τα κριτήρια να έχουν εξεταστεί.

Η λεξικογραφική μέθοδος δεν απαιτεί τη συγκρισιμότητα στα κριτήρια, και οι πληροφορίες προτίμησης για τα κριτήρια δεν είναι απαραίτητως αριθμητικές τιμές. Εντούτοις, χρησιμοποιεί μόνο ένα μικρό μέρος των διαθέσιμων πληροφοριών στη λήψη μιας τελικής απόφασης.

#### **1.4.7. Maximin μέθοδος**

Στη μέθοδο Maximin, η γενική απόδοση μιας εναλλακτικής λύσης καθορίζεται από το πιο αδύναμο κριτήριο. Ο DM εξετάζει τις τιμές κριτηρίων για κάθε εναλλακτική λύση, σημειώνει τη χειρότερη αξία για κάθε εναλλακτική λύση, και επιλέγει έπειτα την εναλλακτική λύση με την πιο αποδεκτή αξία στο χειρότερο κριτήριό του. Είναι η επιλογή του μεγίστου (στις εναλλακτικές λύσεις) και της ελάχιστης (στα κριτήρια) τιμής.

Παραπομπή: (Hwang, C.L., Yoon, K., 1981, Xiaoqian Sun, 2012)

#### **1.4.8. Maximax μέθοδος**

Σε αντίθεση με τη μέθοδο Maximin, η μέθοδος Maximax επιλέγει μια εναλλακτική λύση από το κριτήριο με την καλύτερη αξία. Σε αυτήν την μέθοδο, προσδιορίζεται η καλύτερη αξία κριτηρίου για κάθε εναλλακτική λύση, και μετά συγκρίνονται οι μέγιστες τιμές προκειμένου να επιλεγεί η εναλλακτική λύση με την καλύτερη αξία.

Παραπομπή: (Hwang, C.L., Yoon, K., 1981, Xiaoqian Sun, 2012).

Η μέθοδος Maximin και η μέθοδος Maximax χρησιμοποιούν μόνο ένα κριτήριο ανά εναλλακτική λύση στην παραγωγή μιας τελικής επιλογής. Οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως στη θεωρία παιγνίων, εντούτοις, η δυνατότητα εφαρμογής τους σε άλλους τομείς είναι σχετικά περιορισμένη.

### **1.5. Τυπικές Compensatory Decision Analysis μέθοδοι**

Οι Compensatory decision analysis μέθοδοι επιτρέπουν ανταλλαγές μεταξύ κριτηρίων, δηλαδή μικρές αλλαγές σε ένα κριτήριο μπορούν να αντισταθμιστούν με κατάλληλες αλλαγές σε άλλα κριτήρια. Συνοψίζονται στον πίνακα 4 και εξηγούνται λεπτομερώς στις παρακάτω υπό-ενότητες.

#### **1.5.1. Analytic Hierarchy Process μέθοδος**

Η Analytic Hierarchy Process (AHP) προτάθηκε για να εξετάσει DM προβλήματα που έχουν ιεραρχικές δομές ιδιοτήτων, όπως αναφέρει ο Saaty, T.L., (1988). Η AHP είναι βασισμένη στην ιδέα της μετάφρασης ενός ιεραρχικού DM προβλήματος σε μια σειρά pairwise μητρών σύγκρισης και της λήψης της πληροφορίας προτίμησης από τις ιδιότητες που χρησιμοποιούν τη μέθοδο eigenvector, όπου εξηγείται στην υποενότητα 2.3.3.

Υποθέτουμε ότι υπάρχουν  $m$  εναλλακτικές λύσεις και  $n$  κριτήρια σε ένα δεδομένο πρόβλημα. Μια pairwise μήτρα σύγκρισης είναι μια  $m$  επί  $m$  μήτρα, της οποίας το στοιχείο  $y_{ij}$  δείχνει τις πληροφορίες προτίμησης του DM της εναλλακτικής λύσης  $i$  από του εναλλακτικού  $j$  για ένα δεδομένο κριτήριο. Στο σύνολο, υπάρχουν μήτρες σύγκρισης  $n$   $m$  επί  $m$ , όπως φαίνεται στη μήτρα  $M$ .

$$M = \begin{vmatrix} 1 & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & 1 & \dots & y_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

#### Υπολογιστικά βήματα της AHP

1. Καθιέρωση του decision making προβλήματος σε μια δομημένη ιεράρχηση.
2. Διατύπωση της pairwise μήτρας σύγκρισης για στοιχεία σε ενιαίο επίπεδο ιεράρχησης, όσον αφορά κάθε ένα από τα στοιχεία στο αμέσως ανώτερο επίπεδο.
3. Παραγωγή βαρών των στοιχείων χρησιμοποιώντας τη eigenvector μέθοδο.
4. Η εναλλακτική λύση με μεγαλύτερη σχετική αξία είναι η ευνοϊκότερη.

Η AHP παρέχει έναν απλό τρόπο να διατυπωθεί ένα DM πρόβλημα και να αποσπαστούν οι πληροφορίες προτίμησης, δεδομένου ότι απαιτούν μόνο τις pairwise συγκρίσεις μεταξύ των



κριτηρίων ή των εναλλακτικών λύσεων. Εντούτοις, έχει μερικούς περιορισμούς. Υποθέτουμε ότι υπάρχει ανεξαρτησία προτίμησης μεταξύ όλων των στοιχείων σε οποιοδήποτε επίπεδο εκτός από το κατώτατο. Θα ήταν προβληματικό να χρησιμοποιηθεί AHP εάν τα κριτήρια στο ίδιο επίπεδο έχουν συσχετισμένη εξάρτηση. Ένας άλλος περιορισμός είναι ότι η pairwise μήτρα σύγκρισης απαιτείται με κάθε στοιχείο περιγράφοντας την ανάλογη σημασία ενός κριτηρίου σε όλα τα άλλα κριτήρια, ή τη σχετική προτίμηση μιας εναλλακτικής λύσης σε όλες τις άλλες εναλλακτικές λύσεις. Η πλήρης pairwise σύγκριση δεν είναι ένας τετριμμένος στόχος για τον DM και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ασυνέπειας. Αυτά τα προβλήματα θα γίνουν χειρότερα με το αυξανόμενο μέγεθος pairwise της μήτρας σύγκρισης.

### **1.5.2. Expected Utility Theory**

Η Expected Utility Theory μπορεί να χρονολογηθεί από τη λύση του Daniel Bernoulli στο Παράδοξο της Πετρούπολης το 1738.

Παραπομπή: (Davis, J., Hands, W., Maki, U., 1997, Dehling, H., 1997, Xiaoqian Sun, 2012)

Η Expected Utility Theory είναι κατάλληλη για DM προβλήματα που συμπεριλαμβάνουν κίνδυνο και αβεβαιότητα. Εντούτοις, είναι δύσκολο να ληφθεί μια ακριβής συνάρτηση χρησιμότητας για κάθε κριτήριο, και η συνέπεια των συναρτήσεων χρησιμότητας μεταξύ των διαφορετικών κριτηρίων είναι δύσκολο να διατηρηθεί.

### **1.5.3. Multi-Attribute Utility Theory**

Αυτή η μέθοδος είναι βασισμένη στην έννοια της συνάρτησης χρησιμότητας, η οποία αντιπροσωπεύει μια χαρτογράφηση από την προτίμηση του DM σε μια μαθηματική λειτουργία. Η ευρύτετα χρησιμοποιημένη μορφή της είναι η πρόσθετη multi-attribute συνάρτηση χρησιμότητας. Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, (2012, Keeney, R.L., Raia, H., 1993).

Η additive multi-attribute utility theory παρέχει συναρτήσεις χρησιμότητας για να αντιπροσωπεύσει τις πληροφορίες προτίμησης του DM. Εντούτοις, τόσο οι δύο υποθέσεις ότι οι συναρτήσεις χρησιμότητας όλων των ιδιοτήτων είναι ανεξάρτητες και ότι το βάρος μίας ιδιότητας μπορεί να υπολογιστεί ανεξαρτήτως των άλλων βαρών, όσο και η ανεξαρτησία των παραγόντων λειτουργίας και στάθμισης χρησιμότητας δεν ισχύουν για πολλά πρακτικά DM προβλήματα, περιορίζουν τη χρήση αυτής της μεθόδου.

#### 1.5.4. Multiplicative Weighting μέθοδος

Σε αυτήν την μέθοδο, οι παράγοντες στάθμισης  $[w_1, w_2, \dots, w_n]^T$  ορίζονται στα κριτήρια από τον DM και κατόπιν οι τιμές κριτηρίων για κάθε εναλλακτική λύση πολλαπλασιάζονται με τους παράγοντες στάθμισης ως εκθέτες. Αυτή η μέθοδος επιλέγει την προτιμημένη εναλλακτική λύση που έχει τη μεγαλύτερη αξία.

Εξετάζοντας τη εκθετική ιδιότητα, όλες οι τιμές κριτηρίων πρέπει να είναι μεγαλύτερες από το ένα προκειμένου να βεβαιωθεί τη μονοτονία της.

Παραπομπή: (Xiaoqian Sun, (2012))

#### 1.5.5. PROMETHEE μέθοδος

Όπως αναφέρουν οι Collette, Y., Siarry, P., (2003), Brans, J., Vincke, P. και Mareschal, B., (1986), στη μέθοδο PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), κατασκευάζεται πρώτα μια εκτιμημένη σχέση προτίμησης, βασισμένη σε μια γενίκευση της έννοιας των κριτηρίων, καθορίζεται ένας δείκτης προτίμησης και κατόπιν λαμβάνεται μια εκτιμημένη outranking γραφική παράσταση. Σύμφωνα με το δείκτη προτίμησης, η PROMETHEE I παρέχει ένα μερικό preorder και η PROMETHEE II προσφέρει ένα πλήρες preorder σε όλες τις εναλλακτικές λύσεις.

##### Γενίκευση κριτηρίων

Η εκτιμημένη σχέση προτίμησης μεταξύ δύο ενεργειών  $a$  και  $b$  καθορίζεται ως εξής.

- $P(a, b) = 0$  σημαίνει αδιαφορία μεταξύ  $a$  και  $b$ .
- $P(a, b) \approx 0$  σημαίνει ελαφριά προτίμηση του  $a$  στο  $b$ .
- $P(a, b) \approx 1$  σημαίνει δυνατή προτίμηση του  $a$  στο  $b$ .
- $P(a, b) = 1$  σημαίνει απόλυτη προτίμηση του  $a$  στο  $b$ .

Για κάθε κριτήριο, εξετάζονται ένα γενικευμένο κριτήριο και μια αντίστοιχη λειτουργία προτίμησης.

Στη PROMETHEE, παρέχονται έξι τύποι γενικευμένων κριτηρίων, όπως διευκρινίζονται στο σχήμα 10, όπου το  $d$  είναι η διαφορά μεταξύ δύο κριτηρίων,  $p$  είναι το ακριβές κατώτατο όριο προτίμησης, το  $q$  είναι το κατώτατο όριο αδιαφορίας, και το  $s$  είναι η σταθερή απόκλιση από την Gaussian διανομή.

Παραπομπή: (Brans, J., Vincke, P., Mareschal, B., 1986).

### **Multi-Criteria σειρά προτίμησης**

Ο δείκτης προτίμησης πολλαπλών κριτηρίων της δράσης  $a$  στη δράση  $b$ , που δείχνεται από την  $\Pi(a, b)$ , ορίζεται στην εξίσωση 2.6.

$$\Pi(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i P_i(a, b) \quad (2.6)$$

Όπου  $n$  είναι ο αριθμός των κριτηρίων,  $w_i$  είναι ο βεβαρυμμένος δείκτης του παράγοντα του  $i$ -οστού κριτηρίου, και  $P_i$  είναι η συνάρτηση προτίμησης του  $i$ -οστού κριτηρίου. Η multi-criteria σειρά προτίμησης κυμαίνεται από 0 μέχρι 1, με  $\Pi(a, b) \approx 0$  να αντιπροσωπεύει μία αδύναμη προτίμηση της δράσης  $a$  από τη  $b$ , and  $\Pi(a, b) \approx 1$  να αντιπροσωπεύει μία δυνατή προτίμηση της δράσης  $a$  από τη  $b$ .

Παραπομπή: (Brans, J., Vincke, P., Mareschal, B., 1986)

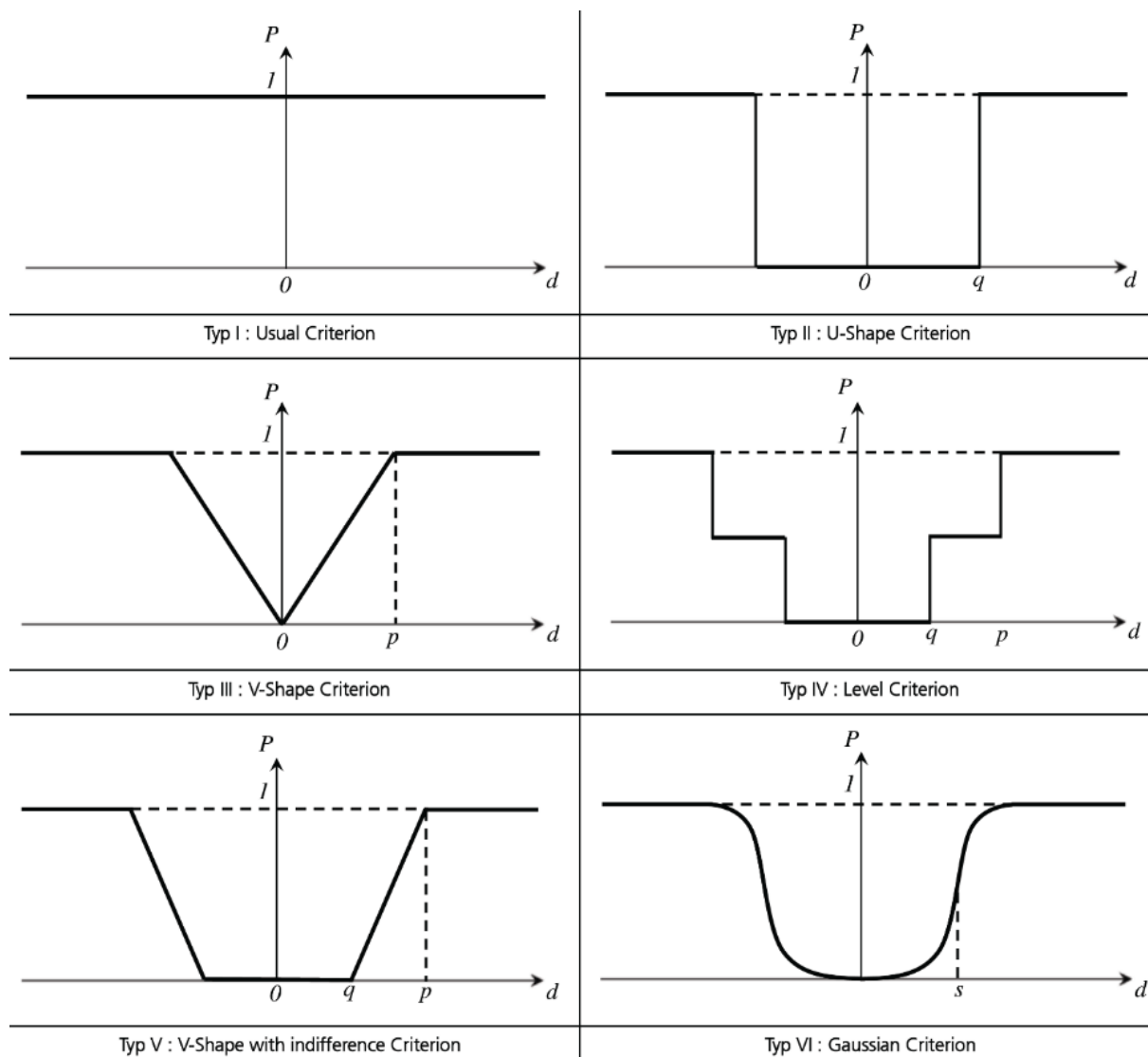
### **PROMETHEE ταξινόμηση**

Μία θετική ροή outranking ορίζεται από την εξίσωση 2.7 και μία αρνητική ροή outranking ορίζεται από την εξίσωση 2.8. Μία συνολική ροή outranking υπολογίζεται από την εξίσωση 2.9.

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \Pi(a, b) \quad (2.7)$$

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \Pi(b, a) \quad (2.8)$$

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (2.9)$$



**Σχήμα 10:** Έξι τύποι γενικευμένων κριτηρίων.

Βασισμένοι στην εξίσωση 2.7 και 2.8, η PROMETHEE I παρέχει μία μερική ταξινόμηση με την εξέταση της διατομής της θετικής ροής outranking και της αρνητικής ροής outranking, η οποία παρατίθεται ως εξής.

- Η δράση  $a$  υπερσχύει της  $b$ , εάν  $\Phi^+(a) \geq \Phi^+(b)$  και  $\Phi^-(a) \leq \Phi^-(b)$ .
- Η δράση  $a$  είναι αδιάφορη της  $b$ , εάν  $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$  και  $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$ .
- Αλλιώς, οι δράσεις  $a$  και  $b$  δε μπορούν να συγκριθούν.

Σύμφωνα με την εξίσωση 2.9, η PROMETHEE II υποθέτει ότι η δράση  $a$  υπερτερεί της  $b$  εάν  $\Phi(a) > \Phi(b)$ , και η δράση  $a$  είναι αδιάφορη ως προς τη  $b$  εάν  $\Phi(a) = \Phi(b)$ .

Οι έξι τύποι λειτουργιών προτίμησης και η μερική ή πλήρης οργάνωση στη PROMETHEE παρέχουν στον DM ακριβέστερες ιδέες στην επίλυση του δεδομένου προβλήματος. Εντούτοις, προκειμένου να καθοριστεί η λειτουργία προτίμησης, απαιτούνται πάρα πολλές παράμετροι για τα κατώτατα όρια. Επιπλέον, αυτές οι παράμετροι κατώτατων ορίων είναι μάλλον υποκειμενικές και διαφορετικοί DM έχουν συχνά διαφορετικές τιμές κατώτατων ορίων, το οποίο αυξάνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος.

#### 1.5.6. Simple Additive Weighting μέθοδος

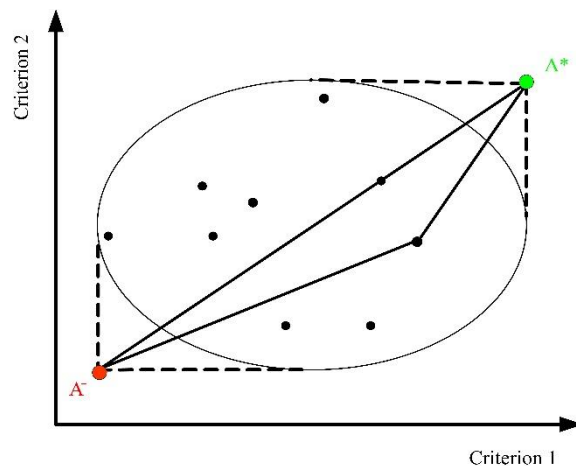
Όπως αναφέρουν οι Hwang, C.L. και Yoon, K., (1981), στην Simple Additive Weighting (SAW) μέθοδο, οι παράγοντες στάθμισης  $[w_1, w_2, \dots, w_n]$  το  $T$  ορίζεται στα κριτήρια από τον DM. Οι πολλαπλάσιες τιμές κριτηρίων μαζί με τους παράγοντες στάθμισής τους αθροίζονται σε μια ενιαία απόδοση μετρική. Η SAW επιλέγει το προτιμημένο εναλλακτικό  $A^*$  που έχει τη μέγιστη σταθμισμένη έκβαση, όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.10, όπου προτιμώνται μεγαλύτερες τιμές κριτηρίων.

$$A^* = \{A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^n w_j x_{ij}\} \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.10)$$

Η SAW είναι μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιημένες μεθόδους ανάλυσης απόφασης λόγω της απλότητάς της. Εντούτοις, έχει μερικούς περιορισμούς. Απαιτεί από όλες τις τιμές κριτηρίων να είναι και αριθμητικές και συγκρίσιμες, οι οποίες θα προκαλέσουν προβλήματα προσδιορισμού της ποσότητας για τα ποιοτικά κριτήρια όπως και προβλήματα κανονικοποίησης για όλα τα στοιχεία στη μήτρα απόφασης. Οι μέθοδοι προσδιορισμού της ποσότητας και οι μέθοδοι κανονικοποίησης έχουν μια σημαντική επιρροή στα αποτελέσματα για την τελική απόφαση. Επιπλέον η SAW είναι ευαίσθητη όσον αφορά τους παράγοντες στάθμισης.

#### 1.5.7. TOPSIS μέθοδος

Η TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) είναι βασισμένη στην ιδέα ότι η επιλεγμένη εναλλακτική λύση πρέπει να έχει την πιο σύντομη απόσταση στη θετική ιδανική λύση  $A^+$  και την απώτατη απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση  $A^-$ . Όπως αναφέρουν οι Hwang, C.L. και Yoon, K., 1981, η απόσταση είναι υπό τη μορφή ευκλείδειας απόστασης, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.



**Σχήμα 11:** TOPSIS Μέθοδος. Παραπομπή: (Hwang, C.L., Yoon, K., 1981)

Η TOPSIS απαιτεί μια μήτρα απόφασης και τους παράγοντες στάθμισης ως δεδομένα εισόδου. Τα υπολογιστικά βήματά της συνοψίζονται ως εξής και αναλύονται στην αναφορά.

1. Ομαλοποίηση της μήτρας απόφασης.
2. Υπολογισμός της σταθμισμένης ομαλοποιημένης μήτρας απόφασης.
3. Αναγνώριση της θετικής ιδανικής λύσης  $A^+$  και την αρνητικής ιδανικής λύσης  $A^-$ .
4. Υπολογισμός της απόστασης για κάθε εναλλακτική λύση στη θετική ιδανική λύση και την αρνητική ιδανική λύση, αντίστοιχα.
5. Υπολογισμός της σχετικής απόστασης για κάθε εναλλακτική λύση στις ιδανικές λύσεις.
6. Ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων σύμφωνα με την αξία  $C^*$ .

Παραπομπή: Xiaoqian Sun, (2012).

Η TOPSIS προτείνει την καλύτερη εναλλακτική λύση που έχει την μεγαλύτερη απόσταση από την αρνητική ιδανική λύση (μεγαλύτερη αξία  $S^-$ ) και την κοντινότερη απόσταση στη θετική ιδανική

λύση (μικρότερη αξία  $S^*$ ).

Η TOPSIS είναι μια από τις ευρέως χρησιμοποιημένες αντισταθμιστικές μεθόδους ανάλυσης απόφασης δεδομένου της απλότητας και της συστηματικής διαδικασίας υπολογισμού της. Όπως αναφέρουν οι Hwang, C.L. και Yoon, K., (1981), εντούτοις, η TOPSIS υποθέτει ότι η χρησιμότητα κάθε κριτηρίου είναι μονοτονική, το οποίο δεν είναι κατάλληλο για τα προβλήματα όπου μια ιδιαίτερη αξία κριτηρίου επιδιώκεται προς επίτευξη. Η TOPSIS είναι επίσης ευαίσθητη στους παράγοντες στάθμισης.

### **Επέκταση της TOPSIS για λήψη απόφασης ομάδας**

Για να συμπεριλάβουμε τις πολλαπλές προτιμήσεις περισσότερων από ενός DM, θα θεωρήσουμε τα μέτρα διαχωρισμού με τη λήψη του γεωμετρικού μέσου όρου ή του αριθμητικού μέσου όρου των ατόμων που συμμετέχουν στη TOPSIS. Λαμβάνονται υπόψη επίσης οι μέθοδοι κανονικοποίησης και τα μέτρα απόστασης. Έναντι της αρχικής διαδικασίας TOPSIS, το προτεινόμενο πρότυπο προσφέρει μια γενική άποψη της TOPSIS με μια συνάθροιση της προτίμησης της ομάδας. Η λεπτομερής διαδικασία, με μερικές επιλογές μέσα σε κάθε βήμα, τα οποία είναι προσθετικά στην μέθοδο TOPSIS, διευκρινίζεται ακολούθως.

Βήμα 7. Υπολογισμός της απόστασης για κάθε εναλλακτική λύση στη θετική ιδανική λύση και την αρνητική ιδανική λύση,  $S_i^+$  και  $S_i^-$ , αντίστοιχα, για την ομάδα.

Βήμα 8. Ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων σύμφωνα με την αξία  $C_i^*$ , για την ομάδα.

Παραπομπή: Hsu-Shih Shih, Huan-Jyh Shyur, E. Stanley Lee, 2006

### **1.6. Αναδυόμενες MCDA προσεγγίσεις και πώς συνδέονται με άλλες πρακτικές.**

Όπως αναφέρουν οι Zorounidis, C. και Pardalos, P. (2010), ο κλάδος των MCDA συνεχίζει την ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων και μεθοδολογιών, ειδικά μέσω των αλληλεπιδράσεων με άλλες πρακτικές, όπως το πρόβλημα κατασκευαστικών μεθόδων και εξελικτικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης. Μια έρευνα για τις νέες τάσεις στις MCDA μπορεί να βρεθεί στην αναφορά των Ehrgott, M., Figueira, J. και Greco, S., (2010).







# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

## **ΑΝΑΠΤΥΞΗ & ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ**

### **ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ**

## 2.1 Μέθοδος επιλογής MCDA

Ο πρώτος στόχος αυτής της μελέτης είναι η ανάπτυξη ενός ευφυούς συστήματος υποστήριξης απόφασης πολλαπλών κριτηρίων προκειμένου να διευκολυνθεί αποτελεσματικά η επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου MCDA για το υπό εξέταση πρόβλημα. Σε αυτό το κεφάλαιο προτείνονται δώδεκα κριτήρια αξιολόγησης για να αξιολογήσουν δέκα έξι ευρέως χρησιμοποιημένες μεθόδους MCDA, κάνοντας την υπόθεση ότι η ίδια η επιλογή μεθόδου είναι ένα περίπλοκο πρόβλημα MCDA. Ένας δείκτης καταλληλότητας (AI) χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίησή της αποτελεσματικότητας μιας μεθόδου για το υπό εξέταση πρόβλημα. Στη συνέχεια εφαρμόζεται αυτή η προσέγγιση επιλογής μεθόδου και αναπτύσσεται σε MATLAB ένα ευφές σύστημα υποστήριξης απόφασης πολλαπλών κριτηρίων. Το πλαίσιο της επιλογής μεθόδου MCDA αναπτύχθηκε σχετικά από τον Li Y., (2007). Σε αυτήν την έρευνα, το γενικό πλαίσιο έχει βελτιωθεί προκειμένου να παραχθούν ακριβέστερες και αξιόπιστες λύσεις.

Παραπομπή: (Sun, X., Li, Y. 2010)

Τρεις σημαντικές βελτιώσεις αναφέρονται παρακάτω.

1. Η διάκριση μεταξύ των ερωτήσεων φιλτραρίσματος και των ερωτήσεων βαθμολόγησης. Οι ερωτήσεις φιλτραρίσματος χρησιμοποιούνται για να φιλτράρουν τις ακατάλληλες μεθόδους στο αρχικό βήμα της επιλογής, και οι ερωτήσεις βαθμολόγησης χρησιμοποιούνται για να ετυμολογήσουν τις ιδιότητες μιας διατύπωσης MCDA.
2. Η βιβλιοθήκη μεθόδων επεκτείνεται για να περιλάβει και τις δέκα έξι ευρέως χρησιμοποιημένες μεθόδους MCDA.
3. Συζητείται λεπτομερώς μια πρόσφατα αναπτυγμένη ενότητα αξιολόγησης της αβεβαιότητας

## 2.2 Ιστορική αναδρομή

Αν και οι MCDA έχουν μια σχετικά σύντομη ιστορία περίπου 40 ετών, πάνω από 70 τεχνικές MCDA. έχουν αναπτυχθεί για τη διευκόλυνση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Μεταξύ αυτών των αναπτυγμένων μεθόδων MCDA, οι διαφορετικές μέθοδοι έχουν διαφορετικές ελλοχεύουσες υποθέσεις, πρότυπα ανάλυσης, και κανόνες απόφασης που σχεδιάζονται για την επίλυση μιας ορισμένης κατηγορίας προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Είναι κρίσιμο να επιλεγεί η πιο

κατάλληλη μέθοδος για να λύσει το υπό εξέταση πρόβλημα μιας και η χρήση μιας ακατάλληλης μεθόδου μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα. Μπορεί να αποδειχθεί ότι η επιλογή μιας μεθόδου MCDA είναι η ίδια ένα περίπλοκο MCDA πρόβλημα.

Παραπομπές: (Figueira, J., S. Greco, M. Ehrgott (eds.) 2005, Hwang, C.L., Yoon, K. 1981, Βλάχος, 2007)

Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δεκαετιών, έχει πραγματοποιηθεί ιδιαίτερη έρευνα η οποία εξετάσει την επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου MCDA για ένα δεδομένο πρόβλημα. Ο MacCrimmon, K. (1973) αρχικά αναγνώρισε τη σημασία της επιλογής μεθόδου MCDA, πρότεινε μια ταξινόμηση των μεθόδων MCDA, δημιούργησε ένα διάγραμμα προδιαγραφών μεθόδου υπό μορφή διαγράμματος δέντρων και παρείχε ένα επεξηγηματικό παράδειγμα εφαρμογής. Οι Hwang, C.L., και Yoon, K. 1981 ανέπτυξαν ένα άλλο διάγραμμα δέντρων, το οποίο αποτελείται από τους κόμβους και τους κλάδους που συνδέονται με τους κανόνες επιλογής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή της λήψης αποφάσεων της μεθόδου για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Οι Sen, P. και Yang, J.B., (1998) ανέπτυξαν παρόμοια διαγράμματα δέντρων για να βοηθήσουν τον DM με την επιλογή των κατάλληλων μεθόδων MCDA. Η επιλογή βασίστηκε στο είδος των πληροφοριών προτίμησης που εκμαιευτήκαν.

Η προσέγγιση διαγραμμάτων δέντρων παρέχει ευκόλως κατανοητά σχέδια ταξινόμησης και είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί. Εντούτοις, αυτή η προσέγγιση έχει τα μειονεκτήματά της: δίνει συνήθως δύο ή περισσότερες μεθόδους MCDA, και εξετάζει μόνο περιορισμένους τύπους προβλημάτων απόφασης, πληροφοριών προτίμησης, και διαθέσιμων μεθόδων. Αυτοί οι περιορισμοί σταματούν την προσέγγιση διαγραμμάτων δέντρων από το να είναι μια αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα επιλογής μεθόδου.

Παραπομπή: (Roman, F., Rolander, N., Fernandez, M.G., 2004).

Πολλά πιθανά κριτήρια για την αξιολόγηση των μεθόδων MCDA προτάθηκαν ως εναλλακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής μεθόδου. Οι Tecle και Duckstein (1992) ανέπτυξαν μια προσέγγιση που βασίστηκε σε έναν σύνθετο αλγόριθμο προγραμματισμού που βοήθησε στην επιλογή μιας κατάλληλης MCDA μεθόδου. Πρότειναν τέσσερις κατηγορίες κριτηρίων: σχετικά χαρακτηριστικά DM, σχετικά χαρακτηριστικά μεθόδου, σχετικά με το πρόβλημα χαρακτηριστικά, και σχετικά με τη λύση χαρακτηριστικά, για να αξιολογήσουν μια μέθοδο. Οι ανεξάρτητες κατηγορίες κριτηρίων

επιτρέπουν στο DM να πραγματοποιήσουν την αξιολόγηση σε μια διευκρινισμένη σειρά. Εντούτοις, είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν όλες οι μέθοδοι MCDA όσον αφορά αυτές τις τέσσερις κατηγορίες κριτηρίων. Εκτός αυτού, με τη χρησιμοποίηση αυτής της προσέγγισης, διαφορετικοί χρήστες μπορούν να πάρουν συνολικά διαφορετικά αποτελέσματα επειδή οι γνώσεις των χρηστών για τις μεθόδους MCDA ασκούν ισχυρή επίδραση στα τελικά αποτελέσματα.

Οι τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης υιοθετήθηκαν από τον Poh, K.L (1998) και τους Lu et. al. (1999) για να βοηθήσουν τον DM να επιλέξει την καταλληλότερη μέθοδο βασισμένη σε δεδομένα χρηστών. Ο Poh πρότεινε ένα σύστημα βασισμένο στη γνώση, το οποίο επέτρεπε στον DM να επιλέξει την πιο κατάλληλη μέθοδο μεταξύ των 11 διαθέσιμων multi-attribute μεθόδων λήψης απόφασης. Οι Lu et. al. πρότειναν ένα ευφές σύστημα, το οποίο διευκόλυνε την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου μεταξύ 7 μεθόδων λήψης απόφασης πολλαπλών στόχων. Το ευφές σύστημα απλοποιεί το πρόβλημα επιλογής μεθόδου με απλές ερωτήσεις αφήνοντας άμεση επιλογή ή αυτοματοποιημένη επιλογή, βασισμένη στα δεδομένα του DM. Εντούτοις, δεν δηλώνουν σαφώς τους περιορισμούς ή τους τρόπους αποτυχίας των συστημάτων. Παραπομπή: (Roman, F., Rolander, N., Fernandez, M.G., Bras, B., Allen, J., Mistree, F., Chastang, P., Dpinc, P., Bennis, F., 2004).

Αν και η προσέγγιση διαγραμμάτων δέντρων, κριτηρίων, και συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης παρέχουν μερικές ικανότητες για να βρεθεί η κατάλληλη μέθοδος λήψης αποφάσεων για ένα δεδομένο πρόβλημα, έχουν τα μειονεκτήματά τους. Επομένως, μια προηγμένη προσέγγιση με περισσότερες ικανότητες πρέπει να αναπτυχθεί για να διευκολύνει την επιλογή μεθόδου MCDA.

### **2.3 Μία εξελιγμένη προσέγγιση για επιλογή κριτηρίων σε 8 βήματα**

Προκειμένου να επιλεγεί αποτελεσματικά η πιο κατάλληλη μέθοδος MCDA για ένα δεδομένο πρόβλημα λήψης αποφάσεων, προτείνεται σε αυτήν την μελέτη ένα συστηματικό πλαίσιο. Η προτεινόμενη προσέγγιση αποτελείται από οκτώ βήματα: καθορισμός προβλήματος, καθορισμός κριτηρίων αξιολόγησης, εκτέλεση αρχικής διαλογής, καθορισμός προτιμήσεων στα κριτήρια αξιολόγησης, υπολογισμός του δείκτη καταλληλότητας, αξιολόγηση των μεθόδων MCDA, επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου, και εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας. Κάθε βήμα της προτεινόμενης προσέγγισης στην επιλογή μεθόδου συζητείται λεπτομερώς στις ακόλουθες υποενότητες.

### 2.3.1 Ορισμός προβλήματος

Τα χαρακτηριστικά του υπό εξέταση προβλήματος λήψης απόφασης εξετάζονται στο βήμα ορισμού του προβλήματος, όπως ο προσδιορισμός του αριθμού εναλλακτικών λύσεων, ιδιοτήτων και περιορισμών. Οι διαθέσιμες πληροφορίες για το πρόβλημα λήψης απόφασης είναι η βάση στην οποία θα επιλεγτούν οι πιο κατάλληλες τεχνικές MCDA και θα χρησιμοποιηθούν για να λύσουν το πρόβλημα.

### 2.3.2 Ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης

Ο κατάλληλος προσδιορισμός των εφαρμόσιμων κριτηρίων αξιολόγησης είναι σημαντικός επειδή αυτά έχουν μεγάλη επιρροή στην έκβαση της διαδικασίας επιλογής μεθόδου MCDA. Εντούτοις, η απλή χρήση κάθε κριτηρίου στη διαδικασία επιλογής δεν είναι η καλύτερη προσέγγιση επειδή όσο περισσότερα κριτήρια χρησιμοποιούνται, τόσο περισσότερες πληροφορίες απαιτούνται, οι οποίες θα οδηγήσουν σε υψηλότερο υπολογιστικό κόστος. Επομένως, πρέπει να γίνει μια σύγκλιση μεταξύ της ακρίβειας των αποτελεσμάτων και του υπολογιστικού κόστους. Σε αυτήν την μελέτη, τα χαρακτηριστικά των μεθόδων MCDA προσδιορίζονται από τα σχετικά κριτήρια αξιολόγησης υπό μορφή ερωτηματολογίου. Δώδεκα ερωτήσεις καθορίζονται για να συλλέξουν τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα, τη δυνατότητα εφαρμογής και την υπολογιστική πολυπλοκότητα της κάθε μεθόδου MCDA.

1. Ερωτήσεις φιλτραρίσματος
  - 1.1. Είναι ικανή η μέθοδος να χειριστεί τα προβλήματα επιλογής ή βελτιστοποίησης;
  - 1.2. Η μέθοδος επιτρέπει ανταλλαγές μεταξύ των κριτηρίων;
  - 1.3. Ποια δεδομένα εισόδου απαιτούνται με τη μέθοδο;
2. Ερωτήσεις βαθμολόγησης
  - 2.1. Ποιες πληροφορίες προτίμησης χρειάζεται η μέθοδος;
  - 2.2. Ποιο κανόνα απόφασης χρησιμοποιεί η μέθοδος για να ταξινομήσει τις εναλλακτικές λύσεις;
  - 2.3. Η μέθοδος αξιολογεί τη δυνατότητα πραγματοποίησης των εναλλακτικών λύσεων;
  - 2.4. Μπορεί η μέθοδος να χειριστεί οποιεσδήποτε υποκειμενικές ιδιότητες;
  - 2.5. Η μέθοδος χειρίζεται τα ποιοτικά ή ποσοτικά στοιχεία;
  - 2.6. Η μέθοδος εξετάζει τα ακέραια ή και τα συνεχή στοιχεία;

- 2.7. Μπορεί η μέθοδος να χειριστεί το πρόβλημα με δομή ιεράρχησης ιδιοτήτων;
- 2.8. Είναι ικανή η μέθοδος να συλλάβει αβεβαιότητες που υπάρχουν στο πρόβλημα;
- 2.9. Μπορεί η μέθοδος να υποστηρίξει visual analytics;

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρώτες τρεις ερωτήσεις φιλτραρίσματος χρησιμοποιούνται για να φιλτράρουν τις ακατάλληλες μεθόδους στο αρχικό βήμα της επιλογής ενώ οι άλλες εννέα ερωτήσεις βαθμολόγησης χρησιμοποιούνται ως ιδιότητες μιας διατύπωσης MCDA και ως δεδομένα εισόδου της μήτρας απόφασης για την επιλογή μεθόδου.

### **2.3.3 Εκτέλεση αρχικής διαλογής**

Στο αρχικό βήμα διαλογής, οι πρώτες τρεις ερωτήσεις φιλτραρίσματος χρησιμοποιούνται για να φιλτράρουν τις ακατάλληλες μεθόδους. Για την πρώτη ερώτηση φιλτραρίσματος, μόνο οι επιτυχείς μέθοδοι MCDA είναι κατάλληλες για τα προβλήματα βελτιστοποίησης, επειδή τα αποτελέσματα που αθροίζονται με τις μεθόδους MCDA που μπορούν να χρησιμεύσουν ως αντικειμενικές λειτουργίες στη διαδικασία βελτιστοποίησης δεν είναι κατάλληλα δεδομένου ότι δεν μπορούν να προσφέρουν αντικειμενικές λειτουργίες για τη βελτιστοποίηση.

Για τη δεύτερη ερώτηση φιλτραρίσματος, εάν οι ανταλλαγές μεταξύ των κριτηρίων είναι επιτρεπόμενες, όλες οι μη-αντισταθμιστικές μέθοδοι θα αφαιρεθούν, και μόνο οι αντισταθμιστικές μέθοδοι θα παραμείνουν ως υπονήφιες μέθοδοι για την περαιτέρω επιλογή.

Για την τρίτη ερώτηση φιλτραρίσματος, διαφορετικές μέθοδοι ανάλυσης απόφασης απαιτούν διαφορετικά δεδομένα εισόδου.

### **2.3.4 Ορισμός προτιμήσεων στα κριτήρια αξιολόγησης**

Όταν ολοκληρωθεί το αρχικό βήμα διαλογής, αναμένεται να παραμείνουν περισσότερες από μία MCDA μέθοδοι, διαφορετικά ο DM μπορεί άμεσα να επιλέξει τη μοναδική που αφήνεται για να λύσει το πρόβλημα λήψης αποφάσεων. Με τις εννέα ερωτήσεις βαθμολόγησης που ορίζονται στο βήμα 2, καθορίζονται οι πληροφορίες προτίμησης του DM για τα κριτήρια αξιολόγησης. Αυτό θα απεικονίσει ποιο κριτήριο είναι σημαντικότερο στον DM στη διαδικασία επιλογής μεθόδου.

Σε αυτήν την μελέτη, οι παράγοντες στάθμισης ορίζονται στα κριτήρια αξιολόγησης για να περιγράψουν τις πληροφορίες προτίμησης του DM. Οι παράγοντες στάθμισης πρέπει να επιλεγούν προσεκτικά προκειμένου να προσδιοριστούν ακριβώς οι προτιμήσεις του DM. Μια υποκειμενική κλίμακα 0 έως 10 που συστήνεται από τους Hwang, C.L. και Yoon, K. (1981), χρησιμοποιείται σε αυτήν την μελέτη, με τη βαθμολόγηση ότι 0 αντιπροσωπεύει κάτι εξαιρετικά ασήμαντο ενώ 10 αντιπροσωπεύει κάτι εξαιρετικά σημαντικό.

### **2.3.5 Υπολογισμός του Appropriateness Index**

Σε αυτήν την μελέτη, προσδιορίζονται δεκαέξι ευρέως χρησιμοποιημένες μέθοδοι MCDA και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων ως μέθοδοι υποψήφιας για επιλογή. Τα κριτήρια αξιολόγησης συλλαμβάνονται με την απάντηση δώδεκα ερωτήσεων σχετικών με τα χαρακτηριστικά των μεθόδων. Το AI χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει τις μεθόδους.

Παραπομπή: (Li, Y 2007, Sun, X., Li, Y. 2010).

Για κάθε μέθοδο, το AI υπολογίζεται από το σταθμισμένο αποτέλεσμα που ομαλοποιείται από τη μέγιστη αξία. Οι σειρές AI κυμαίνονται από 0% σε 100%, με υψηλότερη αξία του AI να δείχνει ότι η μέθοδος είναι πιο κατάλληλη να λύσει ένα δεδομένο πρόβλημα απόφασης.

### **2.3.6 Εκτίμηση των MCDA μεθοδολογιών**

Προκειμένου να συγκριθεί η καταλληλότητα των μεθόδων όσον αφορά το πρόβλημα λήψης απόφασης, κάθε μέθοδος αξιολογείται βασισμένη στις εννέα ερωτήσεις βαθμολογίας και λαμβάνεται το AI για τις μεθόδους MCDA. Με βάση τον υπολογισμό AI, η μέθοδος MCDA με το υψηλότερο αποτέλεσμα θα επιλεγεί ως πιο κατάλληλη μέθοδος για να λύσει το αρχικό πρόβλημα λήψης απόφασης.

### **2.3.7 Επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου**

Όπως σημειώνεται στο βήμα 6, η μέθοδος με το υψηλότερο AI θα συστηθεί ως η πιο κατάλληλη μέθοδος για να λύσει το δεδομένο πρόβλημα. Το αναπτυγμένο σύστημα υποστήριξης απόφασης χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει το χρήστη για να φθάσει στην τελική απόφαση κατά την επίλυση του προβλήματος λήψης απόφασης. Αφότου προσδιοριστεί μια MCDA μέθοδος ως η



πιο κατάλληλη, ο χρήστης μπορεί απλά να επιλέξει το όνομα της μεθόδου, και οι οδηγίες μεθοδολογίας θα επιδειχθούν για να καθοδηγήσουν το χρήστη για να λύσει το δεδομένο πρόβλημα. Τα μαθηματικά βήματα υπολογισμού χτίζονται σε βασισμένο σε MATLAB σύστημα υποστήριξης απόφασης, επομένως ο χρήστης μπορεί απλά να ακολουθήσει τις οδηγίες, όπως την εισαγωγή των απαραίτητων στοιχείων, για να πάρει τα τελικά αποτελέσματα.

