



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΑΣ**  
**ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ: ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ"**

**Δημήτριος Γ. Γεωργίου**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Ροζάκης Σ., Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α. (επιβλέπων)**

Καμπάς Α., Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Παπαδάκης Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.

Αθήνα, Σεπτέμβριος, 2012



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΑΣ**  
**ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ: ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ"**

**Δημήτριος Γ. Γεωργίου**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Ροζάκης Σ., Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α. (επιβλέπων)**

**Καμπάς Α., Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.**

**Παπαδάκης Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος, 2012**

# **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

## **"ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ"**

**Δημήτριος Γ. Γεωργίου**

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Ροζάκης Σ., Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α. (επιβλέπων)**

**Καμπάς Α., Επίκ. Καθηγητής Γ.Π.Α.**

**Παπαδάκης Γ., Καθηγητής Γ.Π.Α.**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος, 2012**

*Σε όλους όσους με έχουν στηρίξει στην πορεία της ζωής μου*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν ουσιαστικά, άμεσα ή έμμεσα, στην ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Ροζάκη Στέλιο, που μου έδωσε το έναυσμα να ασχοληθώ με μια εργασία σε ένα θέμα εξαιρετικού ενδιαφέροντος και πρακτικής χρησιμότητας. Τον ευχαριστώ για τη συνεχή υποστήριξη, καθοδήγηση, επίβλεψη, υπομονή και την άψογη συνεργασία. Για όλα όσα με δίδαξε με όρεξη και ενδιαφέρον και τις πολύτιμες συμβουλές του που με ενέπνευσαν για την εκπόνηση της εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ τον Δρ. Essam Mohamed για την υπομονή, την κατανόηση και την άμεση ανταπόκριση και καθοδήγηση σε κάθε σημείο της παρούσας εργασίας.

Με την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου που σηματοδοτεί η συγγραφή της παρούσας εργασίας, θέλω να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες στην οικογένειά μου για τη στήριξη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, την αμέριστη συμπαράσταση, κατανόηση και αγάπη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Χωρίς τη βοήθειά τους και την πίστη τους σε εμένα η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήταν ανέφικτη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ελένη Μπαϊρακτάρη για την παρότρυνση, τη συμπαράστασή της, καθώς και την πολύτιμη συμβολή της στην εκπόνηση της εργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>i</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>ii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>v</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>x</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Εισαγωγή</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Αφαλάτωση</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Ορισμός</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Τεχνολογίες αφαλάτωσης</b> .....	<b>5</b>
2.2.1 Τεχνολογίες θερμικής απόσταξης.....	6
2.2.1.1 Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing MSF).....	6
2.2.1.2 Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation- MED).....	7
2.2.1.3 Εξάτμιση με ανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression- VC).....	9
2.2.2 Τεχνολογίες μεμβρανών .....	10
2.2.2.1 Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis- RO) .....	10
2.2.2.2 Ηλεκτροδιάλυση (Electro- dialysis- ED).....	11
2.2.3 Αναδυόμενες τεχνολογίες αφαλάτωσης .....	13
<b>3 Αφαλάτωση με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Αναγκαιότητα συνδυασμού αφαλάτωσης- ΑΠΕ</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας</b> .....	<b>15</b>
3.2.1 Ηλιακή ενέργεια .....	15
3.2.2 Αιολική Ενέργεια.....	17
3.2.3 Βιομάζα .....	19
3.2.4 Γεωθερμική ενέργεια .....	19
3.2.5 Θάλασσα- Ενέργεια των ωκεανών .....	20
3.2.6 Υβριδικά συστήματα ΑΠΕ για αφαλάτωση .....	20
<b>4 Λήψη αποφάσεων για τον ενεργειακό σχεδιασμό</b> .....	<b>20</b>
<b>4.1 Πολυκριτηριακή ανάλυση για τη λήψη αποφάσεων</b> .....	<b>20</b>
<b>4.2 Οι σημαντικότερες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης</b> .....	<b>23</b>
4.2.1 Η οικογένεια μεθόδων ELECTRE.....	24
4.2.1.1 Η ELECTRE I.....	24
4.2.1.2 Η ELECTRE II .....	25
4.2.1.3 Η ELECTRE III .....	27
4.2.1.4 Η ELECTRE IV .....	31
4.2.2 Οι μέθοδοι PROMETHEE I και II.....	31
4.2.3 Η μέθοδος MAUT .....	37
4.2.4 Η μέθοδος AHP .....	39
4.2.5 Η μέθοδος TOPSIS.....	44

<b>5</b>	<b>Πολυκριτηριακή ανάλυση στον ενεργειακό σχεδιασμό.....</b>	<b>46</b>
5.1	Επιλογή κριτηρίων.....	46
5.2	Ανασκόπηση εφαρμογών πολυκριτηριακών μεθόδων ανάλυσης στη λήψη αποφάσεων στον τομέα των ΑΠΕ.....	50
<b>6</b>	<b>Μελέτη περιπτώσεων.....</b>	<b>58</b>
6.1	Διαδικασία επιλογής τεχνολογίας αφαλάτωσης.....	58
6.2	Επιλογή μεθοδολογίας.....	61
6.3	Ανάλυση ευαισθησίας.....	73
6.4	Η περίπτωση της Ύδρας.....	74
6.4.1	Εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου AHP για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας.....	75
6.4.2	Εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου Promethee για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας.....	77
6.4.2.1	Επιλογή τύπων στην ανάλυση Promethee- επιλογή κατωφλίων.....	77
6.4.2.2	Τελικά αποτελέσματα.....	79
6.5	Η περίπτωση της Δονούσας.....	80
6.5.1	Εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου AHP για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας.....	81
6.5.2	Εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου Promethee για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας.....	82
6.5.2.1	Επιλογή τύπων στην ανάλυση Promethee- επιλογή κατωφλίων.....	83
6.5.2.2	Τελικά αποτελέσματα.....	84
6.6	Ανάλυση ευαισθησίας.....	86
<b>7</b>	<b>Αποτελέσματα.....</b>	<b>89</b>
<b>8</b>	<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>90</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>92</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>99</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ED	Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis)
invC	Κόστος επένδυσης (Investment Cost)
MED	Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation)
MSF	Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing)
NPV	Καθαρά Παρούσα Αξία (Net Present Value)
RO	Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis)
SEC	Κατανάλωση ενέργειας (Specific Energy Consumption)
VC	Εξάτμιση με ανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression)
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Κ.Ε.	Κόστος Επένδυσης
Κ.Π.Α.	Καθαρή Παρούσα Αξία
Κ.Π.Ν.	Κόστος Παραγόμενου Νερού
Π.Κ.Ε.	Ποσότητα Καταναλισκόμενης Ενέργειας
Π.Π.Ν.	Ποσότητα Παραγόμενου Νερού
Π.Ν.	Ποιότητα Νερού
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Εγκατάσταση πολυβάθμιας εκτόνωσης στη Σ. Αραβία .....	7
Εικόνα 2.2 Εγκατάσταση πολυβάθμιας εξάτμισης στα Η. Α. Εμιράτα.....	8
Εικόνα 2.3 Εγκατάσταση ανασυμπίεσης ατμών .....	9
Εικόνα 2.4 Σύστημα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση .....	11
Εικόνα 2.5 Σύστημα αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση.....	12
Εικόνα 3.1 Φωτοβολταϊκό πάρκο .....	16
Εικόνα 3.2 Αιολικό πάρκο .....	18
Εικόνα 6.1 Χάρτης της Ύδρας .....	75
Εικόνα 6.2 Χάρτης της Δονούσας.....	80