### **2.3.8 Εφαρμογή ανάλυσης ευαισθησίας**

Παρατηρείται ότι διαφορετικοί DM έχουν συχνά διαφορετικές πληροφορίες προτίμησης για τις εννέα ερωτήσεις σημείωσης, επομένως, μια ανάλυση ευαισθησίας πρέπει να εκτελεσθεί στον αλγόριθμο επιλογής μεθόδου για να αναλύσει την ευρωστία του όσον αφορά παραλλαγές στους παράγοντες στάθμισης.

Προκειμένου να προσαρμοστούν οι διαφορετικές πληροφορίες προτίμησης από διαφορετικούς DM, ο παράγοντας στάθμισης κάθε χαρακτηριστικού αντιμετωπίζεται κατά τρόπο παραμετρικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει καμία απόλυτη μέθοδος ανάλυσης απόφασης που μπορεί να λύσει οποιοδήποτε πρόβλημα απόφασης, δεδομένου ότι η επιλογή μεθόδου είναι ιδιαίτερο πρόβλημα. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ανάλυσης απόφασης εξαρτάται από το πρόβλημα υπό εξέταση.

### **2.3.9 Σενάρια που μπορεί να προκύψουν**

Υπάρχουν δύο σενάρια ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που πρέπει να εξεταστούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επιλογής μεθόδου:

- (1) Η περίπτωση όταν υπάρχουν δύο ή περισσότερες μέθοδοι όπου τα αποτελέσματα καταλληλότητας είναι τα υψηλότερα.
- (2) Η περίπτωση όταν δεν υπάρχει καμία μέθοδος που μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη για το υπό εξέταση πρόβλημα.

Σε αυτήν την μελέτη, εξετάζονται αυτά τα δύο ιδιαίτερα σενάρια ως εξής.

Για το πρώτο σενάριο, όταν υπάρχουν περισσότερες μέθοδοι που μπορούν να θεωρηθούν ως καλύτερες για να λύσουν ένα δεδομένο πρόβλημα απόφασης, ο DM μπορεί να εκτελέσει την ανάλυση αβεβαιότητας των παραγόντων στάθμισης για τα εννέα κριτήρια αξιολόγησης. Η μέθοδος

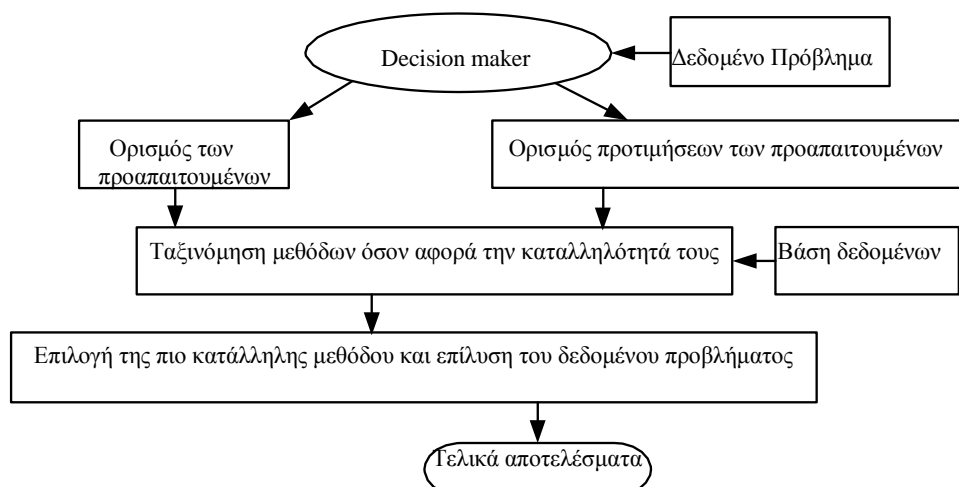
που έχει την υψηλότερη πιθανότητα, ταξινομείται πρώτη και συστήνεται ως καταλληλότερη μέθοδος για το πρόβλημα απόφασης υπό εξέταση.

Για το δεύτερο σενάριο, δεν υπάρχει μέθοδος που να μπορεί να θεωρηθεί ως κατάλληλη για ένα δεδομένο πρόβλημα απόφασης, αρά πρέπει να χρησιμοποιηθούν νέες μέθοδοι ή υβριδικές μέθοδοι για να λύσουν το δεδομένο πρόβλημα.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της επιλογής μεθόδου, μπορούν να ληφθούν ακριβέστερα δεδομένα στα χαρακτηριστικά των μεθόδων. Παραδείγματος χάριν, με το συνδυασμό δύο ή περισσότερων μεθόδων ανάλυσης απόφασης, ο DM μπορεί να πάρει μια υβριδική μέθοδο που είναι αποτελεσματικότερη για το δεδομένο πρόβλημα. Επιπλέον, ο καθορισμός μιας αξίας κατώτατων ορίων για το δείκτη καταλληλότητας της μεθόδου ανάλυσης απόφασης μπορεί να είναι χρήσιμος να προσδιορίσει το περιστατικό του δεύτερου σεναρίου.

## 2.4 Ένα έξυπνο σύστημα υποστήριξης Multi-Criteria αποφάσεων

Η προτεινόμενη προσέγγιση στην επιλογή μεθόδου εφαρμόζεται και αναπτύσσεται ένα ευφυές σύστημα υποστήριξης απόφασης πολλαπλών κριτηρίων σε MATLAB. Η αρχιτεκτονική της παρουσιάζεται στο σχήμα 12. Για ένα δεδομένο πρόβλημα λήψης απόφασης, ο DM πρέπει να καθορίσει τις απαιτήσεις του προβλήματος και των πληροφοριών προτίμησης. Κατόπιν το ευφυές σύστημα υποστήριξης απόφασης πολλαπλών κριτηρίων θα χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες που παρέχονται στη βάση δεδομένων και θα ταξινομήσει τις μεθόδους. Η μέθοδος με το υψηλότερο αποτέλεσμα θα επιλεγεί ως η πιο κατάλληλη MCDA για να λύσει το δεδομένο πρόβλημα.



**Σχήμα 12:** Η αρχιτεκτονική ενός έξυπνου συστήματος υποστήριξης Multi-Criteria αποφάσεων



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

**ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ**

**ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

### 3.1 Εισαγωγή

Ο τομέας της ενέργειας διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στην επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης και στο μέλλον το σύστημα ενεργειακής παραγωγής πρέπει να πάρει το προβάδισμα στη συνάντηση των περιβαλλοντικών στόχων. Η πρόκληση βρίσκεται στο να συναντηθούν οι περιβαλλοντικοί και οι ενεργειακοί στόχοι και η γενική επιτυχία της μελλοντικής ενεργειακής πολιτικής θα είναι να καταδειχθεί ότι η οικονομική ανάπτυξη, ένας σίγουρος ενεργειακός ανεφοδιασμός και η προστασία του περιβάλλοντος είναι συμβατοί στόχοι.

Στο παρελθόν, η επιλογή μεταξύ της εναλλακτικής ενεργειακής πολιτικής σε περιφερειακό επίπεδο βασιζόταν μόνο στην ελαχιστοποίηση δαπανών. Πρόσφατα, αναγνωρίζεται ευρέως ότι ο περιφερειακός ενεργειακός προγραμματισμός διαμορφώνει ένα πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση της ηλεκτρικής παραγωγής στις περιοχές που παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά αύξησης στην απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας, μαζί με μια σημαντική δυνατότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δεδομένου ότι διάφορες και συχνά αλληλοσυγκρουόμενες απόψεις πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Όπως αναφέρουν οι Wang, J., Jing, Y., Zhang, C., και Zhao, J. (2009), πολλές μελέτες προτείνουν τις αξιολογήσεις και τα κατάλληλα εργαλεία, με τα διαφορετικά κριτήρια και τα σχετικά βάρη, για την επιλογή της βέλτιστης επιλογής.

Ακολούθως παρατίθενται συνοπτικά διάφορες μεθοδολογίες περί του προβλήματος εύρεσης λύσεων για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών μιας περιοχής με ΑΠΕ, καθώς και τα συμπεράσματά του κάθε μελετητή.

### 3.2. Μεθοδολογία AHP, Τουρκία 2010

Οι Kahraman and Kaya (2010) προτείνουν για την Τουρκία την μεθοδολογία AHP, μια ασαφή πολυκριτήρια μεθοδολογία λήψης αποφάσεων, η οποία επιτρέπει στα αποτελέσματα της αξιολόγησης από εμπειρογνώμονες να είναι γλωσσικές εκφράσεις, crisp ή fuzzy αριθμοί. Με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, καθορίζεται για την Τουρκία η καλύτερη πολιτική ενέργειας.

Παραπομπή: (Hepbaslı, A., Ozalp, N., 2003, Kaygusuz, K., 2002, Kleinpeter, M., 1995, Ulutas, B. H., 2005)

## Εναλλακτικές Λύσεις

Οι εναλλακτικές λύσεις που προτάθηκαν ήταν οι εξής:

1. Η υδροηλεκτρική ενέργεια. Η Τουρκία έχει ένα συνολικό ακαθάριστο υδροηλεκτρικό δυναμικό 433,000 GW h/έτος, δηλαδή σχεδόν 1% του συνολικού παγκοσμίου δυναμικού. Υπάρχουν 436 τοποθεσίες, διανεμημένες σε 26 κύριες παραποτάμια ζώνες, οι οποίες είναι διαθέσιμες για κατασκευή υδροηλεκτρικού εργοστασίου.
2. Βιομάζα. Μεταξύ των διαφορετικών μορφών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι μια από τους βασικούς πόρους στην Τουρκία. Η οικιακή κατανάλωση ενέργειας της Τουρκίας αντιπροσωπεύει περίπου το 37% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Από αυτό, περίπου 52% είναι από τα καύσιμα με βάση τη βιομάζα.
3. Γεωθερμική ενέργεια. Η Τουρκία είναι η έβδομη πλουσιότερη χώρα στον κόσμο σε γεωθερμικό δυναμικό για άμεση χρήση και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι τώρα έχουν καθοριστεί περίπου 170 γεωθερμικά πεδία που μπορεί να είναι χρήσιμα κατά της οικονομικής κλίμακας και περίπου 1000 πηγές ζεστού και μεταλλικού νερού, που έχουν θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 20 έως 242 Κελσίου.
4. Ηλιακή ενέργεια. Η Τουρκία βρίσκεται σε μια ηλιόλουστη ζώνη μεταξύ 36 και 42 βαθμούς γεωγραφικό πλάτος. Η ετήσια μέση ηλιακή ακτινοβολία είναι 3,6 kW h/m<sup>2</sup> ημερησίως, και η συνολική ετήσια περίοδος ακτινοβολίας είναι περίπου 2620 h, που αρκεί για την παροχή επαρκούς ενέργειας για εφαρμογές ηλιακής θέρμανσης. Το ακαθάριστο δυναμικό της ηλιακής ενέργειας της Τουρκίας είναι 88 mtoe.
5. Αιολική ενέργεια. Σύμφωνα με μελέτες, το ακαθάριστο ποσό του αιολικού δυναμικού ενέργειας της Τουρκίας έχει υπολογιστεί ως 400 δισεκατομμύρια kW h/έτος και το πρακτικό δυναμικό εκτιμάται ως 120 δισεκατομμύρια kW h/έτος που είναι ίσο με το 1,2 φορές την τρέχουσα ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της Τουρκίας.
6. Στερεά καύσιμα. Η Τουρκία έχει αποθέματα λιθάνθρακα και λιγνίτη. Ο λιθάνθρακας βρίσκεται ως επί το πλείστον στο δυτικό τμήμα της χώρας, στη λεκάνη Zonguldak, που έχει περισσότερα από 700 εκατομμύρια μετρικούς τόνους σε χρήσιμα αποθέματα, περίπου το 80% των οποίων μπορούν να

καταναλωθούν. Τα λιγνιτοφόρα κοιτάσματα είναι ευρέως διαδεδομένα και άφθονα, με αποθέματα να εκτιμώνται σε περισσότερα από 8 δισεκατομμύρια τόνους (7ο μεγαλύτερο στον κόσμο), τα περισσότερα από τα οποία είναι εύκολο να εξορύχθουν, αν και μόνο περίπου το 7% έχει θερμική περιεκτικότητα άνω των 3000 kcal/kg.

7. Πετρέλαιο. Η Τουρκία έχει επιβεβαιωμένα αποθέματα περίπου 229 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου, τα περισσότερα βρίσκονται στη λεκάνη Hakkari στα νοτιοανατολικά της Τουρκίας. Αυτά τα πεδία αποτελούνται από μικρές πηγές.

8. Φυσικό αέριο. Τα αποθέματα φυσικού αερίου της Τουρκίας φαίνονται περιορισμένα. Τα 20 δισεκατομμύρια κυβικά πόδια (bcf) φυσικού αερίου που έχει παραχθεί στην Τουρκία το 2000 απαρτίσανε μόνο το 3.8% της εγχώριας κατανάλωσης. Το υπόλοιπο εισήχθη, είτε μέσω αγωγών είτε ως υγροποιημένου φυσικού αερίου. Η κατανάλωση φυσικού αερίου της Τουρκίας αναμένεται να αυξηθεί γρήγορα, οδηγώντας σε τετραπλασιασμό μέσα στα επόμενα 20 χρόνια και προβλέποντας 1400 bcf κατανάλωση για το έτος 2020.

9. Πυρηνική ενέργεια. Τον Ιούλιο του 2000, η Τουρκία ακύρωσε τα σχέδιά της για την οικοδόμηση ενός 1400MW πυρηνικού εργοστασίου στον κόλπο Akkuyu, στις ακτές της Μεσογείου.  
Παραπομπή: (International Atomic Energy Agency, 2008)

## **Κριτήρια**

Στο πίνακα 7 εξηγούνται εν συντομία τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των εναλλακτικών ενεργειακών πολιτικών. Για τα κριτήρια αυτά έχουν αναφερθεί μεταξύ των άλλων και οι Beccali M., Cellura M., Mistretta M, 2003, Goletsis, Y., Psarras, J., Samouilidis, J. E. (2003), Torcu, Y. I. και Ulengin, F. (2004).

C11. Εφαρμοσιμότητα. Το κριτήριο αυτό μετρά την ασφάλεια της δυνατότητας για την εφαρμογή της ενεργειακής πολιτικής. Το πλήθος των φορών που δοκιμάστηκε με επιτυχία λαμβάνεται υπόψη ως παράμετρος για την απόφαση.

C12. Κίνδυνος. Το κριτήριο του κινδύνου αξιολογεί την ασφαλή δυνατότητα υλοποίησης μιας πολιτικής ενέργειας μετρώντας τον αριθμό των προβλημάτων των αποτυχιών σε μια δοκιμασμένη περίπτωση.

C13. Αξιοπιστία. Στο κριτήριο αυτό αποτιμάται το επίπεδο της τεχνολογίας της ενεργειακής πολιτικής. Συγκεκριμένα η τεχνολογία μπορεί να έχει δοκιμαστεί μόνο στο εργαστήριο ή να έχει εκτελεστεί μόνο σε πιλοτικές μονάδες, ή θα μπορούσε να βελτιωθεί ακόμα, ή, εν τέλει, είναι μια εφαρμοσμένη τεχνολογία.

Κριτήρια που λήφθηκαν για την επιλογή της καλύτερης ενεργειακής πολιτικής.	
Κύρια κριτήρια	Υποκριτήρια
C1: Τεχνολογικά	C11: Εφαρμοσιμότητα
	C12: Κίνδυνος
	C13: Αξιοπιστία
	C14: Διάρκεια της φάσης προετοιμασίας
	C15: Διάρκεια της φάσης υλοποίησης
	C16: Συνεχής πρόβλεψη των επιδόσεων
	C17: Τοπική τεχνογνωσία
C2: Περιβαντολλογικά	C21: Εκπομπή ρυπογόνων
	C22: Χερσαίες απαιτήσεις
	C23: Ανάγκη για διάθεση απορριμμάτων
C3: Κοινωνικά - Πολιτικά	C31: Συμβατότητα με τους στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής
	C32: Πολιτική αποδοχή
	C33: Κοινωνική αποδοχή
	C34: Εργασιακές επιπτώσεις
C4: Οικονομικά	C41: Κόστος υλοποίησης
	C42: Διαθεσιμότητα πόρων
	C43: Οικονομική αξία (PW, IRR, B/C)

**Πίνακας 7: Κριτήρια**

C14. Η διάρκεια της φάσης προετοιμασίας. Το κριτήριο που μετρά τη διαθεσιμότητα της εναλλακτικής μορφής ενεργειακής πολιτικής να φτάσει το ελάχιστο κόστος και ορίζεται σε μήνες ή χρόνια.

C15. Η διάρκεια της φάσης εφαρμογής. Το κριτήριο που μετρά τη διαθεσιμότητα της εναλλακτικής μορφής ενεργειακής πολιτικής να φτάσει το ελάχιστο κόστος και ορίζεται σε μήνες ή χρόνια εφαρμογής.

C16. Συνεχής πρόβλεψη των επιδόσεων. Το κριτήριο αυτό αξιολογεί τη λειτουργία και την απόδοση της τεχνολογίας για την ενεργειακή πολιτική. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε με αυτοπεποίθηση αν η τεχνολογία λειτουργεί συνεχώς.

C17. Τοπική τεχνογνωσία. Το κριτήριο αυτό περιλαμβάνει μια αξιολόγηση, η οποία βασίζεται σε μια ποιοτική σύγκριση μεταξύ της πολυπλοκότητας της τεχνολογίας και της ικανότητας των τοπικών



φορέων να εξασφαλίσουν μια κατάλληλη υποστήριξη λειτουργίας συντήρησης και εγκατάστασης της τεχνολογίας για την εναλλακτική ενεργειακή πολιτική.

C21. Εκπομπή ρύπων. Το κριτήριο μετρά τις αέριες εκπομπές που είναι το αποτέλεσμα της διαδικασίας καύσης, υγρά απόβλητα που σχετίζονται με τα δευτερεύοντα προϊόντα από επεξεργασία αναθυμιάσεων ή από διεργασία νερού, και τα στερεά απόβλητα. Στην αξιολόγηση του κριτηρίου περιλαμβάνονται το είδος και η ποσότητα των εκπομπών, καθώς και δαπάνες που συνδέονται με την επεξεργασία τους. Επίσης λαμβάνονται υπόψη στην αξιολόγηση αυτού του κριτηρίου ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, δυσοσμία και κλιματικές αλλαγές.

C22. Χερσαίες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις σε γη είναι ένα από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για την επένδυση της παραγωγής ενέργειας. Μια μεγάλη απαίτηση για γη μπορεί να είναι καθοριστική στις σχετικές οικονομικές απώλειες.

C23. Ανάγκη διάθεσης των αποβλήτων. Το κριτήριο αξιολογεί την βλάβη της ενεργειακής πολιτικής στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Η εναλλακτική πολιτική μπορεί να αξιολογηθεί για να μειώσει τη ζημία στην ποιότητα ζωής και να αυξήσει τη βιωσιμότητα λαμβάνοντας υπόψη αυτό το κριτήριο.

C31. Συμβατότητα με τους στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής. Το κριτήριο αναλύει την ενσωμάτωση της εθνικής ενεργειακής πολιτικής στην προτεινόμενη ενεργειακή πολιτική. Μετρά τον βαθμό σύγκλισης των στόχων μεταξύ της κυβερνητικής πολιτικής και της πολιτικής που προτείνεται. Το κριτήριο λαμβάνει επίσης υπόψη την υποστήριξη της κυβέρνησης, την τάση των θεσμικών φορέων, καθώς και την πολιτική της δημόσιας πληροφόρησης.

C32. Πολιτική αποδοχή. Το κριτήριο εξερευνά κατά πόσον υπάρχει συναίνεση μεταξύ των ηγετών για την προτεινόμενη ενεργειακή πολιτική. Επίσης λαμβάνει υπόψη τις αντιδράσεις των πολιτικών την ικανοποίηση των πολιτικών αρχηγών.

C33. Κοινωνική αποδοχή. Το κριτήριο ενισχύει τη συναίνεση μεταξύ των κοινωνικών εταίρων, αποφεύγοντας τις αντιδράσεις από κοινωνικές ομάδες ειδικού ενδιαφέροντος για ενεργειακές πολιτικές.

C34. Εργασιακές επιπτώσεις. Οι ενεργειακές πολιτικές αξιολογούνται λαμβάνοντας υπόψη τις Εργασιακές επιπτώσεις που αναλύονται στη φροντίδα για άμεση και έμμεση απασχόληση και την πιθανή έμμεση δημιουργία νέων επαγγελματικών ενδιαφερόντων.

C41. Κόστος υλοποίησης. Το κριτήριο αυτό αναλύει το συνολικό κόστος της ενεργειακής επένδυσης ενέργειας για να είναι πλήρως λειτουργικό.

C42. Διαθεσιμότητα των κεφαλαίων. Το κριτήριο αυτό αποτιμά τη διάθεση εθνικών και διεθνών πηγών χρηματοδότησης, καθώς και την οικονομική υποστήριξη της κυβέρνησης.

C43. Οικονομική αξία (PW, IRR, B/C). Το κριτήριο αυτό κρίνει την προτεινόμενη ενεργειακή πολιτική ως οικονομική χρησιμοποιώντας μία από τις οικονομικές τεχνικές, αξία (PW), ανάλυση του συντελεστή εσωτερικής απόδοσης (IRR), όφελος/κόστος (B/C), και την περίοδο αποπληρωμής.

### **Μια ασαφής πολυκριτήρια μεθοδολογία για την ενεργειακή πολιτική.**

Στη παρούσα έρευνα, μια ασαφής πολυκριτήρια διαδικασία λήψης αποφάσεων που προτάθηκε από Zeng, An, και Smith ανακατασκευάστηκε για να επιλεγθεί η καλύτερη ενεργειακή πολιτική λύση. Παραπομπή: (Zeng, J., An, M., Smith, N. J., 2007)

Μια τροποποιημένη fuzzy μέθοδος AHP εφαρμόζεται για να επιλύσει τα βάρη προτεραιότητας των εναλλακτικών λύσεων της ενεργειακής πολιτικής. Σε μια χαρακτηριστική μέθοδο AHP, οι εμπειρογνώμονες πρέπει να δώσουν έναν καθορισμένο αριθμό μέσα σε μια κλίμακα 1-9 στη pairwise σύγκριση, έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί το διάνυσμα προτεραιότητας. Υποθέτουμε ότι δύο παράγοντες είναι εξίσου σημαντικοί, τότε έχει μια κλίμακα 1. Εάν ένας παράγοντας είναι λίγο πιο σημαντικότερος από άλλος, τότε έχει μια κλίμακα 3. Οι κλίμακες 5, 7 και 9 χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν αρκετά σημαντικότερους, πολύ σημαντικότερους και απολύτως σημαντικότερους, αντίστοιχα. Άρτιες κλίμακες 2, 4, 6 και 8 χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν μικρές διαφορές μεταξύ των κατηγοριών.

Τα κλάσματα  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{9}$  χρησιμοποιούνται για την αντίστροφη σύγκριση. Εντούτοις, οι συγκρίσεις παραγόντων περιλαμβάνουν συχνά κάποιο ποσό αβεβαιότητας και υποκειμενικότητας. Παραδείγματος χάριν, ένας εμπειρογνώμονας μπορεί να ξέρει ότι ένας παράγοντας είναι σημαντικότερος από έναν άλλον, εντούτοις, ο εμπειρογνώμονας δεν μπορεί να δώσει μια ξεκάθαρη

κλίμακα στη σύγκριση επειδή ο εμπειρογνώμονας δεν είναι βέβαιος για το βαθμό ενός παράγοντα σε σχέση με τους άλλους. Ο εμπειρογνώμονας πιθανώς παρέχει ένα βαθμό από 3 έως 7 για να περιγράψει αυτούς τους δύο παράγοντες. Μερικές φορές, οι εμπειρογνώμονες δεν μπορούν να συγκρίνουν δύο παράγοντες λόγω έλλειψης επαρκών πληροφοριών. Σε αυτήν την περίπτωση, μια κλασσική μέθοδος AHP πρέπει να απορριφθεί λόγω της ύπαρξης συγκεχυμένων ή ελλιπών συγκρίσεων. Μια fuzzy προσέγγιση AHP αναμένεται να ναι πιο κατάλληλη. Μία fuzzy AHP είναι μια σημαντική επέκταση της χαρακτηριστικής μεθόδου AHP που πρώτα εισήχθη από Laarhoven και Pedrycz (1983).

Αργότερα, άλλες fuzzy προσεγγίσεις AHP αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν σε μερικά βιομηχανικά προβλήματα (Buckley, 1985; Chang, 1996; Kahraman, Cebeci, & Ruan, 2004). Εντούτοις, η περίπλοκη fuzzy λειτουργία και η έλλειψη αποδεδειγμένων τεχνικών για να εξεταστεί η fuzzy συνέπεια και το fuzzy διάνυσμα προτεραιότητας έχουν υπονομεύσει την εφαρμογή τους στην πράξη. Σε αυτό το έγγραφο ένα προσαρμοσμένο fuzzy AHP που προτείνεται από Zeng et al. (2007) χρησιμοποιείται για να επιλέξει την καλύτερη ενεργειακή πολιτική δεδομένου ότι περιλαμβάνει απλοποιημένες fuzzy διαδικασίες και παρόμοια βήματα με κλασσικό AHP. Σε αυτήν την μέθοδο, η fuzzy συνάθροιση χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει τις αποφάσεις ομάδας, κατόπιν υιοθετείται defuzzification για να μετασχηματίσει τις fuzzy κλίμακες σε crisp κλίμακες για τον υπολογισμό των βαρών προτεραιότητας. Η προτίμηση ομάδας κάθε παράγοντα υπολογίζεται έπειτα με την εφαρμογή των fuzzy χειριστών συνάθροισης, δηλ. fuzzy χειριστές πολλαπλασιασμού και προσθηκών. Εδώ είναι τα βήματα της μεθοδολογίας.

Παραπομπή: (Zeng, J., An, M., Smith, N. J. 2007).

**Βήμα 1:** Μέτρηση παραγόντων στην ιεράρχηση. Οι εμπειρογνώμονες πρέπει να παρέχουν τις κρίσεις τους, βάσει της γνώσης και της πείρας τους, για κάθε παράγοντα στο κατώτατο επίπεδο στην ιεράρχηση. Οι εμπειρογνώμονες μπορούν να παρέχουν μια ακριβή αριθμητική αξία, μια σειρά αριθμητικών τιμών, έναν γλωσσικό όρο ή έναν fuzzy αριθμό.

**Βήμα 2:** Σύγκριση παραγόντων χρησιμοποιώντας pairwise συγκρίσεις. Οι εμπειρογνώμονες πρέπει να συγκρίνουν με pairwise αλγόριθμο κάθε χτισμένο στην ιεράρχηση παράγοντα στο αντίστοιχο τμήμα τους και να τους βαθμολογήσουν είτε σε crisp είτε σε fuzzy κλίμακα.

**Βήμα 3:** Μετατροπή των προτιμήσεων στο standardized trapezoidal fuzzy number (STFN). Όπως περιγράφεται στα βήματα 1 και 2, επειδή οι τιμές των παραγόντων που παρέχονται από τους εμπειρογνώμονες είναι crisp, π.χ. μια αριθμός, μια σειρά αριθμών, ένας γλωσσικός όρος ή ένας fuzzy αριθμός, το STFN υιοθετείται για να μετατρέψουν τις κριτικές των εμπειρογνομόνων σε ένα καθολικό σχήμα για τη σύνθεση των προτιμήσεων της ομάδας.

**Βήμα 4:** Συλλογή μεμονωμένων STFNs σε ομάδες STFNs. Ο στόχος αυτού του βήματος είναι να εφαρμοστεί ένα κατάλληλος τελεστής για να αθροίσει τις μεμονωμένες προτιμήσεις που γίνονται από μεμονωμένους εμπειρογνώμονες σε μια ομαδοποιημένη προτίμηση ομάδας του κάθε παράγοντα. Η συνάθροιση των αποτελεσμάτων STFN εκτελείται με την εφαρμογή του fuzzy weighted trapezoidal τελεστή.

**Βήμα 5:** Defuzzify τις κλίμακες STFN. Προκειμένου να μετατραπούν οι αθροισμένες κλίμακες STFN στο ταίριασμα των crisp τιμών που μπορούν επαρκώς να αντιπροσωπεύσουν τις προτιμήσεις ομάδας, ένα κατάλληλο defuzzification απαιτείται.

**Βήμα 6:** Υπολογισμός των βαρών προτεραιότητας των παραγόντων.

**Βήμα 7:** Υπολογισμός των τελικών συγκεχυμένων αποτελεσμάτων.

**Βήμα 8:** Σύγκριση των τελικών συγκεχυμένων τιμών χρησιμοποιώντας μια outranking μέθοδο.

Επεξεργαζόμενοι τα αποτελέσματα από τη μεθοδολογία, η “αιολική ενέργεια” καθορίζεται ως καλύτερη εναλλακτική λύση ενεργειακής πολιτικής για την Τουρκία στο μέλλον. Η ταξινόμηση της ενεργειακής εναλλακτικής λύσης καθορίζεται ως εξής: {Αιολική – Ηλιακή – Βιομάζα – Γεωθερμική – Υδροηλεκτρική – Φυσικό αέριο – Άνθρακας και λιγνίτης – Πυρηνική – Πετρέλαιο}.

### **3.3. Μεθοδολογία PROMETHEE II, Κρήτη 2009**

Οι Theocharis Tsoutsos et. al (2009) προτείνουν σε αυτή την έρευνα τη μεθοδολογία πολλαπλών κριτηρίων για το βιώσιμο ενεργειακό προγραμματισμό στο νησί της Κρήτης. Ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων ενεργειακού προγραμματισμού καθορίζεται επάνω στην εφαρμογή των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο νησί και αξιολογείται σύμφωνα με οικονομικά, τεχνικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια που προσδιορίζονται από τους δράστες που

συμμετέχουν στο χώρο ενεργειακού προγραμματισμού. Η μελέτη αποτελεί μια διερευνητική ανάλυση με τη δυνατότητα να βοηθηθούν οι ιθύνοντες αρμόδιοι για τον περιφερειακό ενεργειακό προγραμματισμό, παρέχοντας τους η δυνατότητα τις ταξινομήσεις των εναλλακτικών βιώσιμων ενεργειακών λύσεων.

## **Εναλλακτικές**

Διατυπώνονται τέσσερις διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις που παρουσιάζουν τη δυνατότητα στην επίτευξη του στόχου ενός βιώσιμου ενεργειακού ανεφοδιασμού για την Κρήτη. Αυτές οι εναλλακτικές λύσεις επιλέγονται βασισμένες στις διάφορες λύσεις τεχνολογίας που προτείνονται για το νησί, αλλά στο κοντινό μέλλον είναι πιθανές και άλλες εναλλακτικές λύσεις.

### *Εναλλακτική 1: Εγκατάσταση αιολικών πάρκων*

Η πρώτη εναλλακτική θεωρεί ότι 100% της ενεργείας από ΑΠΕ θα καλύπτεται από αιολικά πάρκα. Πιο συγκεκριμένα απαιτείται να εγκατασταθούν 63 ανεμογεννήτριες των 2 MW (Vestas V-80) σε περιοχές με μέση ταχύτητα ανέμου 8 m/s και πυκνότητα αέρα 1.15 kg/m<sup>3</sup>. Παραπομπή: (74, 44). Αυτές οι 63 ανεμογεννήτριες θα παράγουν 376.6 GWh / έτος. Παραπομπή: (95).

### *Εναλλακτική 2: Εγκατάσταση αιολικών πάρκων και φωτοβολταϊκών*

Η εναλλακτική αυτή θεωρεί ότι το 95% της ενεργείας θα καλύπτεται από αιολικά πάρκα και το υπόλοιπο 5% από φωτοβολταϊκά.

Άρα η αιολική ενέργεια θα προσφέρει 356.25 GWh / έτος και τα φωτοβολταϊκά 18.75 GWh / έτος. Για αυτή την περίπτωση, επιλέγονται 60 ανεμογεννήτριες των 2 MW (Vestas V-80), σε περιοχές με μέση ταχύτητα ανέμου 8 m/s και πυκνότητας 1.15 kg / m<sup>3</sup>, που θα παράγουν 358.7 GWh/έτος, ένας αριθμός πολύ κοντά στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Πιο συγκεκριμένα, επιλέγονται μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά συστήματα από σιλικόνη, που έχουν απόδοση μεταξύ 1.400 – 1.500 kWh / kWp ανά έτος. Δεδομένου ότι η μικρότερη απαιτούμενη επιφάνεια από τα συγκεκριμένα συστήματα είναι 8 m<sup>2</sup> / kWp, η συνολική απαίτηση σε γη είναι 103.448 m<sup>2</sup>.

Παραπομπή: (Fragiadakis, J., 2004, HELAPCO, 2006)

*Εναλλακτική 3: Εγκατάσταση αιολικών πάρκων, φωτοβολταϊκών και 4 μονάδες καύσης πυρήνων ελίων*

Σε αυτή την εναλλακτική, οι ενεργειακές απαιτήσεις καλύπτονται: από 86.2% αιολικά πάρκα, 5% φωτοβολταϊκά και 8.8% 4 μονάδες καύσης πυρήνων ελίων.

Κάθε μονάδα καύσης πυρήνων ελίων έχει παραγωγή 10 MW και προσφέρει ενέργεια 55 GWh / έτος.

Έτσι, η επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια (σε σύγκριση με την εναλλακτική 2) φτάνει τα 220 GWh/έτος, δηλαδή 8.8% της συνολικής απαίτησης σε ενέργεια της Κρήτης.

Παραπομπή: (Ulesous Engineering, 2006).

*Εναλλακτική 4: Εγκατάσταση αιολικών πάρκων, φωτοβολταϊκών και μονάδες καύσης πυρήνων ελίων*

Σε αυτή την εναλλακτική, οι ενεργειακές απαιτήσεις καλύπτονται: από 75% αιολική ενέργεια, 14% φωτοβολταϊκά και 11% μονάδες καύσης πυρήνων ελίων.

Προτείνεται να εγκατασταθούν 5 μονάδες (10 MW) καύσης πυρήνων ελίων με κάθε μία να παράγει 55 GWh/έτος. Παραπομπή: (Ulesous Engineering, 2006). Έτσι, παράγεται ένα επιπλέον ποσό ενέργειας 275 GWh / έτος (11% της συνολικής απαίτησης σε ενέργεια της Κρήτης).

Για παραγωγή αιολικής ενέργειας, επιλέγονται 54 ανεμογεννήτριες (2 MW) (Vestas V-80), σε περιοχές με μέση ταχύτητα ανέμου 8 m/s και πυκνότητα  $1.15 \text{ kg / m}^3$ , που παράγουν 322.8 GWh / έτος.

Για ενέργεια από φωτοβολταϊκά, επιλέγονται μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά συστήματα συνολικής ισχύς 38,793 MWp, που καταλαμβάνουν μια περιοχή  $310.344 \text{ m}^2$ .

### **Κριτήρια απόδοσης και επιλογής**

Η επιλογή των κριτηρίων είναι το κρίσιμότερο μέρος κατά τη διάρκεια της διατύπωσης ενός προβλήματος. Εκτός από τον αριθμό κριτηρίων, εξαρτάται εκτενώς από τη διαθεσιμότητα ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων. Ένα ευρύ φάσμα κρίσιμων παραμέτρων, όπως η απασχόληση, η περιβαλλοντική ποιότητα, η κατανάλωση ενέργειας, η χρηματοδότηση, κ.τ.λ., περιλαμβάνεται στα πλαίσια ενός προγράμματος RES, συνεπώς ο βιώσιμος ενεργειακός προγραμματισμός για την Κρήτη θα αντιμετωπιστεί ως τμήμα ενός ευρέος προβλήματος της περιφερειακής ενεργειακής πολιτικής. Οι κρατικές επιχορηγήσεις, οι ευνοϊκές απόψεις από τις δημόσιες ομάδες που ασκούν πίεση (δηλ., μέσα μαζικής ενημέρωσης και μη κυβερνητικές οργανώσεις), την οικονομική υποστήριξη των επενδυτών που συμμετέχουν στα ενεργειακά προγράμματα και την υποστήριξη των τοπικών αρχών είναι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη ιδιαίτερα.

Στις παραγράφους που ακολουθούν, παρουσιάζονται επτά κριτήρια, εκ των οποίων τα τέσσερα είναι τεχνοοικονομικά και τα υπόλοιπα είναι κοινωνικά και περιβαλλοντολογικά. Έτσι δημιουργούνται δύο μεγάλες μερίδες εφαρμοσμένων κριτηρίων. Τα ποσοτικά μέτρα αφορούν τρία από αυτά τα κριτήρια, ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα, όντας ποιοτικά, σημειώνονται με την εφαρμογή μιας σχετικής κλίμακας (1-5).

Παραπομπές: (Tsoutsos T, Drandaki M, Frantzeskaki N, Iosifidis E, Kiosses I., 2009, Papadaki, M., Tsoutsos, T., Maria, E., Antonidakis, E., 2003, Haralambopoulos, A., Polatidis, H., 2003, Afgan, N., Carvalho, M.G., 2001)

Τεχνοοικονομικά κριτήρια:

1. Επένδυση, κόστος λειτουργίας και συντήρησης (C1-h). Οι δαπάνες επένδυσης που περιλαμβάνουν το αρχικό κόστος (δηλαδή, τα έξοδα για την προμήθεια του μηχανολογικού εξοπλισμού, οι τεχνολογικές εγκαταστάσεις, η κατασκευή των δρόμων και οι συνδέσεις του δικτύου, οι υπηρεσίες μηχανικών και τεχνικώς και τα υπόλοιπα έργα κατασκευής). Τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης περιλαμβάνουν τα έξοδα για τη συντήρηση και τη λειτουργία των εγκαταστάσεων, οι μισθοί των εργαζομένων, τις δαπάνες για υλικά και μεταφορά και το υπόλοιπο των εξόδων και ενοικίων που μπορεί να υπάρχουν.

2. Εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων (C2; Kg / έτος). Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στις συνολικές ποσότητες των συμβατικών καυσίμων που αντικαθίστανται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

3. Ωριμότητα της τεχνολογίας (C3). Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στον βαθμό αξιοπιστίας της υιοθετημένης τεχνολογίας και την εξάπλωσή της σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Είναι ένα ποιοτικό κριτήριο και λαμβάνει τιμές από 1 έως 5.

1. Τεχνολογίες σε εργαστηριακό και ερευνητικό στάδιο (laboratory)
2. Τεχνολογίες πειραματικών προγραμμάτων (pilot)
3. Τεχνολογίες που απαιτούν περαιτέρω βελτιώσεις προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγικότητά τους (further improvement)
4. Εμπορικά ώριμες τεχνολογίες με μόνιμη θέση στην ευρεία εγχώρια αγορά (com\_loc)
5. Εμπορικά ώριμες τεχνολογίες με μόνιμη θέση στην υπερεθνική και ευρωπαϊκή αγορά (com\_EU)

4. Η ασφάλεια του εφοδιασμού (C4). Αυτό κριτήριο αντικατοπτρίζει αν η προμήθεια ενέργειας αντιμετωπίζει οποιεσδήποτε διακοπές (π.χ., τα PVs δεν λειτουργούν κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να λειτουργήσουν για ορισμένες ταχύτητες ισχυρού ανέμου). Η παρουσία των εν λόγω διακοπών επηρεάζει τη σταθερότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι ένα ποιοτικό κριτήριο και λαμβάνει τιμές από 1 έως 5.

1. Δραστηριότητα με υψηλή ασυνέχεια (high\_dis)
2. Δραστηριότητα με μέτρια ασυνέχεια (mod\_dis)
3. Δραστηριότητα με ελεγχόμενη ασυνέχεια (med\_dis)
4. Δραστηριότητα με μικρή ασυνέχεια (slightly\_dis)
5. Συνεχής και σταθεροποιημένη δραστηριότητα (σταθερή) (οι περίοδοι συντήρησης αγνοούνται)

Περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια:

1. Αποφυγή εκπομπών CO<sup>2</sup> (C5, kg/yr). Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στο συνολικό ποσό των εκπομπών CO<sup>2</sup> που αποφεύγεται, δεδομένου ότι η ενέργεια και η συναλλαγή καλύπτεται από την παραγωγή ενέργειας από τα συστήματα των προτεινόμενων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2. Συμβολή στην τοπική ανάπτυξη και ευημερία (C6). Το κριτήριο αυτό υπολογίζει το συνολικό κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο που μπορεί να γίνει αντιληπτό στις περιοχές που στεγάζουν τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το κριτήριο αυτό αποτιμάται με την παρακάτω κλίμακα:



1. Μηδαμινός αντίκτυπος στην τοπική οικονομία (none)
2. Ανεπαίσθητος αντίκτυπος στην τοπική οικονομία (weak)
3. Μέσος αντίκτυπος στην τοπική οικονομία (μόνο λίγοι μόνιμοι εργασιακοί χώροι) (moderate)
4. Μέσος προς υψηλός αντίκτυπος στην τοπική οικονομία (δημιουργία νέων εργασιακών χώρων και ανάπτυξη μιας αλυσίδας επιχειρήσεων στον τομέα της ενεργειακής παραγωγής)
5. Πολύ σθεναρός αντίκτυπος σε τοπική οικονομία (ισχυρή ώθηση στην τοπική ανάπτυξη, δημιουργία μικρών βιομηχανικών περιοχών σε ευρείες εδαφικές περιοχές)

3. Κοινωνική αποδοχή και βιωσιμότητα των υπόλοιπων περιβαλλοντικών επιπτώσεων (C7). Αυτό δείχνει την αποδοχή των πολιτών από τα πιθανά προγράμματα, τα οποία υπόκεινται σε αναθεώρηση. Άλλα αποτελέσματα που λαμβάνονται υπόψη είναι πιθανή επιβλαβή επίδραση στην θέα, θόρυβος, οσμές που προέρχονται από τις εγκαταστάσεις και πιθανός κίνδυνος για τα τοπικά οικοσυστήματα. Για την αξία αυτού του κριτηρίου χρησιμοποιήθηκε κλίμακα Παραπομπή: (7, 36).

1. Η πλειοψηφία των κατοίκων είναι ενάντια σε οποιεσδήποτε εγκαταστάσεις, ανεξάρτητα από τη περιοχή των εγκαταστάσεων (No)
2. Η άποψη του πληθυσμού διχάζεται (split)
3. Η πλειοψηφία δέχεται τις εγκαταστάσεις, δεδομένου ότι βρίσκονται μακριά από την κατοικημένη περιοχή και συγχρόνως δεν υπάρχει καμία επιβλαβής οπτική επίδραση (vis-res)
4. Η πλειοψηφία δέχεται τις εγκαταστάσεις, δεδομένου ότι βρίσκονται μακριά από τις κατοικημένες περιοχές, ασχέτως εάν υπάρχει οπτική επαφή ή όχι (res)
5. Η πλειοψηφία είναι υπέρ των εγκαταστάσεων (OK)

### **Προτιμήσεις της κάθε ομάδας κοινωνικών φορέων**

Όλα τα επτά κριτήρια είναι σημαντικά για τη βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος της Κρήτης, αλλά μια σειρά από αυτά αντιπροσωπεύουν τα βασικά συμφέροντα του κάθε φορέα. Προκειμένου να προσδιορισθεί η κατάταξη προτίμησης του κάθε φορέα, προσκλήθηκαν εκπρόσωποι και κατέταξαν τα κριτήρια κατά σειρά σπουδαιότητας. Κάθε φορέας είχε τη δυνατότητα να εκφράσει την ιδιαίτερη προτίμησή του σε ένα ορισμένο κριτήριο (ή κριτήρια), αφήνοντας μια κενή θέση στην

ιεράρχηση. Τα αποτελέσματα της συνόδου συνοψίζονται σε μια προκαταρκτική λίστα με φορείς και τα κριτήρια προτεραιότητας και είναι η ακόλουθη:

Κοινωνικός Φορέας	Πρωτεύων κριτήριο
Τοπικές Αρχές (LA)	C5, C7
Πιθανοί επενδυτές (PI)	C1, C3, C4
Τοπική κοινότητα (LC)	C6, C7
Ακαδημαϊκά ιδρύματα (AI)	C4, C5
Περιβαλλοντολογικές ομάδες (EG)	C2, C5
Κυβέρνηση και Ευρωπαϊκή Ένωση (EU)	C1, C2, C5, C6

Η παραπάνω λίστα δείχνει την αλληλεξάρτηση μεταξύ των φορέων (δεδομένου ότι όλοι οι παράγοντες έχουν τουλάχιστον ένα ενδιαφέρον κοινό με έναν άλλον φορέα του ενεργειακού συστήματος) και αυτό αποκαλύπτει την προοπτική του δικτύου του ενεργειακού συστήματος της Κρήτης. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την ανάθεση βαρών για κάθε κριτήριο. Οι ενδοκριτιριακές προτιμήσεις των εμπλεκόμενων φορέων εκφράζονται από το παράγοντα βάρους  $w_i$ .

Στην παρούσα μελέτη, ο "συνήθης τύπος" της εξίσωσης προτίμησης χρησιμοποιήθηκε για τα ποιοτικά κριτήρια C3, C5, C6 και C7. Για λόγους απλοποίησης, αγνοήθηκε το κατώφλι αδιαφορίας, που αφορά τον τεχνικό χαρακτήρα του ενεργειακού σχεδιασμού έργων ενώ η εξίσωση προτίμησης V-type χρησιμοποιήθηκε για τα ποσοτικά C1, C2, C4 κριτήρια. Οι τιμές των κατωτάτων ορίων των προτιμήσεων των κριτηρίων C1, C2, C4 έχουν αξιολογηθεί μέχρι 25% της διαφοράς  $V_i \frac{1}{4} \max(i) - \min(i)$ , ή εναλλακτικά,  $p_i \frac{1}{4} V_i/n$ , όπου  $n$  είναι ο αριθμός των εναλλακτικών ενεργειών.

Παραπομπή: (Brans, J.P., Mareschal, B., 1998, Haralambopoulos, A., Polatidis, H., 2003).

Ο κάθε φορέας έχει προτίμηση σε διαφορετική εναλλακτική. Συγκεκριμένα οι ακαδημαϊκοί φορείς στην εναλλακτική 1 και 4, οι τοπικές αρχές στην 4, οι επενδυτές στην 1, η κυβέρνηση και η ΕΕ στην 4 και 3, οι τοπικές κοινωνίες στην 1 και οι περιβαλλοντολογικές οργανώσεις στην 3 και 4.

### 3.4. Μεθοδολογία ELECTRE III, Κρήτη 1996

Η Ε. Georgoroulou προτείνει την ELECTRE III ως τη συμβολή μιας μεθόδου ενίσχυσης της απόφασης πολλαπλών κριτηρίων για τα περιφερειακά προβλήματα ενεργειακού προγραμματισμού. Η εξέταση σε τέτοια προβλήματα ερευνάται μέσω της εξέτασης μιας ιδιαίτερης μελέτης σε ένα ελληνικό νησί. Μέσω της ακόλουθης παρουσίασης της διαδικασίας (προσδιορισμός των εμπλεκόμενων, επιλογή των κριτηρίων, διατύπωση των εναλλακτικών στρατηγικών, εφαρμογή της

συγκεκριμένης μεθόδου και ανάλυση των αποτελεσμάτων και αντιδράσεις των εμπλεκομένων), καταβάλλεται προσπάθεια να δοθεί έμφαση στις πτυχές που είναι κρίσιμες σε επίτευξη ενός συμβιβασμού σε αυτές.

### **Εναλλακτικές στρατηγικές και σενάρια**

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 1 - «NIMBY» (χωρίς πρόσθετες εγκαταστάσεις στο νησί): Βασικό στοιχείο αυτής της στρατηγικής είναι η εγκατάσταση ενός υποθαλάσσιου ηλεκτρικού καλωδίου, που συνδέει το νησί με την ηπειρωτική χώρα. Εντούτοις, αυτή η σύνδεση είναι τεχνικά δύσκολη και σχετικά επικίνδυνη, οφειλόμενη στα ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα μεταξύ της Κρήτης και της νότιας Πελοποννήσου καθώς και στη πιθανότητα σεισμών. Αυτή η στρατηγική περιλαμβάνει επίσης δύο ιδιωτικά αιολικά πάρκα που εγκρίθηκαν ήδη από το Υπουργείο ενέργειας.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 2 - «Utility oriented» (Πρόγραμμα της ΔΕΗ): Η βασική επένδυση αυτής της στρατηγικής θα είναι η κατασκευή ενός νέου συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, ονομαστικής ισχύος 80 MW στο νοτιοανατολικό μέρος του νησιού. Αυτή η λύση περιλαμβάνει τη πρόταση της ΔΕΗ, που περιλαμβάνεται στο δεκαετές σχέδιό της προκειμένου να αντιμετωπιστεί το αυξανόμενο πρόβλημα ανεφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί. Η στρατηγική περιλαμβάνει επίσης τα ίδια ιδιωτικά αιολικά πάρκα όπως στην περίπτωση της στρατηγικής 1.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 3 - «Προσανατολισμένη ενεργειακή απαίτηση» (Εμφαση δίδεται στη αλλαγή της συμπεριφοράς των καταναλωτών): Αυτή η στρατηγική είναι η ίδια με τη στρατηγική 2, αλλά ολοκληρώνεται με εντατικά μέτρα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιακό και τριτογενή τομέα.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 4 - «Ήπια και συγκεντρωμένη ανάπτυξη ΑΠΕ» (οι ώριμες τεχνολογίες ΑΠΕ πρέπει να αναπτυχθούν επί της πιο κατάλληλης τοποθεσίας): Αυτή η στρατηγική περιλαμβάνει την κατασκευή ενός νέου συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς επίσης και την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, η οποία είναι προς το παρόν η πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία ΑΠΕ για την ηλεκτρική παραγωγή στην Ελλάδα.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 5 - «Ήπια και ισόρροπη ανάπτυξη ΑΠΕ» (οι τοπικές αρχές πρέπει να προωθήσουν την ισορροπημένη ανάπτυξη των ώριμων τεχνολογιών ΑΠΕ): Η στρατηγική είναι παρόμοια με τη

στρατηγική 4, αλλά σε αυτήν την περίπτωση τα αιολικά πάρκα θα είναι διασκορπισμένα. Η στρατηγική συνοδεύεται από μέτρα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 6 - «Συνεργατική» (οι τοπικές αρχές και άλλοι τοπικοί συμμετέχοντες πρέπει να οδηγήσουν μια αρκετά ισχυρή ανάπτυξη ΑΠΕ προκειμένου να αποφευχθεί η κατασκευή ενός νέου συμβατικού σταθμού): Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της στρατηγικής είναι ότι θα κατασκευαστούν δύο εγκαταστάσεις ονομαστικής ισχύος 15 MW, όπου ο καθένας θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια από τις υπάρχουσες πηγές βιομάζας, σε δύο γεωργικές περιοχές του νησιού, παράλληλα με μια υψηλή διείσδυση των αιολικών πάρκων σε όλες τις κατάλληλες περιοχές του νησιού. Η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων θα είναι διασκορπισμένη προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι στη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου. Η στρατηγική συνοδεύεται από εντατικά μέτρα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 7 - «Μαξιμαλιστική» (προσπάθειες πρέπει να καταβληθούν από όλους τους συμμετέχοντες προκειμένου να αποφευχθεί η κατασκευή ενός νέου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και να προωθηθεί η βιώσιμη ανάπτυξη): Αυτή η στρατηγική αντιπροσωπεύει την πιο αισιόδοξη προσέγγιση, δεδομένου ότι περιλαμβάνει μια συνολική, αποκεντρωμένη ανάπτυξη ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

Σε αυτήν την περίπτωση, οι εγκαταστάσεις βιομάζας υποστηρίζονται κυρίως από τις ενεργειακές φυτείες ζαχαροκάλαμου. Εκτός από τις εγκαταστάσεις βιομάζας και τα εντατικά μέτρα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας, περίπου 10 μονάδες συμπαραγωγής 500 KW η κάθε μια θα κατασκευαστούν σε υπάρχουσες μικρές βιομηχανίες. Τέλος, τρία μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια συνολικής ονομαστικής ισχύος 1 MW θα κατασκευαστούν σε θέσεις που παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό κόστος επένδυσης λόγω των χαρακτηριστικών της περιοχής. Η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων παραμένει η ίδια όπως στη στρατηγική 6.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ 8 - «Καινοτόμος» (οι καινοτόμες τεχνολογίες ΑΠΕ πρέπει να αναπτυχθούν με έναν οργανωμένο τρόπο προκειμένου να αποφευχθεί η κατασκευή ενός νέου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος): Αυτή η στρατηγική δίνει έμφαση στις καινοτόμες τεχνολογίες, όπως οι ενεργειακές φυτείες και οι ηλιακές εγκαταστάσεις θερμικής παραγωγής ενέργειας. Ηλιακές εγκαταστάσεις θερμικής παραγωγής ενέργειας 50 MW θα κατασκευαστούν στο νότιο μέρος του νησιού. Η στρατηγική συνοδεύεται επίσης από δύο εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που

προμηθεύονται με βιομάζα από τις ενεργειακές φυτείες, καθώς επίσης και από εντατικά μέτρα εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας θα είναι σχετικά χαμηλή.

### **Τα κριτήρια αξιολόγησης**

Προσδιορίστηκαν τέσσερις κύριες κατηγορίες τιμών: με οικονομική, τεχνική, πολιτική και περιβαλλοντική αξία.

Ορισμένα κριτήρια είναι μετρημένα σε ποσοτική κλίμακα, ενώ για τα άλλα χρησιμοποιείται μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος. Στην πρώτη περίπτωση, το χαρακτηριστικό μέτρησης είναι είτε μια φυσική μονάδα (π.χ. κριτήρια C1, C2, E4, E7) ή ένα χαρακτηριστικό μεσολάβησης (π.χ. κριτήρια T1, E1, E2, E5). Για την αξιολόγηση των εναλλακτικών στρατηγικών σύμφωνα με κριτήρια που έχουν μετρηθεί σε μια ποσοτική κλίμακα, έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα από πρόσφατες μελέτες και δημοσιεύσεις, επίσημες εκθέσεις της ΔΕΗ και άλλες αναφορές. Ποιοτικού αποτελέσματος κλίμακες χρησιμοποιούνται σε ορισμένα κριτήρια, όπου ποσοτικά χαρακτηριστικά είναι δύσκολο να εντοπιστούν.

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της ποσοτικής κλίμακας βαθμολογίας, μαζί με τις κύριες πτυχές λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης της κλίμακας βαθμολογίας του ποιοτικού αποτελέσματος που περιγράφεται παρακάτω. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι πτυχές που εξετάζονται κατά τον προσδιορισμό των ορίων.

Οι μονάδες μέτρησης για κάθε κριτήριο και τα αποτελέσματα των διαφόρων πιθανών δράσεων σύμφωνα με τα κριτήρια που επελέγησαν δίνονται στον πίνακα 8, ενώ οι τιμές κατωφλίου παρουσιάζονται στον πίνακα 9. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αριθμητικές τιμές των κατωφλίων έχουν αποφασίσει από τον συγγραφέα και στη συνέχεια παρουσιάστηκαν στους πολιτικούς ιθύνοντες. Έγινε προσπάθεια να ληφθούν υπόψη οι κύριες πηγές της ανακρίβειας και αβεβαιότητας κατά τον υπολογισμό της βαθμολογίας των κριτηρίων.

Παραπομπή: (Ε. Georgopoulou a, D. Lalas b, L. Papagiannakis a, 1996)

Κριτήρια		Ιδιότητες και μονάδες μέτρησης	Ενναλακτικές στρατηγικές						
			2	3	4	5	6	7	8
C1 (min)	δισεκατομμύρια δραχμές	75.8	35.8	62.8	53.6	53.6	70.2	75.4	92
C2 (min)	δισεκατομμύρια δραχμές	6.8	8.2	8.2	8.4	8.4	3.2	5	5.2
T1 (max)	% από τη μέγιστη ζήτηση που ξεπερνιέται από τη μέγιστη διαθέσιμη δύναμη	13.8	13.5	18.8	20	20.4	16.8	18.8	20
T2 (max)	Ποιοτική κλίμακα (1 - 10)	1	10	10	8	8	5	3	1
T3 (max)	Ποιοτική κλίμακα (1-10)	1	10	10	6	8	5	6	1
P1 (max)	Ποιοτική κλίμακα (1 - 10)	10	8	8	7	6	6	3	10
P2 (max)	Ποιοτική κλίμακα (1 - 10)	1	8	5	5	5	8	10	10
E1 (max)	% μείωσης m <sup>2</sup> μολυσμένης γης ανά παραγόμενης KWh σε σύγκριση με το 1994	1	15	13	7	- 7	24	26	26
E2 (min)	dB(A) προστέθηκαν ανά πληθυσμό που επηρεάστηκε ( 10 <sup>-3</sup> )	22.8	31.8	32.8	89.8	80.4	203.6	203.6	119.6
E3 (max)	Ποιοτική κλίμακα (1 - 10)	9	6	5	5	4	5	3	1
E4 (max)	TJ συμβατικών καυσίμων	24115	21 950	19900	19920	19940	17240	16860	16900
E5 (min)	% αύξησης CO <sub>2</sub> σε σύγκριση με το 1994	37	21.8	10.4	10.5	10.6	-2.6	-4.8	-4.5
E6 (max)	Ποιοτική κλίμακα (1 - 10)	1	1	1	1	1	9	6	2
E7 (max)	Ha γης που χρησιμοποιήθηκε	7.2	32	32	41.8	41.8	63.4	5 263	5277
E8 (max)	Ποιοτική κλίμακα (1 - 10)	1	2	4	5	5	8	10	7

*Πίνακας 8: μήτρα εκτίμησης εναλλακτικών στρατηγικών που μελετήθηκαν για τη Κρήτη*

- Κόστος επένδυσης (C1). Το κριτήριο αυτό περιλαμβάνει το κόστος για τα έργα του τομέα (τοπικά έργα και κτίρια), οδοποιίας, διασύνδεσης στο δίκτυο και αγορά μηχανολογικού εξοπλισμού. Για τον υπολογισμό, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις εθνικές οργανώσεις τεχνικών, έρευνες αγοράς και βιβλιογραφία για κάθε συγκεκριμένη τεχνολογία και μέτρο που πραγματοποιήθηκε.
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (C2). Το κριτήριο αυτό περιλαμβάνει μισθούς, υπηρεσίες και αναλώσιμα, ηλεκτρική ενέργεια και την κατανάλωση καυσίμου, εγκαταστάσεις, μεταφορικό κόστος των πρώτων υλών, καθώς και το ενοίκιο της γης στην περίπτωση των αιολικών πάρκων. Οι προελεύσεις των δεδομένων ήταν ανάλογες με εκείνες του κριτηρίου C1.
- Ασφάλεια στην κάλυψη της ανώτατης ζήτησης φορτίου (T1). Για τη μέτρηση του κριτηρίου αυτού, χρησιμοποιήθηκε ένα χαρακτηριστικό μεσολάβησης (δηλαδή ποσοστό της υπέρβασης ζήτησης αιχμής από τη μέγιστη διαθέσιμη ισχύ εγκατεστημένων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των διαφόρων τεχνολογιών συγκρίθηκε με την προβλεπόμενη ανώτατη ζήτηση φορτίου που παρέχεται από το δεκαετές σχέδιο ανάπτυξης της ΔΕΗ.

Κριτήριο	Οριακή τιμή		
	Αδιαφορία	Προτίμηση	Veto
C1	5	15	45
C2	1	5	8
T1	2	5	
T2	1	3	5
T3	1	2	6
P1	1	3	7
P2	1	3	
E1	2	10	22
E2	20	70	170
E3	1	2	6
E4	100	1000	4000
E5	2	6	12
E6	1	3	7
E7	10	60	5000
E8	1	3	7

**Πίνακας 9:** Κατώφλι αδιαφορίας, προτίμησης και veto για τα διάφορα κριτήρια εκτίμησης

- Λειτουργικότητα (T2). Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, ο συνδυασμός των τεχνολογιών που περιλαμβάνονται σε κάθε συγκεκριμένο δυναμικό δράσης, μαζί με δεδομένα σχετικά με την τεχνολογική ή/και εμπορική ωριμότητα τους, που παρέχονται από εκθέσεις της ΕΕ και την ελληνική αγορά ελήφθησαν υπόψη.
- Σταθερότητα του δικτύου (T3). Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ελήφθησαν υπόψη το μίγμα των τεχνολογιών σε κάθε συγκεκριμένο δυναμικό δράσης, μαζί με τη χωρική κατανομή της υπάρχουσας υποδομής του ηλεκτρικού δικτύου.
- Συνοχή με τοπικές οικονομικές δραστηριότητες (P1). Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος. Για την αξιολόγηση της βαθμολογίας, εξετάστηκε ο βαθμός συμβατότητας μεταξύ της προτεινόμενης γενεάς εγκαταστάσεων ηλεκτρικής ενέργειας και των οικονομικών δραστηριοτήτων στις γύρω περιοχές.
- Περιφερειακή απασχόληση (P2). Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, η συνεισφορά των διαφόρων τεχνολογιών στην απασχόληση, καθώς και το υπάρχον κοινωνικό προφίλ της περιοχής ελήφθησαν υπόψη. Προτιμήθηκε μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος, καθώς η κατασκευή των

εγκαταστάσεων ενέργειας παράγει επίσης φαινόμενα έμμεσης απασχόλησης για τα οποία αξιόπιστα στοιχεία δεν υπάρχουν ακόμη.

- Ποιότητα της ατμόσφαιρας (E1). Για τη μέτρηση αυτού του κριτηρίου, συλλέχθηκαν στοιχεία από τη βάση δεδομένων της ΔΕΗ για τους συντελεστές εκπομπών ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας σε συνδυασμό με την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από την κάθε συγκεκριμένη τεχνολογία. Για να συγκεντρωθούν οι επιπτώσεις των διαφόρων ρύπων, εφαρμόστηκε η μέθοδος «Critical Surface Time». Παραπομπή: (Jolliet. O. (1994)). Εν συντομία, η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη την σχετική τοξικότητα από κάθε ρύπο και το μέσο χρόνο κατακράτησης της στην ατμόσφαιρα και καταλήγει στον καθορισμό επίδρασης παραγόντων για κάθε συγκεκριμένο ρύπο.

- Θόρυβος (E2). Για τη μέτρηση αυτού του κριτηρίου, ο πληθυσμός των χωριών και πόλεων σε συγκεκριμένη ακτίνα κοντά σε κάθε εγκατάσταση καθορίστηκε χρησιμοποιώντας λεπτομερείς χάρτες και δεδομένα από εθνικές στατιστικές. Όπως αναφέρει ο: (71), στη συνέχεια, με τη χρήση κατάλληλων εξισώσεων, καθώς και δεδομένα από βιβλιογραφία σχετικά με τις εκπομπές θορύβου για διάφορες τεχνολογίες, υπολογίστηκε το επίπεδο θορύβου σε κάθε χωριό και πόλη στην συγκεκριμένη ακτίνα. ελήφθησαν υπόψη μόνο περιπτώσεις όπου το επίπεδο του θορύβου αυξάνεται περισσότερο από 10 dB από το επιτρεπτό. Στη συνέχεια, ο συνολικός αντίκτυπος του θορύβου υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το επίπεδο επανυξημένου θορύβου με τον πληθυσμό που επηρεάζεται από αυτόν.

- Ομορφιά (E3). Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος. Παράμετροι που ελήφθησαν υπόψη για την αξιολόγηση της βαθμολογίας είναι το τοπίο από τις διάφορες περιοχές, η απόσταση από τον πλησιέστερο παρατηρητή, ο τύπος και το μέγεθος των εγκαταστάσεων και η δυνατότητα ενσωμάτωσης αυτών των εγκαταστάσεων στο τοπικό περιβάλλον.

- Εξάντληση πεπερασμένων ενεργειακών πηγών (E4). Το κριτήριο αυτό αντανακλά την ανησυχία για την εξάντληση των μορφών συμβατικής ενέργειας. Μαζί με τα επόμενα δύο κριτήρια, αποτελεί σημαντικό στόχο για τη βιώσιμη ανάπτυξη, όπως υποδεικνύεται από την περιβαλλοντολογική πολιτική της ΕΕ. Για την μέτρηση, υπολογίστηκε η συνολική κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων.

- Κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής (E5). Το κριτήριο αυτό αντανακλά την ανησυχία για τη συμβολή της ηλεκτρικής ενέργειας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για την μέτρηση, χρησιμοποιήθηκαν



δεδομένα για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τα διάφορα είδη ορυκτών καυσίμων, μαζί με την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παρείχε κάθε εγκατάσταση.

- Προστασία του οικοσυστήματος (E6). Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, οι υπάρχουσες συνθήκες του οικοσυστήματος, καθώς και οι πιθανές επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία των εγκαταστάσεων ελήφθησαν υπόψη.

- Χρήση γης (E7). Το κριτήριο αυτό αντανακλά την ανησυχία της για τη διατήρηση ελευθέρων περιοχών για μελλοντικές χρήσεις ή απλά για λόγους προς ψυχαγωγία. Για την μέτρηση, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία για τις εγκαταστάσεις στη συγκεκριμένη περιοχή και η ελληνική εμπειρία.

- Εφαρμογή της ΕΕ και της εθνικής περιβαλλοντολογικής πολιτικής (E8). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε μια κλίμακα ποιοτικού αποτελέσματος. Για την αξιολόγηση της βαθμολογίας, υπολογίστηκε η συμβατότητα κάθε πιθανής δράσης με τις κύριες προτεραιότητες της ΕΕ και την εθνική περιβαλλοντική πολιτική στον τομέα της ενέργειας.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε μπορεί να υποδεικνύει λύσεις (όπως οι στρατηγικές 6 και 7) που μπορούν να προσβληθούν από ορισμένους φορείς βάσει ορισμένων ιδιαιτέρων κριτηρίων (π.χ. τεχνολογική ωριμότητα), αλλά θα μπορούσαν να αποτελέσουν καλές μελλοντικές επιλογές.

### **3.5. Μεθοδολογία ELECTRE III, Ιταλία 2003**

Οι M. Beccali et al (2003) προτείνουν μια MDMM εφαρμογή για την επιλογή των πιο κατάλληλων τεχνολογιών σε ένα σχέδιο διάδοσης των ΑΠΕ για την περιφέρεια της Σαρδηνίας (Regione Autonoma Sardegna, (1997)). Ένα σύνολο τεχνολογιών μετατροπής και εξοικονόμησης της ενέργειας έχει επιλεγεί με σκοπό να αξιολογήσει τις ενεργειακές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις, οι οποίες σχετίζονται με τη εφαρμογή τους στη Σαρδηνία. Ένα τέτοιο σύνολο έχει περιοριστεί περαιτέρω μόνο σε αυτές τις τεχνολογίες με προσανατολισμό την εξοικονόμηση ενέργειας και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## Εναλλακτικές

### *‘Environmental-oriented’ σενάριο*

Σε αυτό το σενάριο τα κριτήρια της περιβαλλοντικής ομάδας έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα και οι προτιμήσεις του DM είναι προσανατολισμένες προς την φιλικότερη προς το περιβάλλον δράση. Τα κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια τοποθετούνται στη μέση τάξη προτεραιότητας. Τα υπόλοιπα κριτήρια συνδέονται με τη κατώτερη βαθμίδα προτεραιότητας.

Όλα τα κριτήρια, που αξιολογούν την τεχνική αξιοπιστία των δράσεων, ορίζονται ως μέση τάξη προτεραιότητας, εκτός από το κριτήριο των στόχων αποταμίευσης ενέργειας. Συγκεκριμένα, η μείωση της κατανάλωσης στέρεων καυσίμων αντιπροσωπεύει όχι μόνο έναν οικονομικό στόχο, αλλά και ένα από το πιο σημαντικά ζητήματα της πράσινης ανάπτυξης.

### *‘Economy-oriented’ σενάριο*

Ένας από τους κύριους στόχους των ιθυνόντων είναι η προώθηση των ΑΠΕ, ως μέσο της αύξησης της επιχειρηματικής ικανότητας και της κερδοφορίας. Από αυτή την άποψη, η δυνατότητα δημιουργίας νέων θέσεων απασχόλησης, η οικονομική αποδοτικότητα των προγραμμάτων και ο συμβιβασμός με το πολιτικό, νομοθετικό και διοικητικό πλαίσιο αντιπροσωπεύουν τα πιο σημαντικά κριτήρια.

Το τεχνικό κριτήριο της ωριμότητας περιγράφει την αξιοπιστία μιας δεδομένης τεχνολογίας, η οποία συνδέεται με την ασφάλεια της επένδυσης. Το κόστος της ενέργειας που εξοικονομείται από την εξεταζόμενη τεχνολογία είναι ένας αξιόπιστος δείκτης για την ενεργητική και οικονομική αποδοτικότητα της.

Η απαίτηση σε έδαφος και η συνέπεια με την τοπική τεχνική τεχνογνωσία ορίζονται ως μέση τάξη προτεραιότητας. Ο πρώτος είναι ένας περιβαλλοντικός δείκτης, ο οποίος έχει επίσης οικονομικές επιπτώσεις. Πράγματι, η αύξηση του κατειλημμένου εδάφους περιλαμβάνει συχνά μια αύξηση των αρχικών λειτουργικών δαπανών. Ο δεύτερος μετρά την παρουσία της τοπικής τεχνικής τεχνογνωσίας, κατάλληλη να επιτρέψει την εισαγωγή της δεδομένης τεχνολογίας. Τα υπόλοιπα κριτήρια ορίζονται ως ελάχιστος προτεραιότητας.

### *‘Energy saving and rational use’ σενάριο*

Δεδομένου ότι η επιλεγμένη τεχνολογία δεν πρέπει να μειώσει την αξιοπιστία των συστημάτων, τα κριτήρια της τεχνολογικής ωριμότητας και της συνοχής και προβλεψιμότητας της απόδοσης εξετάζονται με μέγιστη προτεραιότητα, μαζί με το κριτήριο της εξοικονόμησης ενέργειας. Το κόστος της εξοικονομούμενης αρχικής ενέργειας δείχνει μία σφαιρική άποψη της ευκολίας του να αντικατασταθούν οι συμβατικές αρχικές πηγές με τους πόρους που χρησιμοποιούνται από τις εξεταζόμενες τεχνολογίες.

Τα περιβαλλοντικά κριτήρια ορίζονται σε μέση τάξη προτεραιότητας.

Η χαμηλότερη προτεραιότητα ορίζεται στα κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια. Στην πραγματικότητα, μπορεί να υποτεθεί ότι πιθανές νομικές και οικονομικές δυσκολίες μπορούν να υπερνικηθούν, με τη βοήθεια των κατάλληλων πολιτικών ή διοικητικών επεμβάσεων στο εξεταζόμενο κοινωνικό πλαίσιο.

### **Ορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης**

Η διαδικασία ενσωμάτωσης μιας καινοτόμου τεχνολογίας έχει τις ακόλουθες απαιτήσεις:

1. Συμβατότητα με την πολιτική, νομοθετική και διοικητική κατάσταση.
2. Η συνέπεια με την τοπική τεχνική και οικονομική κατάσταση, που εξαρτάται από τις ικανότητες τοπικής διαχείρισης της καινοτομίας, τόσο σε τεχνικό όσο και οικονομικό επίπεδο.
3. Η συνέπεια με τις προβλέψεις ζήτησης ενέργειας. Θα πρέπει να επιβεβαιώνει ή να απορρίπτει τις προσδοκίες μιας διαρκούς ανάπτυξης για την μελετημένη τεχνολογία.
4. Η συμβατότητα με τους περιβαλλοντικούς και οικολογικούς περιορισμούς.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, περιγράφονται παρακάτω δώδεκα κριτήρια.

## **Η περιγραφή των κριτηρίων και η αξιολόγηση ενεργειών σύμφωνα με κάθε κριτήριο**

1. Ο στόχος της πρωτογενούς ενέργειας σε περιφερειακή κλίμακα (κριτήριο a) είναι να παρέχει μια εκτίμηση του ποσού της πρωτογενούς ενέργειας που επιτρέπεται να αποθηκευτεί. Μια τέτοια εξοικονόμηση μπορεί να εκτιμηθεί με:

(1) τεχνολογίες μετατροπής που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ή

(2) μείωση της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης, κάτω από τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας.

Αυτά τα κριτήρια αξιολογούνται ως η ετήσια εξοικονομούμενη ενέργεια, η οποία προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα, ως TJ/έτος.

2. Τεχνική ωριμότητα και αξιοπιστία (κριτήριο b). Ουσιαστικά ορίζεται ως η κατάσταση του επιπέδου της εφαρμοσμένης τεχνολογίας. Εφαρμόζεται μια σειρά κατάταξης, με την αύξηση την προτίμησης από 1 έως 4.

3. Η συνέπεια της απαίτησης εγκατάστασης και συντήρησης με την τοπική τεχνογνωσία (κριτήριο c).

Η αξιολόγηση είναι προσανατολισμένη προς την ποιοτική σύγκριση μεταξύ της θεωρητικής πολυπλοκότητας της τεχνολογίας και της ικανότητας των τοπικών φορέων να εξασφαλίσουν μια κατάλληλη υποστήριξη λειτουργίας.

4. Η διάρκεια και η ικανότητα πρόβλεψης της απόδοσης (κριτήριο d). Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε αν μπορεί να υπάρχουν οι συνθήκες για συνεχή λειτουργία. Αυτή η κατάσταση είναι συχνά ένα χαρακτηριστικό μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας και δεν αναφέρεται σε παράγοντες αναξιопιστίας. Ωστόσο, όταν δεν είναι συνεχής η λειτουργική κατάσταση, θα μπορούσε να είναι σημάδι αδυναμίας.

5. Κόστος αποθηκευμένης πρωτογενούς ενέργειας (κριτήριο e). Η οικονομική αξιολόγηση των διαφόρων ενεργειών γίνεται μέσα από το κόστος που συνδέεται με την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας (MJ). Για ένα σύστημα ΑΠΕ, χρησιμοποιείται το κόστος που συνδέεται με την εξοικονόμηση μιας μονάδας πρωτογενούς ενέργειας. Με τον ίδιο τρόπο, σε εγκαταστάσεις θερμικής ενέργειας, οι οποίες χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές, η εξοικονόμηση ενέργειας εξαρτάται από

την αποτελεσματικότητα του υποκατεστημένου συστήματος καύσης, αυστηρά αναφερόμενο ως θεωρητική εφαρμογή.

Όσον αφορά τις παρεμβάσεις για την εξοικονόμηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, υπολογίζεται το αποθηκευμένο ποσό πρωτογενούς ενέργειας, αναφερόμενο σε τιμές απόδοσης του συστήματος συμβατικής παραγωγής.

Το κόστος  $C$  της παραγόμενης ή εξοικονομούμενης ενέργειας, εξαρτάται από το κόστος των επενδύσεων, της λειτουργίας και των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Επηρεάζεται επίσης από τα τυπικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας, όπως η αποδοτικότητα, η ετήσια παραγωγή, η διάρκεια ζωής, η φύση της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται, καθώς και από το κόστος χρήματος.

Υπογραμμίζεται ότι κέρδη από την πώληση της ενέργειας δεν περιλαμβάνονται σε αυτήν την παράμετρο. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι επιπτώσεις των δασμολογικών πολιτικών.

6. Η βιωσιμότητα σύμφωνα με τις εκπομπές ρύπων του θερμοκηπίου (κριτήριο f). Αυτό το κριτήριο θεσπίζεται για τη μέτρηση των ισοδύναμων εκπομπών  $\text{CO}_2$ , πράγμα όμως που αποφεύγεται με την εξεταζόμενη δράση. Ως εκ τούτου είναι ένας δείκτης αναφοράς, εκφραζόμενη σε  $\text{grCO}_2/\text{MJ}$  εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας. Επίσης σε αυτή την περίπτωση, έχουν θεωρηθεί αναφορές μεγεθών της εκπομπής της υποκατεστημένης συμβατικής τεχνολογίας.

7. Βιωσιμότητα σύμφωνα με εκπομπές άλλων ρύπων (κριτήριο g). Οι ρύποι χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- 1) Αέριες εκπομπές, κυρίως λόγω της διαδικασίας καύσης.
- 2) Υγρά απόβλητα, που συνδέονται κυρίως με τα δευτερεύοντα προϊόντα από επεξεργασία αναθυμιάσεων ή με κατεργασμένο νερό.
- 3) Τα στερεά απόβλητα, που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των δράσεων.

Αξιολογούνται το είδος και η ποσότητα των εκπομπών, καθώς και οι δαπάνες που συνδέονται με την επεξεργασία απόβλητων. Η βαθμολογία εκφράζεται μέσω της ακόλουθης ποιοτικής κλίμακας αξιών:

- 1) Πολύ υψηλές εκπομπές, όταν κάθε κατηγορία είναι σημαντική.
- 2) Υψηλές εκπομπές, όταν τουλάχιστον δύο κατηγορίες είναι σημαντικές.
- 3) Μέση εκπομπές, όταν τουλάχιστον μία κατηγορία είναι σημαντική.
- 4) Χαμηλές εκπομπές ρύπων, όταν όλες οι κατηγορίες εκπομπών είναι ασήμαντες ή δεν υπάρχουν.

8. Απαίτηση γης (κριτήριο h). Αποτελεί ένα από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για την περιοχή παρέμβασης, ειδικά όπου οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι σχετικοί παράγοντες περιβαλλοντικής πίεσης. Μια μεγάλη απαίτηση για γη μπορεί να καθορίσει επίσης οικονομικές απώλειες, η οποία είναι ανάλογη με τη συγκεκριμένη τιμή της περιοχής και την απαιτούμενη πιθανή εναλλακτική λύση. Στην παρούσα μελέτη, λόγω της μεγάλης κλίμακας των προτεινόμενων δράσεων, είναι δύσκολο να εκτελεσθούν συγκεκριμένες αξιολογήσεις και ένας μέσος δείκτης της απαίτησης γης αξιολογείται και εκφράζεται ως  $m^2/kW$  εγκατεστημένης ισχύς. Προφανώς, οι αξιολογήσεις των τοπικών κλιμάκων θα μπορούσαν να περιγράψουν καλύτερα τα μειονεκτήματα ή πιθανά οφέλη, τα οποία μπορούν να αποκομίσουν από τις δράσεις που μελετιούνται.

9. Η βιωσιμότητα σύμφωνα με άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (κριτήριο i). Αξιολογούνται οι επιπτώσεις στο τοπίο, ακουστικές εκπομπές, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, δυσοσμία και μικροκλιματικές αλλαγές. Η κρίση εκφράζεται μέσα από την ακόλουθη κλίμακα:

- 1) Πολύ υψηλής έντασης επιπτώσεις.
- 2) Υψηλής έντασης επιπτώσεις.
- 3) Μέσης έντασης επιπτώσεις.
- 4) Χαμηλής έντασης επιπτώσεις.
- 5) Μη υπάρχουσες επιπτώσεις.

10. Επιπτώσεις εργασίας (κριτήριο l). Εκτιμήθηκε η δυνατότητα εργασίας, λόγω απασχόλησης σε συστήματα ΑΠΕ, όσον αφορά τα στοιχεία. Παραπομπή: Ambiente Italia. (1995). Επιπλέον αξιολογούνται η άμεση και έμμεση απασχόληση, και η πιθανή έμμεση δημιουργία νέων επαγγελματικών ασχολήσεων. Ο δείκτης των επιπτώσεων της εργασίας εκφράζεται ως τον αριθμό ατόμων που ασχολούνται ανά MJ ενέργειας που αποθηκεύεται σε 1 χρόνο.

11. Ωριμότητα της αγοράς (κριτήριο m). Το κριτήριο αυτό υπολογίζει τη διαθεσιμότητα και την κατάσταση της διείσδυσης της ίδιας της τεχνολογίας και των υλικών και υπηρεσιών που σχετίζεται με τη δράση της, στην αγορά.

12. Συμβατότητα με το πολιτικό, νομοθετικό και διοικητικό πλαίσιο (κριτήριο n). Η ιταλική νομοθεσία προωθεί διάφορες καινοτόμες στρατηγικές για την εξοικονόμηση και μετατροπή ενέργειας. Η διαφορετική δύναμη αυτών των εθνικών κινήτρων αντιπροσωπεύει ένα επικριτικό στοιχείο μεταξύ των διαφορετικών εναλλακτικών παρεμβάσεων. Ωστόσο, άλλα όρια ή νομοθετικές ρήτρες μπορεί να υπάρχουν, ειδικά σε περιφερειακό πλαίσιο, οι οποίες παρέχονται από νομοθετική αυτονομία. Το κριτήριο της εξέτασης αξιολογεί την ποιοτική σημασία των παραπάνω εκτιμήσεων, όσον αφορά την υποστήριξη της κυβέρνησης, την τάση των θεσμικών φορέων και την πολιτική της δημόσιας πληροφόρησης.

### **Η στάθμιση των κριτηρίων και ο ορισμός τριών σεναρίων λήψης αποφάσεων**

Η στάθμιση των κριτηρίων πρέπει να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τρία διαφορετικά σενάρια. Κάθε σενάριο δίνει έμφαση σε διαφορετική ιεράρχηση των προτιμήσεων των DMs, που την ίδια στιγμή είναι συνεπής με διαφορετικούς τεχνικούς, οικονομικούς και πολιτικούς περιορισμούς. Σε αυτή την περίπτωση αντιπροσωπεύονται τρία προτεινόμενα σενάρια:

Μια προτίμηση προς τις δράσεις που παράγουν τις χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (σενάριο περιβαλλοντικού προσανατολισμού).

Μια προτίμηση προς τις δράσεις στις οποίες περιλαμβάνεται το υψηλότερο οικονομικό και κοινωνικό όφελος (σενάριο προσανατολισμένο στην οικονομία).

Μια προτίμηση προς τις δράσεις που απευθύνονται σε εξοικονόμηση ενέργειας και την ορθολογική οργάνωση του ολικού ενεργειακού συστήματος (σενάριο εξοικονόμησης και εξ ορθολογισμού).

Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να επισημανθούν τρεις διαφορετικές επιλογές, ώστε κάθε μία να αντιπροσωπεύει ένα συνεκτικό σύνολο δράσεων, βάσει των οποίων θα αναπτυχθούν οι αντίστοιχες στρατηγικές.

Παραπομπή: Beccali M. (1994).

## **Εναλλακτικές**

Οι εναλλακτικές που προτείνονται, παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω:

- 1: Οικιακοί ηλιακοί θερμοσίφωνες
- 2: Ηλιακή θέρμανση για μεγάλες απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες
- 3: Δίκτυο Φ/Β σε στέγες συνδεδεμένο με σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- 4: Ανεμογεννήτριες συνδεδεμένες σε δίκτυο
- 5: Υδροηλεκτρικά εργοστάσια σχεδιασμένα για παραγωγή ενέργειας
- 6: Υδροηλεκτρικά εργοστάσια σε υπάρχοντα υδρευτικά δίκτυα
- 7: Μεγάλης αποδοτικότητας ξυλοσόμπες
- 8: Εργοστάσια βιομάζας τροφοδοτούμενα από γεωργικά απόβλητα ή από εναλλακτικές καλλιέργειες
- 9: Εργοστάσια βιομάζας τροφοδοτούμενα από βιοαέριο
- 10: Θερμομονώσεις
- 11: Μεγάλης αποδοτικότητας φωτισμός
- 12: Μεγάλης αποδοτικότητας ηλεκτρικές οικιακές συσκευές
- 13: Μεγάλης αποδοτικότητας θερμοσίφωνες
- 14: Εργοστάσια συνδυασμένα με απορρόφηση ψύξης



## Αποτελέσματα

### *‘Environmental-oriented’ σενάριο*

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας είναι η τελική σειρά για κάθε σενάριο απόφασης. Σε κάθε σειρά, μια περιοχή με τις καλύτερες εναλλακτικές ορίζεται ως η περιοχή μέσα στην οποία οι καλύτερες εναλλακτικές έχουν τοποθετηθεί και στις 2 αναλύσεις. Αυτές οι εναλλακτικές αντιπροσωπεύουν τις δράσεις που ικανοποιούν τους στόχους τους οποίους ο DM έχει ορίσει.

Στο πίνακα 10 η άνω δεξιά περιοχή είναι η καλύτερη περιοχή εναλλακτικών λύσεων. Οι εναλλακτικές 1, 4, 6, 10, 11 και 12 ανήκουν εκεί. Όσον αφορά τις υπόλοιπες, οι εναλλακτικές 2 και 7 είναι πλησιέστερες προς την καλύτερη περιοχή.

Η εναλλακτική 13 είναι η μοναδική αποκλεισμένη, που ασχολείται με διατήρηση της ενέργειας σε κτίρια. Οι άλλες αποκλείστηκαν επειδή η αποδοτικότητά τους είναι πολύ μικρή στα περισσότερα σημαντικά κριτήρια για το σενάριο αυτό. Όμως έχουν ένα συνεχές βάρος στα κριτήρια μέσης και υψηλής προτεραιότητας, όπως για παράδειγμα η εναλλακτική 3.

### *‘Economy-oriented’ σενάριο*

Οι εναλλακτικές 1, 2, 5, 6, 10, 11, 12 και 13 είναι οι καλύτερες (Πίνακας 11). Η εναλλακτική 4 είναι η καλύτερη από τις απορριπτέες, κυρίως από την αξιολόγησή της στο κριτήριο της απαίτησης σε γη και τις επιπτώσεις εργασίας. Ισχύει ότι κέρδη από πωλήσεις ενέργειας δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα.

Η χαμηλή βαθμολογία των εναλλακτικών 11, 12 και 13 στο κριτήριο των επιπτώσεων εργασίας εξισορροπείται από τις καλές βαθμολογίες που έχουν στο κριτήριο της εξοικονόμησης ενέργειας.

### *‘Energy saving and rational use’ σενάριο*

Οι εναλλακτικές 6, 7, 10, 11 και 12 είναι οι καταλληλότερες (Πίνακας 12). Οι εναλλακτικές 6 και 7 είναι οι καλύτερες από αυτές, δεδομένου των τεχνολογιών ΑΠΕ, ενώ οι 1, 5, 13 και 14 είναι οι καλύτερες από τις απορριπτέες. Στη προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκαν οι εναλλακτικές 10, 11 και 12, επειδή ασχολούνται με εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια.

**Πίνακας 10:** τελική σειρά 'Environmental-oriented' σενάριο **Πίνακας 11:** τελική σειρά 'Economy-oriented' σενάριο

1					5				6		10			
2								12		1.11				
3							4							
4					7	2								
5				8.13										
6				14										
7				3										
8				9										
9														
10														
11														
12														
13														
14														
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

1														105.6
2									12	1	11			
3										13				
4										2				
5							14							
6														
7						7								
8									8					
9						3								
10						9								
11														
12														
13														
14														
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

**Πίνακας 12:** τελική σειρά 'Energy saving and rational use' σενάριο

1								5			6	11	10	
2										12				
3							13			7				
4				4										
5						14								
6				1										
7						8								
8			9											
9				2										
10			3											
11														
12														
13														
14														
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

### 3.6. Μεθοδολογία PROMETHEE II, Ιταλία 2005

Ο Fausto Cavallaro (2005) προτείνει τη κατασκευή ενός αριθμού εγκαταστάσεων εναλλακτικών ΑΠΕ που θα λειτουργήσουν στην περιοχή της Μεσσήνης, στη Σικελία.

## Εναλλακτικές

Παρατίθενται οι ακόλουθες επιλογές:

1. Φωτοβολταϊκά (Φ/Β - α1): Εγκατάσταση 200 φ/β μονάδων, καθένα με ισχύ 3 kW, που συνδέονται με το δίκτυο και είναι κατάλληλα για οικιακή χρήση.
2. Αιολική ενέργεια (αιολική – α2): Εγκατάσταση 4 ανεμογεννητριών 600 kW, σε περιοχές με ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου περίπου 4.7 m/s.
3. Βιομάζα (βιομάζα – α3): Λέβητας ατμού 5MW που τροφοδοτείται με ενεργειακές καλλιέργειες, ειδικά τις "Miscanthus Sinensis". Η υιοθέτηση ενός συστήματος ρευστοστερεάς κλίνης (fluidized bed combustion) προτιμήθηκε έναντι φούρνου παραδοσιακής καύσης, επειδή, παρά το υψηλότερο κόστος, έχει εξασφαλίσει ανώτερη απόδοση από περιβαλλοντικής σκοπιάς.
4. Παλιρροιακά ρεύματα (Kobold – α4): Αυτό θεωρεί τη δυνατότητα χρήσης ενός στροβίλου Kobold1, δηλαδή ενός υδροστρόβιλου με κάθετο άξονα, που μετατρέπει την κινητική ενέργεια που περιέχεται στα θαλάσσια ρεύματα (παλιρροιακά ρεύματα) σε μηχανική ενέργεια. Ένα πρωτότυπο για σκοπούς επίδειξης είναι ήδη εγκατεστημένο στο στενό της Μεσσήνης, αν και δεν είναι ακόμη στην παραγωγή. Αυτή η μελέτη υπέθεσε την εισαγωγή 5 νέων ανεμογεννητριών που παράγουν 150 MWh κάθε μια ετησίως.