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Διαδικασία αφαλάτωσης .....	5
Σχήμα 2.2 Τεχνολογία πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF).....	7
Σχήμα 2.3 : Τεχνολογία πολυβάθμιας εξάτμισης (MED) .....	8
Σχήμα 2.4 Τεχνολογία εξάτμισης με ανασυμπίεση ατμών (VC) .....	9
Σχήμα 2.5 Τεχνολογία αντίστροφης όσμωσης (RO).....	10
Σχήμα 2.6 Τεχνολογία ηλεκτροδιάλυσης (ED) .....	12
Σχήμα 3.1 Συνδυαστικά συστήματα αφαλάτωσης με Α.Π.Ε.....	15
Σχήμα 3.2 Συνδυαστικό σύστημα αφαλάτωσης –Φ/Β.....	17
Σχήμα 3.3 Συνδυαστικό σύστημα αφαλάτωσης – αιολικής ενέργειας.....	19
Σχήμα 4.1 Ιεραρχικό μοντέλο στη μέθοδο AHP .....	40
Σχήμα 6.1 Σύνδεση της μονάδας ΑΩ με τη 1 .....	59
Σχήμα 6.2 Υβριδικό σύστημα με ανεμογεννή 1 .....	59
Σχήμα 6.3 Απευθείας σύνδεση της Φ/Β συστ 1.....	60
Σχήμα 6.4 Σύνδεση της μονάδας ΑΩ με ανεμ 1 .....	60

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1 Οι έξι διαφορετικοί τύποι της μεθόδου Promethee .....	33
Πίνακας 4.2 Βασικές μορφές συναρτήσεων χρησιμότητας.....	38
Πίνακας 4.3 Πίνακας συγκρίσεων .....	40
Πίνακας 4.4 Τιμές και ερμηνεία τους ως προς την σημαντικότητα.....	41
Πίνακας 4.5 RI για διαφορετικές τιμές του n .....	43
Πίνακας 5.1 Ανασκόπηση εφαρμογών πολυκριτηριακών μεθόδων .....	57
Πίνακας 6.1 Στοιχεία κόστους Φ/Β συστήματος.....	64
Πίνακας 6.2 Στοιχεία κόστους ανεμογεννήτριας.....	65
Πίνακας 6.3 Στοιχεία κόστους του συστήματος αφαλάτωσης .....	66
Πίνακας 6.4 Οικονομικοί δείκτες τοπολογιών .....	67
Πίνακας 6.5 Τεχνικοί δείκτες τοπολογιών .....	67
Πίνακας 6.6 Περιβαλλοντικοί δείκτες τοπολογιών.....	67
Πίνακας 6.7 Κοινωνικοί δείκτες τοπολογιών .....	68
Πίνακας 6.8 Σύγκριση οικονομικών υποκριτηρίων.....	68

Πίνακας 6.9	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα οικονομικά υποκριτήρια.....	69
Πίνακας 6.10	Σύγκριση τεχνικών υποκριτηρίων.....	70
Πίνακας 6.11	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα τεχνικά υποκριτήρια .....	70
Πίνακας 6.12	Σύγκριση περιβαλλοντικών υποκριτηρίων .....	71
Πίνακας 6.13	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα περιβαλλοντικά υποκριτήρια .....	71
Πίνακας 6.14	Σύγκριση κοινωνικών υποκριτηρίων .....	72
Πίνακας 6.15	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα κοινωνικά υποκριτήρια.....	73
<b>(Υδρα-AHP)</b>		
Πίνακας 6.16	Σύγκριση κριτηρίων.....	76
Πίνακας 6.17	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα κριτήρια.....	76
<b>(Υδρα-Promethee)</b>		
Πίνακας 6.18	Επιδόσεις κριτηρίων .....	77
Πίνακας 6.19	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια .....	79
Πίνακας 6.20	Τελική κατάταξη τοπολογιών.....	79
<b>(Δονούσα-AHP)</b>		
Πίνακας 6.21	Σύγκριση κριτηρίων.....	81

Πίνακας 6.22	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα κριτήρια.....	81
--------------	---	----

**(Δονούσα-Promethee)**

Πίνακας 6.23	Επιδόσεις τοπολογιών .....	82
--------------	----------------------------	----

Πίνακας 6.24	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια .....	84
--------------	---	----

Πίνακας 6.25	Τελική κατάταξη τοπολογιών.....	85
--------------	---------------------------------	----

**(Ανάλυση ευαισθησίας)**

Πίνακας 6.26	Επιδόσεις τοπολογιών .....	86
--------------	----------------------------	----

Πίνακας 6.27	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια .....	87
--------------	---	----

Πίνακας 6.28	Τελική κατάταξη τοπολογιών.....	87
--------------	---------------------------------	----

Πίνακας 6.29	Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια .....	88
--------------	---	----

Πίνακας 6.30	Τελική κατάσταση τοπολογιών.....	88
--------------	----------------------------------	----

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 6.1 Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα οικονομικά υποκριτήρια.....	69
Διάγραμμα 6.2 Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα τεχνικά υποκριτήρια.....	71
Διάγραμμα 6.3 Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα περιβαλλοντικά υποκριτήρια.....	72
Διάγραμμα 6.4 Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα κοινωνικά υποκριτήρια .....	73
<b>(Υδρα-AHP)</b>	
Διάγραμμα 6.5 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών .....	76
<b>(Υδρα-Promethee)</b>	
Διάγραμμα 6.6 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών .....	80
<b>(Δονούσα-AHP)</b>	
Διάγραμμα 6.7 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών .....	82
<b>(Δονούσα-Promethee)</b>	
Διάγραμμα 6.8 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών .....	85
<b>(Ανάλυση ευαισθησίας)</b>	
Διάγραμμα 6.9 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών - AHP .....	86
Διάγραμμα 6.10 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών- Promethee.....	87
Διάγραμμα 6.11 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών - Promethee.....	88

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή ερευνητική εργασία στοχεύει στο να αξιολογήσει επιλεγμένα συνδυαστικά συστήματα αφαλάτωσης με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (τοπολογίες), έτσι ώστε να γίνει η επιλογή του κατάλληλου με βάση κάποια συγκεκριμένα κριτήρια. Το αποτέλεσμα θα οδηγήσει τους ενδιαφερόμενους στη χάραξη σωστής πολιτικής, ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της λειψυδρίας σε άνυδρα νησιά του Αιγαίου.

Αρχικά γίνεται αναφορά στις μεθόδους αφαλάτωσης, οι οποίες χωρίζονται σε θερμικές και σε μεμβρανών. Η κυρίαρχη μέθοδος στον κόσμο, αλλά και που συντριπτικά εφαρμόζεται στην Ελλάδα είναι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης. Η αφαλάτωση, χρειάζεται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Οι συμβατικές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας θεωρούνται κοστοβόρες αλλά και αρκετά επιβλαβείς για το περιβάλλον. Γι'αυτόν τον λόγο γίνεται αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και στους τρόπους με τους οποίους μπορούν να λειτουργήσουν συνδυαστικά με τις τεχνολογίες αφαλάτωσης.