## Ομάδες κριτηρίων: καθορισμός και επιλογή

Τα κριτήρια είναι τα εργαλεία που επιτρέπουν εναλλακτικές λύσεις να συγκριθούν από μια συγκεκριμένη οπτική γωνία. Αναμφισβήτητα, η επιλογή των κριτηρίων είναι το πιο ευαίσθητο μέρος στη διατύπωση του προβλήματος που αντιμετωπίζει ο DM, και έτσι απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα και προσοχή. Ο αριθμός των κριτηρίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και των ποσοτικών και ποιοτικών στοιχείων. Εδώ επιλέχθηκαν 11 κριτήρια, 7 εξ αυτών οικονομοτεχνικά και 4 κοινωνικό-περιβαλλοντικά. Ποσοτικά μέτρα ισχύουν για 6 από τα κριτήρια, ενώ τα υπόλοιπα 5 είναι ποιοτικά και βαθμολογήθηκαν εφαρμόζοντας κλίμακες επιπτώσεων από 1-5 ή 1-4.

## *Οικονομικά και τεχνικά κριτήρια*

Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στις δαπάνες που πρέπει να ληφθούν για να πραγματοποιηθούν τα διάφορα έργα που περιλαμβάνονται σε κάθε στρατηγική και να εγγυηθούν την προμήθεια ενέργειας. Οι παράγοντες αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις κρατικές αρχές.

1. Κόστος επένδυσης. Αυτό συμπεριλαμβάνει όλα τα κόστη που αφορούν την απόκτηση μηχανολογικού εξοπλισμού, τεχνολογικών εγκαταστάσεων, την κατασκευή δρόμων και συνδέσεων με το εθνικό δίκτυο, μηχανολογικές υπηρεσίες, γεωτρήσεις και άλλες παρεπόμενες κατασκευαστικές εργασίες. Το κριτήριο αυτό μετριέται σε ευρώ.
2. Κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Αυτό περιλαμβάνει όλα τα έξοδα σχετικά με εργοστάσια, μισθούς εργαζομένων, υλικά και εγκαταστάσεις, έξοδα μεταφορών και ενοικίασης και κάθε είδους πληρωτέα ενοίκια. Το κριτήριο αυτό μετριέται σε ευρώ.
3. Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας. Αυτό αναφέρεται στην ποσότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα από σταθμούς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και που θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν. Μετριέται σε Kg / ετησίως.
4. Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ανάπτυξης). Αυτό αναφέρεται στον πιθανό κίνδυνο αυξημένου κόστους για τη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας. Ο κίνδυνος αυτός συνδέεται με το γεγονός ότι για ορισμένες, όχι πλήρως ώριμες τεχνολογίες, δεν υπάρχει καμία βεβαιότητα όσον αφορά την αποτελεσματική απόδοση του συστήματος, ώστε κατά συνέπεια ένα έλλειμμα παραγωγής ενέργειας θα μπορούσε να σημαίνει αυξημένο μοναδιαίο κόστος παραγωγής. Το κριτήριο αυτό μετριέται ως ποσοστό.
5. Ωριμότητα της τεχνολογίας. Μετρά το βαθμό αξιοπιστίας από την τεχνολογία που εγκρίθηκε, καθώς και πόσο διαδεδομένη είναι η τεχνολογία τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτός εκτιμάται χρησιμοποιώντας μια ποιοτική απόφαση μετατρεπόμενη σε κλίμακα τεσσάρων σημείων.  
Παραπομπή: (Beccali M., Cellura M., Mistretta M., 2003).
6. Συνεχής παροχή ηλεκτρικού ρεύματος: το κριτήριο αυτό δηλώνει αν η παροχή ενέργειας υπόκειται σε διακοπές (π.χ. φ/β δεν λειτουργεί τη νύχτα, οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να

λειτουργήσουν όταν δεν υπάρχει άνεμος, κ.λπ.) και ως εκ τούτου επηρεάζει τη σταθερότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η περίπτωση αξιολογείται ποιοτικώς.

7. Χρόνος περάτωσης. Αυτό μετράει το χρόνο για να ολοκληρωθεί και να τεθεί σε λειτουργία το σχεδιασμένο εργοστάσιο. Εκφράζεται σε αριθμό μηνών.

#### Περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια

Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στην προστασία του περιβάλλοντος και την αρχή της αειφορίας:

1. Βιωσιμότητα της κλιματικής αλλαγής: αυτό αναφέρεται στην ποσότητα των εκπομπών CO<sub>2</sub> που αποφεύχθηκαν, ως αποτέλεσμα της παραγωγής των προτεινόμενων εργοστασίων. Μετριέται σε Kg / έτος.

2. Βιωσιμότητα των άλλων επιπτώσεων: το κριτήριο αυτό λαμβάνει υπόψη άλλες επιπτώσεις: οι οπτικές ενοχλήσεις που μπορούν να δημιουργηθούν από την ανάπτυξη ενός προγράμματος σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή οποιοσδήποτε θόρυβος ή οι μυρωδιές που προκύπτουν από την παραγωγική δραστηριότητα των εργοστασίων ή και ο πιθανός κίνδυνος για οικοσυστήματα που προκαλείται από τις δραστηριότητες παραγωγής των διαφόρων έργων που περιλαμβάνονται στις συγκεκριμένες στρατηγικές. Αυτό, επίσης, μετριέται ποιοτικά και μεταφράζεται σε κλίμακα πέντε σημείων.

Παραπομπή: (Beccali M., Cellura M., Mistretta M, 2003).

3. Κοινωνική αποδοχή. Εκφράζει το δείκτη αποδοχής από τον τοπικό πληθυσμό σχετικά με την υποτιθέμενη υλοποίηση των σχεδίων υπό εξέταση. Εφαρμόστηκε ποιοτική κλίμακα τεσσάρων σημείων.

4. Συμβολή στην τοπική ανάπτυξη. Το κριτήριο αυτό εκτιμά τις παγκόσμιες κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες που μπορεί να γίνουν αισθητές στις ζώνες που επηρεάστηκαν από τις πρωτοβουλίες. Οι πιθανές επιδράσεις είναι: η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, νέων επιχειρήσεων αλυσίδας εφοδιασμού, αναδυόμενες επιχειρήσεις του τομέα ενέργειας, βιομηχανικές περιοχές κλπ.

## Διαδικασία

Τρία σενάρια προτείνονται:

Base-case, το οποίο υπολογίζει όλα τα κριτήρια ως ίδιας σπουδαιότητας.

Economic oriented, το οποίο δίνει μεγαλύτερο βάρος στα οικονομικά και τεχνικά κριτήρια.

Environment oriented, το οποίο δίνει μεγαλύτερο βάρος στα κοινωνικά και περιβαλλοντολογικά κριτήρια

Ο πίνακας 13 δείχνει τη μήτρα που περιέχει τις εναλλακτικές ενέργειες και πώς ανταποκρίνονται με τα επιλεγμένα κριτήρια.

Κριτήρια		Βάρος %				Επιλογές			
					A1 (Φ/B)	A2 (Αιολική)	A3(Βιομάζα)	A4 (T. Kobold)	
		a	β	γ					
Κόστος επένδυσης	Euro	a	1	13	5	4,648,112	3,098,741	9,683,567	750,000
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας	Euro	b	1	9	5	46,481	92,962	645,571	15,000
Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας	kg/έτος	c	1	10	12	467,925	1,814,470	9,292,500	375,000
Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	%	d	1	8	6	8%	2%	4%	3%
Ωριμότητα της τεχνολογίας	ποιοτικό 1-4	e	1	10	6	3	4	4	2
Συνεχής παροχή ηλεκτρικού ρεύματος	ποιοτικό 1-4	f	1	9	9	2	3	4	3
Χρόνος περάτωσης	μήνες	g	1	10	7	12	18	24	12
Βιωσιμότητας της κλιματικής αλλαγής	kg/έτος	h	1	5	14	814,190	3,157,178	16,168,950	652,000
Βιωσιμότητας των άλλων επιπτώσεων	ποιοτικό 1-5	i	1	5	13	4	3	3	5
Συμβολή στην τοπική ανάπτυξη	ποιοτικό 1-4	l	1	14	13	1	2	3	1
Κοινωνική αποδοχή	ποιοτικό 1-4	m	1	7	10	4	3	2	4

*a*= base case σενάριο; *β*= economic-oriented σενάριο; *γ*= environmental-oriented σενάριο

**Πίνακας 13:** μήτρα εκτίμησης

Τα στοιχεία στη μήτρα αξιολόγησης χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς που καθορίζουν τους δείκτες προτίμησης που παρουσιάζεται στον πίνακα 13. Είναι αμέσως προφανές ότι οι καλύτερες επιλογές είναι η αιολική ενέργεια και τα παλιρροιακά ρεύματα. Ο πίνακας 14 παρουσιάζει τον δείκτη προτίμησης που υπολογίζεται για κάθε ζευγάρι ενεργειών  $\alpha$  και  $\beta$  ως σταθμισμένο μέσο όρο των προτιμήσεων που υπολογίζονται για κάθε κριτήριο. Ο δείκτης αντιπροσωπεύει τη δύναμη της προτίμησης του ιθύνοντος για τη δράση  $\alpha$  από τη δράση  $\beta$  εξετάζοντας ταυτόχρονα όλα τα κριτήρια. Η αξία του κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.

Actions	$A1$	$A2$	$A3$	$A4$
$A1: \Phi/B$	0.00	0.27	0.45	0.27
$A2: \text{Αιολική}$	0.64	0	0.55	0.45
$A3: \text{Βιομάζα}$	0.55	0.36	0	0.45
$A4: \text{Kobold}$	0.45	0.45	0.45	0

**Πίνακας 14:** μήτρα αξιολόγησης των τεσσάρων εναλλακτικών

### 3.7. Μεθοδολογία ELECTRE, Βελιγράδι 2014

Η αναμενόμενη αύξηση του βιοτικού επιπέδου, αριθμού κατοίκων, της ανάπτυξης της τεχνολογίας, της βιομηχανίας και της γεωργίας θα προκαλέσει μια σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στις πόλεις. Τρία σενάρια ανάπτυξης του τομέα ενέργειας μέχρι το 2030 και της αντίστοιχης ενεργειακής κατανάλωσης για την πόλη του Βελιγραδίου αναλύονται παρακάτω. Αυτά τα σενάρια θεωρούν διαφορετικό επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης, επένδυσης στον τομέα ενέργειας, υποκατάστασης ορυκτών καυσίμων, εισαγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εφαρμογής μέτρων ενεργειακής απόδοσης. Το προτεινόμενο μοντέλο για την επιλογή συστήματος βέλτιστης θέρμανσης συγκρίνει διαφορετικές επιλογές για την εκπλήρωση της αναμενόμενης ζήτησης θερμότητας μέσω οκτώ κριτηρίων για κάθε σενάριο. Οι προτεινόμενες επιλογές προκύπτουν από τον συνδυασμό διαφόρων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών για τη χρήση τους. Η βαρύτητα των κριτηρίων καθορίζεται σύμφωνα με τη οικονομική και ενεργειακή κατάσταση της Σερβίας. Τα κριτήρια περιλαμβάνουν δημοσιονομικές πτυχές, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και διαθεσιμότητα ενέργειας.

Η πολυκριτηριακή μέθοδος ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite) χρησιμοποιείται ως μέσο για την απόκτηση της βέλτιστης επιλογής. Από τη μελέτη συνάγεται το συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός του CHP (combined heat and power) εργοστασίου και της

συγκεντρωτικής χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι η βέλτιστη επιλογή για ένα αισιόδοξο σενάριο. Στο απαισιόδοξο και BAU (Business as usual) σενάριο η βέλτιστη επιλογή είναι ένας συνδυασμός από νέους λέβητες αερίου και η συγκεντρωτική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.

Ο προγραμματισμός της βιώσιμης ενεργειακής ανάπτυξης χαρακτηρίζεται από τον πολύ μακρινό χρονικό ορίζοντα. Υπάρχουν μερικές σημαντικές έρευνες, μελέτες και στρατηγικές που έγιναν από τους Mroz T. (2008) , Cosic B, Krajacic G και Duic N. (2012) που εξετάζουν το μακροπρόθεσμο ενεργειακό προγραμματισμό (20-40 έτη). Μερικές απ' αυτές έγιναν στις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά υπάρχουν μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα σχετικά με τις αναπτυγμένες χώρες στον κόσμο.

Παραπομπή (Lund H., 2007, Ghanadan R, Koomey JG., 2005).

Το MAED (Model for Analysis of Energy Demand) χρησιμοποιήθηκε για να υπολογίσει την ενεργειακή απαίτηση πόλεων για πολύ μεγάλες περιόδους (από το 2002 ως το 2020). Όπως αναφέρουν οι Mroz T. (2008), Jovanovic M, Afgan N, Bakic V., (2010), η αξιολόγηση της ικανότητας υποστήριξης των σεναρίων λήφθηκε με τη μέθοδο ανάλυσης πολλαπλών κριτηρίων. Επίσης όπως αναφέρουν οι Jovanovic M, Turanjanin V, Bakic V, Pezo M, Vucicevic B., (2011), προσοχή δόθηκε στην αξιολόγηση πολλαπλών κριτηρίων της ικανότητας υποστήριξης των διαφορετικών ενεργειακών επιλογών για την θερμική ενέργεια. Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των αναλύσεων είναι ότι η ενεργειακή ανάπτυξη στο Βελιγράδι εξετάστηκε συνολικά και χωρίς συγκεκριμένες λύσεις σε περίπτωση σημαντικής ανάπτυξης της οικονομίας και της κοινωνίας.

Δεδομένου ότι η παρούσα έρευνα είναι κατάλληλη να εφαρμοστεί σε πόλεις, το πρότυπο που προτείνεται σε αυτή εφαρμόζεται στο Βελιγράδι. Οι διαφορετικές πτυχές της ανάπτυξης του τομέα της ενέργειας του Βελιγραδίου έχουν αναλυθεί στις παραπομπές των: Mroz T. (2008), Jovanovic M, Turanjanin V, Bakic V, Pezo M, Vucicevic B. (2011), Jovanovic M, Afgan N, Bakic V. (2010).

Όπως αναφέρει η Energoprojekt ENTEL, το 2008 η κυβέρνηση υιοθέτησε τη στρατηγική της ενεργειακής ανάπτυξης στο Βελιγράδι έως το 2030 και είχε προτείνει τα διαφορετικά και φιλόδοξα μέτρα που στόχευαν να αυξήσουν το επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας, και να μειώσουν την περιβαλλοντική επίδραση της ενεργειακής παραγωγής και της κατανάλωσης. Εντούτοις, η στρατηγική ολοκληρώθηκε πριν από την οικονομική κρίση, και περιλαμβάνει πάρα πολύ αισιόδοξες υποθέσεις σχετικά με την οικονομική ανάπτυξη.



Σε αυτή τη μελέτη παρουσιάζεται εν συντομία η τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση στο Βελιγράδι. Δίνεται η ενεργειακή ισορροπία για το 2010 ως έτος αναφοράς. Επισημαίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά των δημοτικών ενεργειακών συστημάτων και της τρέχουσας ενεργειακής πολιτικής. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του ενεργειακού συστήματος του Βελιγραδίου είναι ότι σχεδόν 50% όλων των οικογενειών συνδέονται με το δίκτυο θέρμανσης της περιοχής. Αυτό το γεγονός κάνει τη βέλτιστη ανάπτυξη του συστήματος θέρμανσης της περιοχής μια από τις πιο υψηλές προτεραιότητες σε όλα τα σενάρια σχετικά με την ενεργειακή ανάπτυξη.

Συζητήθηκαν τρία πιθανά σενάρια της περαιτέρω ενεργειακής ανάπτυξης στο Βελιγράδι έως το 2030 (ρεαλιστικό, τυπικό (BAU) και αισιόδοξο).. Αυτά τα σενάρια χαρακτηρίζονται από τη διαφορετική κατανάλωση ενέργειας, αλλά και από τη διαφορετική διαθεσιμότητα των κεφαλαίων για την επένδυση στις νέες εγκαταστάσεις, τις διαφορετικές τιμές ενέργειας, το διαφορετικό επίπεδο αντικατάστασης των στέρεων καυσίμων με ΑΠΕ, το διαφορετικό επίπεδο εφαρμογής των μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας, τη μείωση των ενεργειακών απωλειών, κ.λπ. Εντούτοις, όλα τα εξεταζόμενα σενάρια έχουν προσδιορίσει την ανάγκη για την περαιτέρω σημαντική ανάπτυξη των εγκαταστάσεων παραγωγής θερμότητας. Επομένως, οι διάφορες επιλογές των πιθανών παραγωγών θερμότητας αναλύονται.

Παραπομπή: (Grujic M, Ivezić D., 2013)

Το πρότυπο λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, που βασίζεται στη μέθοδο ELECTRE, προτείνεται για την επιλογή μιας βέλτιστης λύσης για την απαίτηση της θερμότητας στο συγκεντρωμένο σύστημα ανεφοδιασμού. Αυτό το πρότυπο εξετάζει τα χαρακτηριστικά κάθε προτεινόμενου συστήματος για την παραγωγή θερμότητας, αλλά η αξιολόγησή τους δίνεται σύμφωνα με τη συγκεκριμένη ανάπτυξη. Το πρότυπο περιλαμβάνει διάφορα κριτήρια για την ταξινόμηση και τη σύγκριση των επιλογών, αλλά η σειρά ταξινόμησης είναι σύμφωνα με το επιλεγμένο σενάριο της ανάπτυξης ενέργειας και οικονομίας. Κατά αυτόν τον τρόπο, το προτεινόμενο πρότυπο από τη σύνθετη και περιεκτική ανάλυση των επιλογών για την ανάπτυξη συστημάτων θέρμανσης περιοχής και από την επιλογή της βέλτιστης από αυτές παρέχει επαρκή βάση για τη λήψη αποφάσεων.

## Μοντέλο για την επιλογή της βέλτιστης απόφασης

Ο κύριος στόχος της έρευνας είναι η επιλογή μιας βέλτιστης επιλογής για τις νέες εγκαταστάσεις για το συγκεντρωμένο ανεφοδιασμό θερμότητας για κάθε ένα από τα διαφορετικά, προτεινόμενα σενάρια της κοινωνικής, οικονομικής και ενεργειακής ανάπτυξης (ρεαλιστικό, τυπικό (BAU) και αισιόδοξο σενάριο).

Πολλές έρευνες εξετάζουν τα διάφορα σύνολα κριτηρίων για την επιλογή μιας βέλτιστης επιλογής στον ενεργειακό προγραμματισμό. Τα κριτήρια ομαδοποιούνται συνήθως σε υποκριτήρια, όπως τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά.

Παραπομπή: (Tsoutsos T, Drandaki M, Frantzeskaki N, Iosifidis E, Kiosses I. 2009, Wang, J., Jing, Y., Zhang, C. και Zhao, J. 2009).

Για την λήψη αποφάσεων στον τομέα της πολιτικής αλλαγής κλίματος, προτείνονται διαφορετικές ομάδες κριτηρίων: η περιβαλλοντική απόδοση, η πολιτική αποδοχή και η δυνατότητα πραγματοποίησης της εφαρμογής. Όπως αναφέρουν οι Konidari P, Mavrakis D., (2007), πολλά υποκριτήρια παρουσιάζονται στην αναφορά ενώ η ωριμότητα της τεχνολογίας, το αρχικό κόστος επένδυσης, η αποδοτικότητα, η δυνατότητα εφαρμογής τεχνολογίας στις τοπικές συνθήκες και η αποδοχή των πολιτών προτείνονται στην αναφορά. Για προβλήματα σχετικά με τα συστήματα θέρμανσης περιοχής, στην αναφορά των Ghafghazi S, Sowlati T, Sokhansanj S, Melin S., 2010, τίθενται 6 κριτήρια ως εξής: οι δαπάνες, οι συνολικές εκπομπές GHG (Green House Gas), η εκπομπή του συστήματος, η ωριμότητα της τεχνολογίας, η διαθεσιμότητα της τοπικής πηγής ενέργειας και η επιβάρυνση της κυκλοφορία λόγω της χρήσης βιομάζας. Η έρευνα των εναλλακτικών εσωτερικών πολιτικών σεναρίων ηλεκτρικής ενέργειας που προτείνουν τα περιβαλλοντικά κριτήρια, οι ενεργειακές δαπάνες, η ασφάλεια του ανεφοδιασμού και οι θέσεις εργασίας παρουσιάζεται στην αναφορά των Browne D, O'Regan B, Moles R., 2010. Για τον προγραμματισμό της διάδοσης της τεχνολογίας ΑΠΕ σε περιφερειακό επίπεδο χρησιμοποιούνται 12 κριτήρια.

Παραπομπή: (Beccali M., Cellura M., Mistretta M, 2003 ,Theodorou S, Florides G, Tassou S. (2010)).

Η βιώσιμη ανάπτυξη των συστημάτων θέρμανσης περιοχής απαιτεί την οικονομική βιωσιμότητα, την περιβαλλοντική αποδοχή, την αξιοπιστία ενεργειακού ανεφοδιασμού και την ενδυνάμωσή της

κατανάλωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επομένως, για τη σύγκριση των διαφορετικών επιλογών, σχετικές με τη δομή και τον τύπο των νέων εγκαταστάσεων για την παραγωγή θερμότητας στο Βελιγράδι, προτείνεται το περιεκτικό πρότυπο, το οποίο περιλαμβάνει 8 κριτήρια που ομαδοποιούνται σε 3 κατηγορίες ως εξής: τα οικονομικά κριτήρια (δαπάνες επένδυσης και λειτουργίας), τα περιβαλλοντικά κριτήρια και τα κριτήρια που αφορούν τη διαθεσιμότητα του ενεργειακού ανεφοδιασμού. Τα περιβαλλοντικά κριτήρια συσχετίζονται με τις εκπομπές του CO<sub>2</sub>, του NO<sub>x</sub>, του SO<sub>2</sub> και άλλων σωματιδίων. Αν και υπάρχει κάποιος συσχετισμός μεταξύ της σημασίας της ασφάλειας του ανεφοδιασμού και της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αυτά τα δύο κριτήρια τίθενται ως ξεχωριστά προκειμένου να υποκινήσουν τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών.

Τα οικονομικά κριτήρια που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο είναι:

1. Οι δαπάνες επένδυσης. Είναι ένα από τα βασικά κριτήρια για τους επενδυτές. Οι δαπάνες επένδυσης για τις νέες ικανότητες στο σύστημα θέρμανσης περιοχής αποτελούνται από επιμέρους στοιχεία ως εξής:

- Κόστος της εγκατάστασης παραγωγής θερμότητας,
- Κόστος του δικτύου μεταφοράς
- Δαπάνες για τη σύνδεση στο δίκτυο θέρμανσης της περιοχής, συμπεριλαμβανομένης της σύνδεσης, της εγκατάστασης του υποσταθμού με τον εναλλάκτη θερμότητας, των δαπανών για την τεχνική υποστήριξη, τις άδειες και τις εγκρίσεις
- Δαπάνες για τις εγκαταστάσεις στα κτήρια.

2. Οι δαπάνες λειτουργίας. Είναι συνήθως το σημαντικότερο κριτήριο. Η πρακτική στις πόλεις δείχνει ότι τα καύσιμα και οι δαπάνες συντήρησης έχουν πολύ περισσότερη επιρροή στην αποδοτικότητα της εγκατάστασης από τις δαπάνες επένδυσης. Οι χαμηλές λειτουργικές δαπάνες μπορεί να αποσβέσουν το κόστος ακόμη και μιας σχετικά ακριβής επένδυσης σε μερικά έτη. Δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων είναι συνήθως μεταξύ 25 και 40 ετών, από την άποψη του ιδιοκτήτη του DHS (Συστήματος θέρμανσης της γειτονιάς) οι ετήσιες λειτουργικές δαπάνες είναι κρίσιμες για την λήψη απόφασης.

Οι λειτουργικές δαπάνες που περιλαμβάνονται στο πρότυπο αποτελούνται από:

- Δαπάνες συντήρησης. Περιλαμβάνουν τις δαπάνες εργασίας, τις δαπάνες χρεολυσίας, τις δαπάνες ηλεκτρικής ενέργειας και ύδρευσης κ.λπ., και μπορούν συνήθως να αξιολογηθούν ανά 1 kW / έτος εγκατεστημένης ικανότητας,
- Δαπάνες καυσίμων. Είναι ένα κυρίαρχο μέρος των λειτουργικών δαπανών. Αποδεικνύεται ότι οι δαπάνες καυσίμων είναι η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων.

Τέσσερα οικολογικά κριτήρια που επιλέγονται για περαιτέρω εκτίμηση έχουν σημαντική επιρροή στην απόφαση. Περιλαμβάνουν τις εκπομπές των ρύπων που παράγονται κατά τη διάρκεια της παραγωγής θερμότητας:

3. Εκπομπή του CO<sub>2</sub>. Εάν δεν υπάρχει καμία συγκεκριμένη εκτίμηση για τις εγκαταστάσεις, οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> ανά μονάδα της ενέργειας υπολογίζονται από τους παράγοντες εκπομπής
4. Εκπομπή του NO<sub>x</sub>. Υπάρχει υψηλή διαφορά στις εκπομπές του NO<sub>x</sub> μεταξύ των εγκαταστάσεων στις οποίες τα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών εφαρμόζονται και στις εγκαταστάσεις που δεν εφαρμόζονται. Η εφαρμογή των σύγχρονων τεχνολογιών μπορεί να εξαφανίσει σχεδόν εντελώς τις εκπομπές αυτών των ρύπων.
5. Εκπομπή του SO<sub>2</sub>. Εξαρτάται από τη σύνθεση του καυσίμου.
6. Η εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων. Εξαρτάται επίσης από τη σύνθεση των χρησιμοποιημένων καυσίμων.

Τα ακόλουθα δύο κριτήρια συσχετίζονται με τη διαθεσιμότητα της ενέργειας:

7. Η ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού. Δεν μπορεί να υπολογιστεί, αλλά μπορεί να βαθμολογηθεί από το 0 έως 10, βασισμένη στη διαθεσιμότητα και την επάρκεια των καυσίμων. Όταν τα εισαγόμενα καύσιμα χρησιμοποιούνται, ο βαθμός για την ασφάλεια του ανεφοδιασμού πρέπει να είναι μικρότερος απ' ό, τι σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται τα εγχώρια καύσιμα. Εάν η εξεταζόμενη επιλογή χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό καυσίμων/πηγών ενέργειας, ο μέσος όρος

είναι σε σχέση με τα ποσοστά συμμετοχής κάθε πηγής καυσίμων/ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα για την προτεινόμενη επιλογή.

8. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αξιολογείται επίσης με βαθμολογία από 0 έως 10. Εάν σε μια επιλογή, η παραγωγή θερμότητας βασιστεί σε κατανάλωση διαφορετικών πηγών ενέργειας, ο συνολικός βαθμός εξαρτάται από το μερίδιο αυτών των πηγών. Στην περίπτωση που κάποια άλλη μορφή ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιηθεί, παραδείγματος χάριν η ηλεκτρική ενέργεια ή η γεωθερμική ενέργεια για τις αντλίες θερμότητας, το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να υπολογιστεί.

### **Διαδικασία**

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε αυτή τη μελέτη είναι μια εφαρμογή της ELECTRE. Στον πίνακα 15 εκτιμώνται οι επιλογές για όλα τα κριτήρια καθώς και τα βάρη των κριτηρίων που αποφασίστηκαν. Ο πίνακας 16 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της μήτρας quantified decision. Η μήτρα aggregate dominance δείχνει ότι η επιλογή 2 είναι κυρίαρχη για το realistic σενάριο (πίνακας 17).

Ομοίως, το optimistic σενάριο, με τα ίδια βάρη κριτηρίων, οδηγεί στην μήτρα quantified decision (πίνακας 18) και μήτρα aggregate dominance (πίνακας 19). Τέλος για το BAU σενάριο, παρουσιάζεται μια μήτρα quantified decision στον πίνακα 20 και μια μήτρα aggregate dominance στον πίνακα 21.

Βασισμένοι σε αποτελέσματα από τους πίνακες 17 και 21, η ανάλυση έδειξε ότι η επιλογή 2 είναι βέλτιστη για το realistic και BAU σενάριο. Στο optimistic σενάριο, βασισμένοι στα αποτελέσματα του πίνακα 19, η μελλοντική τιμή του ρεύματος θα είναι υψηλότερη, και σε αυτό το σενάριο, τα εργοστάσια CHP θα μπορούσαν να είναι μια καλή επιλογή. Η επιλογή 3 είναι η βέλτιστη.

Κριτήριο	Δαπάνες επένδυσης (εκατομμύρια €)	Δαπάνες λειτουργίας (εκατομμύρια €)	Εκπομπή CO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή NO <sub>x</sub> (t)	Εκπομπή SO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων (t)	Ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού	Χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
Επιλογή 1	103.6	4.16	59,752	0.108	0	0	7	0
Επιλογή 2	114.5	4.20	61,909	29.96	166.58	10.86	7.6	2.47
Επιλογή 3	325.4	5.80	568,742	1.017	0	0	6.72	1.98
Τρόπος	min	max	min	min	min	min	max	max
Βάρος κριτηρίου	0.25	0.40	0.05	0.04	0.03	0.03	0.10	0.10

**Πίνακας 15:** Εφαρμογή της ELECTRE για το realistic σενάριο.

Κριτήριο	Δαπάνες επένδυσης (εκατομμύρια €)	Δαπάνες λειτουργίας (εκατομμύρια €)	Εκπομπή του CO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή NO <sub>x</sub> (t)	Εκπομπή SO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων(t)	Ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού
103.6	4.16	62,758	0.108	0	0	7	0
114.5	4.20	61,909	29.96	166.58	10.86	7.6	2.47
325.4	5.80	568,742	1.017	0	0	6.72	1.98

**Πίνακας 16:** Quantified decision matrix για το realistic σενάριο

0	0	0
1	0	0
0	0	0

**Πίνακας 17:** Μήτρα aggregate dominance για το realistic σενάριο.

Κριτήριο	Δαπάνες επένδυσης (εκατομμύρια €)	Δαπάνες λειτουργίας (εκατομμύρια €)	Εκπομπή του CO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή NO <sub>x</sub> (t)	Εκπομπή SO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων(t)	Ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού
103.6	3.89	80,033	0.143	0	0	7	0
114.5	3.86	76,386	35.17	195.49	12.74	7.6	2.51
325.4	10	568,742	1.017	0	0	6.72	2.01

**Πίνακας 18:** Quantified decision μήτρα για το optimistic σενάριο.

0	0	0
0	0	0
1	0	0

**Πίνακας 19:** Μήτρα aggregate dominance για το optimistic σενάριο

Κριτήριο	Δαπάνες επένδυσης (εκατομμύρια €)	Δαπάνες λειτουργίας (εκατομμύρια €)	Εκπομπή του CO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή NO <sub>x</sub> (t)	Εκπομπή SO <sub>2</sub> (t)	Εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων(t)	Ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού
103.6	4.03	69,974	0.125	0	0	7	0
114.5	4.17	71,217	38.89	213.46	13.91	7.6	2.44
325.4	2.19	568,742	1.017	0	0	6.72	1.90

**Πίνακας 20:** Quantified decision μήτρα για το BAU σενάριο.

0	0	1
1	0	1
0	0	0

**Πίνακας 21:** Μήτρα aggregate dominance για το BAU σενάριο.

### 3.8 Μεθοδολογία ELECTRE III, Θεσσαλονίκη 2007

#### Εγκατάσταση ΧΥΤΑ στο νομό Θεσσαλονίκης.

Η εγκατάσταση του ΧΥΤΑ αποτελούσε βασικό και αναντικατάστατο έργο του εγκεκριμένου (Μάρτιος 2000) Πλαισίου Σχεδιασμού Διαχείρισης στερεών αποβλήτων του Ν. Θεσσαλονίκης. Βρίσκεται στην περιοχή με τοπωνύμιο «Κλέφτικα- Ερυθρά Καμέλη», του Δημοτικού Διαμερίσματος Μαυροράχης του Δήμου Λαχανά στο Βόρειο τμήμα της Επαρχίας Λαγκαδά του Νομού Θεσσαλονίκης.

Το γήπεδο εγκατάστασης του ΧΥΤΑ έχει έκταση 757,43 στρέμματα και ανήκει σε ποσοστό 81% στο Ελληνικό Δημόσιο (Υπουργείο Γεωργίας) και σε ποσοστό 19% σε ιδιώτες. Ο κοντινότερος οικισμός στο γήπεδο εγκατάστασης είναι ο οικισμός Μαυροράχης σε απόσταση 2,4 χλμ.

Ο εν λόγω ΧΥΤΑ σύμφωνα με την μελέτη προέγκρισης χωροθέτησης όταν σχεδιάστηκε προβλεπόταν να εξυπηρετεί όλο το Νομό Θεσσαλονίκης τα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας του δηλαδή το 2004 και 2005. Μετά το 2006 προβλεπόταν να συνεχίσει να εξυπηρετεί σε μόνιμη βάση πάνω από 900.000 κατοίκους του Νομού Θεσσαλονίκης μέχρι και το τέλος της λειτουργίας του το 2033. Τελικά λειτούργησε για πρώτη φορά το 2007 και μέχρι σήμερα εξυπηρετεί αποκλειστικά όλο τον Νομό.

Η λειτουργία αυτού του ΧΥΤΑ έδωσε τη δυνατότητα διακοπής λειτουργίας και αποκατάστασης των 83 ανεξέλεγκτων χώρων που λειτουργούσαν πριν από αυτόν για την διάθεση των στερεών αποβλήτων του Νομού Θεσσαλονίκης. Παράλληλα έδωσε και τη δυνατότητα ολοκλήρωσης της λειτουργίας και αποκατάστασης του προϋπάρχοντος ΧΥΤ στους Ταγαράδες, ο οποίος παραλάμβανε για 20 χρόνια το 90% των στερεών αποβλήτων του Νομού.

Παραπομπή: (Βασιλεία Δ. Χρυσοστόμου, 2012)

### **Διαδικασία επιλογής χώρου**

Η διαδικασία επιλογής χώρου έγινε ως εξής:

Αρχικά διαμορφώθηκαν κριτήρια καταλληλότητας και συγκριτικής αξιολόγησης των υποψήφιων χώρων στο Πλαίσιο του Νομαρχιακού Σχεδιασμού. Μετά την εφαρμογή των κριτηρίων καταλληλότητας προέκυψαν τρεις υποψήφιοι χώροι για τους οποίους και έγιναν οι κυρίως μελέτες σχεδιασμού. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκε μαθηματικό μοντέλο πολυκριτηριακής ανάλυσης (ELECTRE III.) για την εφαρμογή των κριτηρίων συγκριτικής αξιολόγησης και την επιλογή της πλέον κατάλληλης τοποθεσίας.

Τα κριτήρια συγκριτικής αξιολόγησης ομαδοποιούνται σε 6 γενικές κατηγορίες (γεωλογικά-υδρογεωλογικά, περιβαλλοντικά, χωροταξικά, λειτουργικά, οικονομικά και κοινωνικής αποδοχής) και σε 22 ομάδες. Ο χαρακτηρισμός του βαθμού αξιολόγησης κάθε κριτηρίου γίνεται σε κλίμακα από 1 έως 10 (με αύξοντα βαθμό καταλληλότητας), λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός σπουδαιότητας κάθε κριτηρίου, μέσα σε κάθε ομάδα κριτηρίων, ως ποσοστό % καθώς και ο βαθμός σημαντικότητας κάθε ομάδας κριτηρίων (συγκριτική κατάταξη κάθε ομάδας κριτηρίων ανάλογα με τη σπουδαιότητά της) και κάθε κατηγορίας (επί του συνόλου των κατηγοριών). Για λόγους συντομίας, τα κριτήρια παρατίθενται σε μορφή πίνακα, μαζί με την βαρύτητα που έχει δοθεί στην κάθε ομάδα και κατηγορία. Οι σχετικές βαρύτητες για τις



γενικότερες κατηγορίες των κριτηρίων ορίστηκαν από την αντίστοιχη γνωμοδοτική επιτροπή του Ν. Θεσσαλονίκης, ενώ για τις υποκατηγορίες και τα κριτήρια από τους ίδιους τους μελετητές.

Κριτήρια	Βαρύτητα Κατηγορίας (%)	Συντελεστής Βαρύτητας (%)	Επιμέρους Βαρύτητα (%)
<b>1. Γεωλογικά, Υδρολογικά, Υδρογεωλογικά</b>	<b>27,5</b>		
Υδροληπτικά έργα και υπόγεια νερά		13	
Απόσταση και κατεύθυνση υδροληπτικών έργων			35
Απόσταση τελικών αποδεκτών			20
Βάθος Στάθμης Υδροφορέα			15
Χρήση Υπογείου Νερού			30
Χαρακτηριστικά Εδάφους		22	
Σύσταση-Πάχος εδάφους			60
Διαπερατότητα Εδάφους			40
Χαρακτηριστικά Υπεδάφους		13	
Υδρολιθολογικοί Σχηματισμοί			20
Πάχος υπεδάφους			20
Περατότητα υπεδάφους			40
Τεκτονικά στοιχεία και στοιχεία σεισμικότητας		13	
Τεκτονικές μεταβολές			30
Υπαρξη ρηγμάτωσης			30
Σεισμικότητα			20
Σεισμική επικινδυνότητα εδάφους			20
Τοπογραφικό Ανάγλυφο-Ευστάθεια Πρανών		13	
Είδος Λεκάνης Απορροής			25
Κλίσεις Εδάφους			25
Διαβρωτικότητα-Ευστάθεια πρανών			50
Επιφανειακή Απορροή		13	
Μέγεθος Λεκάνης Απορροής			33
Κατείδυση			33
Υδατοσυγκράτηση			33
Κλιματολογικές Συνθήκες		13	
Βροχόπτωση			15
Παγετός			20
Χιονόπτωση			20
Υψόμετρο			45
<b>2. Περιβαλλοντικά</b>	<b>20</b>		
Οχλήσεις από Οσμές και Επικρατούντες Άνεμοι		40	
Κατεύθυνση επικρατούντων ανέμων			60
Ανάπτυξη Καταβατικών ρευμάτων			20
Ανάπτυξη Θερμοκρασιακών Αναστροφών			20
Αισθητική κατάσταση του ΧΥΤ- Ευχέρεια εκτέλεσης έργων τελικής αποκατάστασης και		30	
Αισθητική κατάσταση του ΧΥΤ σε σχέση με τη δυνατότητα αναβάθμισής του			40
Ευχέρεια εκτέλεσης έργων τελικής αποκατάστασης και μεταφροντίδας			60
Οπτική Απομόνωση του Χώρου		30	
<b>3. Χωροταξικά</b>	<b>27,5</b>		
Απόσταση από Αρχαιολογικούς χώρους, Βιομηχανικές και Βιοτεχνικές μονάδες		10	
Απόσταση από Αρχαιολογικούς χώρους			35
Απόσταση από Αεροδρόμια			30
Απόσταση από Βιοτεχνικές μονάδες			25
Απόσταση από εξορυκτικές δραστηριότητες			10
Απόσταση από δασικές περιοχές, προστατευόμενες περιοχές και περιοχές αυξημένης		25	
Δασικές περιοχές			35
Περιοχές Οικολογικής Σημασίας- Προστατευόμενες Περιοχές			50

Αναδασωτέες Περιοχές			15
Απόσταση από Οικισμούς, Χώρους μόνιμης ή εποχιακής παραμονής πληθυσμού-Οικιστική	30		
Οικιστική καταλληλότητα			15
Οικιστική Πίεση			25
Υπαρξη ΖΟΕ "οικιστικής ανάπτυξης"			40
Χώρος μόνιμης ή εποχιακής παραμονής πληθυσμού			20
Γεωργική- Κτηνοτροφική δραστηριότητα	15		
Γεωργική δραστηριότητα			50
Κτηνοτροφική δραστηριότητα			50
Απόσταση από Στρατιωτικές Εγκαταστάσεις	20		
<b>4. Λειτουργικά και γενικά</b>	<b>15</b>		
Δυνατότητα Υποδοχής Νέου Χώρου	20		
Χωρητικότητα (διάρκεια ζωής χώρου)	20		
Ευχέρεια Εκτέλεσης Έργου- Διαθεσιμότητα Υλικών και Δικτύων	20		
Ευχέρεια εκτέλεσης έργου			20
Διαθεσιμότητα υλικών			60
Διαθεσιμότητα Δικτύων (ύδρευση, ηλεκτρικό, κλπ.)			20
Τρόπος Πρόσβασης-Απόσταση από την εξυπηρετούμενη Περιοχή	25		
Τρόπος Πρόσβασης			60
Απόσταση από την εξυπηρετούμενη Περιοχή			40
Κόστος Εγκατάστασης	15		
<b>5. Οικονομικά</b>	<b>5</b>		
Ιδιοκτησιακό Καθεστώς-Αξία Γης	50		
Ιδιοκτησιακό Καθεστώς			40
Αξία Γης			60
Κόστος Μεταφοράς	50		
<b>6. Κοινωνική Αποδοχή</b>	<b>5</b>		

**Πίνακας 22:** Κριτήρια χωροθέτησης ΧΥΤΑ Μαυρορράχης & οι επιμέρους βαρύτητες τους.

### 3.9. Συμπεράσματα

#### 3.9.1 Πλεονεκτήματα μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ανά περιοχή στις παραπάνω μελέτες ήταν οι εξής:

Για την Τουρκία, η μέθοδος ΑHP.

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει στους εμπειρογνώμονες να είναι ευέλικτοι και να χρησιμοποιήσουν μια ευρεία αξιολόγηση συμπεριλαμβανομένου γλωσσικών όρων, ασαφών αριθμών, ακριβείς αριθμητικές τιμές, και σειρές από αριθμητικές τιμές. Έτσι έχει τη δυνατότητα να ικανοποιεί όλα τα είδη αξιολογήσεων από ειδικούς.

Τέλος έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στο παρελθόν για τον καθορισμό ενεργειακών πολιτικών.

Για την Κρήτη και τον Νομό Θεσσαλονίκης, οι PROMETHEE II και ELECTREE III

Η εφαρμογή του PROMETHEE II μοντέλου αποδείχθηκε πολύτιμο εργαλείο όχι μόνο για να αξιολογηθούν και να αποτιμηθούν εναλλακτικές πολιτικές, αλλά επίσης να μεταφέρονται εύκολα και αποτελεσματικά τα αποτελέσματα των εμπλεκόμενων φορέων.

Επίσης η δυνατότητα της κατάταξης των εναλλακτικών δυνατοτήτων πολιτικής προσφέρει στους φορείς χρήσιμες πληροφορίες, που σε συνδυασμό με την άρρητη γνώση των φορέων (προηγούμενη εμπειρία και γνώσεις) μπορεί να δημιουργήσει μια βάση για ενεργειακό προγραμματισμό.

Τέλος το PROMETHEE II μοντέλο, που βασίζεται σε αλγορίθμους πολλαπλών κριτηρίων, ούτε υπονομεύει ούτε υποτιμά την παρουσία των διαφόρων παραγόντων, αλλά μάλλον τους βοηθά μέσα από τις φάσεις ολόκληρης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, προσφέροντας χρήσιμες πληροφορίες έτσι ώστε να εγκαθιδρυθούν προτεραιότητες και να συσταθούν οι στρατηγικές πολιτικής για έναν αειφόρο ενεργειακό σχεδιασμό.