Η λήψη αποφάσεων στον ενεργειακό σχεδιασμό στηρίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε πολυκριτηριακές μεθόδους. Γι' αυτό στη συνέχεια αναφέρονται οι λόγοι χρήσης πολυκριτηριακών μεθόδων σε τέτοιου είδους αποφάσεις και παρατίθενται αναλυτικά οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες. Έπειτα γίνεται αναφορά σε εργασίες που έχουν δημοσιευθεί, οι οποίες είχαν ως αντικείμενο την εφαρμογή πολυκριτηριακών μεθόδων στον ενεργειακό σχεδιασμό.

Στη συνέχεια παρατίθεται η διαδικασία αξιολόγησης πέντε συγκεκριμένων τοπολογιών για τα νησιά Ύδρα και Δονούσα. Εφαρμόζονται δύο μέθοδοι αξιολόγησης, η AHP και η Promethee, για το κάθε νησί, ώστε να είναι πιο τεκμηριωμένα τα αποτελέσματα. Για την Ύδρα λαμβάνεται υπόψη ότι τα περιβαλλοντικά κριτήρια έχουν υψηλή βαρύτητα ενώ για τη Δονούσα, τα οικονομικά. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη σύδεση Φ/Β συστοιχίας με τη μονάδα ΑΩ, μέσω μετατροπέα υποβιβασμού τάσης για την Ύδρα και το υβριδικό σύστημα με ανεμογεννήτρια, Φ/Β συστοιχία και συσσωρευτές για τη Δονούσα, ως τις κατάλληλες τοπολογίες για εγκατάσταση στο κάθε νησί.

Τέλος, αναλύονται τα δεδομένα και πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας για να διαπιστωθούν τυχόν αλλαγές στα αποτελέσματα όταν αλλάζουν οι βαρύτητες των κριτηρίων.

**λέξεις κλειδιά:** αφαλάτωση, αντίστροφη όσμωση, τοπολογίες, πολυκριτηριακή ανάλυση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας



## **ABSTRACT**

The aim of the present dissertation is to assess selected combinatorial desalination systems powered by Renewable Energy Sources (topologies), in order to choose the appropriate one taking into account specific criteria. The results may help decision-makers to take the right decisions to solve the water deficiency problem in arid regions in the Aegean.

At first, the desalination technologies are presented, these are thermal and membrane methods. The most widespread method all over the world is reverse osmosis, which exists in Greece too. Desalination process requires great amount of energy. The conventional methods of energy production are considered to be costly and to have detrimental effects on the environment. For this reason, the characteristics of the Renewable Energy Sources are mentioned and how they can function by giving power to the desalination technologies.

Decision making in energy sector can be supported by multi-criteria methods. Subsequently, the reasons that multi-criteria methods are used in such kind of decisions are presented. The most widely used methods get analyzed extensively. Then, a review about published works that have to do with application of multi-criteria methods in energy planning is presented.

Then, the evaluation process of five specific topologies for Hydra and Donousa islands is reported. Two methods are used, AHP and Promethee method, for each island, in order to have more substantiated results. For Hydra island, we take into account that the environmental criteria are of high weight and for Donousa island, the economical. The results point to the PV array through the reverse osmosis plant via voltage buck converter for Hydra and the hybrid system, wind turbines, PV array and batteries for Donousa as appropriate technologies for installation on each island.

Finally, the data get analyzed and sensitivity analysis is performed in order to note potential transitions in the results, if the criteria weights' change.

**keywords:** desalination, reverse osmosis, topologies, multi-criteria analysis, renewable energy sources.

# 1 Εισαγωγή

Το νερό είναι απαραίτητο συστατικό σε όλες τις μορφές ζωής στον πλανήτη και καλύπτει τα  $\frac{3}{4}$  της συνολικής επιφάνειας της γης. Το 97% του νερού της γης είναι αλμυρό νερό των ωκεανών και μόνο το 3% είναι πόσιμο, το οποίο προέρχεται από λίμνες και ποτάμια. Ο άνθρωπος εξαρτάται χιλιετίες από αυτές τις πηγές για οικιακή, αγροτική και βιομηχανική χρήση. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ραγδαία αύξηση της ζήτησης πόσιμου νερού, ως αποτέλεσμα της πληθυσμιακής έκρηξης, της ανάγκης για αύξηση του βιοτικού επιπέδου και της υψηλής βιομηχανικής ανάπτυξης.

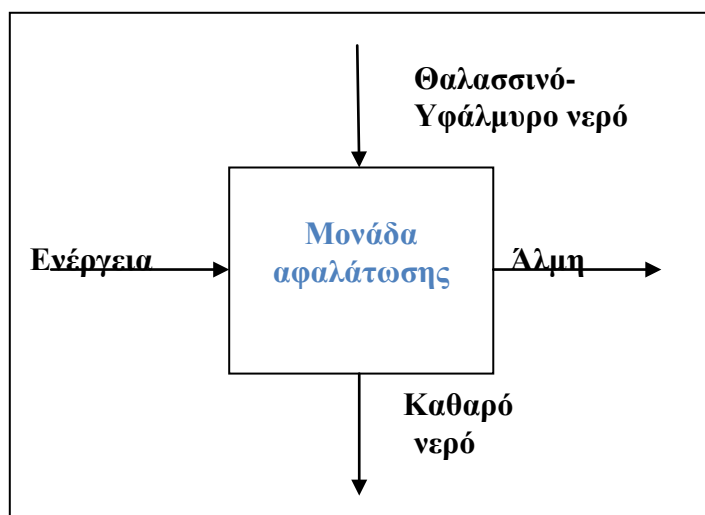
Η έλλειψη πόσιμου νερού και η ανάγκη εύρεσης λύσεων που θα αυξήσουν τα αποθέματα νερού είναι ήδη αποφασιστικής σημασίας σε πολλές άνυδρες περιοχές του κόσμου και θα είναι συνεχώς αυξανόμενης σπουδαιότητας και στο μέλλον. Είναι πολύ πιθανό ότι το ζήτημα του νερού θα θεωρείται, όπως οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι, ένας από τους πιο αποφασιστικής σημασίας παράγοντες για την παγκόσμια σταθερότητα. Πολλές άνυδρες περιοχές δεν διαθέτουν καθαρές πηγές νερού σε μορφή επιφανειακών υδάτων, όπως ποτάμια, λίμνες κ.λπ., παρά μόνο υπόγειες πηγές, οι οποίες γίνονται ολοένα και πιο υφάλμυρες όσο συνεχίζεται η άντληση νερού από τους υδροφορείς (EI- Nashar, 2000).

Περίπου το 25% του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ικανοποιητική ποιότητα και ποσότητα νερού και πάνω από 80 χώρες αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα έλλειψης νερού. Η εντεινόμενη ξηρασία αναμένεται να επιδεινώσει το πρόβλημα τα επόμενα χρόνια. Ακόμη και χώρες που δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα έλλειψης νερού, μπορεί στο μέλλον να έρθουν αντιμέτωπες με τέτοιου είδους προβλήματα. Η αφαλάτωση του νερού μπορεί να αποτελέσει τη λύση σε αυτό το πρόβλημα (Karagiannis/ Soldatos, 2007).

## 2 Αφαλάτωση

### 2.1 Ορισμός

Με τον όρο «αφαλάτωση» χαρακτηρίζουμε κάθε διεργασία, η οποία στοχεύει στην αφαίρεση αλάτων από μία αλατούχα ουσία, κυρίως από αλατούχα ύδατα. Συνεπώς, αφαλάτωση, είναι η διαδικασία ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Βρίσκει εφαρμογές κυρίως σε περιοχές φτωχές σε πόσιμο νερό, ξηρό κλίμα, αλλά με ευκολία πρόσβασης σε θαλασσινό νερό. Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα άρχισε να εμφανίζεται πρόβλημα λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της γης, με αποτέλεσμα να ξεκινήσει και η μεγάλη ανάπτυξη της αφαλάτωσης (Αλεξιάκης, 2003).



Σχήμα 2.1 Διαδικασία αφαλάτωσης

### 2.2 Τεχνολογίες αφαλάτωσης

Οι εμπορικά διαθέσιμες μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Θερμική απόσταξη
- Διαχωρισμό μεμβρανών (Mezher/ Fath/ Abbas/ Khaled, 2010).

Για διαδικασίες θερμικής απόσταξης, δύο μορφές ενέργειας απαιτούνται για τη λειτουργία τους. Η πρώτη είναι η θερμική που είναι και η κύρια μορφή ενέργειας που απαιτείται. Η δεύτερη είναι η ηλεκτρική, που ωθεί τη λειτουργία των αντλιών και των άλλων ηλεκτρικών εξαρτημάτων. Στις τεχνολογίες μεμβράνης, μόνο η ηλεκτρική

ενέργεια απαιτείται (Al-Karaghoul/ Kazmerski, 2011).

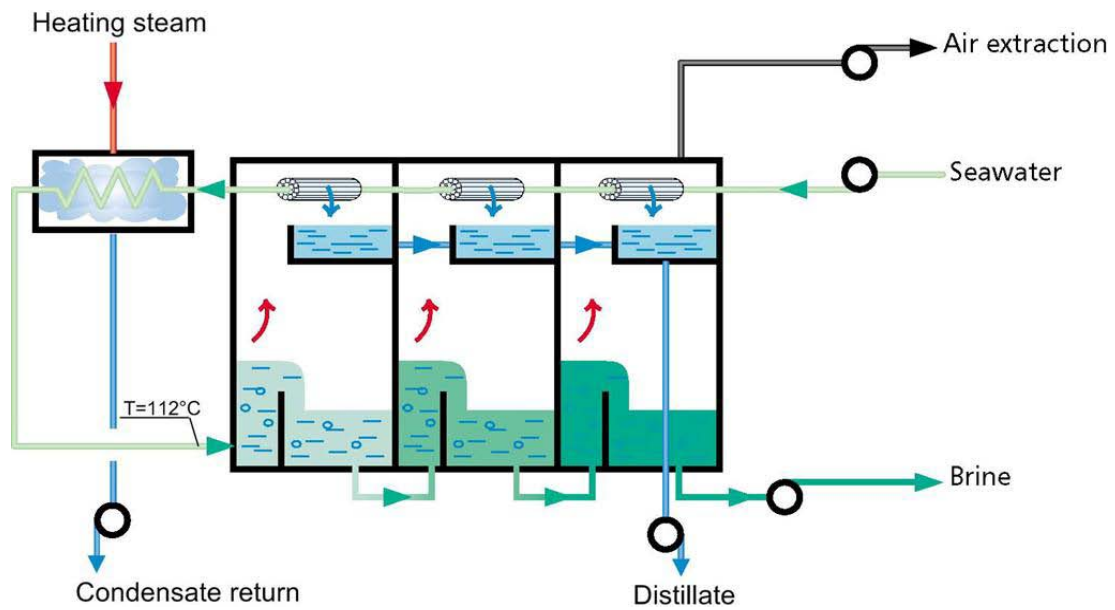
## **2.2.1 Τεχνολογίες θερμικής απόσταξης**

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing-MSF), η πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation- MED) και η εξάτμιση με ανάσυμπιση ατμών (Vapor Compression- VC).

### **2.2.1.1 Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing MSF)**

Το αλμυρό νερό διέρχεται μέσα από μια σειρά σωλήνων. Με αυτή τη διαδικασία προθερμαίνεται πριν εισέλθει στον χώρο θέρμανσης της άλμης. Θερμαίνεται σε αυτόν τον χώρο και στο επόμενο στάδιο, το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη του σημείου ζέσης και στη συνέχεια ατμοποιείται αφού εισέλθει σε έναν θάλαμο όπου η πίεση που επικρατεί είναι χαμηλότερη από την πίεση κορεσμού. Η χαμηλή πίεση συντελεί στον ξαφνικό βρασμό του αλμυρού νερού. Οι ατμοί που έχουν δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια του βρασμού συμπυκνώνονται στους σωλήνες που μεταφέρουν υφάλμυρο νερό και το απόσταγμα συλλέγεται. Μόνο ένα μικρό ποσοστό του νερού που έχει θερμανθεί μετατρέπεται σε ατμό. Αυτό εξαρτάται από την πίεση που έχει καταφέρει να διατηρηθεί σε κάθε στάδιο. Το νερό που έχει απομείνει εισέρχεται στο επόμενο στάδιο, σε ακόμα χαμηλότερη πίεση και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το αλμυρό νερό να ψυχθεί και να απορριφθεί (Mezher/ Fath/ Abbas/ Khaled, 2010).

Η τεχνολογία πολυβάθμιας εκτόνωσης αντιπροσωπεύει το 93% της χρήσης τεχνολογιών θερμικής απόσταξης (Eltawil/ Zhengming/ Yuan, 2009) και το 25% του συνόλου των διαδικασιών αφαλάτωσης (Mezher/ Fath/ Abbas/ Khaled, 2010).



Σχήμα 2.2 Τεχνολογία πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF)