Η εφαρμογή της ELECTRE III στις αποφάσεις πολιτικής ενέργειας και χωροθέτησης παρέχει τη δυνατότητα της ενσωμάτωσης ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών και συχνά αλληλοσυγκρουόμενων τιμών σε ένα σύνολο κριτηρίων και κάνει το δύσκολο έργο της αξιολόγησης των διαφόρων στρατηγικών, πολύ πιο αντικειμενικό και αποδεκτό.

Επιπλέον, η μεθοδολογία αυτή παρέχει ενόραση στις προτεραιότητες και ευαισθησίες των διαφόρων παραγόντων που συμμετέχουν. Τέτοια εικόνα γίνεται ανεκτίμητο διαπραγματευτικό βοήθημα προς μια ευρέως αποδεκτή συμβιβαστική λύση.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της εφαρμογής της ELECTRE III σε ενεργειακά προβλήματα σχεδιασμού είναι η σαφής αναγνώριση της επιρροής των υποκειμενικών ζητημάτων σχετικά με την τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων. Η υποκειμενικότητα κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων είναι ένας ενοχλητικός παράγοντας στις διαδικασίες αξιολόγησης, αλλά αποτελεί ένα αναπόφευκτο γεγονός που πρέπει να περιληφθεί και να αντιμετωπιστεί.

Επίσης, η προσέγγιση που ακολουθείται μπορεί να υποδεικνύει λύσεις που αν και αυτές μπορεί να προσβληθούν από ορισμένους φορείς βάσει ορισμένων ιδιαιτέρων κριτηρίων (π.χ. τεχνολογική ωριμότητα), θα μπορούσαν να αποτελέσουν καλές μελλοντικές επιλογές αν, εν τω μεταξύ, μπορούσαν να αποσαφηνιστούν οι αβεβαιότητες.

Τέλος, η ELECTRE III μπορεί να είναι επίσης χρήσιμη σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού και χωροθέτησης που αντιμετωπίζουν περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά με την Κρήτη και τη Θεσσαλονίκη, υπό τον όρο ότι τα κριτήρια τροποποιούνται σύμφωνα με τις περιφερειακές ιδιαιτερότητες. Μια αξιολόγηση πολλαπλών κριτηρίων των πολιτικών, σχεδίων και προγραμμάτων - εάν γίνει αρκετά νωρίς - μπορεί να προσφέρει σημαντική βοήθεια προς την κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης στον τομέα της ενέργειας.

Για την Ιταλία, οι PROMETHEE II (Σικελία) και ELECTRE III (Σαρδηνία)

Η ELECTRE III εφαρμόζεται αξιόπιστα για την αξιολόγηση ομάδων ενέργειας εστιασμένες στην εφαρμογή των καινοτόμων τεχνολογιών ΑΠΕ. Επίσης η εισαγωγή μιας προσέγγισης πολλαπλών κριτηρίων κάνει μια διαδικασία απόφασης πιο ευέλικτη και διαφανή.

Παραπομπή: (Beccali G, Cellura M, Mistretta M. 2002).

Αυτή η προσέγγιση, αφενός, δίνει στον DM περισσότερο βαθμό ελευθερίας υπό την έννοια ότι είναι σε θέση να τροποποιήσει και να δοκιμάσει το πλαίσιο προτεραιοτήτων. Τέλος επιτρέπει την δοκιμή της αξιοπιστίας των δράσεων, σύμφωνα με τα σενάρια προτεραιοτήτων.

Η PROMETHEE II όπως καταδεικνύει η μελέτη, μπορεί να παρέχει μια τεχνική και επιστημονική απόφαση υποστηρίζοντας εργαλεία που είναι σε θέση να αιτιολογήσουν τις επιλογές σαφώς και με συνέπεια, ιδίως στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Για το Βελιγράδι, η ELECTRE

Οι ιθύνοντες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ELECTRE μέθοδο προκειμένου να αποκτηθεί ένα ποιοτικό αποτέλεσμα ως σύσταση για τον τύπο επενδύσεων που απαιτούνται για την ικανοποίηση των νέων απαιτήσεων για παραγωγή θερμότητας.

### **3.9.2 Σύγκριση ερευνών**

Για την Τουρκία, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία AHP με αποτέλεσμα την πρόταση για χρήση αιολικής ενέργειας. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Εφαρμοσιμότητα, κίνδυνος, αξιοπιστία, διάρκεια της φάσης προετοιμασίας, διάρκεια της φάσης υλοποίησης, συνεχής πρόβλεψη των επιδόσεων, τοπική τεχνογνωσία, εκπομπή ρυπογόνων, χερσαίες απαιτήσεις, ανάγκη για διάθεση

απορριμμάτων, συμβατότητα με τους στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής, πολιτική αποδοχή, κοινωνική αποδοχή, εργασιακές επιπτώσεις, κόστος υλοποίησης, διαθεσιμότητα πόρων, οικονομική αξία (pw, irr, b/c).

Για την Κρήτη, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία PROMETHEE II με αποτέλεσμα προτάσεις προσαρμοσμένες στις προτιμήσεις του κάθε φορέα. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Ασφάλεια ανεφοδιασμού, ωριμότητα της τεχνολογίας, αποφυγή εκπομπής CO<sub>2</sub>, κοινωνική αποδοχή, εργασιακές επιπτώσεις, κόστος επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης, εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων.

Για την Κρήτη, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία ELECTRE III με αποτέλεσμα την πρόταση για την μαξιμαλιστική και συνεργατική στρατηγική. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Αξιοπιστία, ασφάλεια στη κάλυψη της ανώτατης ζήτησης φορτίου, λειτουργικότητα, εκπομπή ρυπογόνων, χερσαίες απαιτήσεις, κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής, προστασία του οικοσυστήματος, θόρυβος, ομορφιά, συμβατότητα με τους στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής, εργασιακές επιπτώσεις, συνοχή με τοπικές οικονομικές δραστηριότητες, κόστος επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης, εξάντληση πεπερασμένων ενεργειακών πηγών.

Για την Σαρδηνία, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία ELECTRE III με αποτέλεσμα τον προσανατολισμό σε 3 σενάρια. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Αξιοπιστία, συνεχής πρόβλεψη των επιδόσεων, ενεργειακή απόδοση, συνέπεια της απαίτησης εγκατάστασης και συντήρησης με τη τοπική τεχνογνωσία, εκπομπή ρυπογόνων, χερσαίες απαιτήσεις, κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής, βιωσιμότητας των άλλων επιπτώσεων, συμβιβασμός με πολιτικό, νομοθετικό και διοικητικό πλαίσιο, ωριμότητα της αγοράς, κόστος αποθήκευσης πρωτογενούς ενέργειας, εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε περιφερειακή κλίμακα.

Για την Σικελία, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία PROMETHEE II με αποτέλεσμα την πρόταση για χρήση αιολικής ενέργειας και Kobold. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Αξιοπιστία, διάρκεια της φάσης προετοιμασίας, διάρκεια της φάσης υλοποίησης, ωριμότητα της τεχνολογίας, κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής, βιωσιμότητας των άλλων επιπτώσεων, κοινωνική αποδοχή, συμβολή στην τοπική ανάπτυξη και ευημερία, κόστος επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης, εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Για το Βελιγράδι, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία ELECTRE με αποτέλεσμα την πρόταση για χρήση γεωθερμικής ενέργειας σε συνδυασμό με CHP. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Εκπομπή ρυπογόνων, ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού, χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κόστος επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης.

Για τον Νομό Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία ELECTRE III με αποτέλεσμα την χωροθέτηση του Χ.Υ.Τ.Α. στη Μαυροράχη. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Υδρολογία και προστασία επιφανειακών υδάτων, Ζώνες ασφαλείας για ευαίσθητους αποδέκτες, Γεωλογία και υδρογεωλογία, Γεωλογικά ρήγματα, Τοπογραφία, Οικολογία, Μετεωρολογία, Ορατότητα περιοχής/Τοπίο, Κίνηση Οχημάτων/Προσβασιμότητα, Διαθεσιμότητα υλικών κάλυψης, Υπηρεσίες και ασφάλεια, Χρήσεις γης, Αρχαιολογική κληρονομιά, Χερσαίες απαιτήσεις, Κοινωνική αποδοχή, Ισχύουσα νομοθεσία

### **3.9.3 Αδυναμίες μεθοδολογιών**

Στις εξεταζόμενες μεθοδολογίες παρατηρήθηκαν κάποια μειονεκτήματα, που προέκυψαν από τις εν λόγω μελέτες.

Η μέθοδος AHP προτείνει γενικές λύσεις. Άλλες μέθοδοι ασαφής λήψης αποφάσεων, όπως οι VIKOR, ANP και TOPSIS μπορεί να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω έρευνα.

Το μοντέλο PROMETHEE προσφέρει μια πλατφόρμα λήψης αποφάσεων, χωρίς, ωστόσο, να δίνει την τελική απάντηση για το θέμα του σχεδιασμού της ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εναλλακτική λύση που προτείνεται για κάθε φορέα δεν είναι βέλτιστη ούτε απόλυτη.

Οι διαδικασίες αξιολόγησης και σχεδιασμού είναι σύνθετες λόγω του αριθμού και της ποικιλομορφίας των ειδών για την αξιολόγηση, την αβεβαιότητα των δεδομένων και των συγκρούσεων μεταξύ των ενδιαφερομένων φορέων.

Όσον αφορά την ELECTRE III, υπάρχουν ορισμένοι φορείς που ισχυρίζονται ότι οι τεχνικές πτυχές της είναι μάλλον δύσκολο να γίνουν πλήρως κατανοητές και για αυτούς η μέθοδος κατέληξε να μην είναι κατανοητή. Η πολυπλοκότητα ορισμένων μεθόδων MCDA είναι στην πραγματικότητα ο λόγος που σε πολλές περιπτώσεις λήψης αποφάσεων στην Ελλάδα (ειδικά στο δημόσιο τομέα) η "σταθμισμένη μέση" τεχνική είναι συνήθως προτιμότερη.

Η έννοια της "ασυμβατότητας" είναι δύσκολο να εξηγηθεί, και συχνά οι DMs προτιμούν μια πλήρη κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων από το καλύτερο στο χειρότερο.

Η επιλογή των κριτηρίων αποφασίζονται με διάφορους φορείς σε μια προσπάθεια να διασφαλιστούν όλες οι απόψεις (συχνά αντικρουόμενες), με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφορές, οι οποίες πρέπει να εξηγηθούν και να συνυπολογισθούν.

Στη περίπτωση της Θεσσαλονίκης, παρόλο που σε επίπεδο εθνικού σχεδιασμού τα κριτήρια που υιοθετούνται αποσκοπούν στην οργανωμένη και περιβαλλοντικά αποδεκτή λειτουργία των ΧΥΤΑ, στην πράξη, οι περισσότεροι μελετητές, δίνουν βάση σε κριτήρια που αφορούν περισσότερο την πιο οικονομική λειτουργία του. Όσον αφορά στην προσβασιμότητα, που είναι το κριτήριο με τη μεγαλύτερη συχνότητα εφαρμογής, επιδιώκεται η κατά τον δυνατόν μικρότερη απόσταση από τα κέντρα παραγωγής, για λόγους μείωσης του κόστους. Περιβαλλοντικά λαμβάνονται υπόψη περισσότερο η γεωλογία και η υδρολογία των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Αυτό σημαίνει πως στις περισσότερες μελέτες δεν εξετάζονται σε ένα πιο σφαιρικό πλαίσιο οι περιβαλλοντικές συνέπειες της εγκατάστασης. Επίσης δεν υπολογίζονται οι συνέπειες στο ανθρωπογενές περιβάλλον (αρχαιολογική κληρονομιά, χρήσεις γης) και η λειτουργικότητα της εγκατάστασης (Υπηρεσίες & Ασφάλεια, Διαθεσιμότητα Υλικών Κάλυψης) στον βαθμό που θα έπρεπε.

### 3.9.4 Συνοπτικός πίνακας μεθοδολογιών

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τις 7 μελέτες που έγιναν στο παρελθόν για την ικανοποίηση των ενεργειακών και περιβαλλοντολογικών αναγκών μιας περιοχής, καθώς και ποια κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν για την εκάστοτε έρευνα ή σε κάθε περίπτωση, ποιο κομμάτι του κριτηρίου μελετήθηκε.

Περιπτώσεις Κριτήρια	ΤΟΥΡΚΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ AHP	ΚΡΗΤΗ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE II	ΚΡΗΤΗ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ELECTRE III	ΣΑΡΑΗΝΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ELECTRE III	ΣΙΚΕΛΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE II	ΒΕΛΓΙΓΡΑΔΙ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ELECTRE	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ELECTRE III
Εφαρμοσιμότητα							
Κίνδυνος		Η ασφάλεια του εφοδιασμού					
Αξιοπιστία							
Διάρκεια της φάσης προετοιμασίας							
Διάρκεια της φάσης υλοποίησης							
Συνεχής πρόβλεψη των επιδόσεων			Ασφάλεια στην κάλυψη της ανάπτυξης ζήτησης φορτίου				
Αποδοτικότητα			Λειτουργικότητα				
Τοπική				Συνέπεια της			

τεχνολογία				απαίτησης εγκατάστασης και συντήρησης με την τοπική τεχνολογία			
Ωριμότητα της τεχνολογίας							
Εκπομπή ρυπογόνων		Αποφυγή εκπομπών CO2					
Χερσαίες απαιτήσεις							
Ανάγκη για διάθεση απορριμμάτων							Ζώνες ασφαλείας για ευαίσθητους αποδέκτες
Κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής							
Προστασία του οικοσυστήματος							Γεωλογία και υδρογεωλογία, Υδρολογία και προστασία επιφανειακών υδάτων
Βιωσιμότητας των άλλων επιπτώσεων			Θόρυβος Ομορφιά				Τοπογραφία, Οικολογία, Μετεωρολογία, Ορατότητα περιοχής/Τοπίο, Κίνηση Οχημάτων/Προσβασιμότητα, Γεωλογικά ρήγματα
Ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού							Διαθεσιμότητα υλικών κάλυψης
Χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας							
Συμβατότητα με τους στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής							
Πολιτική αποδοχή				Συμβιβασμο με το πολιτικό, νομοθετικό και διοικητικό πλαίσιο			Ισχύουσα νομοθεσία
Κοινωνική αποδοχή							
Εργασιακές επιπτώσεις							Υπηρεσίες και ασφάλεια
Συμβολή στην τοπική ανάπτυξη και ευημερία							Χρήσεις γης
Ωριμότητα της αγοράς							
Συνοχή με τοπικές οικονομικές δραστηριότητες							Αρχαιολογική κληρονομιά
Κόστος υλοποίησης		Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης		Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	
Διαθεσιμότητα πόρων							
Οικονομική αξία (PW, IRR, B/C)							
Εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων			Εξάντληση πεπερασμένων ενεργειακών πηγών	Κόστος αποθηκευμένης πρωτογενούς ενέργειας, Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε περιφερειακή κλίμακα	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας		

**Πίνακας 23: Συνοπτικός πίνακας μεθοδολογιών**





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

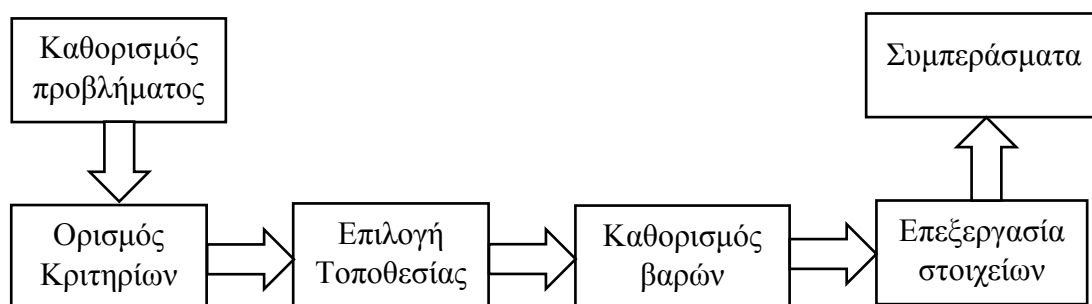
### **ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ**

### **ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΕ ΜΕ ΧΡΗΣΗ MCDA ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

#### 4.1. Πλαίσιο μεθοδολογίας για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι η ανάπτυξη μιας πολυκριτήριας μεθοδολογίας για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ και η εφαρμογή της σε πραγματικά δεδομένα στη Κρήτη.

Η διαδικασία επίλυσης του προβλήματος αναλύθηκε στο τμήμα 1.2.2 και περιγράφεται στο σχήμα 13.



**Σχήμα 13:** Διαδικασία επίλυσης του προβλήματος χωροθέτησης εγκαταστάσεων ΑΠΕ

##### 4.1.1 Καθορισμός συνόλου εναλλακτικών επιλογών

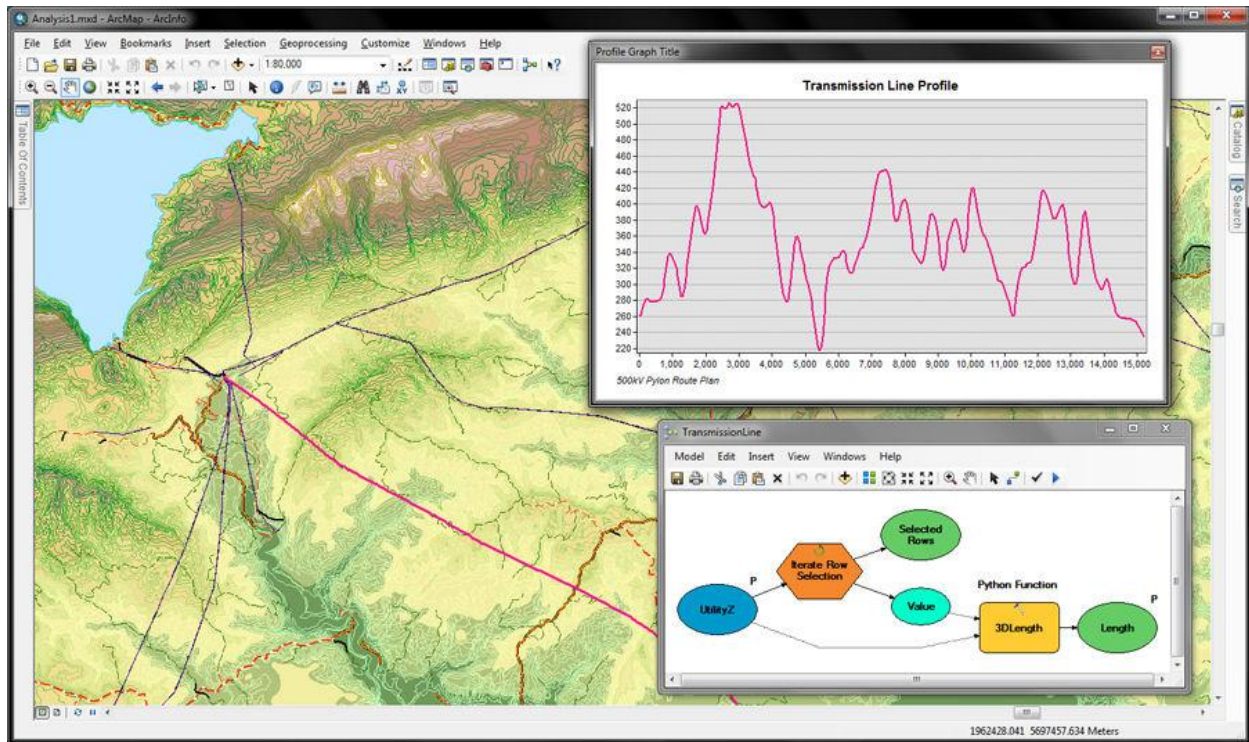
Οι εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων που προβλέπεται να λειτουργήσουν στη Κρήτη, οι οποίες θα συνδεθούν με το διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας για να τροφοδοτήσουν όλο το νησί, θα πρέπει να χωροθετηθούν αποκλειστικά στις διαθέσιμες περιοχές που εντοπίστηκαν και ικανοποιούν τα κριτήρια της ισχύουσας νομοθεσίας, του ελάχιστου αιολικού δυναμικού και της ελάχιστης απόστασης από το δίκτυο Natura 2000.

##### 4.1.2 Εργαλεία και Πηγές Δεδομένων

Στην έρευνα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται ως βασικό εργαλείο η πρόσφατη έκδοση του λογισμικού ArcGIS 10, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης των χωρικών (γραφικών) πληροφοριών (Εικόνα 3). Το λογισμικό αυτό προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας δυναμικών χαρτών και εφαρμογής τόσο υφιστάμενων δεδομένων όσο και μελλοντικών τροποποιήσεων. Όλα τα απαραίτητα στοιχεία καταγράφονται με ακρίβεια και ανάλογα με τα κριτήρια που υιοθετούνται υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής των ανάλογων θεματικών χαρτών.

Παραπομπή: <http://www.arcgis.com/>

Όσο αναφορά τις πηγές και την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αξίζει να αναφερθεί ότι το σύνολο των δεδομένων συλλέχθηκε από επίσημους φορείς και επιστημονικές μελέτες.



**Εικόνα 3:** Επιφάνεια εργασίας λογισμικού Arc GIS 10

Ο πίνακας 24 παρουσιάζει αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να δημιουργήσουμε το βασικό υπόβαθρο μελέτης.

#### 4.1.3 Ανάλυση Υφιστάμενης Κατάστασης

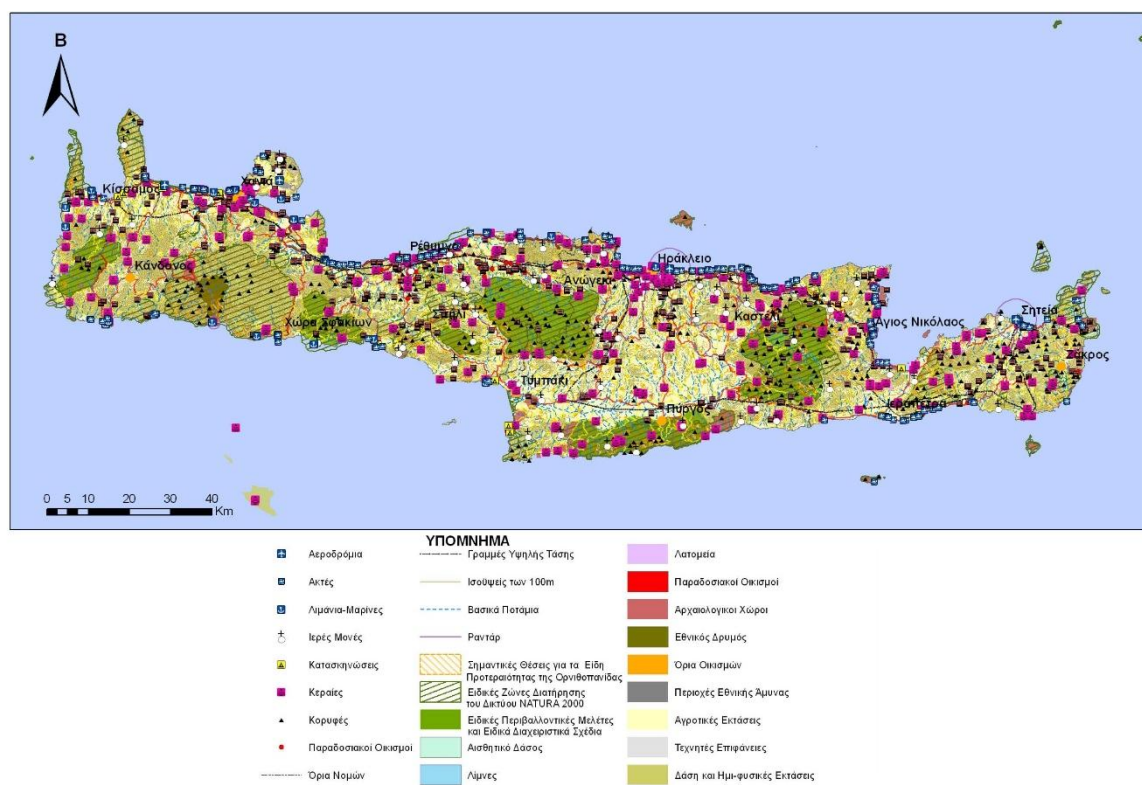
Στο Χάρτη 1 αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση με βάση τις πηγές που περιεγράφηκαν και αποτελεί την πιο πρόσφατη ενημερωμένη καταγραφή για το σύνολο της Κρήτης.

Πέραν των δεδομένων που παρουσιάζονται στο Χάρτη 1, για την αξιολόγηση των διαθέσιμων περιοχών χρειάστηκε και η μελέτη κάποιων φυσικών χαρακτηριστικών του νησιού όπως το αιολικό δυναμικό που απεικονίζεται στο Χάρτη 2, και οι κλίσεις του εδάφους που απεικονίζονται στο Χάρτη 3.

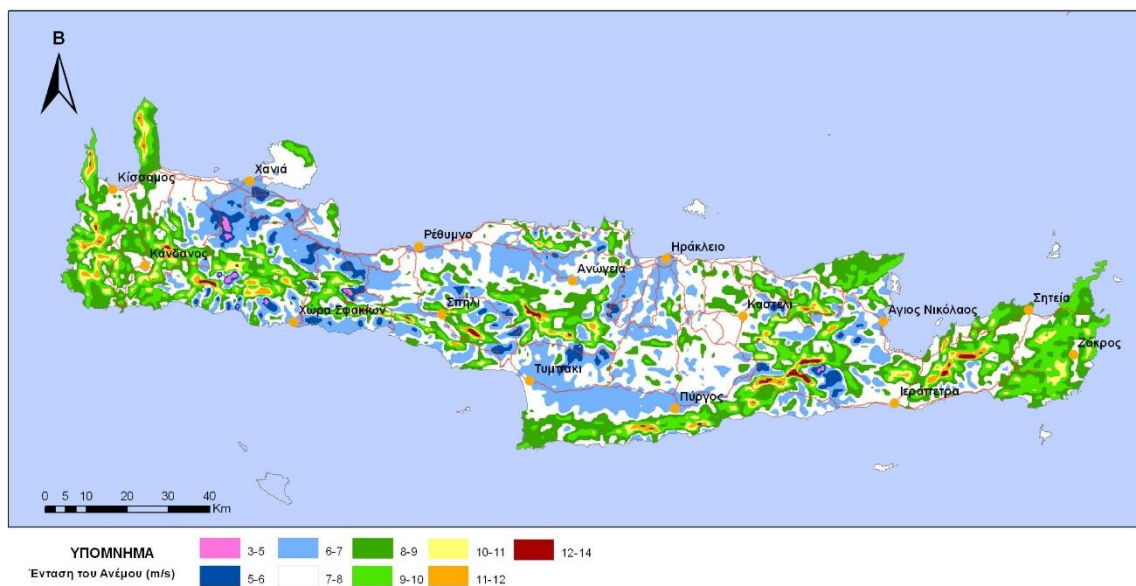
ΕΙΔΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΗΓΗ
Ακτές	Ακτές κολύμβησης	ΥΠΕΧΩΔΕ
Γραμμές Υψηλής Τάσης	Γραμμές Υψηλής Τάσης δικτύου	ΔΕΣΜΗΕ
Εθνικός δρυμός	Πυρήνας εθνικού δρυμού Σαμαριάς	Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, ΦΕΚ 200/Α/1962
Τόποι Κοινοτικής σημασίας	Δίκτυο Natura 2000	ΥΠΕΚΑ
Σημαντικές θέσεις για τα είδη προτεραιότητας της ορνιθοπανίδας, ειδικά διαχειριστικά σχέδια και ειδικές περιβαλλοντολογικές μελέτες	Ζώνες ειδικών περιβαλλοντολογικών μελετών κτλ.	Μουσείο φυσικής Ιστορίας Κρήτης
Μνημεία, Αρχαιολογικοί Χώροι	Ζώνη Α αρχαιολογικών χώρων	Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού
Παραδοσιακοί Οικισμοί		ΥΠΕΧΩΔΕ
Ιερές Μονές		Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
Οδικό Δίκτυο	Εθνικό, Επαρχιακό και Κοινοτικό Δίκτυο	ΥΠΕΧΩΔΕ
Κεραίες	Κεραίες με άδεια εγκατάστασης	ΕΕΤΤ
Radar		ΦΕΚ 2099/2009
Αεροδρόμια	Διεθνούς και Διαπεριφερειακής εμβέλειας	ΦΕΚ 2099/2009, ΦΕΚ 35207/2008
Περιοχές Εθνικής Άμυνας	Στρατιωτικές εγκαταστάσεις	ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ
Λατομεία	Λειτουργούσες επιφανειακά μεταλλευτικές – εξορυκτικές ζώνες	ΥΠΕΧΩΔΕ
Λιμάνια	Θέση λιμένων	Περιφέρεια Κρήτης

**Πίνακας 24:** Πηγές Δεδομένων

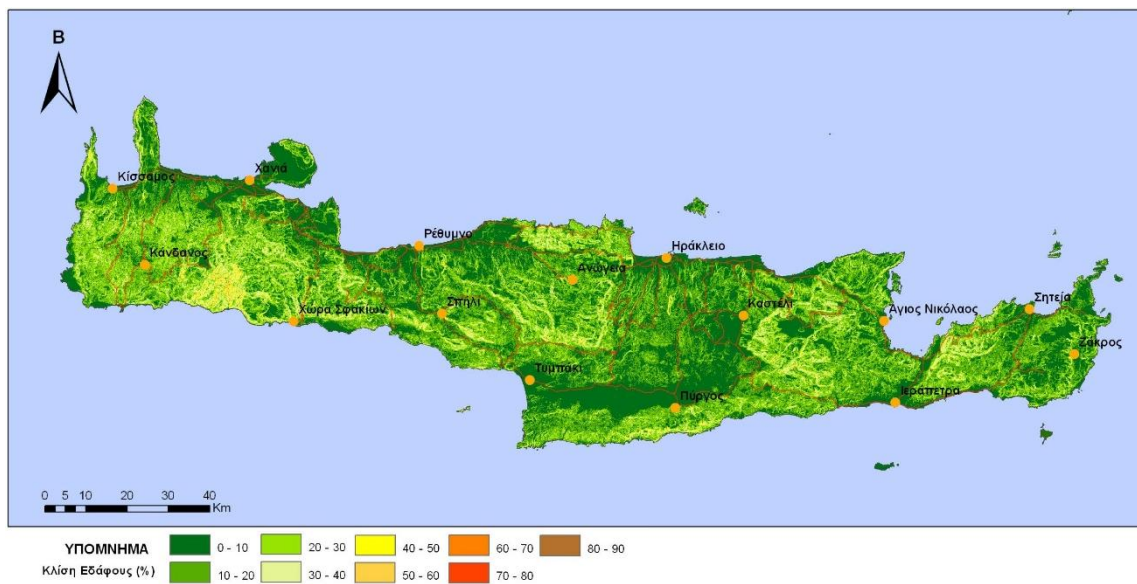
Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής είναι η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου σε m/s. Η Κρήτη είναι από τα πιο προικισμένα νησιά τόσο της Ελλάδας όσο και της Ευρώπης από άποψη αιολικού δυναμικού. Λόγω της γεωγραφικής θέσης της, αλλά και λόγω της ποικιλίας του ανάγλυφου και της διανομής της ξηράς και της θάλασσας (μεγάλο μήκος παραλιακής γραμμής, πολύμορφοι σχηματισμοί οροσειρών κατά μήκος του νησιού με κορυφές που φθάνουν τα 2.500m), διαθέτει πολύ πλούσιο αιολικό δυναμικό, το οποίο είναι ιδανικό για τη λειτουργία μονάδων εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, παρουσιάζει όμως σημαντικές διαφορές στη (μέση) διεύθυνση του ανέμου από περιοχή σε περιοχή και όταν ακόμη είναι μικρή η απόσταση που τις χωρίζει.



Χάρτης 1: Υφιστάμενη κατάσταση (Γσίτουρα Ι., 2012)



Χάρτης 2: Αιολικό Δυναμικό



*Χάρτης 3: Κλίση εδάφους*

## 4.2 Προσδιορισμός επιτρεπόμενων περιοχών με βάση τη νομοθεσία

Για τον προσδιορισμό των νομοθετικά επιτρεπόμενων περιοχών λήφθηκαν υπόψη τα κριτήρια, τα οποία αναφέρονται στο ΕΠΧΣΑΑ (Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης) για τις ΑΠΕ και αφορούν ελάχιστες αποστάσεις από τις γειτνιάζουσες χρήσεις ή δραστηριότητες και δίκτυα τεχνικής υποδομής.

### 4.2.1 Προσδιορισμός ζωνών αποκλεισμού-ασυμβατότητας

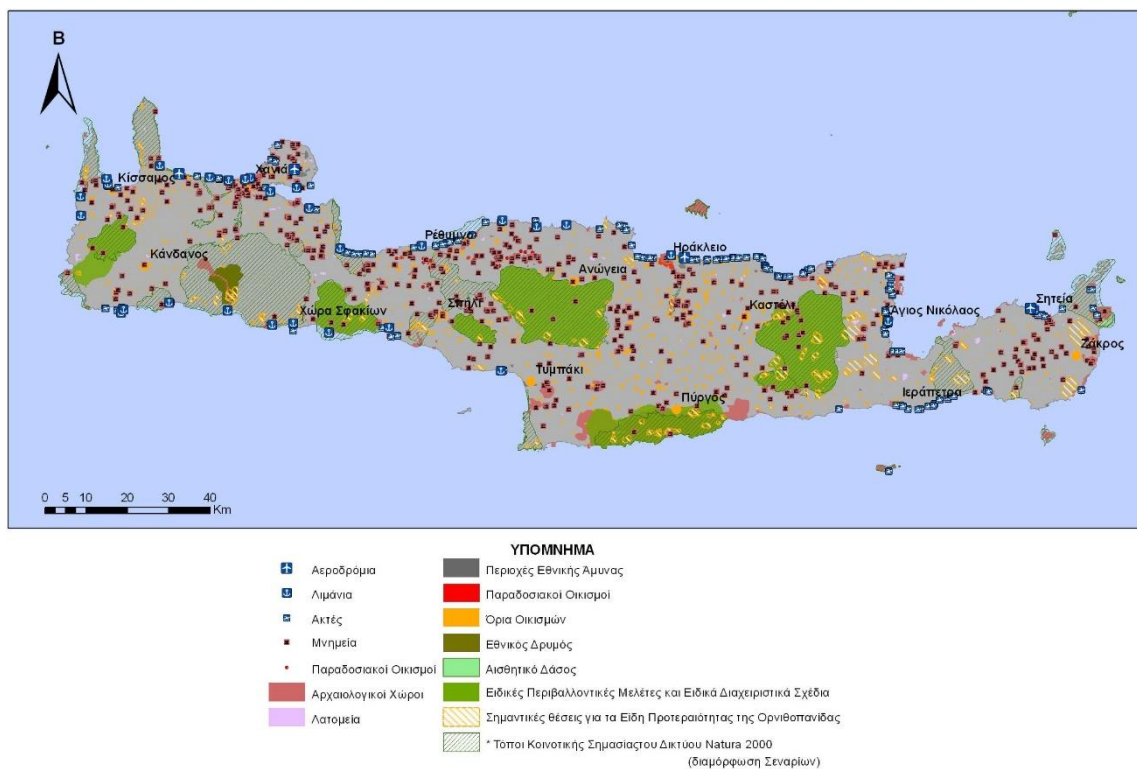
Ο προσδιορισμός των ζωνών αποκλεισμού έγινε από το ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008, άρθρο 10. Στο Χάρτη 4 φαίνονται αναλυτικά οι περιοχές οι οποίες αποκλείστηκαν εξ αρχής από οποιονδήποτε σχεδιασμό.

### 4.2.2 Ελάχιστες αποστάσεις από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος

Ο προσδιορισμός των ελάχιστων αποστάσεων από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος έγινε από το ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008, παράρτημα ΙΙ, πίνακας Β, το οποίο ορίζει ότι η ελάχιστη απόσταση από περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης, οικότοπους προτεραιότητας και πυρήνες εθνικών δρυμών κρίνεται κατά περίπτωση από την εκάστοτε περιβαλλοντική μελέτη ενώ η ελάχιστη απόσταση από ακτές κολύμβησης είναι τα 1.500m. Για τον προσδιορισμό των αποστάσεων που δεν



ορίζονται χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένη ορνιθολογική μελέτη από το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας. Η ορνιθολογική αυτή μελέτη αναφέρει ότι από συγκεκριμένες θέσεις οι οποίες φαίνονται στο Χάρτη 5 (κίτρινη διαγράμμιση) προτείνεται ελάχιστη απόσταση 3.000m.



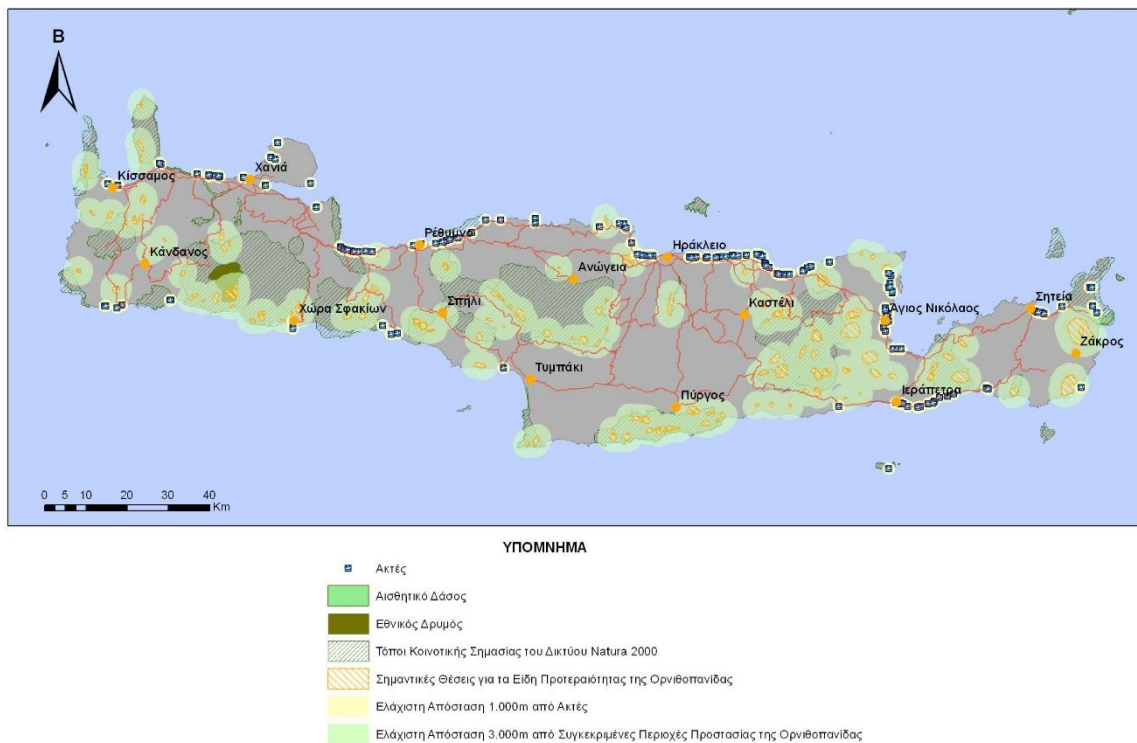
**Χάρτης 4: Ζώνες αποκλεισμού-ασυμβατότητας**

Η απόσταση αυτή προκύπτει από τις ευρωπαϊκές οδηγίες για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων εγκατάστασης ΑΣΠΗΕ σε περιοχές του δικτύου NATURA 2000 και τις βιβλιογραφικές αναφορές στις οποίες οι οδηγίες αυτές βασίστηκαν (Desholm & Kahlert 2005, Drewitt & Langston 2006, 2008, Bright κα. 2009, European Commission 2010).

#### 4.2.3 Ελάχιστες αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς

Ο προσδιορισμός των ελάχιστων αποστάσεων από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς έγινε από το ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008, παράρτημα II, πίνακας Γ. Στο Χάρτη 6 με βυσσινί χρώμα παρουσιάζονται τα κηρυγμένα πολιτιστικά μνημεία και ιστορικοί τόποι και φαίνεται η ελάχιστη απόσταση των 500m που λήφθηκε από αυτά.





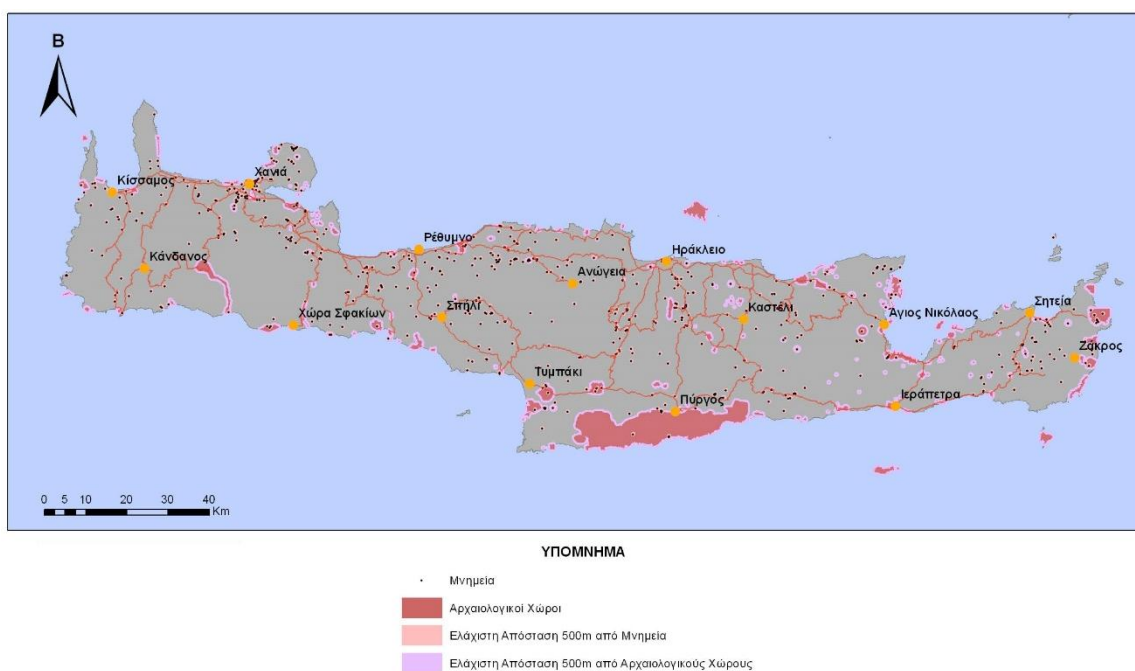
***Χάρτης 5: Ελάχιστες αποστάσεις από περιοχές περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος***

#### **4.2.4 Ελάχιστες αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες**

Ο προσδιορισμός των ελάχιστων αποστάσεων από οικιστικές δραστηριότητες έγινε από το ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008, παράρτημα ΙΙ, πίνακας Δ. Στο χάρτη 7 φαίνεται η ακριβής θέση των πόλεων και οικισμών άνω των 2.000 κατοίκων και των οικισμών κάτω των 2.000 κατοίκων (πορτοκαλί χρώμα).

Σαν παραδοσιακοί οικισμοί (κόκκινο χρώμα) περιλήφθησαν οι κηρυγμένοι παραδοσιακοί οικισμοί από το ΥΠΕΧΩΔΕ και σαν Ιερές Μονές μόνο η κηρυγμένες ιερές μονές η θέση των οποίων προσδιορίστηκε μια προς μια από χάρτες κλίμακας 1:50.000 της ΓΥΣ.

Από τους οικισμούς άνω των 2.000 κατοίκων λήφθηκε σαν ελάχιστη απόσταση τα 1000m και από τους οικισμούς των 2000 κατοίκων λήφθηκε σαν ελάχιστη απόσταση τα 500m. Από τους παραδοσιακούς οικισμούς και τις Ιερές Μονές λήφθηκε σαν ελάχιστη απόσταση τα 1.500m.