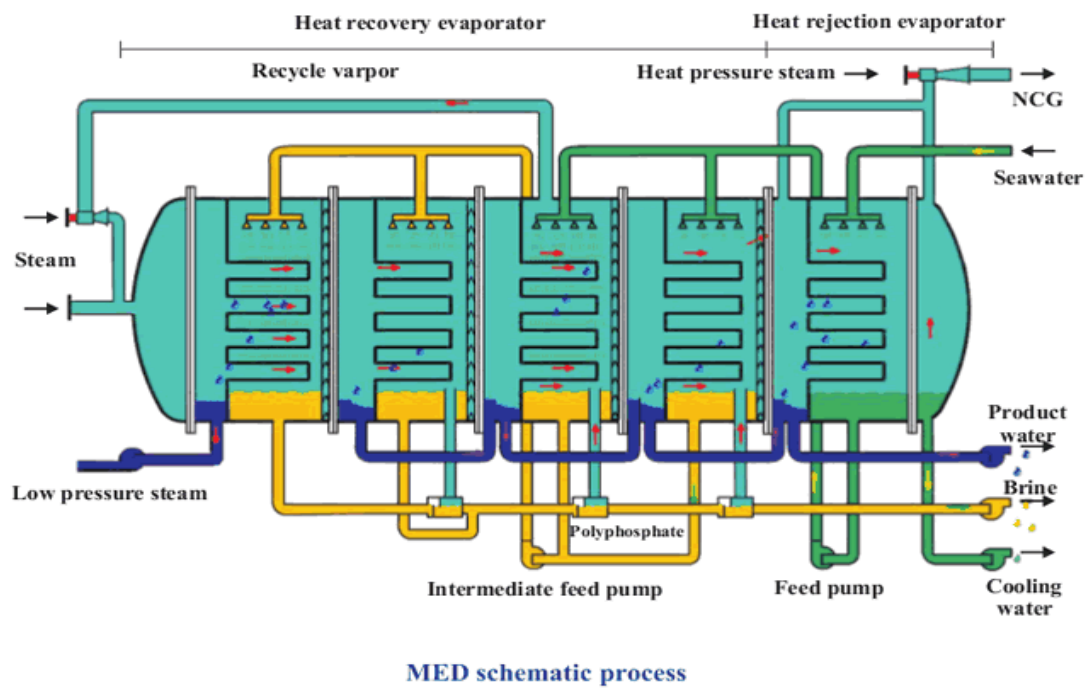


Εικόνα 2.1 Εγκατάσταση πολυβάθμιας εκτόνωσης στη Σ. Αραβία

### 2.2.1.2 Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation- MED)

Στην πολυβάθμια εξάτμιση, το ψυχρό θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω από ατμούς που περνούν μέσα από σωλήνες. Μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται καθαρό νερό. Ο υπόλοιπος ατμός μαζί με μέρος του αλμυρού νερού που ατμοποιήθηκε συνεχίζουν στον επόμενο θάλαμο εξάτμισης, όπου υπάρχει αντλία

κενού για να βοηθάει στην εξάτμιση με μειούμενη πίεση σε κάθε θάλαμο, ώστε να επιτρέπεται η θέρμανση και η περαιτέρω εξάτμιση της άλμης.



Σχήμα 2.3 : Τεχνολογία πολυβάθμιας εξάτμισης (MED)

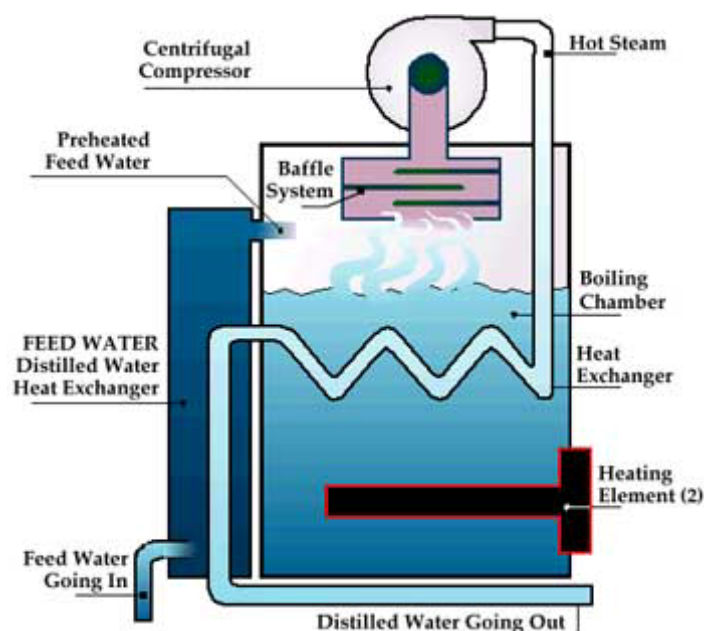


Εικόνα 2.2 Εγκατάσταση πολυβάθμιας εξάτμισης στα Η. Α. Εμράτα



### 2.2.1.3 Εξάτμιση με ανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression- VC)

Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με την πολυβάθμια εξάτμιση. Ατμός διαπερνά μια σειρά από σωλήνες όπου το αλμυρό νερό ψεκάζεται, θερμαίνεται και εξατμίζεται με τη βοήθεια ενός αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Οι ατμοί του καθαρού νερού συλλέγονται από αυτόν τον συμπιεστή και εκτοξεύονται με πίεση μέσα στους σωλήνες. Με την επαφή με το ψυχρό θαλασσινό νερό συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως προϊόν. Σε αυτήν την διαδικασία, η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας παράγεται από τον συμπιεστή, που εκτός από τον να συμπιέζει τους ατμούς, μειώνει την πίεση των ατμών στον θάλαμο ατμοποίησης (Hajeeh/ Al- Othman, 2004).



Σχήμα 2.4 Τεχνολογία εξάτμισης με ανασυμπίεση ατμών (VC)



Εικόνα 2.3 Εγκατάσταση ανασυμπίεσης ατμών

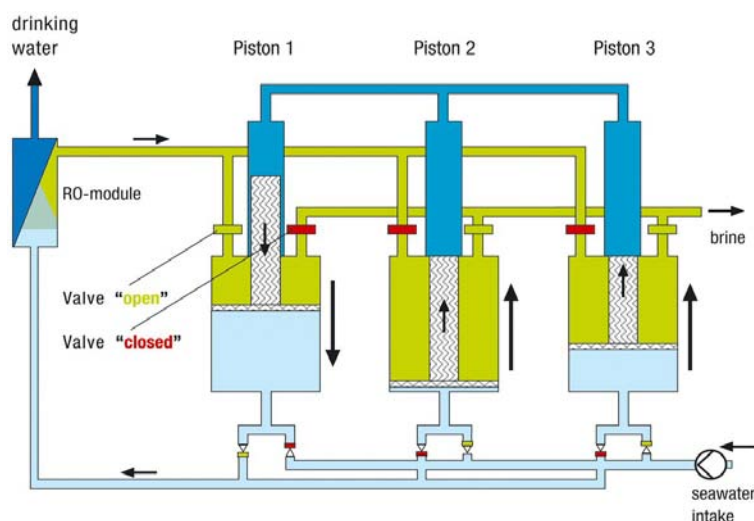
## 2.2.2 Τεχνολογίες μεμβρανών

Οι διεργασίες μεμβράνης λειτουργούν με την παρεμπόδιση ή όχι της διέλευσης ιόντων αλατιού. Οι πιο γνωστές διαδικασίες είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis- RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis- ED).

### 2.2.2.1 Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis- RO)

Στη διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης, το αλμυρό νερό διοχετεύεται σε ένα κλειστό δοχείο, όπου συμπιέζεται από μια ημιπερατή μεμβράνη. Η πίεση του νερού της θάλασσας υπερβαίνει την οσμωτική πίεση και έτσι το καθαρό νερό διαπερνά τη μεμβράνη και η άλμη που άφησε πίσω, αποβάλλεται. Η άλμη που έχει αποβληθεί μπορεί να έχει συγκέντρωση από 20% μέχρι 70%. Εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άλμη του νερού αυτού. Ένα σύστημα αντίστροφης ώσμωσης αποτελείται από μια διαδικασία προεπεξεργασίας, μια αντλία υψηλής πίεσης και μια μεμβράνη.

Η τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης κρίνεται πιο φιλική για το περιβάλλον, καθώς και πιο οικονομική από πλευράς κόστους κτήσης και γενικά χρησιμοποιείται σε πολύ ευρεία κλίμακα (Mezher/ Fath/ Abbas/ Khaled, 2011). Είναι ξεκάθαρη η κυριαρχία της στη χρήση, αφού αντιπροσωπεύει το 88% της συνολικής χρήσης τεχνολογιών μεμβράνης (Eltawil/ Zhengming/ Yuan, 2009) και το 53% σε σύνολο τεχνολογιών αφαλάτωσης (Mezher/ Fath/ Abbas/ Khaled, 2011).



Σχήμα 2.5 Τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης (RO)

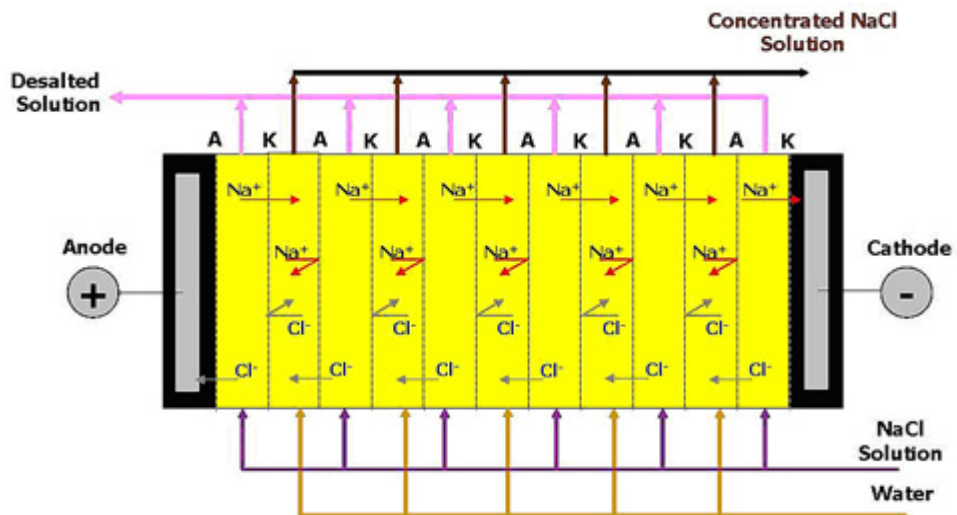




Εικόνα 2.4 Σύστημα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση

#### 2.2.2.2 Ηλεκτροδιάλυση (Electro- dialysis- ED)

Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται η αρχή της ηλεκτρόλυσης για να καθαρίσει το νερό. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για να απομακρυνθούν τα ιόντα άλατος, μέσω μιας μεμβράνης, αφήνοντας πίσω το καθαρό νερό. Το νερό περνά μέσα από φορτισμένες μεμβράνες. Τα διαλυμένα ιόντα προσκολλώνται στις μεμβράνες. Με τη μέθοδο αυτή δεν μπορούν να απομακρυνθούν τα μη ιοντικά στερεά και για τα ιοντικά, η ενέργεια που απαιτείται αλλάζει ανάλογα με τη συγκέντρωση. Συνεπώς, μονάδες ηλεκτροδιάλυσης, σε φυσιολογική λειτουργία, έχουν τη δυνατότητα να αφαλατώσουν νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άλμη (Mezher/ Fath/ Abbas/ Khaled, 2011).



Σχήμα 2.6 Τεχνολογία ηλεκτροδιάλυσης (ED)



Εικόνα 2.5 Σύστημα αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση

### **2.2.3 Αναδυόμενες τεχνολογίες αφαλάτωσης**

Επιπρόσθετα, υπάρχουν και κάποιες αναδυόμενες τεχνολογίες, που βρίσκονται ακόμα στο στάδιο Έρευνας και Ανάπτυξης και είναι η αφαλάτωση με ύγρανση, αφαλάτωση με ψύξη, αφαλάτωση με μεμβράνες, η όσμωση και μέθοδοι εναλλαγής ιόντων (Mezher/ Fath/ Abbas/ Khaled, 2011).

## **3 Αφαλάτωση με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

### **3.1 Αναγκαιότητα συνδυασμού αφαλάτωσης- ΑΠΕ**

Η ενέργεια, συμπεριλαμβανόμενης της ανανεώσιμης ενέργειας αποτελεί απαραίτητο συστατικό όλων των οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων. Είναι πολύ σημαντική η συμβολή της στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη μιας χώρας, συνεπώς και στο βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων (Wang/ Jing/ Zhang/ Zhao, 2009).

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αντιμετωπίζει ο σημερινός κόσμος είναι η μόλυνση του περιβάλλοντος. Γι' αυτόν τον λόγο γίνονται ολοένα και περισσότερες προσπάθειες ώστε να διασφαλιστεί η προστασία του και να μετριαστούν οι επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή με γνώμονα πάντα τη διαρκή ανάπτυξη. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται η εφαρμογή όλων των διαθέσιμων τεχνολογικών εφαρμογών, με κύρια τη χρήση περιβαλλοντικών μοντέλων διοίκησης.

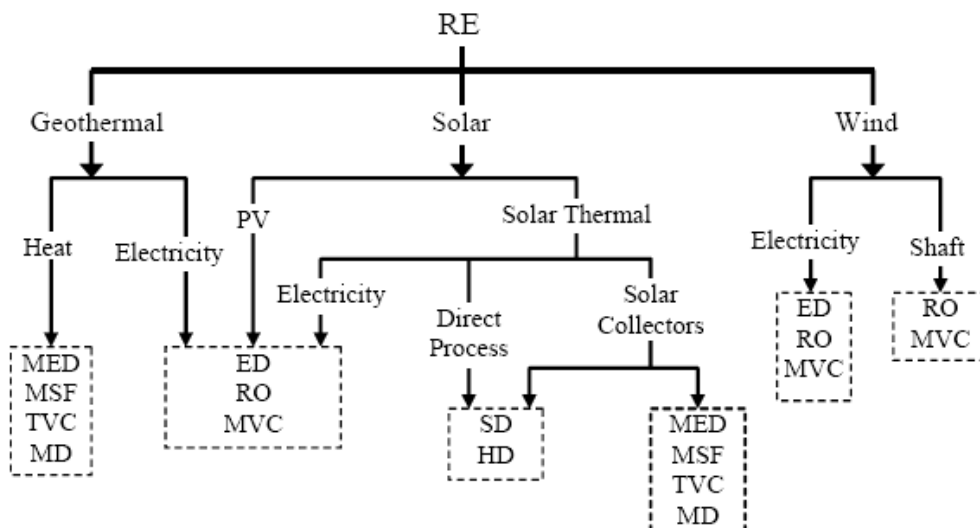
Η άνοδος της τιμής του πετρελαίου έχει οδηγήσει σε αύξηση του κόστους των πρώτων υλών που προέρχονται από αυτό. Η οικονομία της Ευρώπης έχει επηρεαστεί σημαντικά από αυτό το γεγονός σε επίπεδο ανταγωνιστικότητας, από τον πρωτογενή ως τον τριτογενή τομέα της οικονομίας της. Συνεπώς, το οικονομικό περιβάλλον ωθεί τις χώρες σε αναζήτηση διαφορετικών ενεργειακών πηγών. Αναμφίβολα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι η σημαντικότερη πηγή ώστε να απεξαρτηθεί μέρος της οικονομίας τους από τη χρήση πετρελαίου (Cavallaro, 2010) Τα χαρακτηριστικά των ΑΠΕ, εκτός από τα περιβαλλοντικά τους οφέλη, τις

καθιστούν ελκυστικές λύσεις με αποτέλεσμα να αποτελούν τη βασική ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Papadopoulos/ Karagiannidis, 2008).