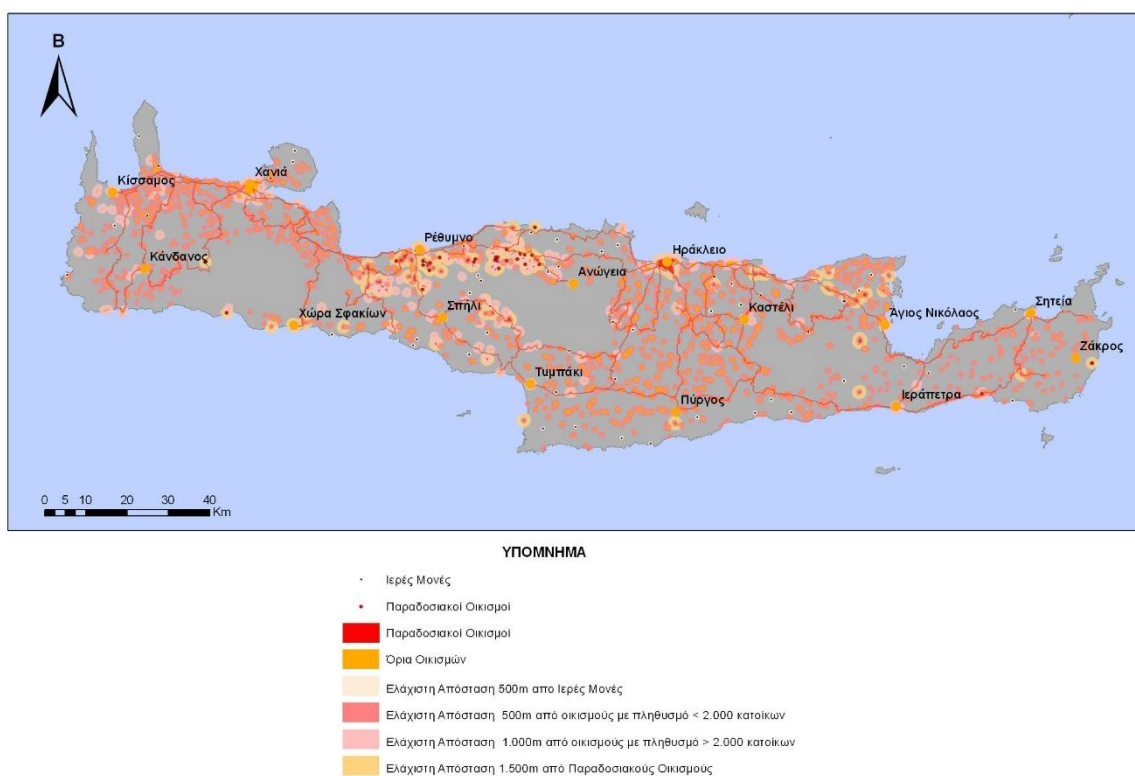


***Χάρτης 6:** Ελάχιστες αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς*

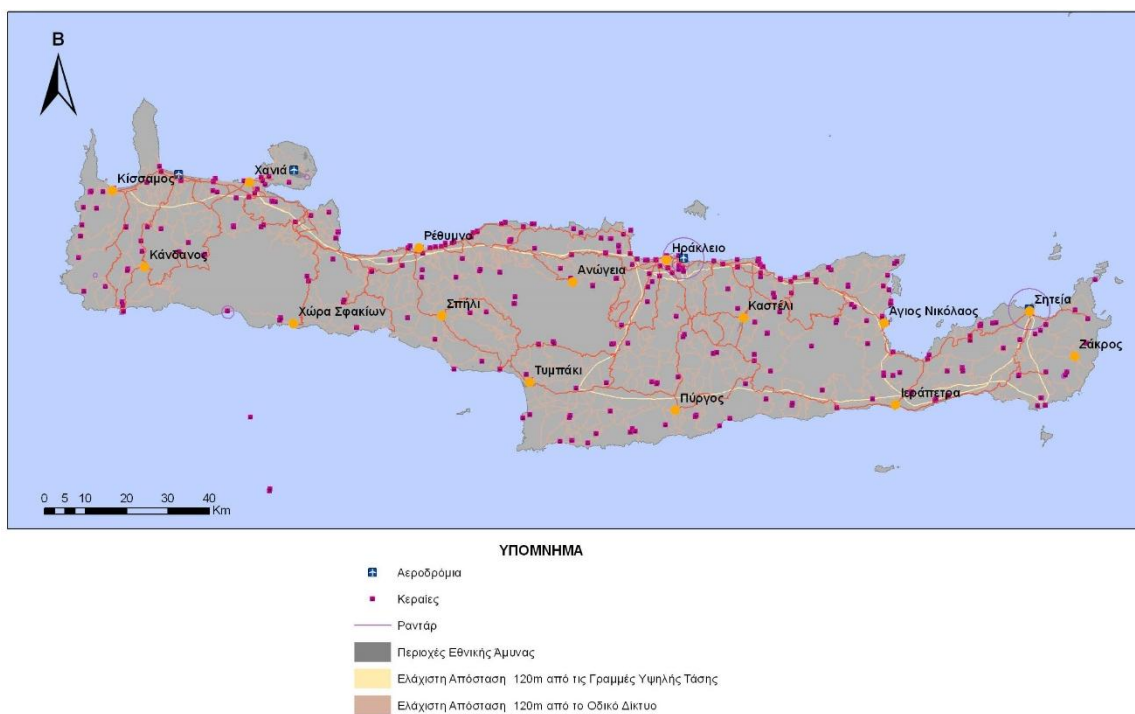
#### **4.2.5 Ελάχιστες αποστάσεις από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικές χρήσεις**

Ο προσδιορισμός των ελάχιστων αποστάσεων από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικές χρήσεις έγινε από το ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008, παράρτημα ΙΙ, πίνακας Ε. Στο Χάρτη 8 φαίνεται το εθνικό, επαρχιακό και κοινοτικό οδικό δίκτυο από το ΥΠΕΧΩΔΕ το οποίο επαληθεύτηκε με βάση αεροφωτογραφίες από το Κτηματολόγιο ΑΕ.

Το ΕΠΧΣΑΑ για τις ΑΠΕ αναφέρει απόσταση ασφαλείας ίση με  $1,5d$  (όπου  $d$  η διάμετρος της φτερωτής της Α/Γ) από τους κύριους οδικούς άξονες οι οποίοι περιλαμβάνουν το εθνικό οδικό δίκτυο σε επίπεδο Κρήτης και τους οδικούς άξονες αρμοδιότητας των ΟΤΑ οι οποίοι όπως αναφέρονται στις διατάξεις των όρθρων 1, 5 και 6 του Ν. 3155/1955 «Περί κατασκευής και συντηρήσεως οδών» (ΦΕΚ Α' 63)<sup>1</sup>, είναι το επαρχιακό και το κοινοτικό οδικό δίκτυο. Στα πλαίσια της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν οι διαστάσεις της τυπικής Α/Γ οπότε αυτή η απόσταση υπολογίστηκε στα 120m. Όσο αναφορά τα δίκτυα υψηλής τάσης αυτά λήφθηκαν από δεδομένα της ΡΑΕ και του ΔΕΣΜΗΕ και διατηρήθηκε από αυτά ελάχιστη απόσταση ασφαλείας 120m.



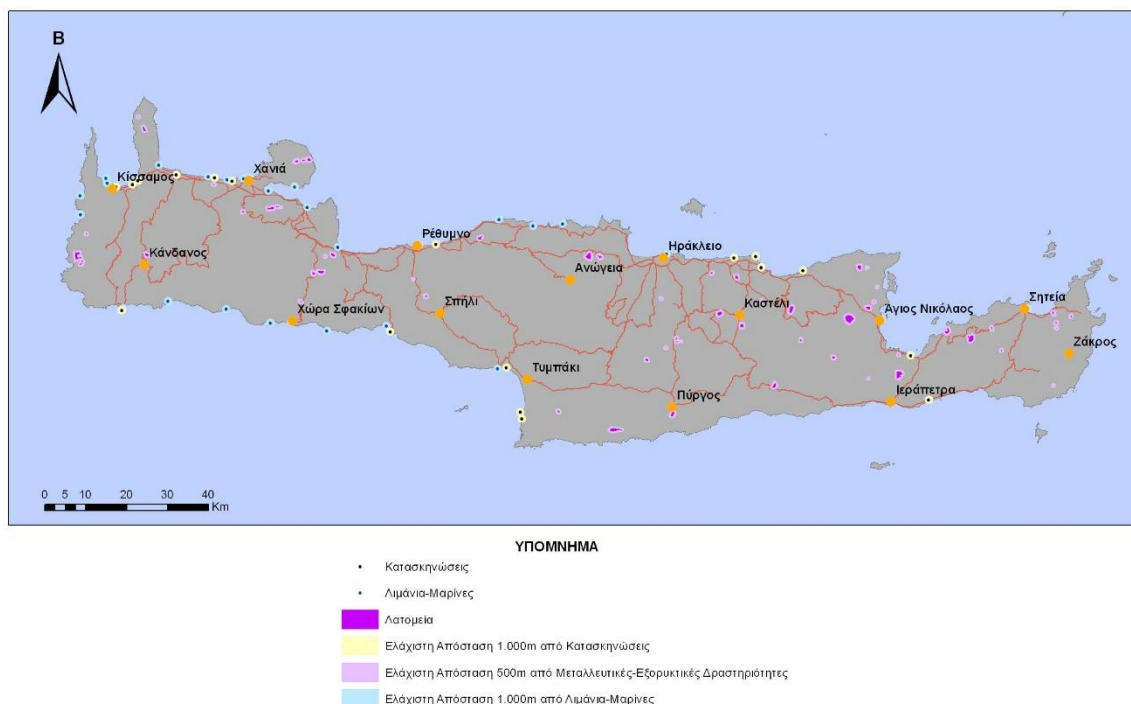
*Χάρτης 7: Ελάχιστες αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες και ιερές μονές*



*Χάρτης 8: Ελάχιστες αποστάσεις από δίκτυα τεχνικής υποδομής και ειδικές χρήσεις*

#### 4.2.6 Ελάχιστες αποστάσεις από ζώνες η εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων

Ο προσδιορισμός των ελάχιστων αποστάσεων από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων έγινε από το ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008, παράρτημα ΙΙ, πίνακας ΣΤ. Όπως φαίνεται και στο Χάρτη 9 οι εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων διαχωρίστηκαν με βάση την δραστηριότητα τους σε δραστηριότητες του πρωτογενή, του δευτερογενή και του τριτογενή τομέα.



**Χάρτης 9:** Ελάχιστες αποστάσεις από ζώνες η εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων

Σαν πρωτογενής τομέας αναφέρεται η γη υψηλής παραγωγικότητας και οι περιοχές κτηνοτροφίας από τις οποίες ορίζεται ελάχιστη απόσταση τα 120 m.

Ως δευτερογενής τομέας αναφέρονται οι μεταλλευτικές – εξορυκτικές δραστηριότητες όπως είναι τα λατομεία που η ελάχιστη απόσταση που λήφθηκε είναι τα 500m

Ο τριτογενής τομέας αναφέρεται σε τουριστικές δραστηριότητες στις οποίες συμπεριλήφθηκαν οι κατασκηνώσεις, λιμάνια και μαρίνες και τα ξενοδοχεία από τα οποία ελάχιστη απόσταση τα 1.000m.

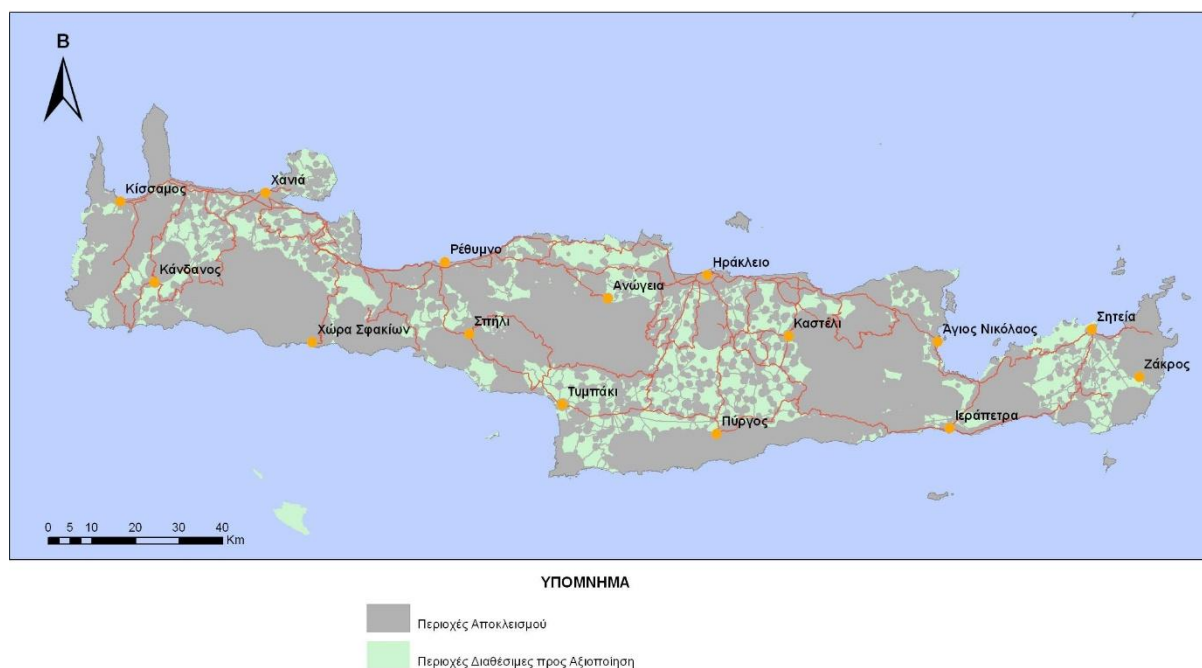
#### 4.2.7 Δίκτυο Natura 2000

Κρίνεται από τον μελετητή να συμπεριληφθούν οι ΤΚΣ του δικτύου Natura 2000 στις περιοχές αποκλεισμού και να εξαιρεθούν από οποιαδήποτε διαδικασία αξιολόγησης επειδή η προστασία του περιβάλλοντος είναι ένας από τους βασικότερους πυλώνες της αειφορίας.

#### 4.3 Προσδιορισμός Διαθέσιμων Περιοχών μετά από τα κριτήρια αποκλεισμού

Μετά την εφαρμογή των θεσμοθετημένων κριτηρίων χωροθέτησης είναι δυνατό να αποσαφηνιστεί η εικόνα των διαθέσιμων περιοχών για εγκατάσταση ΑΠΕ. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τα αποτελέσματα από την ανάλυση για τα δεδομένα της Κρήτης.

Όπως φαίνεται στο Χάρτη 10, οι εναπομείνουσες περιοχές που προκύπτουν μετά την εφαρμογή των κριτηρίων αποκλεισμού καλύπτουν το ¼ της συνολικής έκτασης του νησιού.



*Χάρτης 10: Διαθέσιμες περιοχές*

Η μελέτη θα ασχοληθεί αποκλειστικά με τις διαθέσιμες περιοχές που εντοπίζονται στον Χάρτη 10, οι οποίες θα διαχωριστούν βάση κάποιων κριτηρίων που επιλέχθηκαν και θα ιεραρχηθούν με γνώμονα τη βιωσιμότητα εγκατάστασης αιολικών εγκαταστάσεων τόσο από την πλευρά της

διατήρησης των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της Κρήτης όσο και από την πλευρά της βέλτιστης δυνατής εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού.

#### 4.3.1 Προσδιορισμός περιοχών κατάλληλης χωροθέτησης ανεμογεννητριών.

Ο προσδιορισμός των κατάλληλων περιοχών για χωροθέτηση Α/Γ στα παραπάνω έγινε σε περιοχές που δεν αποτελούν ΤΚΣ (Τόπους Κοινοτικής Σημασίας) του δικτύου Natura 2000, ικανοποιούν τα κριτήρια της κείμενης νομοθεσίας (Χάρτης 10) και έχουν αιολικό δυναμικό μεγαλύτερο από 8 m/s.

Στον Πίνακα 34 περιγράφεται αναλυτικά για κάθε ΠΕ η συνολική έκταση των περιοχών κατάλληλης χωροθέτησης.

Αιολικό Δυναμικό	Κατάλληλες Περιοχές Χωροθέτησης ΑΠΕ (Στρέμματα)
Νομός Χανίων	
>8 m/s	171.952
Νομός Ρεθύμνου	
>8 m/s	80.082
Νομός Ηρακλείου	
>8 m/s	135.593
Νομός Λασιθίου	
>8 m/s	234.422

**Πίνακας 25:** Περιοχές κατάλληλης χωροθέτησης Α/Γ ανά ΠΕ

#### 4.3.2 Προσδιορισμός Φέρουσας Ικανότητας περιοχών κατάλληλης χωροθέτησης ΑΠΕ

Ως φέρουσα ικανότητα (carrying capacity) περιοχών εγκατάστασης αιολικών πάρκων ορίζεται ο μέγιστος αριθμός τυπικών Α/Γ που επιτρέπεται να εγκατασταθούν σε μια ενότητα χώρου χωρίς να αλλοιώνονται, τα βασικά χαρακτηριστικά της.

Σημειώνεται ότι, η «φέρουσα ικανότητα» είναι δυναμική έννοια, που υποδεικνύει ένα «όριο» το οποίο μπορεί διαχρονικά να μεταβάλλεται, δεδομένου ότι τα φυσικά και ανθρώπινα οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από έντονη εξελικτική δυναμική, με συνεχείς αλλαγές και προσαρμογές.

Για τη χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων στα κατοικημένα νησιά του Αιγαίου και Ιονίου Πελάγους και στην Κρήτη πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ότι το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό

κάλυψης εδαφών σε επίπεδο πρωτοβάθμιου ΟΤΑ δεν μπορεί να υπερβαίνει το 4% ανά ΟΤΑ (ΕΠΧΣΑΑ, Άρθρο 8).

Γενικά, στους περισσότερους ΟΤΑ, η έκταση των περιοχών βιώσιμης χωροθέτησης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη του 4% της έκτασης των ΟΤΑ. Αυτό σημαίνει ότι ουσιαστικά υπάρχει δυνατότητα να καλυφθεί το 4% στην πλειοψηφία των ΟΤΑ και αναδεικνύει την αναγκαιότητα τοποθέτησης ΑΠΕ σε περιοχές απόλυτα καθαρές από οποιαδήποτε άποψη καθώς οι περιοχές αυτές είναι κατά πολύ περισσότερες από τις επιτρεπόμενες. Επίσης, παρατηρείται ότι ακόμα και με την τοποθέτηση τυπικών Α/Γ με μέση ισχύ 2 MW, οι οποίες θεωρούνται σχετικά μικρές μπορεί να παραχθεί από Αιολικά σημαντική ισχύς των 1.103MW για την ΠΕ Χανίων, 604MW για την ΠΕ Ρεθύμνου, 1.114MW για την ΠΕ Ηρακλείου και 895MW για την ΠΕ Λασιθίου.

Συνολικά σε επίπεδο Κρήτης έχουμε 620.000 διαθέσιμα στρέμματα περιοχών βιώσιμης χωροθέτησης, τα οποία περιορίζονται λόγω του άρθρου 8 στο ΕΠΧΣΑΑ σε 282.000 στρέμματα, τα οποία μπορούν να παράγουν κατά προσέγγιση 3.700 MW ενέργειας, εάν χωροθετηθούν 1.800 τυπικές Α/Γ των 2 MW.

Παραπομπή: Τσίτουρα Ι., 2010: Βιώσιμη χωροθέτηση αιολικών πάρκων - Μελέτη περίπτωσης στην περιφέρεια Κρήτης.

### **Υπολογισμοί μελέτης**

Όλοι οι υπολογισμοί της παρούσας μελέτης έγιναν με βάση την Α/Γ (Vestas V80) που είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες Α/Γ με διάμετρο πτερυγίου D 85m και μέση ισχύ 2 MW.

Για τον υπολογισμό της κάλυψης ευρύτερων περιοχών χωροθέτησης με πολλές συστοιχίες Α/Γ με διάταξη NxM (γραμμική και παράλληλη διάταξη) και με μεταξύ τους αποστάσεις 3 διαμέτρων ( $3*D$ ) και 7 διαμέτρων ( $7*D$ ), αντίστοιχα, και για πλήθος τέτοιο ώστε  $N*M \approx (N-1)*(M-1)$  και όπου η μέση διάμετρος της Α/Γ είναι 85m και η μέση ισχύς 2 MW καταλήγουμε ότι η κάλυψη ανά Α/Γ είναι :  $3*85*7*85/2=75,86$  στρέμματα/MW.

Με τον τρόπο αυτό τα 75,86 στρέμ. /MW είναι τεχνικός συντελεστής, ο οποίος προκύπτει από για μια τυπική Α/Γ και θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για να προσδιοριστεί η φέρουσα ικανότητα, σε



επίπεδο ισχύος (MW) μίας ευρύτερης περιοχής. Σε επίπεδο τελικής χωροθέτησης έργων όμως, η παράμετρος που θα καθορίσει την κάλυψη ανά Α/Γ είναι η διάμετρος του πτερυγίου.

Το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης 15 μονάδων Vestas V-80, 2 MW η κάθε μια, είναι περίπου 50 εκατομμύρια ευρώ.

Έστω ότι θέλουμε να καλύψουμε μία ζήτηση 30 MW. Το προς εγκατάσταση αιολικό πάρκο απαιτεί έκταση μεγέθους περίπου  $75.86 \text{ στρέμ.} / \text{MW} * 30 \text{ MW} = 2276 \text{ στρέμ.}$

Άρα αναζητούμε συνολικά 2276 στρέμματα γης σύμφωνα με τις προϋποθέσεις της μελέτης μας.

Επίσης το κόστος για την διάνοιξη και κατασκευή δρόμου σύνδεσης του Αιολικού πάρκου με τον οδικό άξονα υπολογίζεται σε 60 ευρώ ανά μέτρο.

Παραπομπή: [http://users.sch.gr/imarinakis/aeolian\\_energy.htm](http://users.sch.gr/imarinakis/aeolian_energy.htm)  
<http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm>

#### **4.3.3 Ανάλυση των κριτηρίων αξιολόγησης**

Για την ιεράρχηση των διαθέσιμων περιοχών του Χάρτη 10 για τη χωροθέτηση αιολικών πάρκων χρησιμοποιήθηκαν είκοσι ένα κριτήρια. Αυτά περιλαμβάνουν αποστάσεις από περιοχές που ενώ το ΕΠΧΣΑΑ για τις ΑΠΕ αναφέρει ότι θα πρέπει να τηρηθούν κάποιες αποστάσεις αλλά δεν τις ορίζει με ακρίβεια, καθώς κατά περίπτωση πρέπει είτε να γνωμοδοτήσει ο αντίστοιχος φορέας (πχ. αποστάσεις από αεροδρόμια, από κεραίες και radar κα.) είτε να κριθούν στο πλαίσιο της ΕΠΟ ή της ΕΠΜ (π.χ. απόσταση από εθνικούς δρυμούς Τόπους Κοινοτικής Σημασίας κα). Επιπλέον, στα κριτήρια αυτά περιλαμβάνονται κάποια κριτήρια όπως αυτό της απόστασης από βασικά ποτάμια και λίμνες, τα οποία στην Ελλάδα δεν έχουν προβλεφθεί αλλά στο εξωτερικό και στη βιβλιογραφία συναντώνται συχνά, οπότε κρίθηκε σωστό να συμπεριληφθούν στην αξιολόγηση (Baban και Parry, 2001 ; Bennui κα, 2007 ; Hansen, 2003).

Ένα ακόμη κριτήριο που συμπεριλήφθηκε στη μελέτη είναι το κριτήριο των κλίσεων του εδάφους, το οποίο θεωρήθηκε σημαντικό να μελετηθεί στη χωροταξική κλίμακα. Οι περιοχές με πολύ μεγάλες κλίσεις, οι οποίες απαιτούν πολλές χωματουργικές εργασίες τόσο για την τοποθέτηση όσο και για τη μεταφορά των Α/Γ, έχουν ως αποτέλεσμα την έντονη αλλοίωση του φυσικού τοπίου και έτσι με το



κριτήριο των κλίσεων μειώνεται το ποσοστό προτεραιότητας τους. Συνοδευτικά για τη μελέτη των κλίσεων και τον έλεγχο των χαράξεων απαιτείται εξειδικευμένη μελέτη για κάθε περιοχή ανά περίπτωση.

Θεωρούμε ότι το κόστος εγκατάστασης όπως η απόκτηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, οι τεχνολογικές εγκαταστάσεις και άλλες παρεπόμενες κατασκευαστικές εργασίες, είναι σταθερό για τη τεχνολογία των Α/Γ που μελετάμε και μεταβάλλεται γραμμικά με την αύξηση της ζήτησης.

Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των περιοχών προς χωροθέτηση ΑΠΕ και ορισμένα οικονομικά και τεχνικά κριτήρια.

Τα κριτήρια συγκριτικής αξιολόγησης που λήφθηκαν υπόψιν για την επιλογή της καλύτερης περιοχής προς χωροθέτηση Α/Γ ομαδοποιούνται σε 4 κατηγορίες:

- Περιβαλλοντολογικά (E1: Απόσταση από Εθνικούς Δρυμούς, Αισθητικά Δάση και Τόπους Κοινοτικής Σημασίας του δικτύου Natura 2000, E2: Απόσταση από ποτάμια και λίμνες, E3: Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα, E4: Όχληση (θόρυβος, οπτική κτλ.), E5: Απόσταση από Αρχαιολογικούς Χώρους, E6: Απόσταση από κεραίες και radar, E7: Απόσταση από Αεροδρόμια και Εγκαταστάσεις Εθνικής Άμυνας, E8: Απόσταση από κατοικημένες περιοχές)
- Οικονομικά (O1: Κόστος Οικοπέδου, O2: Εξασφάλιση Προσβασιμότητας, O3: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης, O4: Δυσκολία αδειοδότησης / δυνατότητα υλοποίησης της επένδυσης)
- Τεχνικά (T1: Απόσταση από Γραμμές Υψηλής Τάσης, T2: Απόσταση από Βασικό Οδικό Δίκτυο, T3: Κλίση του εδάφους, T4: Αιολικό Δυναμικό, T5: Χρόνος Υλοποίησης, T6: Μέγιστο δυναμικό που μπορεί να εγκατασταθεί)
- Κοινωνικά (S1: Τοπική Απασχόληση, S2: Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία, S3: Κοινωνική Αποδοχή).

Επίσης χαρακτηρίζονται σε ποσοτικά ή ποιοτικά, διακριτά ή συνεχή και είναι ανοδικά ή φθίνοντα. Σε κάθε κριτήριο αναλογεί μία κλίμακα μέτρησης και αντιστοιχίζεται από μια χειρότερη και μια καλύτερη τιμή.

### **Κριτήριο E1: Απόσταση από Εθνικούς Δρυμούς, Αισθητικά Δάση και Τόπους Κοινοτικής Σημασίας του δικτύου Natura 2000**

Το ΕΠΧΣ ΑΠΕ δεν αναφέρει ρητά την ελάχιστη απόσταση Εθνικούς Δρυμούς, τους Τόπους Κοινοτικής Σημασίας του δικτύου Natura 2000, αισθητικά δάση και βασικά ποτάμια και λίμνες. Για αυτό τον λόγο έγινε αναζήτηση από έγκυρες διεθνείς επιστημονικές πηγές για παρόμοιες πρακτικές (Haaren και Fthenakis, 2011 ; Bennui κα, 2007).

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι ανοδικό και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως χειρότερη τιμή τα 600 μέτρα και ως καλύτερη τιμή τα 3000 μέτρα.

### **Κριτήριο E2: Απόσταση από ποτάμια και λίμνες**

Όπως αναφέρει ο Bennui κα. 2007, η Κρήτη λόγω του νησιώτικου χαρακτήρα της δεν διαθέτει ιδιαίτερα μεγάλα ποτάμια και λίμνες, όσα όμως διαθέτει χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά και επιβάλλεται η απόλυτη διατήρησή τους.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι ανοδικό και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως χειρότερη τιμή τα 600 μέτρα και ως καλύτερη τιμή τα 3000 μέτρα.

### **Κριτήριο E5: Απόσταση από Αρχαιολογικούς Χώρους**

Στην περίπτωση των Αρχαιολογικών Χώρων το χωροταξικό αναφέρει ότι επιβάλλεται να διατηρηθεί απόσταση τουλάχιστον 500m (ΥΠΕΚΑ, 2008) αλλά δεν ορίζει με σαφήνεια ποια θα ήταν η βέλτιστη από αυτά απόσταση.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι ανοδικό και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως χειρότερη τιμή τα 2000 μέτρα και ως καλύτερη τιμή τα 7000 μέτρα.

### **Κριτήριο E6: Απόσταση από κεραίες και radar**

Οι Α/Γ είναι πιθανό να επιδράσουν σε ηλεκτρομαγνητικά σήματα ευρέως φάσματος σύγχρονων ηλεκτρομαγνητικών συστημάτων, γι' αυτό και η εγκατάστασή τους πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά,

συνεκτιμώντας αυτόν τον παράγοντα. Το ΕΠΧΣΑΑ για τις ΑΠΕ (ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008) απαιτεί σε κάθε περίπτωση εγκατάστασης γνωμοδότηση του κατάλληλου φορέα.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι ανοδικό και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως χειρότερη τιμή τα 1200 μέτρα και ως καλύτερη τιμή τα 5000 μέτρα.

#### **Κριτήριο E7: Απόσταση από Αεροδρόμια και Εγκαταστάσεις Εθνικής Άμυνας**

Οι λόγοι που απαιτούνται ελάχιστες αποστάσεις τοποθέτησης ανεμογεννητριών από εγκαταστάσεις εθνικής άμυνας και αεροδρόμια σχετίζονται κατά πολύ με το κριτήριο των ελάχιστων αποστάσεων από κεραίες και radar. Λόγω της μέγιστης κρισιμότητας αυτού του κριτηρίου, καθώς αν δημιουργηθεί πρόβλημα με την μετάδοση και επικοινωνία τόσο της βάσης εθνικής άμυνας όσο και του αεροδρομίου οι συνέπειες θα είναι πολλαπλές, τα ελάχιστα αποδεκτά όρια τοποθέτησης έχουν διευρυνθεί κατά πολύ.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι ανοδικό και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως χειρότερη τιμή τα 1200 μέτρα και ως καλύτερη τιμή τα 5000 μέτρα.

#### **Κριτήριο T1: Απόσταση από Γραμμές Υψηλής Τάσης**

Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ, (2008) η απόσταση από τις γραμμές υψηλής τάσης είναι ένας σημαντικός παράγων που επηρεάζει το κόστος παραγωγής ενέργειας. Όσο πιο κοντά είναι το αιολικό πάρκο σε γραμμές Υψηλής Τάσης τόσο μειώνονται τα κόστη για τη διασύνδεση του με αυτές, για την κατασκευή υποσταθμών κτλ.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι φθίνον και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως καλύτερη τιμή τα 120 μέτρα και ως χειρότερη τιμή τα 2000 μέτρα.

#### **Κριτήριο T2: Απόσταση από Βασικό Οδικό Δίκτυο**

Το κριτήριο των ελάχιστων αποστάσεων από τις Γραμμές Υψηλής Τάσης και το Βασικό Οδικό Δίκτυο διαφέρει από τα υπόλοιπα και οι ιδιαιτερότητά του αυτή το καθιστά κρίσιμο για την βιωσιμότητα του συνολικού έργου. Αρχικά το ΕΠΧΣΑΑ για τις ΑΠΕ ορίζει σαν ελάχιστη απόσταση ασφαλείας τα 120m (1,5D), όμως από εκεί και πέρα όσο μικρότερη είναι η απόσταση τόσο πιο

ευνοϊκό είναι για την βιώσιμη χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων. Αυτό συμβαίνει διότι - όσο πιο κοντά βρίσκεται η Α/Γ στο υπάρχον οδικό δίκτυο από το οποίο συνηθίζεται να περνάνε και οι γραμμές υψηλής τάσης - τόσο μικρότερες θα είναι οι παρεμβάσεις στο γειτονικό περιβάλλον για τη διάνοιξη δρόμων και την διασύνδεση του αιολικού και τόσο καταστέλλονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από αυτό. Επίσης μειώνεται και το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης της Α/Γ.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι φθίνον και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως καλύτερη τιμή τα 120 μέτρα και ως χειρότερη τιμή τα 2000 μέτρα.

### **Κριτήριο T3: Κλίση του εδάφους**

Όπως είδαμε και στο Χάρτη 3, η Κρήτη παρουσιάζει ιδιαίτερα πλούσιο φυσικό ανάγλυφο γεγονός που δυσκολεύει κατά πολύ την χωροθέτηση μεγάλης έκτασης αιολικών πάρκων. Οι πολύ απότομες κλίσεις και η μη αρμονική διάταξη των πλαγιών και των βουνοκορφών στην περιοχή χωροθέτησης κάνει αναγκαία την δημιουργία πολλών χωματουργικών εργασιών και πολλών υποέργων εξομάλυνσης αυτών των κλίσεων.

Το γεγονός αυτό επηρεάζει το φυσικό τοπίο σε μεγάλο βαθμό και εντείνει το πρόβλημα της αισθητικής ένταξης του συνολικού έργου. Η νομοθεσία δεν έχει θεσπίσει συγκεκριμένο κριτήριο για το ποσοστό κλίσης των προβλεπόμενων εδαφών, παρόλα αυτά στην παρούσα εργασία, τέθηκε η κλίση 15 % ως κατάλληλη και από εκεί αναλογικά διαμορφώθηκαν και οι υπόλοιπες κατηγοριοποιήσεις.

Οι προτεινόμενες περιοχές σαν σύνολο εκπληρώνουν όλες το κριτήριο της ομαλής κλίσης των εδαφών, επιβάλλεται όμως σε κάθε εξειδικευμένη μελέτη χωροθέτησης η λεπτομερής μελέτη της συνολικής περιοχής παρέμβασης καθώς μπορεί η ακριβής περιοχή χωροθέτησης να συγκεντρώνει ομαλές κλίσεις αλλά περιμετρικά αυτής οι κλίσεις να είναι τόσο μεγάλες που να απαιτούνται έργα μεγάλης κλίμακας για την προετοιμασία των δικτύων και των δρόμων πρόσβασης σε αυτό.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε ποσοστιαία κλίμακα από 0 έως 15. Είναι φθίνον και διακριτό και ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 15 και ως καλύτερη τιμή το 0.

#### **Κριτήριο T4: Αιολικό Δυναμικό**

Είναι φανερό ότι το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης μίας ανεμογεννήτριας δεν είναι αμελητέο. Έτσι η επιλογή της τοποθεσίας για την εγκατάστασή της έχει μεγάλη σημασία για να επιτευχθεί η οικονομικότερη και πλέον αποδοτική λύση.

Η μελέτη των ανεμολογικών δεδομένων κάποιας περιοχής είναι απαραίτητη τόσο για την εκτίμηση της καταλληλότητας της δεδομένης θέσης, όσο και για τον καθορισμό του πλέον κατάλληλου τύπου ανεμογεννήτριας.

Γενικά, μετά από βιβλιογραφική διερεύνηση (Τεγου κα, 2000 ; Bennui κα, 2007) προκύπτει ότι μια περιοχή εγκατάστασης θεωρείται ότι έχει καλό αιολικό δυναμικό όταν η μέση ταχύτητα ανέμου σε ύψος 50m είναι πάνω από 8 m/s. Αυτό το κριτήριο έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα, καθώς είναι το σημαντικότερο για την παραγωγή ενέργειας του έργου.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτα. Είναι ανοδικό και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως χειρότερη τιμή τα 8 m/s και ως καλύτερη τιμή τα 13 m/s.

#### **Κριτήριο E8: Απόσταση από κατοικημένες περιοχές**

Ο προσδιορισμός των ελάχιστων αποστάσεων από οικιστικές δραστηριότητες έγινε από το ΦΕΚ 2464/ 3/12/2008, παράρτημα II, πίνακας Δ.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μέτρα. Είναι ανοδικό και συνεχές και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ορίζουμε ως χειρότερη τιμή τα 1500 μέτρα και ως καλύτερη τιμή τα 8000 μέτρα.

#### **Κριτήριο S3: Κοινωνική αποδοχή**

Το κριτήριο αναφέρεται στην συναίνεση μεταξύ των κοινωνικών εταίρων, αποφεύγοντας τις αντιδράσεις από κοινωνικές ομάδες ειδικού ενδιαφέροντος για τις ενεργειακές πολιτικές. Ύστερα από τη μελέτη για την αξιολόγηση κατάλληλων περιοχών στο νησί της Κρήτης η οποία έλαβε υπόψιν την εφαρμογή της Εθνικής και Ευρωπαϊκή περιβαλλοντολογικής πολιτικής καθώς και την οποία πιθανή, επιβλαβή επίδραση στη τοπική οικονομία, τοπικά οικοσυστήματα κτλ., το κριτήριο αυτό είναι δύσκολο να εκτιμηθεί επακριβώς.

Το κριτήριο είναι ποιοτικό και μετριέται σε κλίμακα από 1 έως 5, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 26. Είναι ανοδικό, διακριτό και ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 1 και ως καλύτερη τιμή το 5.

### Κριτήριο S5: Όχληση

Το κριτήριο αναφέρεται τόσο στην οπτική όσο και στην ηχητική όχληση που προέρχεται από τις εγκαταστάσεις των ανεμογεννητριών.

Το κριτήριο είναι ποιοτικό και μετριέται σε κλίμακα από 1 έως 3, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 27. Είναι ανοδικό, διακριτό και ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 1 και ως καλύτερη τιμή το 3.

Κοινωνική αποδοχή	Βαθμολογία περιοχής
Η περιοχή έχει κοινωνικές ιδιαιτερότητες, που δυσκολεύουν την εγκατάσταση πάρκων.	1
Οι απόψεις του πληθυσμού διίστανται.	2
Η πλειοψηφία δέχεται τις εγκαταστάσεις, δεδομένου ότι βρίσκονται μακριά από κατοικημένες περιοχές και συγχρόνως δεν υπάρχει καμία βλάβη στο τοπίο.	3
Η πλειοψηφία δέχεται τις εγκαταστάσεις, δεδομένου ότι βρίσκονται μακριά από κατοικημένες περιοχές.	4
Η πλειοψηφία είναι υπέρ των εγκαταστάσεων.	5

**Πίνακας 26:** Κριτήριο κοινωνικής αποδοχής

Όχληση	Βαθμολογία περιοχής
Σημαντική όχληση σε απόσταση μικρότερη από τα 400 μέτρα	1
Μικρή όχληση από 400 μέχρι 1500 μέτρα	2
Καμία όχληση άνω των 1500 μέτρων	3

**Πίνακας 27:** Κριτήριο όχλησης

### Κριτήριο O1: Κόστος οικοπέδου

Επομένως το κριτήριο αυτό επηρεάζεται μόνο από το συνολικό κόστος του οικοπέδου σύμφωνα με τις προϋποθέσεις της μελέτης μας.

Το βάρος του κριτηρίου επηρεάζεται από το βαθμό που επιδοτείται το έργο από προγράμματα όπως Ευρωπαϊκά, Περιφερειακά κτλ.. Για μεγαλύτερο ποσοστό επιδότησης, μειώνεται και η σημασία του κριτηρίου.

Μετριέται ποσοτικά σε εκατομμύρια ευρώ. Είναι φθίνον, συνεχές και ορίζουμε ως καλύτερη τιμή το 0 και ως χειρότερη τιμή τα 50 εκατομμύρια ευρώ.

#### **Κριτήριο T5: Δυσκολία αδειοδότησης και δυνατότητα υλοποίησης της επένδυσης**

Το κριτήριο μελετάει εάν η τοποθεσία του έργου έχει τις απαιτούμενες άδειες και εγκρίσεις καθώς επίσης εάν ανήκει στο δημόσιο, σε ιδιωτικό φορέα ή εάν επικρατούν άλλες συνθήκες.

Το κριτήριο είναι ποιοτικό και μετριέται σε κλίμακα από 1 έως 3, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 28. Είναι ανοδικό, διακριτό και ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 1 και ως καλύτερη τιμή το 3.

Δυσκολία αδειοδότησης και δυνατότητα υλοποίησης της επένδυσης	Βαθμολογία περιοχής
Δεν υπάρχουν απαιτούμενες άδειες και εγκρίσεις ή / και τοποθεσία που η κυριότητά της είναι υπό αμφισβήτηση (καταπατημένη, εκκρεμεί δικαστική απόφαση κτλ.).	1
Οι απαιτούμενες άδειες και εγκρίσεις είναι υπό έκδοση ή / και η τοποθεσία ανήκει είτε ολικώς σε ένα φυσικό πρόσωπο είτε σε ιδιωτικό φορέα είτε μερικώς σε ένα φυσικό πρόσωπο και το υπόλοιπο στο δημόσιο.	2
Οι απαιτούμενες άδειες και εγκρίσεις έχουν εκδοθεί ή / και η τοποθεσία ανήκει ολικώς στο δημόσιο.	3

***Πίνακας 28:** Κριτήριο δυσκολίας αδειοδότησης και δυνατότητα υλοποίησης της επένδυσης*

#### **Κριτήριο T5: Χρόνος Υλοποίησης**

Το κριτήριο μετρά το χρόνο κατασκευής και το χρόνο εφαρμογής, δηλαδή τη παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε μήνες. Επίσης είναι ανοδικό, διακριτό και ορίζουμε ως καλύτερη τιμή τους 8 μήνες και χειρότερη τιμή τους 24 μήνες.

#### **Κριτήριο T6: Μέγιστο δυναμικό που μπορεί να εγκατασταθεί**

Το κριτήριο μετρά τη μέγιστη τιμή που μπορεί να υποστηρίξει μια περιοχή σε εγκαταστάσεις ΑΠΕ.

Όπως προαναφέρθηκε αναζητούμε 2276 στρέμματα εκτάσεων για να εγκαταστήσουμε Α/Γ συνολικής ισχύος 30 MW.

Το κριτήριο είναι ποσοτικό και μετριέται σε MW συνολικής ισχύος που μπορεί να υποστηρίξει η εν λόγω περιοχή. Επίσης είναι ανοδικό και συνεχές. Ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 30 και καλύτερη τιμή το 500.

### **Κριτήριο O2: Εξασφάλιση Προσβασιμότητας**

Το κριτήριο υπολογίζει το κόστος για τη διάνοιξη, κατασκευή τεχνικών έργων και αμμοχαλικόστρωση δρόμου για τη σύνδεση του αιολικού πάρκου με οδικό άξονα.

Μετριέται ποσοτικά σε χιλιάδες ευρώ. Είναι φθίνον, συνεχές και ορίζουμε ως καλύτερη τιμή το 0 και χειρότερη τιμή τα 120 χιλιάδες ευρώ.

### **Κριτήριο O3: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης**

Οι δαπάνες για τη λειτουργία και τη συντήρηση του πάρκου μεταβάλλονται σύμφωνα με τη τοποθεσία της εγκατάστασης. Συγκεκριμένα σημαντικό ρόλο έχει η απόσταση από τις γραμμές Υ/T για τη κατασκευή υποσταθμών, στύλων ΔΕΗ, καλωδίων σύνδεσης καθώς επίσης η πρόσβαση σε βασικό οδικό δίκτυο.

Θεωρούμε ότι οι μηνιαίες συντηρήσεις και η διάθεση προσωπικού για τα συγκεκριμένα πάρκα είναι σταθερές.

Μετριέται ποσοτικά σε χιλιάδες ευρώ ανά έτος. Είναι φθίνον και συνεχές και ορίζουμε ως καλύτερη τιμή το 0 και χειρότερη τιμή τα 10 χιλιάδες ευρώ ανά έτος.

### **Κριτήριο S1: Τοπική Απασχόληση**

Το κριτήριο αυτό υπολογίζει το συνολικό κοινωνικό και οικονομικό αντίκτυπο που μπορεί να γίνει αντιληπτό στις περιοχές που στεγάζουν τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το κριτήριο είναι ποιοτικό και μετριέται σε κλίμακα από 1 έως 5, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 29. Είναι ανοδικό, διακριτό και ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 1 και ως καλύτερη τιμή το 5.



## Κριτήριο S2: Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία

Το κριτήριο αναφέρεται στην ενίσχυση της επιχειρηματικής δραστηριότητας στη περιοχή που επηρεάζεται από το αιολικό πάρκο. Περιλαμβάνει επίσης ενοίκιο διέλευσης από αγροτικούς δρόμους ή συντήρηση τους και γενικότερα έργα για ευνοϊκότερες συνθήκες διαβίωσης, πχ γήπεδα, πάρκα κτλ.