Η διαδικασία της αφαλάτωσης απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός του άλατος από το θαλασσινό ή το υφάλμυρο νερό. Έχει υπολογιστεί ότι για να παράγονται 1000m<sup>3</sup> πόσιμου νερού ανά ημέρα απαιτούνται 10000 τόνοι πετρελαίου τον χρόνο. Πολλές περιοχές όπου η αφαλάτωση κρίνεται αναγκαία, δεν διαθέτουν πηγές πετρελαίου ούτε έχουν την οικονομική δυνατότητα να ανταπεξέλθουν στην αγορά τόσο μεγάλων ποσοτήτων. Εκτός, όμως, από το κόστος, υπάρχουν και περιβαλλοντικές ανησυχίες σχετιζόμενες με την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Η διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο και η διαθεσιμότητα ώριμων τεχνολογιών σε αυτόν τον τομέα καθιστά δυνατό τον συνδυασμό των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με διαδικασίες παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, με σκοπό την εξασφάλιση της παραγωγής πόσιμου νερού με αειφόρο ανάπτυξη για τις περιοχές ενδιαφέροντος. Έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση τέτοιων συστημάτων, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές και νησιά, εξαιτίας των υψηλών τιμών των ορυκτών καυσίμων, δυσκολιών στην αποκόμισή τους, ενδιαφέρον για περιβαλλοντικά ζητήματα και έλλειψης ηλεκτροδότησης σε απομακρυσμένες περιοχές (El- Nashar, 2000) .

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθιστά το σύστημα αυτόνομο, αφού αποφεύγεται η εξάρτηση του συστήματος από εξωτερικές πηγές για τον εφοδιασμό του σε ενέργεια. Επίσης, η ανάπτυξη αυτών των συνδυαστικών συστημάτων καθιστά δυνατή την εξαγωγή τεχνολογίας και τη συνεργασία μεταξύ υπό ανάπτυξη χωρών. Η λειτουργία και η συντήρηση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ευκολότερη από εκείνη των συμβατικών και τέλος η εμπορικότητα αυτών των συστημάτων λόγω της αναμενόμενης αύξησης της τιμής του πετρελαίου τα καθιστά πολύ ανταγωνιστικά (Mathioulakis/ Belessiotis/ Delyannis, 2007).



Σχήμα 3.1 Συνδυαστικά συστήματα αφαλάτωσης με Α.Π.Ε.

## 3.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 3.2.1 Ηλιακή ενέργεια

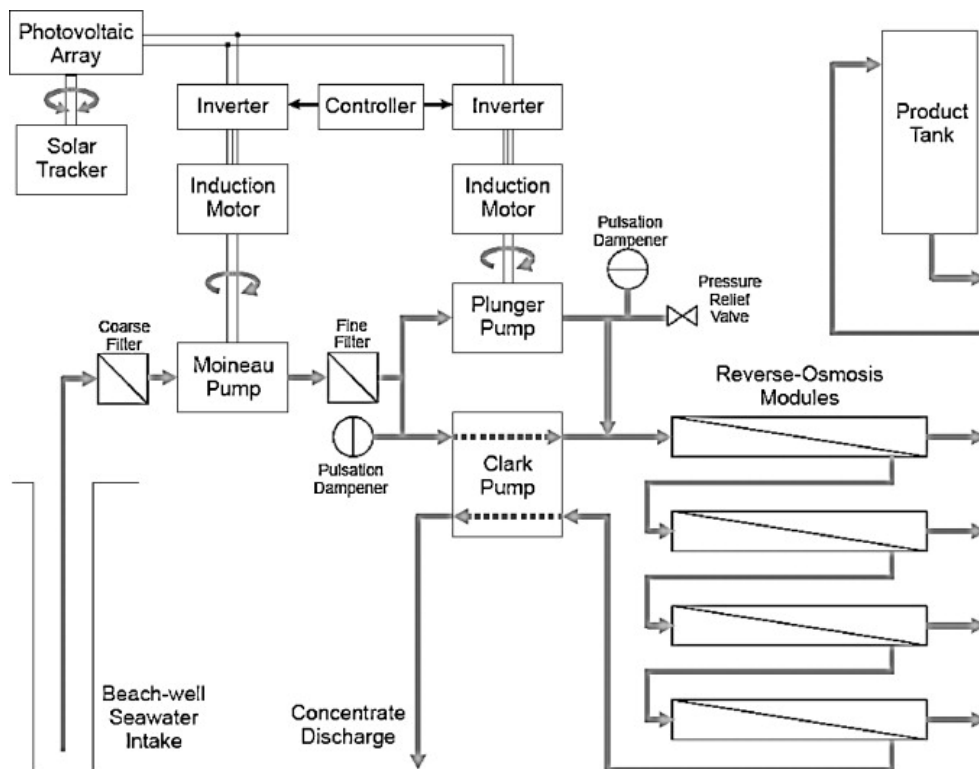
Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί αστείρευτη πηγή ενέργειας στον πλανήτη μας. Αποτελεί την πλέον αξιοποιήσιμη από τις ανανεώσιμες πηγές και εξελίσσεται συνεχώς με αποτέλεσμα να γίνεται πολύ ανταγωνιστική σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και να μετατραπεί σε ηλεκτρική. Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες αποτελούνται από σιλικόνη, παρόλο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα ημιαγωγά υλικά. Η αποδοτικότητα για τις μονοκρυσταλλικές κυψέλες σιλικόνης κυμαίνονται μεταξύ 13% και 15% και για τις πολυκρυσταλλικές μεταξύ 10% και 11%. Οι πολυκρυσταλλικές είναι λιγότερο ακριβές από τις μονοκρυσταλλικές. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών για τα φωτοβολταϊκά γίνονται για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητά τους και να μειώσουν το βιομηχανικό κόστος τους.



**Εικόνα 3.1 Φωτοβολταϊκό πάρκο**

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών θεωρείται, πλέον, ώριμη. Η σύνδεση φωτοβολταϊκών κυψελών με διαδικασίες μεμβράνης στην αφαλάτωση αποτελεί πολύ ενδιαφέρουσα προοπτική για τις απομακρυσμένες περιοχές. Ήδη η σύνδεσή τους με τεχνολογία αντίστροφης όσμωσης έχει στεφθεί με επιτυχία στην αγορά. Το κατά πόσο η ενέργεια από φωτοβολταϊκά είναι ανταγωνιστική σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους ηλεκτροδότησης εξαρτάται από τη δυναμικότητα της μονάδας, την απόσταση από το ηλεκτρικό δίκτυο και από τη συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας (Garcia- Rodriguez, 2002).