Το κριτήριο είναι ποιοτικό και μετριέται σε κλίμακα από 1 έως 3, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 30. Είναι ανοδικό, διακριτό και ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 1 και ως καλύτερη τιμή το 3.

Τοπική Απασχόληση	Βαθμολογία περιοχής
Μηδαμινός αντίκτυπος στην τοπική απασχόληση	1
Ανεπαίσθητος αντίκτυπος στην τοπική απασχόληση	2
Μέσος αντίκτυπος στην τοπική απασχόληση (μόνο λίγοι μόνιμοι εργασιακοί χώροι)	3
Μέσος προς υψηλός αντίκτυπος στην τοπική απασχόληση (δημιουργία νέων εργασιακών χώρων και ανάπτυξη μιας αλυσίδας επιχειρήσεων στον τομέα της ενεργειακής παραγωγής)	4
Πολύ σθεναρός αντίκτυπος σε τοπική απασχόληση (ισχυρή ώθηση στην τοπική ανάπτυξη)	5

**Πίνακας 29: Τοπική Απασχόληση**

Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία	Βαθμολογία περιοχής
Μηδαμινά οφέλη στην τοπική κοινωνία	1
Μέσα οφέλη στην τοπική κοινωνία (μόνο μικρή προσφορά)	2
Πολύ μεγάλα οφέλη στην τοπική κοινωνία (μεγάλη προσφορά στην επιχειρηματική δραστηριότητα της περιοχής, έργα αναπτυξιακού χαρακτήρα)	3

**Πίνακας 30: Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία**

## Κριτήριο E3: Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα

Αξιολογούνται οι επιπτώσεις που προκαλούνται από τις δραστηριότητες του έργου στα τοπικά οικοσυστήματα.

Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα	Βαθμολογία περιοχής
Πολύ υψηλής έντασης επιπτώσεις	1
Μέσης έντασης επιπτώσεις	2
Μηδαμινές επιπτώσεις	3

**Πίνακας 31: Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα**

Το κριτήριο είναι ποιοτικό και μετριέται σε κλίμακα από 1 έως 3, η οποία περιγράφεται στον πίνακα 31. Είναι ανοδικό, διακριτό και ορίζουμε ως χειρότερη τιμή το 1 και ως καλύτερη τιμή το 3.

#### 4.3.4 Σύγκριση με προηγούμενες έρευνες

Η παρούσα μελέτη έλαβε υπόψιν της τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες ανάλογου περιεχομένου που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 3 τα οποία συνοψίζονται στον πίνακα 32.

Προτείνεται μία καινούργια μεθοδολογία αξιολόγησης σε αυτή τη μελέτη. Αυτή χρησιμοποιεί ένα νέο σύνολο κριτηρίων, το οποίο αναλύεται παραπάνω και εφαρμόζει μία διαφορετική MCDA, την TOPSIS. Όλα τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι σημαντικά για τη χωροθέτηση των αιολικών πάρκων, τη βιωσιμότητα της επένδυσης αλλά και μία σειρά από αυτά αντιπροσωπεύουν τα βασικά συμφέροντα του επενδυτή αλλά και των τοπικών αρχών.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιολόγησης είναι προσαρμοσμένη στην ιδιαίτερη κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντολογική ιδιομορφία του νησιού. Επομένως από το σύνολο των κριτηρίων των προηγούμενων μελετών δεν εξετάζονται τα κριτήρια τα οποία δεν προσομοιάζουν με το αντικείμενο της μελέτης μας, ενώ έχει γίνει ενσωμάτωση μερικών κριτηρίων με παρεμφερή κριτήρια της μελέτης μας.

Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

Εφαρμοσιμότητα / Αξιοπιστία / Ωριμότητα της τεχνολογίας: Οι συγκεκριμένες Α/Γ έχουν δοκιμαστεί στο παρελθόν με επιτυχία.

Πολιτικός κίνδυνος: Οι ΑΠΕ είναι ανεξάρτητες από πολιτικούς παράγοντες αρά δεν επηρεάζονται από κινδύνους πολιτικής φύσης.

Διάρκεια της φάσης προετοιμασίας / Διάρκεια της φάσης υλοποίησης: Συμπεριλαμβάνεται στα κριτήρια (T5, O4)

Συνεχής πρόβλεψη των επιδόσεων: Θεωρούμε δεδομένο ότι οι Α/Γ δε παρέχουν σταθερό ηλεκτρικό δυναμικό.

Αποδοτικότητα: Συμπεριλαμβάνεται στο κριτήριο T4

Τοπική τεχνογνωσία: Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη.

Ωριμότητα της τεχνολογίας: Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη.

Εκπομπή ρυπογόνων: Θεωρούμε δεδομένο ότι οι Α/Γ δεν επηρεάζονται από το συγκεκριμένο

κριτήριο.

Χερσαίες απαιτήσεις: Συμπεριλαμβάνεται στο κριτήριο T6

Ανάγκη για διάθεση απορριμμάτων: Θεωρούμε δεδομένο ότι οι Α/Γ δεν επηρεάζονται από το συγκεκριμένο κριτήριο.

Κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής: Θεωρούμε δεδομένο ότι οι Α/Γ δεν επηρεάζονται από το συγκεκριμένο κριτήριο.

Προστασία του οικοσυστήματος: Συμπεριλαμβάνεται στα κριτήρια (E1-8)

Βιωσιμότητας των άλλων επιπτώσεων: Συμπεριλαμβάνεται στα κριτήρια (E1-8, T2, T3).

Ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού: Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη.

Χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη.

Συμβατότητα με τους στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής: Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη.

Πολιτική αποδοχή: Συμπεριλαμβάνεται στο κριτήριο S2

Κοινωνική αποδοχή: Συμπεριλαμβάνεται στο κριτήριο S3

Εργασιακές επιπτώσεις: Συμπεριλαμβάνεται στο κριτήριο S1

Συμβολή στην τοπική ανάπτυξη και ευημερία: Συμπεριλαμβάνεται στο κριτήριο S2

Ωριμότητα της αγοράς: Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη.

Συνοχή με τοπικές οικονομικές δραστηριότητες: Θεωρούμε δεδομένο ότι οι Α/Γ επηρεάζονται ελάχιστα από το συγκεκριμένο κριτήριο.

Κόστος υλοποίησης: Συμπεριλαμβάνεται στο κριτήριο (O1, O2)

Διαθεσιμότητα πόρων: Οι ΑΠΕ στη Κρήτη είναι επαρκείς για τη τροφοδοσία του νησιού.

Οικονομική αξία (αξία PW, ανάλυση του συντελεστή εσωτερικής απόδοσης IRR, όφελος/κόστος B/C, περίοδος αποπληρωμής): Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα εργασία.

Εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων: Δεν αξιολογήθηκε στη παρούσα μελέτη.

Περιπτώσεις Κριτήρια	ΤΟΥΡΚΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ AHP	ΚΡΗΤΗ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE II	ΚΡΗΤΗ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ELECTRE III	ΣΑΡΑΗΝΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ELECTRE III	ΣΙΚΕΛΙΑ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ PROMETHEE II	ΒΕΛΙΓΡΑΔΙ, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ELECTRE	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ELECTRE III	ΚΡΗΤΗ 2015, ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ TOPSIS
Εφαρμοσιμότητα								
Πολιτικός κίνδυνος		Η ασφάλεια του εφοδιασμού						
Αξιοπιστία								
Διάρκεια της φάσης προετοιμασίας								
Διάρκεια της φάσης υλοποίησης								
Συνεχής πρόβλεψη των επιδόσεων			Ασφάλεια στην κάλυψη της ανώτατης ζήτησης φορτίου					
Αποδοτικότητα			Λειτουργικότητα					
Τοπική τεχνολογία				Συνέπεια της απαίτησης εγκατάστασης και συντήρησης με την τοπική τεχνολογία				
Οριμότητα της τεχνολογίας								
Εκπομπή ρυπογόνων		Αποφυγή εκπομπών CO2						
Χερσαίες απαιτήσεις								
Ανάγκη για διάθεση απορριμμάτων							Ζώνες ασφαλείας για ευαίσθητους αποδέκτες	
Κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής								
Προστασία του οικοσυστήματος							Γεωλογία και υδρογεωλογία, Υδρολογία και προστασία επιφανειακών υδάτων	
Βιωσιμότητας των άλλων επιπτώσεων			Θόρυβος Ομορφιά				Τοπογραφία, Οικολογία, Μετεωρολογία, Ορατότητα περιοχής/Τοπίο, Κίνηση Οχημάτων/Προσβασιμότητα, Γεωλογικά ρήγματα	
Ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού							Διαθεσιμότητα υλικών κάλυψης	
Χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας								
Συμβατότητα με τους στόχους της εθνικής ενεργειακής πολιτικής								
Πολιτική αποδοχή				Συμβιβασμο με το πολιτικό, νομοθετικό και διοικητικό πλαίσιο			Ισχύουσα νομοθεσία	
Κοινωνική αποδοχή								
Εργασιακές επιπτώσεις							Υπηρεσίες και ασφάλεια	
Συμβολή στην τοπική ανάπτυξη και ευημερία							Χρήσεις γης	
Οριμότητα της αγοράς								
Συνοχή με τοπικές οικονομικές δραστηριότητες							Αρχαιολογική κληρονομιά	
Κόστος υλοποίησης		Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης		Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	Κόστος επένδυσης και Κόστος λειτουργίας και συντήρησης		
Διαθεσιμότητα πόρων								

Οικονομική αξία (PW, IRR, B/C)								
Εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων			Εξάντληση πεπερασμένων ενεργειακών πηγών	Κόστος αποθηκευμένης πρωτογενούς ενέργειας, Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε περιφερειακή κλίμακα	Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας			

**Πίνακας 32: Συγκριτικός πίνακας μεθοδολογιών**

#### 4.3.5 Σύνοψη

Τα κριτήρια είναι τα εργαλεία που επιτρέπουν εναλλακτικές λύσεις να συγκριθούν από μια συγκεκριμένη οπτική γωνία. Η επιλογή των κριτηρίων είναι το πιο ευαίσθητο μέρος στη διατύπωση του προβλήματος που αντιμετωπίζει ένας DM και απαιτεί μια ιδιαίτερη φροντίδα και προσοχή. Ο αριθμός των κριτηρίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, των ποσοτικών και ποιοτικών στοιχείων. Στη παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν 8 περιβαλλοντολογικά, 6 τεχνικά, 4 οικονομικά και 3 κοινωνικά κριτήρια και παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 33.

Κριτήρια	Χαρακτηρισμός	Συνέχεια	Διάνυσμα τιμών	Χειρότερη / Καλύτερη τιμή
<b>1. Περιβαλλοντολογικά</b>				
E1: Απόσταση από Εθνικούς Δρυμούς, Αισθητικά Δάση και Τόπους Κοινοτικής Σημασίας του δικτύου Natura 2000 (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	600 / 3000
E2: Απόσταση από ποτάμια και λίμνες (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	600 / 3000
E3: Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα (1-3)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3
E4: Όχληση (θόρυβος, οπτική κτλ.) (1-3)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3
E5: Απόσταση από Αρχαιολογικούς Χώρους (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	2000 / 7000
E6: Απόσταση από κεραίες και radar (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	1200 / 5000
E7: Απόσταση από Αεροδρόμια και Εγκαταστάσεις Εθνικής Άμυνας (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	2000 / 7000
E8: Απόσταση από κατοικημένες περιοχές (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	1500 / 8000
<b>2 Τεχνικά</b>				
T1: Απόσταση από Γραμμές Υψηλής Τάσης (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	2000 / 120
T2: Απόσταση από Βασικό Οδικό Δίκτυο (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	2000 / 120
T3: Κλίση του εδάφους (%)	Ποσοτικό	Διακριτό	Φθίνον	15 / 0
T4: Αιολικό Δυναμικό (m/s)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	8 / 13
T5: Χρόνος Υλοποίησης (μήνες)	Ποσοτικό	Διακριτό	Φθίνον	24 / 8
T6: Μέγιστο δυναμικό που μπορεί να εγκατασταθεί (MW)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	30 / 500
<b>3. Οικονομικά</b>				
O1: Κόστος Οικοπέδου (Euro*10 <sup>6</sup> )	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	50 / 0
O2: Εξασφάλιση Προσβασιμότητας (Euro*10 <sup>3</sup> )	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	120 / 0
O3: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Euro*10 <sup>3</sup> /έτος)	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	10 / 0
O4: Δυσκολία αδειοδότησης / δυνατότητα υλοποίησης της επένδυσης (1-3)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3
<b>4. Κοινωνικά</b>				
S1: Τοπική Απασχόληση (1-5)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 5
S2: Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία (1-3)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3
S3: Κοινωνική Αποδοχή (1-5)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 5

**Πίνακας 33: Κριτήρια χωροθέτησης ΑΠΕ στο νησί της Κρήτης**

## **4.4 Εφαρμογή στη περιφέρεια της Κρήτης**

### **4.4.1. Καθορισμός προβλήματος**

Επιχείρηση ζητά κατάλληλες εκτάσεις για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων στη περιφέρεια της Κρήτης. Προκειμένου να αποφασιστεί η αγορά των κατάλληλων εκτάσεων, ζήτησε από 3 DM, οι οποίοι έχουν εκτελέσει αντίστοιχα έργα, να διατυπώσουν την άποψή τους και να κατατάξουν τις περιοχές κατά σειρά καταλληλότητας.

Η μελέτη αυτή ασχολείται με την υποστήριξη της απόφασης των DM με χρήση MCDA.

Η ομάδα απόφασης των 3 DM αποτελείται από εκπροσώπους της ΔΕΗ, μιας Ιδιωτικής επιχείρησης και της Περιφέρειας. Ο κάθε DM έχει τη δυνατότητα να εκφράσει την ιδιαίτερη προτίμησή του σε μια σειρά κριτηρίων.

Οι DM, σε κοινή σύσκεψη, επέλεξαν 5 περιοχές. Στην απόφαση αυτή έλαβαν υπόψιν τους τον χάρτη 10, που αφορά τη θέση και την έκτασή των περιοχών κατάλληλης χωροθέτησης ανεμογεννητριών στη Κρήτη, για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν. Οι περιοχές αυτές είναι οι εξής:

Κάνδανος, Ν. Χανίων

Σητεία, Ν. Λασιθίου

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου

Πύργος, Ν. Ηρακλείου

### **4.4.2 Επιλογή της κατάλληλης MCDA Μεθόδου**

Όπως αναφέρει ο Ματσατσίνης (2010), σύμφωνα με το Σχήμα 3, το πρόβλημά μας αντιστοιχίζεται στην κατάταξη όλων των εναλλακτικών ενεργειών του συνόλου διαθέσιμων περιοχών, από την πλέον προτιμώμενη προς τη λιγότερο προτιμητέα (προβληματική γ). Δηλαδή πρέπει να ταξινομήσουμε τις εναλλακτικές περιοχές από τη καλύτερη προς τη χειρότερη.

Επειδή χρησιμοποιούμε την προβληματική γ, μια κατάλληλη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος είναι η TOPSIS, η οποία είναι μια από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες αντισταθμιστικές μεθόδους ανάλυσης απόφασης δεδομένου της απλότητας και της συστηματικής διαδικασίας του υπολογισμού της.

#### **4.4.3 Συλλογή στοιχείων**

Σχετικά με το κριτήριο E1: Απόσταση από Εθνικούς Δρυμούς, Αισθητικά Δάση και Τόπους Κοινοτικής Σημασίας του δικτύου Natura 2000 έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής (Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων, ΦΕΚ 200/Α/1962, ΥΠΕΚΑ):

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 600

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 1000

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 600

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 1000

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 600

Σχετικά με το κριτήριο E2: Απόσταση από ποτάμια και λίμνες έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής (Bennui κα. 2007):

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 1000

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 1000

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 1000

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 600

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 600

Σχετικά με το κριτήριο T1: Απόσταση από Γραμμές Υψηλής Τάσης έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής (ΔΕΣΜΗΕ):

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 500

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 120

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 120

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 500

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 120

Σχετικά με το κριτήριο T2: Απόσταση από Βασικό Οδικό Δίκτυο έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής (ΥΠΕΧΩΔΕ):

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 500

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 120

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 200

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 120

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 250

Σχετικά με το κριτήριο T3: Κλίση του εδάφους έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής:

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 10

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 2

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 10

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 2

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 2

Σχετικά με το κριτήριο T4: Αιολικό Δυναμικό έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής:



Κάνδανος, Ν. Χανίων: 10

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 10

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 10

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 8

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 8

Σχετικά με το κριτήριο Ο1: Κόστος Οικοπέδου έχουμε τα εξής στοιχεία:

Γνωρίζοντας ότι ένα στρέμμα έκτασης διαφοροποιείται ανάλογα με τη περιοχή, στις συγκεκριμένες περιοχές που επιλέξαμε έχουμε τα εξής στοιχεία:

Για την Ζάκρος Ν. Λασιθίου έχουμε μέση τιμή 4 ευρώ ανά τ.μ. με σύνολο 9.1 εκατομμύρια ευρώ

Για την Σητεία Ν. Λασιθίου έχουμε μέση τιμή 6 ευρώ ανά τ.μ. με σύνολο 13.6 εκατομμύρια ευρώ

Για τον δήμο Κανδάνου Ν. Χανίων έχουμε μέση τιμή 3 ευρώ ανά τ.μ. με σύνολο 6.8 εκατομμύρια ευρώ

Για το Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου έχουμε μέση τιμή 6 ευρώ ανά τ.μ. με σύνολο 13.6 εκατομμύρια ευρώ

Για τον Πύργο, Ν. Ηρακλείου έχουμε μέση τιμή 5 ευρώ ανά τ.μ. με σύνολο 11.4 εκατομμύρια ευρώ

Σχετικά με το κριτήριο Ο4: Δυσκολία αδειοδότησης και δυνατότητα υλοποίησης της επένδυσης έχουμε τα εξής στοιχεία:

Σχετικά με το κριτήριο του ιδιοκτησιακού καθεστώτος, βαθμολογήθηκε με 2 στην Κάνδανο και στον Πύργο, λόγω μεγάλων εκτάσεων ιδιωτικών εκτάσεων και δυσκολιών αδειοδότησης και με 3 στις υπόλοιπες περιοχές, λόγω της πιο εύκολης ανεύρεσης εκτάσεων προς διάθεση.

Σχετικά με το κριτήριο Τ5: Χρόνος Υλοποίησης έχουμε τα εξής στοιχεία:

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 14 μήνες

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 10 μήνες

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 10 μήνες

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 12 μήνες

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 10 μήνες

Σχετικά με το κριτήριο T6: Μέγιστο δυναμικό που μπορεί να εγκατασταθεί έχουμε τα εξής στοιχεία:

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 200 MW

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 500 MW

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 500 MW

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 100 MW

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 100 MW

Σχετικά με το κριτήριο O2: Εξασφάλιση Προσβασιμότητας έχουμε τα εξής στοιχεία:

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 8.4

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 8.4

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 7.2

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 3

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 6

Σχετικά με το κριτήριο E5: Απόσταση από Αρχαιολογικούς Χώρους έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής (Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού):

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 3000

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 2000

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 2000

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 3000

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 2000

Σχετικά με το κριτήριο E6: Απόσταση από κεραιές και radar έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής (ΦΕΚ 2099/2009, ΕΕΤΤ):

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 2000

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 1200

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 2000

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 2000

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 2000

Σχετικά με το κριτήριο E7: Απόσταση από Αεροδρόμια και Εγκαταστάσεις Εθνικής Άμυνας έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι περιοχές βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τις διαθέσιμες εκτάσεις των καταλλήλων περιοχών ως εξής (ΦΕΚ 2099/2009, ΦΕΚ 35207/2008):

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 2000

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 2000

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 2000

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 2000

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 4000

Σχετικά με το κριτήριο E8: Απόσταση από κατοικημένες περιοχές έχουμε τα εξής στοιχεία:

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 2000

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 1500

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 1500

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 1500

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 2000

Σχετικά με το κριτήριο S3: Κοινωνική Αποδοχή έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι ανεμογεννήτριες βαθμολογήθηκαν με 4 επειδή τα ανωτέρω συστήματα επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν μακριά από κατοικημένες περιοχές.

Σχετικά με το κριτήριο E4: Όχληση έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι ανεμογεννήτριες βαθμολογήθηκαν με 3 επειδή τα ανωτέρω συστήματα είναι σε μεγάλη απόσταση από κατοικημένες περιοχές και δε δημιουργούν οχλήσεις.

Σχετικά με το κριτήριο O3: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης έχουμε τα εξής στοιχεία:

Κάνδανος, Ν. Χανίων: 8

Σητεία, Ν. Λασιθίου: 4

Ζάκρος, Ν. Λασιθίου: 5

Τυμπάκι, Ν. Ηρακλείου: 6

Πύργος, Ν. Ηρακλείου: 5.5

Σχετικά με το κριτήριο S1: Τοπική Απασχόληση έχουμε τα εξής στοιχεία:

Τα αιολικά πάρκα βαθμολογήθηκαν με 2 επειδή τα ανωτέρω συστήματα μπορεί να απασχολήσουν μικρό αριθμό προσωπικού τοπικής εμβέλειας.

Σχετικά με το κριτήριο S2: Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία έχουμε τα εξής στοιχεία:

Τα αιολικά πάρκα βαθμολογήθηκαν με 2 επειδή θεωρούμε ότι μία καλή σχέση της επιχείρησης με τη τοπική κοινωνία με έργα κοινωνικής ωφέλειας λειτουργεί επ' ωφελεία του έργου.

Σχετικά με το κριτήριο E3: Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα έχουμε τα εξής στοιχεία:

Οι ανεμογεννήτριες βαθμολογήθηκαν με 2 επειδή τα ανωτέρω συστήματα δεν αποτελούν κίνδυνο για το τοπικό οικοσύστημα .

Οι τιμές των 21 κριτηρίων απόφασης για τις πέντε περιοχές που επιλέξαμε προς εξέταση και ικανοποιούν τις ανάγκες μας για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων συνοψίζονται στον Πίνακα 34.

#### **4.4.4 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων από ειδικούς**

Όπως προαναφέρθηκε, οι 3 DM αποτελούν την ομάδα απόφασης. Τους θεωρούμε ικανούς, αξιόπιστους και την γνώμη τους να έχει την ίδια βαρύτητα. Οι προτιμήσεις που διατυπώθηκαν, σύμφωνα με την ανάλυση των δεδομένων από τους DM, ήταν οι εξής:

Κριτήρια	Χειρότερη / Κάνδανος, Σητεία, Ν. Ζάκρος, Τυμπάκι, Ν. Πύργος, Ν. Ηρακλείου	Καλύτερη / Ν. Χανίων Λασιθίου Ν. Ηρακλείου	Λασιθίου			
<b>1. Περιβαλλοντολογικά</b>						
E1: Απόσταση από Εθνικούς Δρυμούς, Δάση και Τόπους Κοινοτικής Σημασίας του δικτύου Natura 2000 (m)	600 / 3000	600	1000	600	1000	600
E2: Απόσταση από ποτάμια και λίμνες (m)	600 / 3000	1000	1000	1000	600	600
E3: Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα (1-3)	1 / 3	3	3	3	3	3
E4: Όχληση (1-3)	1 / 3	3	3	3	3	3
E5: Απόσταση από Αρχαιολογικούς Χώρους (m)	2000 / 7000	3000	2000	3000	3000	2000
E6: Απόσταση από κεραίες και radar (m)	1200 / 5000	2000	1200	2000	2000	2000
E7: Απόσταση από Αεροδρόμια και Εγκαταστάσεις Εθνικής Άμυνας	2000 / 7000	2000	2000	2000	2000	4000
E8: Απόσταση από κατοικημένες περιοχές (m)	1500 / 5000	2000	1500	1500	1500	2000
<b>2. Τεχνικά</b>						
T1: Απόσταση από Γραμμές Υψηλής Τάσης (m)	2000 / 120	500	120	120	500	120
T2: Απόσταση από Βασικό Οδικό Δίκτυο (m)	2000 / 120	500	120	200	120	250
T3: Κλίση του εδάφους (%)	15 / 0	6	0	6	0	0
T4: Αιολικό Δυναμικό (m/s)	8 / 13	10	10	10	8	8
T5: Χρόνος Υλοποίησης (μήνες)	24 / 8	14	10	10	12	10
T6: Μέγιστο δυναμικό που μπορεί να εγκατασταθεί (MW)	30 / 500	200	500	500	100	100
<b>3. Οικονομικά</b>						
O1: Κόστος Οικοπέδου (Euro*10 <sup>6</sup> )	50 / 0	9.1	13.6	6.8	13.6	11.4
O2: Εξασφάλιση Προσβασιμότητας (Euro*10 <sup>3</sup> )	120 / 0	8.4	8.4	7.2	3	6
O3: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Euro*10 <sup>3</sup> /έτος)	10 / 0	8	4	5	6	5.5
O4: Δυσκολία αδειοδότησης / δυνατότητα υλοποίησης της επένδυσης	1 / 3	2	3	3	3	2
<b>4. Κοινωνικά</b>						
S1: Τοπική Απασχόληση (1-5)	1 / 5	2	2	2	2	2
S2: Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία (1-3)	1 / 3	2	2	2	2	2
S3: Κοινωνική Αποδοχή (1-5)	1 / 5	4	4	4	4	4

**Πίνακας 34:** Πολυκριτήριο πίνακας των 21 κριτηρίων απόφασης για τις πέντε περιοχές προς εξέταση.

### Περιφέρεια (DM 1): Προσανατολισμός σε περιβαλλοντολογικά θέματα

Ο DM 1 σχετίζεται με τη φιλικότερη προς το περιβάλλον δράση και δίνει την υψηλότερη προτεραιότητα στα κριτήρια (E1, E2, E3, S1, S3, E4). Τα κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια τοποθετούνται στη μέση τάξη προτεραιότητας, ενώ τα υπόλοιπα συνδέονται με τη κατώτερη βαθμίδα προτεραιότητας.

### Ιδιωτική επιχείρηση (DM) 2: Προσανατολισμός σε απόδοση κεφαλαίου

Η κατασκευή των αιολικών πάρκων είναι για τον DM μέσο της αύξησης της επιχειρηματικής ικανότητας και κερδοφορίας. Επίσης η οικονομική αποδοτικότητα των προγραμμάτων και η άμεση απόδοση του κεφαλαίου είναι υψίστης σημασίας.

Ο DM 2 σχετίζεται με τη απόδοση κεφαλαίου και δίνει την υψηλότερη προτεραιότητα στα κριτήρια (T6, T5, O4, T4, T1, O1, O2, O3, S2). Τα περιβαλλοντολογικά κριτήρια τοποθετούνται στη μέση τάξη προτεραιότητας, ενώ τα υπόλοιπα συνδέονται με τη κατώτερη βαθμίδα προτεραιότητας.

### ΔΕΗ (DM 3): Προσανατολισμός σε ήπια και ισόρροπη ανάπτυξη

Ο DM 3 σχετίζεται με τη ήπια και ισόρροπη ανάπτυξη η οποία πρέπει να είναι συμβατή με τους περιβαλλοντολογικούς, κοινωνικούς και οικονομοτεχνικούς περιορισμούς.

Άρα τα κριτήρια που έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα για αυτόν είναι τα S1, E1, S3, T4, E4, T2, T1, O1. Τα υπόλοιπα συνδέονται σε κατώτερη βαθμίδα προτεραιότητας.

Κριτήρια	Χαρακτηρισμός	Συνέχεια	Διάνυσμα	Χειρότερη / Καλύτερη τιμή	DM 1: Βάρη	DM 2: Βάρη	DM 3: Βάρη
<b>1. Περιβαλλοντολογικά</b>					<b>45</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
E1: Απόσταση από Εθνικούς Δρυμούς, Αισθητικά Δάση και Τόπους Κοινοτικής Σημασίας του δικτύου Natura 2000 (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	600 / 3000	30	25	30
E2: Απόσταση από ποτάμια και λίμνες (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	600 / 3000	30	25	20
E3: Κίνδυνος στο τοπικό οικοσύστημα (1-3)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3	20	25	30
E4: Όχληση (θόρυβος, οπτική κτλ.) (1-3)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3	20	25	20
E5: Απόσταση από Αρχαιολογικούς Χώρους (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	2000 / 7000	20	3	7
E6: Απόσταση από κεραίες και radar (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	1200 / 5000	3	3	6
E7: Απόσταση από Αεροδρόμια και Εγκαταστάσεις Εθνικής	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	2000 / 7000	3	3	6
E8: Απόσταση από κατοικημένες περιοχές (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	1500 / 8000	30	20	30
<b>2 Τεχνικά</b>					<b>15</b>	<b>25</b>	<b>30</b>
T1: Απόσταση από Γραμμές Υψηλής Τάσης (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	2000 / 120	7	10	15
T2: Απόσταση από Βασικό Οδικό Δίκτυο (m)	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	2000 / 120	7	10	15
T3: Κλίση του εδάφους (%)	Ποσοτικό	Διακριτό	Φθίνον	15 / 0	10	10	7
T4: Αιολικό Δυναμικό (m/s)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	8 / 13	30	21	15
T5: Χρόνος Υλοποίησης (μήνες)	Ποσοτικό	Διακριτό	Φθίνον	24 / 8	7	20	7
T6: Μέγιστο δυναμικό που μπορεί να εγκατασταθεί (MW)	Ποσοτικό	Συνεχές	Ανοδικό	30 / 500	10	18	15
<b>3. Οικονομικά</b>					<b>20</b>	<b>35</b>	<b>20</b>
O1: Κόστος Οικοπέδου (Euro*10 <sup>6</sup> )	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	50 / 0	40	34	45
O2: Εξασφάλιση Προσβασιμότητας (Euro*10 <sup>3</sup> )	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	120 / 0	30	33	35
O3: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης (Euro*10 <sup>3</sup> /έτος)	Ποσοτικό	Συνεχές	Φθίνον	10 / 0	30	33	20
O4: Δυσκολία αδειοδότησης / δυνατότητα υλοποίησης της	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3	3	5	7
<b>4. Κοινωνικά</b>					<b>20</b>	<b>15</b>	<b>25</b>
S1: Τοπική Απασχόληση	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 5	30	25	25
S2: Αντισταθμιστικά οφέλη προς την τοπική κοινωνία	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 3	10	25	15
S3: Κοινωνική Αποδοχή (1-5)	Ποιοτικό	Διακριτό	Ανοδικό	1 / 5	30	30	30

**Πίνακας 35: Καθορισμός βαρών ανά DM**

#### 4.4.5 Καθορισμός βαρών

Η στάθμιση των κριτηρίων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την κρίση των 3 DM και συνοψίζεται στον πίνακα 35. Κάθε DM δίνει έμφαση σε διαφορετική ιεράρχηση προτιμήσεων, αλλά είναι συνεπής σε διαφορετικούς τεχνικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς περιορισμούς.

#### 4.4.6 Αποτελέσματα εκτίμησης χρησιμοποιώντας την TOPSIS

Σε συνεργασία με την ομάδα απόφασης, συγκεντρώσαμε και διαμορφώσαμε όλες τις παραμέτρους του προβλήματος και εφαρμόσαμε τη μεθοδολογία TOPSIS προκειμένου να υποστηρίξουμε την απόφαση.

Όπως περιεγράφηκε στην ενότητα 1.5.7, η μεθοδολογία TOPSIS απαιτεί μια μήτρα απόφασης και τα βάρη κριτηρίων όπως αυτά καθορίστηκαν από τον κάθε DM ως δεδομένα εισόδου.

Για κάθε σενάριο, ο πίνακας απόφασης δείχνεται στον πίνακα D, όπου κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία περιοχή ενώ κάθε στήλη αντιστοιχεί σε ένα κριτήριο.

Η μήτρα απόφασης για τους αποφασίζοντες είναι η D

$$D^k = \begin{bmatrix} 600 & 1000 & 3 & 3 & 500 & 500 & 6 & 10 & 2 & 14 & 200 & 3000 & 2000 & 2000 & 2000 & 9.1 & 8.4 & 8 & 2 & 2 & 2000 & 4 \\ 1000 & 1000 & 3 & 3 & 120 & 120 & 0 & 10 & 3 & 10 & 500 & 2000 & 1200 & 2000 & 13.6 & 8.4 & 4 & 2 & 2 & 1500 & 4 \\ 600 & 1000 & 3 & 3 & 120 & 200 & 6 & 10 & 3 & 10 & 500 & 3000 & 2000 & 2000 & 6.8 & 7.2 & 5 & 2 & 2 & 1500 & 4 \\ 1000 & 600 & 3 & 3 & 500 & 120 & 0 & 8 & 3 & 12 & 100 & 3000 & 2000 & 2000 & 13.6 & 3 & 6 & 2 & 2 & 1500 & 4 \\ 600 & 600 & 3 & 3 & 120 & 250 & 0 & 8 & 2 & 10 & 100 & 2000 & 2000 & 4000 & 11.4 & 6 & 5.5 & 2 & 2 & 2000 & 4 \end{bmatrix}$$

ενώ τα βάρη του κάθε κριτηρίου για κάθε DM είναι τα εξής:

$$\begin{aligned} W^1 &= [0.135 \quad 0.135 \quad 0.09 \quad 0.09 \quad 0.09 \quad 0.0135 \quad 0.0135 \quad 0.135 \quad 0.0105 \quad 0.0105 \quad 0.015 \quad 0.045 \quad 0.0105 \quad 0.015 \quad 0.08 \quad 0.06 \quad 0.06 \quad 0.006 \quad 0.06 \quad 0.02 \quad 0.06] \\ W^2 &= [0.0625 \quad 0.0625 \quad 0.0625 \quad 0.0625 \quad 0.0075 \quad 0.0075 \quad 0.0075 \quad 0.05 \quad 0.025 \quad 0.025 \quad 0.025 \quad 0.0525 \quad 0.05 \quad 0.045 \quad 0.119 \quad 0.1155 \quad 0.1155 \quad 0.0175 \quad 0.0375 \quad 0.0375 \quad 0.045] \\ W^3 &= [0.075 \quad 0.05 \quad 0.075 \quad 0.05 \quad 0.0175 \quad 0.015 \quad 0.015 \quad 0.075 \quad 0.045 \quad 0.045 \quad 0.021 \quad 0.045 \quad 0.021 \quad 0.045 \quad 0.09 \quad 0.07 \quad 0.04 \quad 0.014 \quad 0.0625 \quad 0.0375 \quad 0.075] \end{aligned}$$

Τα υπολογιστικά βήματά της συνοψίζονται:

1. Ομαλοποίηση της μήτρας απόφασης.  $R^k$ ,  $k=1, \dots, K$ , για κάθε DM, με στρογγυλοποίηση στο 2<sup>ο</sup> δεκαδικό και υπολογισμός της βεβαρημένης μήτρας απόφασης.

Σε αυτό το βήμα λαμβάνουμε υπόψιν τα ανοδικά κριτήρια και τα φθίνοντα κριτήρια.

Προτιμώνται μεγαλύτερες τιμές στα ανοδικά και μικρότερες τιμές στα φθίνοντα. Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιούμε ένα διάνυσμα  $d$  που καθορίζει ποιο κριτήριο είναι ανοδικό και φθίνον.

Προτού ξεκινήσουμε τη διαδικασία, τα φθίνοντα μετατρέπονται σε ανοδικά υπολογίζοντας τις αντίστροφες τιμές τους.

$$R^1 =$$

81	135	0.27	0.27	45	6.75	0.081	1.35	0.021	0.147	3	135	21	30	0.728	0.504	0.48	0.012	0.012	40	0.24
135	135	0.27	0.27	10.8	1.62	0	1.35	0.0315	0.105	7.5	90	12.6	30	1.088	0.504	0.24	0.012	0.012	30	0.24
81	135	0.27	0.27	10.8	2.7	0.081	1.35	0.0315	0.105	7.5	135	21	30	0.544	0.432	0.3	0.012	0.012	30	0.24
135	81	0.27	0.27	45	1.62	0	1.08	0.0315	0.126	1.5	135	21	30	1.088	0.18	0.36	0.012	0.012	30	0.24
81	81	0.27	0.27	10.8	3.375	0	1.08	0.021	0.105	1.5	90	21	60	0.912	0.36	0.33	0.012	0.012	40	0.24

$$R^2 =$$

37.5	62.5	0.1875	0.1875	3.75	3.75	0.045	0.5	0.05	0.35	5	157.5	100	90	1.0829	0.9702	0.924	0.035	0.075	75	0.18
62.5	62.5	0.1875	0.1875	0.9	0.9	0	0.5	0.075	0.25	7.5	105	60	90	1.6184	0.9702	0.462	0.035	0.075	56.25	0.18
37.5	62.5	0.1875	0.1875	0.9	1.5	0.045	0.5	0.075	0.25	7.5	157.5	100	90	0.8092	0.8316	0.5775	0.035	0.075	56.25	0.18
62.5	37.5	0.1875	0.1875	3.75	1.62	0	0.4	0.075	0.3	2.5	157.5	100	90	1.6184	0.3465	0.693	0.035	0.075	56.25	0.18
37.5	37.5	0.1875	0.1875	0.9	1.875	0	0.4	0.05	0.25	2.5	105	100	180	1.3566	0.693	0.63525	0.035	0.075	75	0.18

$$R^3 =$$

45	50	0.225	0.15	8.75	7.5	0.09	0.75	0.09	0.63	4.2	135	42	90	0.819	0.588	0.32	0.028	0.125	75	0.3
75	50	0.225	0.15	2.1	1.8	0	0.75	0.135	0.45	10.5	90	25.2	90	1.224	0.588	0.16	0.028	0.125	56.25	0.3
45	50	0.225	0.15	2.1	3	0.09	0.75	0.135	0.45	10.5	135	42	90	0.612	0.504	0.2	0.028	0.125	56.25	0.3
75	30	0.225	0.15	8.75	1.8	0	0.6	0.135	0.54	2.1	135	42	90	1.224	0.21	0.24	0.028	0.125	56.25	0.3
45	30	0.225	0.15	2.1	3.75	0	0.6	0.09	0.45	2.1	90	42	180	1.026	0.42	0.22	0.028	0.125	75	0.3

2. Αναγνώριση της θετικής ιδανικής λύσης  $V^{k+}$  και την αρνητικής ιδανικής λύσης  $V^{k-}$ .

Τώρα πρέπει να προσδιορίσουμε τις θετικές και αρνητικές ιδανικές λύσεις. Η θετική ιδανική λύση είναι μια συλλογή των καλύτερων τιμών όσον αφορά κάθε κριτήριο στη ομαλοποιημένη μήτρα απόφασης ενώ η αρνητική ιδανική λύση είναι μια συλλογή των χειρότερων τιμών όσον αφορά κάθε κριτήριο στη ομαλοποιημένη μήτρα απόφασης.

$$V^{1+} = [135 \ 135 \ 0.27 \ 0.27 \ 45 \ 6.75 \ 0.081 \ 1.35 \ 0.0315 \ 0.147 \ 7.5 \ 135 \ 21 \ 60 \ 1.088 \ 0.504 \ 0.48 \ 0.012 \ 0.12 \ 40 \ 0.24]$$

$$V^{1-} = [81 \ 81 \ 0.27 \ 0.27 \ 10.8 \ 1.62 \ 0 \ 1.08 \ 0.021 \ 0.105 \ 1.5 \ 90 \ 12.6 \ 30 \ 0.544 \ 0.18 \ 0.24 \ 0.012 \ 0.12 \ 30 \ 0.24]$$

$$V^{2+}$$

$$= [62.5 \ 62.5 \ 0.1875 \ 0.1875 \ 3.75 \ 3.75 \ 0.045 \ 0.5 \ 0.075 \ 0.35 \ 12.5 \ 157.5 \ 100 \ 180 \ 1.6184 \ 0.9702 \ 0.924 \ 0.035 \ 0.075 \ 75 \ 0.18]$$

$$V^{2-}$$

$$= [37.5 \ 37.5 \ 0.1875 \ 0.1875 \ 0.9 \ 0.9 \ 0 \ 0.4 \ 0.05 \ 0.25 \ 2.5 \ 105.0 \ 60 \ 90 \ 0.8092 \ 0.3465 \ 0.462 \ 0.035 \ 0.075 \ 56.25 \ 0.18]$$



$$V^{3+} = [75 \ 50 \ 0.225 \ 0.15 \ 8.75 \ 7.5 \ 0.09 \ 0.75 \ 0.135 \ 0.63 \ 10.5 \ 135 \ 42 \ 180 \ 1.224 \ 0.588 \ 0.32 \ 0.028 \ 0.125 \ 75 \ 0.3]$$

$$V^{3-} = [45 \ 30 \ 0.225 \ 0.15 \ 2.1 \ 1.8 \ 0 \ 0.6 \ 0.09 \ 0.45 \ 2.1 \ 90 \ 25.2 \ 90 \ 0.612 \ 0.21 \ 0.16 \ 0.028 \ 0.125 \ 56.25 \ 0.3]$$

3. Υπολογισμός της απόστασης για κάθε εναλλακτική λύση από τη θετική ιδανική λύση και την αρνητική ιδανική λύση, αντίστοιχα.

$$S^{1+} = \begin{bmatrix} 61.93852 \\ 65.51017 \\ 71.43093 \\ 63.07548 \\ 95.25852 \end{bmatrix} \quad S^{1-} = \begin{bmatrix} 79.43579 \\ 76.60597 \\ 71.05542 \\ 78.62259 \\ 32.76913 \end{bmatrix} \quad S^{2+} = \begin{bmatrix} 93.70986 \\ 113.24435 \\ 95.34438 \\ 95.83915 \\ 64.17273 \end{bmatrix} \quad S^{2-} = \begin{bmatrix} 73.18474 \\ 36.75669 \\ 71.28725 \\ 70.64053 \\ 100.26446 \end{bmatrix}$$

$$S^{3+} = \begin{bmatrix} 95.07816 \\ 104.09410 \\ 97.03846 \\ 94.62981 \\ 58.77063 \end{bmatrix} \quad S^{3-} = \begin{bmatrix} 56.03748 \\ 37.02839 \\ 52.71964 \\ 57.02503 \\ 93.47633 \end{bmatrix}$$

4. Υπολογισμός της σχετικής απόστασης για κάθε εναλλακτική λύση στις ιδανικές λύσεις.

$$C^1 = \begin{bmatrix} 0.55750 \\ 0.53764 \\ 0.49868 \\ 0.55179 \\ 0.22998 \end{bmatrix} \quad C^2 = \begin{bmatrix} 0.43851 \\ 0.22024 \\ 0.42714 \\ 0.42326 \\ 0.60077 \end{bmatrix} \quad C^3 = \begin{bmatrix} 0.36807 \\ 0.24321 \\ 0.34628 \\ 0.37456 \\ 0.61398 \end{bmatrix}$$

Τα αποτελέσματα των σεναρίων που εξετάστηκαν με βάση τις προτιμήσεις των τριών DM ξεχωριστά είναι τα εξής:

DM 1 με προσανατολισμό σε περιβαλλοντολογικά θέματα: Αναδεικνύεται 1<sup>η</sup> η Κάνδανος, 2<sup>η</sup> η Σητεία, 3<sup>η</sup> η Ζάκρος, 4<sup>ο</sup> το Τυμπάκι και 5<sup>ος</sup> ο Πύργος

DM 2 με προσανατολισμό την απόδοση κεφαλαίου: Αναδεικνύεται 1<sup>ος</sup> ο Πύργος, 2<sup>η</sup> η Κάνδανος, 3<sup>η</sup> η Ζάκρος, 4<sup>ο</sup> το Τυμπάκι και 5<sup>η</sup> η Σητεία

DM 3 με προσανατολισμό την ήπια και ισόρροπη ανάπτυξη: Αναδεικνύεται 1<sup>ος</sup> ο Πύργος, 2<sup>ο</sup> το Τυμπάκι, 3<sup>η</sup> η Κάνδανος, 4<sup>η</sup> η Ζάκρος και 5<sup>η</sup> η Σητεία

Μετά από κάποιες συνεδριάσεις, η ομάδα απόφασης δε κατάφερε να καταλήξει σε ομόφωνη απόφαση. Έτσι υιοθετήσαμε την επέκταση της TOPSIS για λήψη απόφασης ομάδας, η οποία περιγράφεται στην ενότητα 1.5.7 και χρησιμοποιείται για τη συνάθροιση των ομοιοτήτων που

λήφθηκαν από τους διαφορετικούς DM. Η προσέγγιση αυτή υπολογίζεται παρακάτω.

##### 5. Υπολογισμός των Positive Ideal Solution και Negative Ideal Solution της ομάδας.

Εάν λάβουμε τον γεωμετρικό μέσο όρο των αποστάσεων, που υπολογίστηκε στο βήμα 3, για κάθε εναλλακτική λύση από τη θετική ιδανική λύση και την αρνητική ιδανική λύση, αντίστοιχα, το ομαδικό PIS και NIS θα είναι

$$S^+ = \begin{bmatrix} 82.02425 \\ 91.74529 \\ 87.10474 \\ 83.01256 \\ 71.08941 \end{bmatrix} \quad S^- = \begin{bmatrix} 68.80792 \\ 47.06643 \\ 64.39624 \\ 68.16408 \\ 67.46904 \end{bmatrix}$$

##### 6. Υπολογισμός της σχετικής απόστασης για κάθε εναλλακτική λύση στις ιδανικές λύσεις για την ομάδα.

Υπολογισμός της σχετικής απόστασης στην ιδανική λύση και ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων με φθίνουσα σειρά. Η σχετική απόσταση της i-οστής εναλλακτικής  $A_i$  σε σχέση με το PIS μπορεί να εκφραστεί ως

$$C^k = \begin{bmatrix} 0.436737 \\ 0.316322 \\ 0.403044 \\ 0.432006 \\ 0.435501 \end{bmatrix}$$

##### 7. Ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων σύμφωνα με τον πίνακα $C^k$ .

Η τελική ταξινόμηση που προκύπτει από τον πίνακα απόφασης  $C^k$  είναι η εξής: Αναδεικνύεται 1<sup>η</sup> η Κάνδανος, 2<sup>ο</sup> το Τυμπάκι, 3<sup>ο</sup> ο Πύργος, 4<sup>η</sup> η Ζάκρος και 5<sup>η</sup> η Σητεία.

Η προσέγγιση αυτή είναι πιο προτιμητέα από τη παραδοσιακή μεμονωμένη προσέγγιση απόφασης, καθώς εξομαλύνει τις οποίες διαφορές στις προτιμήσεις των DM.

Σειρά προτίμησης	DM 1	DM 2	DM 3	Ομάδα Απόφασης
1 <sup>η</sup>	Κάνδανος	Πύργος	Πύργος	Κάνδανος
2 <sup>η</sup>	Σητεία	Κάνδανος	Τυμπάκι	Τυμπάκι
3 <sup>η</sup>	Ζάκρος	Ζάκρος	Κάνδανος	Πύργος
4 <sup>η</sup>	Τυμπάκι	Τυμπάκι	Ζάκρος	Ζάκρος
5 <sup>η</sup>	Πύργος	Σητεία	Σητεία	Σητεία

**Πίνακας 36:** Σειρά προτίμησης ανά DM.

Όπως προκύπτει από την αξιολόγηση των 5 περιοχών από την ομάδα απόφασης των 3 DM χωριστά, υπάρχει πρόβλημα στον δείκτη ικανοποίησης μεταξύ των ιθυνόντων διότι οι διαφορές βάρους κάνουν τη διαφορά υπέρ της μίας ή της άλλης εναλλακτικής λύσης (Πύργος) ιδιαίτερα εμφανή. Πιο συγκεκριμένα ο DM 1 διαφωνεί πλήρως με την επιλογή των DM 2 και 3.

Παρατηρούμε ότι όταν η απόφαση λαμβάνεται μέσω της παραδοσιακής προσέγγισης απόφασης ομάδας το αποτέλεσμα είναι πολύ δύσκολο να ικανοποιήσει την ομάδα. Έτσι η επιχείρηση θα έχει δυσκολία στην εκτέλεση αυτής της απόφασης επειδή θα παρουσιαστούν προβλήματα περιβαλλοντολογικής φύσης.

Όταν όμως η απόφαση ομάδας λαμβάνεται μέσω της προτεινόμενης προσέγγισης απόφασης ομάδας, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της ομάδας προκύπτουν κατόπιν συμβιβασμού. Όπως προκύπτει από τον πίνακα 36, ο DM 1 έχει ισχυρή προτίμηση στην επιλεγμένη εναλλακτική λύση (Κάνδανος), ο DM 2 την έχει ως 2<sup>η</sup> προτίμηση και ο DM 3 την έχει ως 3<sup>η</sup> προτίμηση.

Όπως έχει υπολογιστεί, η σχετική απόσταση στην ιδανική λύση  $C^k$  (δηλαδή ο δείκτης ικανοποίησης) δίνει σχετικά μικρές διαφορές στις 4 πρώτες εναλλακτικές λύσεις με αποτέλεσμα να υπάρχει μία αποδεκτή τελική απόφαση.

Μπορεί να μην είναι μια εναλλακτική λύση που προτιμάται ισχυρά από κάθε μέλος της ομάδας, αλλά είναι η πιο ικανοποιητική επιλογή επειδή οι υπόλοιπες εναλλακτικές λύσεις έχουν εξεταστεί στην προτεινόμενη προσέγγιση απόφασης ομάδας.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να ερευνηθεί πώς οι τεχνικές MCDA μπορούν να εφαρμοστούν για να παρέχουν την καλύτερη βοήθεια απόφασης για τους επενδυτές των συστημάτων ΑΠΕ. Με τη παρουσίαση μιας προηγμένης προσέγγισης, μπορεί να επιλεγεί αποτελεσματικά η πιο κατάλληλη μέθοδος MCDA για ένα δεδομένο πρόβλημα λήψης απόφασης, όπως η χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ.

Το πρόβλημα που εξετάστηκε αφορά την αξιολόγηση της καταλληλότητας εκτάσεων γης για τη χωροθέτηση αιολικών πάρκων στη Κρήτη και μπορεί να αποτελέσει τη βάση για μελέτη και εφαρμογή με αξιόπιστα αποτελέσματα σε ανάλογες περιπτώσεις επιλογής χωροθέτησης ΑΠΕ.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, σε πρώτο στάδιο έγινε η συλλογή και οργάνωση των απαραίτητων δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη για κάθε περίπτωση τη γεωφυσική του τόπου, το αιολικό δυναμικό, την απόδοσή τους, τη σύνδεση με το διασυνδεδεμένο δίκτυο καθώς και την ισχύουσα νομοθεσία για την χωροταξία τους κα., προσδιορίσαμε κατάλληλες περιοχές προς εκμετάλλευση (προεπιλογή).

Σε δεύτερο στάδιο εξετάσαμε 5 επιλεγμένες περιοχές της Κρήτης από το σύνολο των εναλλακτικών περιοχών για χωροθέτηση αιολικών πάρκων (κριτήριο απόφασης).

Σε τρίτο στάδιο επιλέξαμε 21 κριτήρια αξιολόγησης από ένα μεγάλο φάσμα οικονομικών, τεχνικών, κοινωνικών και περιβαλλοντολογικών κριτηρίων, προκειμένου να μελετηθεί το πρόβλημα της χωροθέτησης Α/Γ στο νησί της Κρήτης (κριτήριο αξιολόγησης).

Το πρόβλημα της αξιολόγησης των 5 περιοχών για την επιλογή, γίνεται μέσω προσομοίωσης ομάδας 3 DM που βασίζουν την άποψή τους κυρίως σε οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντολογικούς παράγοντες.

Για τον υπολογισμό του δείκτη καταλληλότητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος TOPSIS. Οι 3 DM αξιολογούν τις υποψήφιες 5 περιοχές χωριστά. Στη συνέχεια η μελέτη, λαμβάνοντας υπόψη τις μεμονωμένες αξιολογήσεις κάθε DM, ανέλυσε περαιτέρω τα αποτελέσματα και ταξινόμησε το σύνολο των υποψήφιων περιοχών σύμφωνα με τη τεχνική λήψης απόφασης ομάδας. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης διαδικασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 36.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε η Κάνδαμος έχει τις πιο ισχυρές προτιμήσεις της

ομάδας απόφασης ενώ οι επόμενες 3 περιοχές (Τυμπάκι, Πύργος, Ζάκρος) ακολουθούν με μικρή διαφορά.

### **Απαντήσεις σε κύρια ερωτήματα**

**Ερώτηση 1:** Πώς θα επιλεγεί η πιο κατάλληλη μέθοδος MCDA για το υπό εξέταση πρόβλημα λήψης απόφασης, με δεδομένο ότι η αξιοπιστία των μεθόδων MCDA μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από μαθηματική άποψη;

Υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες τεχνικές MCDA για να λυθεί το πρόβλημα λήψης απόφασης, όπου διαφορετικές τεχνικές έχουν διαφορετικές ελλοχεύουσες υποθέσεις, πρότυπα ανάλυσης, και κανόνες απόφασης που σχεδιάζονται για την επίλυση μιας ορισμένης κατηγορίας προβλημάτων λήψης απόφασης. Κατά συνέπεια, είναι σημαντικό να επιλεγεί η πιο κατάλληλη μέθοδος MCDA για ένα δεδομένο πρόβλημα.

Παρουσιάστηκε μια προηγμένη προσέγγιση για να επιλεγεί αποτελεσματικά η πιο κατάλληλη μέθοδος MCDA για ένα δεδομένο πρόβλημα λήψης απόφασης και αναπτύχθηκε ένα ευφύες σύστημα υποστήριξης απόφασης πολλαπλών κριτηρίων.

**Ερώτηση 2:** Πώς θα εφαρμοστούν αποτελεσματικά οι βελτιωμένες τεχνικές MCDA στο σχεδιασμό και στη διαδικασία χωροθέτησης των ΑΠΕ;

Αρχικά θεσπίστηκε ένα νέο πλαίσιο βελτιστοποίησης που ενσωματώνει τις τεχνικές MCDA στη διαδικασία σχεδιασμού των ΑΠΕ. Έπειτα καταδείχθηκε ότι η επιλεγμένη μέθοδος MCDA (TOPSIS) παρείχε μια καλή αντικειμενική λειτουργία για τη επιλογή της κατάλληλης λύσης στο σχεδιασμό και στη διαδικασία αξιολόγησης των ΑΠΕ και έπειτα επιλύθηκε το πρόβλημα λήψης απόφασης με τη βοήθεια της Matlab.

**Ερώτηση 3:** Πώς βελτιώνει τη διαδικασία λήψης απόφασης η τεχνική λήψης απόφασης ομάδας σε σχέση με τη τεχνική μεμονωμένης λήψης αποφάσεων;

Σε μια εποχή εκτενούς επιχειρηματικού ανταγωνισμού, οι εταιρίες αναζητούν αποδοτικότητα και τη βέλτιστη λύση στην επίλυση των προβλημάτων απόφασης. Ένας αποτελεσματικός μηχανισμός απόφασης ομάδας θα βελτιώνει την ποιότητα διαδικασίας λήψης απόφασης, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση της εταιρίας.

Η μελέτη χρησιμοποιεί ένα πρότυπο απόφασης ομάδας, το οποίο διαφέρει από τα παραδοσιακά, και είναι βασισμένο στη TOPSIS aggregation. Λαμβάνει υπόψιν στην κατασκευή της λύσης τις τρεις πτυχές των διαφορών βαρών, των εναλλακτικών προτεραιοτήτων και των ιδανικών ομαδικών λύσεων. Επομένως, το πρότυπο απόφασης ομάδας οδηγεί σε μια απόφαση που είναι ρεαλιστικότερη και αποδεκτή από τους ιθύνοντες και αποφεύγει τη δυσκολία της δέσμευσης από την ανάληψη υποχρεώσεων που μπορεί να είναι αποτέλεσμα από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις απόφασης.

Λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας των τηλεδιασκέψεων και της ηλεκτρονικής πληροφορίας, οι ιθύνοντες είναι τώρα ικανοί να ολοκληρώσουν μια απόφαση ομάδας χωρίς να χρειαστεί μια διαπροσωπική συνεδρίαση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι ιθύνοντες πρέπει μόνο να ταξινομήσουν τις εναλλακτικές λύσεις χρησιμοποιώντας πχ. τη TOPSIS, ο καθένας χωριστά. Έπειτα με τη συνάθροιση των προτιμήσεών τους, που επιτυγχάνεται από τη λήψη απόφασης ομάδας, δίδονται τα στοιχεία για μια ρεαλιστική και αποδεκτή απόφαση. Κατά συνέπεια, σε εύλογο χρόνο, λύνονται τα προβλήματα της συνάθροισης των προτιμήσεων και ο αποφασίζων σε διευθυντική κλίμακα έχει το εργαλείο για να λάβει τη τελική απόφαση.

## **Προτάσεις**

Η εργασία αυτή πραγματεύεται ορισμένες παραμέτρους για περαιτέρω μελέτη στη διαδικασία χωροθέτησης των ΑΠΕ στη Κρήτη μέσω τεχνικών MCDA. Η μεταβολή της σημαντικότητας των παραγόντων όπως η ωριμότητα της τεχνολογίας κτλ. στον χρόνο μπορεί να ανατρέψει τη βαρύτητα ορισμένων κριτηρίων.

Η Αιολική ενέργεια, όπως και οι άλλες ΑΠΕ, έχει διακύμανση και εξυπηρετεί την αιχμή ζήτησης του ηλεκτρικού δικτύου. Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός και συνδυασμός διαφορετικών ΑΠΕ ώστε τα μειονεκτήματα της μίας μορφής ΑΠΕ να αντισταθμίζονται από την άλλη.

Η μεθοδολογία που αναλύθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί με βάση την επιλογή μειγμάτων καυσίμου στην επιλογή χωροθέτησης μονάδων ΑΠΕ για να αντιμετωπίσει έναν μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό στη Κρήτη.





# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΑΤΛΑΒ**

```

function [ ORD ] = Topsis_Diploma( Read_Filename )
%Topsis_Diploma Summary of this function goes here
%Read values from excel file (enter file like this: 'C:\folder\myExample')
%without the affix
%Excel must have syntax as follows:
% 1st column: No of DMs
% 2nd column: No of Criteria
% 3rd column: No of Alternatives
% Then each sheet corresponds to each DM and is as follows
% w = vector with weights
% d = vector. 0 = ascending criterion, 1 = descending criterion
% A(i, j) = table with i = alternative, j = criterion value

```

```

Info = xlsread(Read_Filename,1);

```

```

No_of_DMs = Info(1,1);
No_of_Criteria = Info(1,2);
No_of_Altrenatives = Info(1,3);
w = Info(1:No_of_Criteria,4);
w=w';
d = Info(1:No_of_Criteria,5);
d=d';
A = Info(1:No_of_Altrenatives,6:No_of_Criteria+2);

```

```

T_Pos = zeros(No_of_Altrenatives,No_of_DMs);
T_Neg = zeros(No_of_Altrenatives,No_of_DMs);

```

```

for f=1: No_of_DMs
    if f>1
        Info = xlsread(Read_Filename,f);
        w = Info(1:No_of_Criteria,1);
        w=w';
        d = Info(1:No_of_Criteria,2);
        d=d';
        A = Info(1:No_of_Altrenatives,3:No_of_Criteria+2);
        [Pos_S, Neg_S] = TOPSIS( A, w, d );
    else
        [Pos_S, Neg_S] = TOPSIS( A, w, d );
    end
    %Step 4: Calculate the relative closeness to the ideal solution C for
    %individual DM
    C = Neg_S / (Pos_S + Neg_S);
    C( :, ~any(C,1) ) = []; %columns
    printmat(C);
    T_Pos(:,f) = T_Pos(:,f) + Pos_S;
    T_Neg(:,f) =T_Neg(:,f) + Neg_S;
end

```

```

C = GroupTOPSIS( T_Pos, T_Neg );
Result = '_Result';
Write_Filename = [Read_Filename Result];
xlswrite(Write_Filename,C);
end

```

```

function [ Pos_S, Neg_S ] = TOPSIS( A, w, d )
%Basic Topsis
%Step 1: Weighted table normalization

for f=1:size(A,2)

```

```

    for k=1: size(A,1)
        if d(1,f) == 1
            A(f,k) = 1 / A(f,k); %invert values assigned to descending criterion
        end
    end
end

temp_normal = A.^2;
temp_normal = sum(temp_normal,2);

for f=1:size(A,1)
    for k=1: size(A,2)
        R(f,k) = A(f,k) ./ sqrt(temp_normal(f,1)); %Normalize values
    end
end

for f=1:size(A,1)
    for k=1: size(A,2)
        Weighted(f,k) = w(1,k)*A(f,k); %Normalize values
    end
end

%Step 2: Calculate concordance and discordance matrix

Pos_ideal = max(Weighted);
Neg_ideal = min(Weighted);

%Step 3: Calculate the separation measures for each alternative
Temp_pos = 0;
Temp_neg = 0;
Pos_S = size(A,1);
Neg_S = size(A,1);

for f=1:size(A,1)
    for k=1: size(A,2)
        Temp_pos = Temp_pos + (Pos_ideal(1,k) - Weighted(f,k))^2;
        Temp_neg = Temp_neg + (Neg_ideal(1,k) - Weighted(f,k))^2;
    end
    Pos_S(f,1) = sqrt(Temp_pos);
    Neg_S(f,1) = sqrt(Temp_neg);
    Temp_pos = 0;
    Temp_neg = 0;
end
end

function [ C ] = GroupTOPSIS( Pos, Neg )
% GroupTOPSIS Summary of this function goes here
% Pos is the table, whose each column is the Positive S of each DM
% Neg is the table, whose each column is the Negative S of each DM

%Step 5: Calculate the measures of PIS and NIS for the group.
PK = size(Pos, 2);
NK = size(Pos, 2);
GrPos = zeros(PK, 1);
GrNeg = zeros(NK, 1);
Ptemp = 1;
Ntemp = 1;

for f=1:size(Pos,1)
    for k=1: size(Pos,2)

```

```

        Ptemp = Ptemp * Pos(f,k); %Normalize values
        Ntemp = Ntemp * Neg(f,k); %Normalize values
    end
    GrPos(f,1) = Ptemp^(1/PK);
    Ptemp = 1;
    GrNeg(f,1) = Ntemp^(1/NK);
    Ntemp = 1;
end

%Step 6: Calculate the measures of PIS and NIS for the group.
C = GrNeg / (GrPos + GrNeg);
C( :, ~any(C,1) ) = []; %columns
end

```



# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Afgan, N., Carvalho, M.G., 2001. Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy* 27, 739–755.
2. Ahlroth, S., Nilsson, M., Finnveden, G., Hjelm, O., Hochschorner, E.: Weighting and valuation in selected environmental system analysis tools suggestions for further developments. *Journal of Cleaner Production* 19, 145-156 (2011)
3. Allaire, D., Willcox, K.: Surrogate modeling for uncertainty assessment with application to aviation environmental system models. In: 12th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference (2008)
4. Ambiente Italia. Sustainable alternative fluent energy based development of small Mediterranean islands. Istituto di ricerche, Cec DG XVII, Milano, 1995.
5. Ascough, J., Maier, H., Ravalico, J., Strudley, M.: Future research challenges for incorporation of uncertainty in environmental and ecological decision-making. *Ecological Modelling* 219(34), 383-399 (2008)
6. Beccali G, Cellura M, Mistretta M. A decision support system software based on multi-criteria analysis for the selection of urban sustainability scenarios. In: Proceedings of the International Conference 'RIO 02 World Climate and Energy Event. 2002. p. 301–8.
7. Beccali M. Nuove tecnologie energetiche e sviluppo sostenibile, un approccio multicriteria per la valutazione delle probabilita` di successo di una pianificazione innovativa. PhD thesis, 1994.
8. Beccali M., Cellura M., Mistretta M, Decision Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28, 2003 and 2063–2087.
9. Beccali, M., Cellura, M., Ardente, D., 1998. Decision making in energy planning: The Electre multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology 39(16–18), 1889–1881.

10. Belton V, Stewart TJ. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Boston: Kluwer Academic Publications; 2002.
11. Belton, V., Stewart, T.J.: Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers (2002)
12. Benayoun, R., Roy, B., Sussman, N.: Manual de reference du programme electre. *Psychoemtriaka* 38, 337-369 (1973)
13. Bevington, P.R.: Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. McGraw-Hill company (1969)
14. Blower, S., Dowlatabadi, H.: Uncertainty analysis of complex models of diseases transmission. *International Statistical Review* 62, 229-243 (1994)
15. Bogetoft P, Pruzan PM. Planning with multiple criteria: investigation, communication and choice. København: Handelshøjskolens forlag; 1997.
16. Bozbura, F. T., Beskese, A., & Kahraman, C. (2007). Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 32, 1100–1112.
17. Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., Slowinski, R.: Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches. Springer-Verlag, Berlin, Germany (2008)
18. Brans, J., Vincke, P., Mareschal, B.: How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research* 24, 228-238 (1986)
19. Brans, J., Vincke, P.: A preference ranking organization method: The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science* 31, 647-656 (1985)
20. Brans, J.P., Mareschal, B., 1998. How to decide with PROMETHEE. ULB and VUB Brussels Free Universities.



21. Browne D, O'Regan B, Moles R. Use of multi-criteria decision analysis to explore alternative domestic energy and electricity policy scenarios in an Irish city-region. *Energy* 2010; 35(2):518e28.
22. Calpine, H.C., Golding, A.: Some properties of pareto-optimal choices in decision problems. *Omega* 4, 141-147 (1976)
23. Cengiz Kahraman, Ihsan Kaya (2010). A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives. *Expert Systems with Applications* 37 6270–6281
24. Chen, C. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1–9.
25. Chinese D, Nardin G, Saro O. Multi-criteria analysis for the selection of space heating systems in an industrial building. *Energy* 2011; 36(1):556e65.
26. Chu M-T et al (2007) Comparison among three analytical methods for knowledge communities' group-decision analysis. *Expert Syst Appl* 33:1011–1024
27. Ciocca B, Zucca C. Cogenerazione di energia elettrica, termica e frigorifera per la comunita` di S. Patrignano. In: *Proceedings of Aicarr Conference 'Le centrali frigotermoelettriche negli impianti di climatizzazione: esperienze e idee'*, Padova 1994.
28. Climaco J (1997) *Multicriteria analysis*. Springer, New York
29. Collette, Y., Siarry, P.: *Multiobjective Optimization: Principles and Case Studies*. Springer (2003)
30. Corner, J., Buchanan, J., Henig, M.: Dynamic decision problem structuring. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 10, 126-141 (2001)
31. Cosic B, Krajacic G, Duic N. A 100 % renewable energy system in the year 2050: the case of Macedonia. *Energy* 2012; 48(1):80e7.

32. Davis, J., Hands, W., Maki, U.: Handbook of Economic Methodology. Edward Elar (1997)
33. De Neufville, R.e.a.: Uncertainty management for engineering systems planning and design. Tech. rep., MIT International Engineering Systems Symposium, Monograph, MIT, Cambridge, MA. (2004)
34. De Weck, O., Eckert, C.: A classification of uncertainty for early product and system design. Tech. rep., Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division (2007)
35. Dehling, H.: Daniel Bernoulli and the St. Petersburg paradox. Vierde serie Deel 15, 223-227 (1997)
36. Der Pas et al., J.V.: Exploratory MCDA for handling deep uncertainties: The case of intelligent speed adaptation implementation. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 1, 1-13 (2010)
37. Diakaki C et al (2010). A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings. Energy 35:5483–5496
38. Dodgson J, Spackman M, Pearman A, Phillips L. DTLR multi-criteria analysis manual. UK Department for Transport, Local Government and the Regions; 2001.
39. Durbach, I., Stewart, T.: Using expected values to simplify decision making under uncertainty. Omega 37, 312-330 (2009)
40. Durbach, I.: A simulation-based test of stochastic multicriteria acceptability analysis using achievement functions. European Journal of Operational Research 170, 1229-1237 (2006)
41. Durbach, I.N., Stewart, T.J.: Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. European Journal of Operational Research 223 (1), 1-14 (2012)

42. E. Georgopoulou a, D. Lalas b, L. Papagiannakis a, 1996. A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research* 103 (1997) 38-54
43. Edwards, W.: How to use multiattribute utility measurement for social decision making. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics* 7, 326-340 (1977)
44. Ehrgott M, Gandibleux X. Introduction. In: Ehrgott M, Gandibleux X, editors. *Multiple criteria optimization: state of the art annotated bibliographic surveys*. Boston: Kluwer Academic Publishers; 2002.
45. Ehrgott, M., Figueira, J., Greco, S.: *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer (2010)
46. Energoprojekt ENTEL. The strategy of energy development in Belgrade until 2030. Belgrade; 2008: [In Serbian].
47. Fan, Z.P., Liu, Y., Feng, B.: A method for stochastic multiple criteria decision making based on pairwise comparisons of alternatives with random evaluations. *European Journal of Operational Research* 207, 906-915 (2010)
48. Fausto Cavallaro, 2005, An Integrated Multi-Criteria System to Assess Sustainable Energy Options: An Application of the PROMETHEE Method, *NOTA DI LAVORO* 22.2005, FEBRUARY 2005, IEM –International Energy Markets
49. Fieberg, J., Jenkins, K.: Assessing uncertainty in ecological systems using global sensitivity analyses: a case example of simulated wolf reintroduction effects on elk. *Ecological Modelling* 187, 259-280 (2005)
50. Figueira, J., S. Greco, M. Ehrgott (eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis, - State of the Art - Surveys*, *International Series in Operations Research and Management Science*, pp. 297-344, Springer.
51. Fragiadakis, J., 2004. *Photovoltaic Systems*. Ziti Publications (in Greek).

52. Germain, M.S.: Test for significance (2007)
53. Ghafghazi S, Sowlati T, Sokhansanj S, Melin S. A multi-criteria approach to evaluate district heating system options. *Appl Energy* 2010; 87(4):1134e40.
54. Ghanadan R, Koomey JG. Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California. *Energy Policy* 2005; 33(9):1117e42.
55. Ginot, V., Gaba, S., Beaudouin, R., Aries, F., Monod, H.: Combined use of local and anova-based global sensitivity analyses for the investigation of a stochastic dynamic model: Application to the case study of an individual-based model of a fish population. *Ecological Modelling* 193, 479-491 (2006)
56. Goletsis, Y., Psarras, J., & Samouilidis, J. E. (2003). Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups. *Annals of Operations Research*, 120, 135–157.
57. Greenpeace, «Αποτίμηση του κοινωνικού οφέλους από την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών», Ιούλιος 2011
58. Grujic M, Ivezic D. Various projections of energy consumptions in Belgrade by 2030. *Energ Ekon Ekol* 2013; 15(3e4):141e8.
59. Haralambopoulos, A., Polatidis, H., 2003. Renewable energy projects: structuring multi-criteria group decision-making framework. *Renewable Energy* 28, 961–973.
60. HELAPCO (Hellenic Association of Photovoltaic Companies), 2006a. contacts.
61. Helton, J.: Conceptual and computational basis for the quantification of margins and uncertainty. Tech. rep., SANDIA National Laboratories (2009)
62. Hepbasli, A., & Ozalp, N. (2003). Development of energy efficiency and management implementation in the Turkish industrial sector. *Energy Conversion and Management*, 44, 231–249.

63. Hiremath RB, Shikha S, Ravindranath NH. Decentralized energy planning; modeling and application e a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11(5): 729e52.
64. Hobbs BF, Horn GTF (1997) Building public confidence in energy planning: a multimethod MCDM approach to demand-side planning at BC gas. *Energy Policy* 25:357–375
65. Howell, D.C.: *Statistical Methods for Psychology*. Wadsworth, Cengage Learning (2010)
66. Hristakis, D., Minadakis, J., Tsabazis, K., Katsaprakakis, D., Kozirakis, G., Sarantidis, G., 2006. The Wind Potential in Crete, in conference: Energy and development in Crete. Laboratory of Wind Energy and Design of Wind Systems, Technological Educational Institute of Crete, Institute of Energy of S.E. Europe, pp.35–52 (in Greek).
67. <http://anakyklwsh.wordpress.com/2011/01/28/%CE%B1%CE%B9%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1/>
68. [http://climate.wwf.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=29&Itemid=93](http://climate.wwf.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=93)
69. [http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/actions/whatiseudoing\\_el.htm](http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/actions/whatiseudoing_el.htm)
70. <http://eur-lex.europa.eu/el/index.htm>
71. [http://landwaterwind.blogspot.com/2011\\_01\\_01\\_archive.html](http://landwaterwind.blogspot.com/2011_01_01_archive.html)
72. [http://users.sch.gr/imarinakis/aeolian\\_energy.htm](http://users.sch.gr/imarinakis/aeolian_energy.htm)
73. <http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm>
74. [http://www.cres.gr/kape/news/deltia/forma\\_biogas.htm](http://www.cres.gr/kape/news/deltia/forma_biogas.htm)
75. <http://www.econews.gr/2014/09/17/kriti-aiolika-antlisiotamieusi-117597/>

76. <http://www.eeee.gr/index.php>
77. <http://www.exipnasistimata.gr/Content.php?PageId=133>
78. <https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/677>
79. Hwang, C.L., Masud, A.S.: Multiple Objective Decision Making Methods and Applications. Springer (1979)
80. Hwang, C.L., Yoon, K.: Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A State of the Art Survey. Springer (1981)
81. Hwang, C.L., Yoon, K.: Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A State of the Art Survey. Springer (1981)
82. Hyde, K., Maier, H., Colby, C.: Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 12, 245-259 (2003)
83. Hyde, K., Maier, H.: Distance-based and stochastic uncertainty analysis for multi-criteria decision analysis in excel using visual basic for applications. Environmental Modeling & Software 21, 1695-1710 (2006)
84. International Atomic Energy Agency (2008). Nuclear power plants information. <http://www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.oprconst.htm>
85. International Energy Agency (2008). Key world energy statistics 2007. [http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key\\_stats\\_2007.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf)
86. Jolliet, O. (1994), "Critical Surface Time, an Evaluation Method for Life Cycle Impact Assessment including Fate", in: Udo de
87. Jovanovic M, Afgan N, Bakic V. An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban areas. Energy 2010; 35(9): 3909e20.

88. Jovanovic M, Afgan N, Radovanovic P, Stevanovic V. Sustainable development of the Belgrade energy system. *Energy* 2009; 34(5):532e9.
89. Jovanovic M, Turanjanin V, Bakic V, Pezo M, Vucicevic B. Sustainability estimation of energy system options that use gas and renewable resources for domestic hot water production. *Energy* 2011; 36(4):2169e75.
90. Kaldellis, J., Kavadias, K.A., Filios, A.E., Garofallakis, S., 2004. Income loss due to wind energy rejected by the Crete island electrical network—the present situation. *Applied Energy* 79, 127–144.
91. Kaygusuz, K. (2002). Environmental impacts of energy utilisation and renewable energy policies in Turkey. *Energy Policy*, 30, 689–698.
92. Keeney, R.L., Raia, H.: *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press (1993)
93. Keeney, R.L.: *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts (1992)
94. Kleinpeter, M. (1995). *Energy planning and policy*. John Wiley and Sons.
95. Konidari P, Mavrakakis D. A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy* 2007; 35(12):6235e57.
96. Lahdelma, R., Hokkanen, J., and Salminen, P. 1998. SMAA—Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis. *European Journal of Operational Research* 106:137–143.
97. Lee, K.: A weighting method for the korean eco-indicator. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 4, 161-165 (1999)
98. Li, Y.: *An intelligent knowledge-based multiple criteria decision making advisor for systems design*. Ph.D. thesis, Aerospace Systems Design Laboratory, School of Aerospace Engineering, Georgia Institute of Technology (2007)

99. Lindeijer, E.: Normalisation and valuation. In: Part VI of the SETAC Working Group Report on LCA Impact Assessment. IVAM Environmental Research, University of Amsterdam, The Netherlands (1996)
100. Lipscomb, D.M. and Teylor, A.C. (1978), Noise control (handbook of principles and practices), Litton Educational Publishing, USA.
101. Loken E. Use of multi-criteria decision analysis methods for energy planning problems. Renewable Sustainable Energy Reviews 2007;11(7):1584e95.
102. Lowry, R.: Concepts and Applications of Inferential Statistics. Vassar College (1998)
103. Lu, J., Quaddus, M., K.L.Poh, Williams, R.: The design of a knowledge-based guidance system for an intelligent multiple objective decision support system (imodss). In: 10th Australasian Conference on Information Systems (1999)
104. Lund H. Renewable energy strategies for sustainable development. Energy 2007;32(6):912e9.
105. MacCrimmon, K.: An overview of Multi-Objective Decision Making. The University of South Carolina Press (1973)
106. Marino, S., Hogue, I., Ray, C., Kischner, D.: A methodology for performing global uncertainty and sensitivity analysis in system biology. Journal of Theoretical Biology 254, 178-196 (2008)
107. McKay, M.D., Beckman, R.J., Conover, W.: Comparison of 3 methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. Technometrics 21, 239-245 (1979)
108. MEI: Spearman rank correlation coefficient. (2007)
109. Miettinen, K.: Nonlinear multiobjective optimization. Kluwer Academic Publishers (1999)



110. Miettinen, P., Hmlinen, R.: How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (lca). *European Journal of Operational Research* 102, 279-294 (1997)
111. Milani, A.S., Shanian, A., Lahham, C.: Using different electre methods in strategic planning in the presence of human behavioral resistance. *Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences* 2006, 1-19 (2006)
112. Mishra, S., Deeds, N., Ruskau, G.: Global sensitivity analysis techniques for probabilistic ground water modeling. *Ground Water* 47, 727-744 (2009)
113. Montgomery, D.C., Runger, G.C.: *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley and Sons, Inc. (2006)
114. Montibeller, G., Belton, V.: Qualitative operators for reasoning maps. *European Journal of Operational Research* 195, 829840 (2009)
115. Mroz T. Planning of community heating systems modernization and development. *Appl Therm Eng* 2008; 28(14e15):1844e52.
116. Munda, G. 1995. Multicriteria evaluation in a fuzzy environment. Theory and applications. In *Ecol. Econ. Physica*. Heidelberg: Verlag.
117. Neves LP, Martins AG, Antunes CH, Dias LC. A multi-criteria decision approach to sorting actions for promoting energy efficiency. *Energy Policy* 2008; 36(7): 2351e63.
118. Nijkamp, P., and Vreeker, R. 2000. Sustainability assessment of development scenarios: Methodology and application to Thailand. *Ecological Economics* 33:7–27.
119. Nijkamp, P., Rietvelt, P., and Voogd, H. 1990. *Multi-criteria evaluation in physical planning*. Amsterdam: North-Holland.
120. Papadaki, M., Tsoutsos, T., Maria, E., Antonidakis, E., 2003. A multicriteria decision making methodology for sustainable energy development. *Fresenius Environmental Bulletin* 12 (5), 426–430.

121. Poh, K.L.: A knowledge-based guidance system for multi-attribute decision making. *Artificial Intelligence in Engineering* 12, 315-326 (1998)
122. Pohekar SD, Ramachandran M (2004) Application of multi-criteria decision-making to sustainable energy planning—a review. *Renew Sustain Energy Rev* 8:365–381
123. Pokharel, Sh., and Chandrashekar, M. 1998. A Multiobjective approach to rural energy policy analysis. *Energy* 23:325–336.
124. Polatidis H et al (2006) Selecting an appropriate multi-criteria decision analysis technique for renewable energy planning. *Energy Sources Part B* 1:181–193
125. Polatidis, H., & Haralambopoulos, D. A. (2004). Local renewable energy planning: A participatory multi-criteria approach. *Energy Sources*, 26, 1253–1264.
126. Polatidis, H., Haralambopoulos, D., Kemp, R., and Rothman, D. 2003. Creating an energy system that we want but don't know yet using Integrated Assessment, Transition Management, and Multi-Criteria Analysis. *Integrated Assessment* 4:205–213.
127. Ramanathan, R., and Ganesh, L. S. 1995. Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: An integrated model using goal programming and AHP. *Socio-Econ. Plann. Sci.* 29:197–218.
128. Regione Autonoma Sardegna. Sistema informativo per l'energia: Bilancio energetico e quadro di riferimento per la pianificazione energetica regionale. Snam Progetti and Enel/CESEN, 1997.
129. Roman, F., Rolander, N., Fernandez, M.G., Bras, B., Allen, J., Mistree, F., Chastang, P., Dpinc, P., Bennis, F.: Selection without reflection is a risky business... In: 10th AIAA/SSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, 30 August-1 September 2004, Albany, New York (2004)
130. Roy B. Classement et choix en pre'sence de point de vue multiple (la me'thode Electre). *Revue Informatique et Recherche Operationelle* 1968; 8.

131. Roy, B. (1985), *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, Paris
132. Roy, B. and D. Bouyssou, (1993). *Aide multicritère à la décision: Méthodes et Cas*. Economica, Paris
133. Roy, B., and Vincke, Ph. 1981. Multicriteria analysis: Survey and new directions. *European Journal of Operational Research* 8:207–218.
134. Roy, B.: The outranking approach and the foundations of electre methods. *Theory and Decision* 31, 49-73 (1991)
135. Rubin, A.: *Statistics for Evidence-Based Practice and Evaluation*. Thomson (2007)
136. Saaty, T.L.: *The Analytic Hierarchy Process*. University of Pittsburg (1988)
137. Saltelli, A., Tarantola, S., Chan, K.: A quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output. *Technometrics* 41, 39-56 (1999)
138. San Cristóbal JR (2011) Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: the VIKOR method. *Renew Energy* 36:498–502
139. Sen, P., Yang, J.B.: *Multiple Criteria Decision Support in Engineering Design*. Springer (1998)
140. Seppala, J., Hamalainen, R.: On the meaning of the distance-to-target weighting method and normalization in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 6(4), 211–218 (2001)
141. Sheskin, D.: *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*. Chapman and Hall/CRC (2004)

- 142.Simos, J. (1990), *Evaluer l'impact sur l'environnement*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Suisse.
- 143.Smets, Ph. 1988. Belief functions. In *Non-standard logics for automated reasoning*, Ph. Smets, E. H. Mamdani, D. Dubois, and H. Prade (Eds.), pp. 253–286. London: Academic Press.
- 144.Smets, Ph. 1997. The normative representation of quantified beliefs by belief functions. *Artificial Intelligence* 92:229–242.
- 145.Smets, Ph., and Kennes, R. 1994. The transferable belief model. *Artificial Intelligence* 66:191–234.
- 146.Sun, X., Li, Y.: An intelligent multi-criteria decision support system for systems design. In: *13th Multidisciplinary Analysis and Optimization (MAO) and 10th Aviation Technology Integration and Operations (ATIO) Conference*, Texas, USA (13-15 September 2010)
- 147.Taguchi, G., Chowdhury, S., Wu, Y.: *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Wiley (2005)
- 148.Tecle, A.: Selecting a multicriterion decision making technique for watershed resources management. *Water Resources Bulletin* 28, 129-140 (1992)
- 149.Theodorou S, Florides G, Tassou S. The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy* 2010; 38(12):7783e92.
- 150.Tolga Kaya (a), Cengiz Kahraman (b), *Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology*, (a) Istanbul Technical University, Department of Management Engineering, 34367 Macka, Istanbul, Turkey, (b) Istanbul Technical University, Department of Industrial Engineering, 34367 Macka, Istanbul, Turkey, Expert

151. Topcu, Y. I., & Ulengin, F. (2004). Energy for the future: An integrated decision aid for the case of Turkey. *Energy*, 29, 137–154.
152. Triantaphyllou, E.: *Multi-Criteria Decision Making Methods: A comparative Study*. Kluwer Academic Publishers (2000)
153. Tsoutsos T, Drandaki M, Frantzeskaki N, Iosifidis E, Kiosses I. Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy* 2009; 37(5):1587e600.
154. Ulesous Engineering, 2006. RES Project Development Division.
155. Ulutas, B. H. (2005). Determination of the appropriate energy policy for Turkey. *Energy*, 30, 1146–1161.
156. Vincke, P. 1992. *Multicriteria decision aid*. New York: Wiley.
157. von Winterfeldt, D., and Edwards, W. 1986. *Decision analysis and behavioral research*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
158. Vucicevic B, Jovanovic M, Afgan N, Turanjanin V. Assessing the sustainability of the energy use of residential buildings in Belgrade through multi-criteria analysis. *Energy Build* 2014;69:51e61.
159. Walker, W.E., Harremoes, P., Rotmans, J., der Sluijs, J.P.V., Asselt, M.V., Janssen, P., Krauss, M.V.: *Designing uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support*. *Integrated Assessment* 4, 5-17 (2003)
160. Wang M et al (2010) The comparison between MAUT and PROMETHEE. In: *IEEE international conference on industrial engineering and engineering management (IEEM)*, 2010, pp 753–757

161. Wang, J., Jing, Y., Zhang, C., & Zhao, J. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263–2278.
162. Wirth, N.: Algorithms and data structures. Federal Institute of Technology (2004)  
[www.mei.org.uk/files/pdf/Spearmanrcc.pdf](http://www.mei.org.uk/files/pdf/Spearmanrcc.pdf)
163. Xiaoqian Sun: Multiple Criteria Decision Analysis Techniques in Aircraft Design and Evaluation Processes, 2012
164. Yoon, K.: The propagation of errors in multiple-attribute decision analysis: A practical approach. *Journal of Operational Research Society* 40, 681-686 (1989)
165. Zeng, J., An, M., & Smith, N. J. (2007). Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, 25, 589–600.
166. Zhang, Y., Rundell, A.: Comparative study of parameter sensitivity analyses of the tcr-activated erk-mapk signalling pathway. *IEE Proceedings of System Biology* 153, 201-211 (2006)
167. Zhou P et al (2006) Decision analysis in energy and environmental modeling: an update. *Energy* 31:2604–2622
168. Zopounidis, C., Pardalos, P.: Handbook of Multi-Criteria Analysis. Springer (2010)
169. Zopounidis, C., Pardalos, P.: Handbook of Multi-Criteria Analysis. Springer (2010)
170. Zultner, R., Mazur, G.: The kano model: Recent developments. In: Transactions from The Eighteenth Symposium on Quality Function Deployment (2006)
171. Ανδρονίκου Ε., 2012: Ανάπτυξη των ΑΠΕ και επιπτώσεις στην απασχόληση. Η περίπτωση της Κύπρου.

- 172.Βασιλεία Δ. Χρυσοστόμου: Κριτήρια Χωροθέτησης Χ.Υ.Τ.Α., Α.Π.Θ. (2012)
- 173.Βλάχος, 2007: Ανάπτυξη βάσης γνώσης για πολυκριτήριες μεθόδους.
- 174.Γ.Μπεργελές, «Ανεμοκινητήρες», εκδόσεις Συμεών, 2005
- 175.Γρηγορούδης, Ε. και Ι. Σίσκος (2005). Ποιότητα υπηρεσιών και μέτρηση ικανοποίησης του πελάτη: Το σύστημα MUSA, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα
- 176.ΔΕΗ, 2010: Αντιόπη Γιγάντιου, Ηλεκτρική Ενέργεια Στη Κρήτη
- 177.Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών, Κύπρος: Οκτώβριος 2010
- 178.Ιωάννης Γκόλιας, « Άνθρωπος και Περιβάλλον στον 21ο αιώνα: Τα Κρίσιμα Προβλήματα - Μεταφορές και Περιβάλλον», 13.10.2008
- 179.Μ. Π. Παπαδόπουλος, «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1997; 1-2, 2-6
- 180.Ματσατσίνης, Ν., 2010: Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων.
- 181.Νάκου, Ευτυχία Χ., 2007: Χωροθέτηση αιολικού πάρκου στο νομό Φωκίδας με λογική της ασάφειας και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών  
<https://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/677>
- 182.ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ
- 183.ΟΔΗΓΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ: «ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΟΤΗΤΑ, ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ Η ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΧΩΡΟΥ», Επιτροπή Διαχείρισης

- 184.Σίσκος, Ι. (1981). Μεθοδολογία ποιοτικού marketing: Η ανάλυση αγοράς. ΣΠΟΥΔΑΙ, τόμος ΛΔ', Α.Β.Σ.Π., Πειραιάς, 361-385
- 185.Σίσκος, Ι. (1986). Πολυκριτήρια ανάλυση, Εγκυκλοπαίδεια Πληροφορικής & Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα, 84-92
- 186.Τσίτουρα Ι. (2012). Βιώσιμη χωροθέτηση αιολικών πάρκων - Μελέτη περίπτωσης στην Περιφέρεια Κρήτης.
- 187.<http://www.arcgis.com/>
- 188.Hsu-Shih Shih, Huan-Jyh Shyur, E. Stanley Lee, 2006: An extension of TOPSIS for group decision making.