Σχήμα 3.2 Συνδυαστικό σύστημα αφαλάτωσης – Φ/Β

### 3.2.2 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις ευρέως ανεπτυγμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Έχει πλεονεκτήματα, όπως η μη ρύπανση του περιβάλλοντος και σχετικά χαμηλό κόστος επένδυσης. Η πρώτη ανεμογεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάστηκε στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Τη δεκαετία του '70, η πετρελαϊκή κρίση έδωσε ώθηση στην έρευνα για ηλεκτροπαραγωγή μέσω αιολικής ενέργειας. Στα τέλη της δεκαετίας του '90 η αιολική ενέργεια αποτελούσε μία από τις σημαντικότερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Την ίδια περίοδο η τεχνολογία αυτή άρχισε να αναπτύσσεται παγκοσμίως και ιδιαίτερα στη Δανία, Γερμανία και Ισπανία. Σήμερα, η αιολική ενέργεια είναι η πιο ταχέως αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργειας (Global Wind Energy Council- GWEC), η παγκόσμια δυναμικότητα αιολικής ενέργειας αυξήθηκε από 7600MW το 1997 σε 192,5GW το 2009. Παρόλα αυτά, η αιολική ενέργεια υπολογίζεται ότι καλύπτει λιγότερο από το 1% της παγκόσμιας ζήτησης ηλεκτρικής

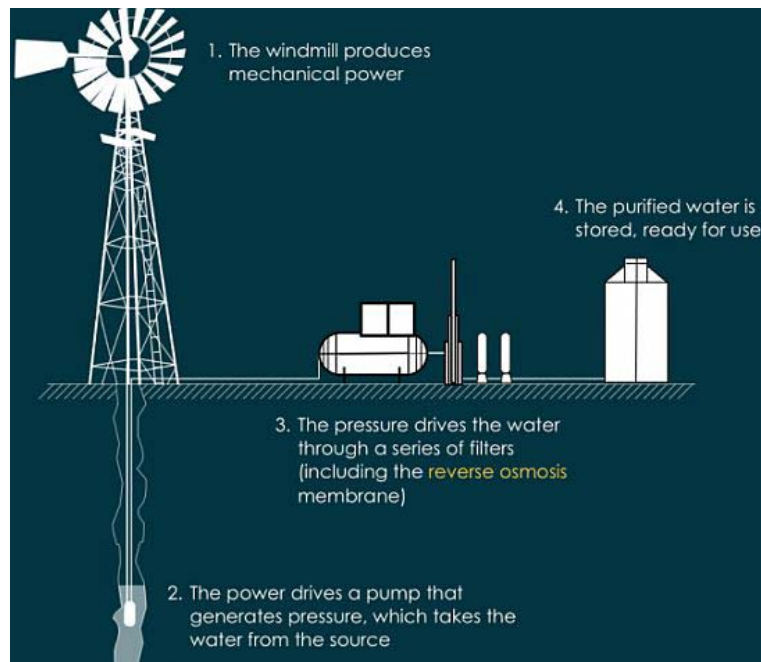
ενέργειας. Προβλέπεται ότι η ποσότητα ενέργειας που θα παράγεται από αιολικά πάρκα θα αυξηθεί κατά 12% έως το 2020 (Zobaa/ Bansal, 2011).



**Εικόνα 3.2 Αιολικό πάρκο**

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να ενισχυθεί σε ενέργεια μια μονάδα αφαλάτωσης. Από πολλές μελέτες έχει διαπιστωθεί η εφικτότητα αυτού του συνδυασμού ιδιαίτερα σε τεχνολογίες μεμβρανών. Ανεμογεννήτριες, μπορούν επί παραδείγματι να συνδυαστούν με μονάδες αφαλάτωσης τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης ή ηλεκτροδιάλυσης. Έχει ιδιαίτερες προοπτικές για νησιωτικές περιοχές όπου υπάρχει υψηλή δυναμικότητα των ανέμων. Πολλοί ερευνητές θεωρούν τα συνδυαστικά συστήματα αντίστροφης όσμωσης με αιολική ενέργεια ως μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες αφαλάτωσης (Mathioulakis/ Belessiotis/ Delyannis, 2007).





Σχήμα 3.3 Συνδυαστικό σύστημα αφαλάτωσης – αιολικής ενέργειας

### 3.2.3 Βιομάζα

Η βιομάζα είναι κάθε μορφή οργανικής ύλης που προέρχεται από βιολογική διαδικασία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεση καύση ή για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Στις μέρες μας η εκμετάλλευση της βιομάζας έχει λάβει εμπορικές διαστάσεις. Υπολείμματα βιομάζας μπορούν να συμβάλουν σε μια διαδικασία απόσταξης ή αφαλάτωσης με θερμομηχανική μετατροπή ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά η χρήση της βιομάζας στην αφαλάτωση, δεν αποτελεί μια υποσχόμενη εναλλακτική, διότι τα οργανικά υπολείμματα συνήθως δεν είναι διαθέσιμα σε άνυδρες περιοχές.

### 3.2.4 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεωθερμία αποτελεί μια ώριμη και ανταγωνιστική τεχνολογία. Κρίνεται οικονομικότερη από την αιολική και την ηλιακή. Έχουν γίνει μελέτες για την χρήση της σε εγκαταστάσεις μεμβρανών και πολυβάθμιας εξάτμισης.

### **3.2.5 Θάλασσα- Ενέργεια των ωκεανών**

Η χρήση αυτής της μορφής ενέργειας δεν έχει ακόμη πρακτική εφαρμογή, γιατί η κυματική ενέργεια δεν είναι ακόμη εμπορεύσιμη, η παλιρροϊκή ενέργεια είναι ακριβή και η ωκεάνια είναι υπό το πρίσμα ερευνών ακόμη (Garcia- Rodriguez, 2002).

### **3.2.6 Υβριδικά συστήματα ΑΠΕ για αφαλάτωση**

Τα υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης στηρίζονται στην ενοποίηση πηγών ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πηγές αυτές δρουν συμπληρωματικά μεταξύ τους. Τα συστήματα αυτά θεωρούνται οικονομική λύση, έχουν ευελιξία στη λειτουργία, λιγότερη κατανάλωση ενέργειας, χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης (Hamed, 2004).

## **4 Λήψη αποφάσεων για τον ενεργειακό σχεδιασμό**

Για τον σχεδιασμό και την αποτίμηση ενός σχεδίου εκμετάλλευσης ΑΠΕ υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη πέρα από τον οικονομικό. Παράγοντες όπως η τοπική ανάπτυξη, η επίδραση στο περιβάλλον που μπορεί να προκαλέσει και το οικονομικό ρίσκο που μπορεί να εμπεριέχει είναι αποφασιστικής σημασίας για τη διαδικασία της απόφασης. Η πολυκριτηριακή ανάλυση είναι ένα πολύ καλό εργαλείο για την αποτίμηση ενός σχεδίου ΑΠΕ όπου πρέπει να ληφθούν πολλά κριτήρια υπόψη για την επιλογή του (Goumas/ Lygerou, 2000).

### **4.1 Πολυκριτηριακή ανάλυση για τη λήψη αποφάσεων**

Ο κόσμος χαρακτηρίζεται από μεγάλη πολυπλοκότητα. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικές επιδράσεις στον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις (Munda, 2008). Οι άνθρωποι που λαμβάνουν τις αποφάσεις προσπαθούν πάντα να λάβουν τη βέλτιστη απόφαση. Η πραγματικά καταλληλότερη απόφαση μπορεί να ληφθεί μόνο όταν έχουμε να λάβουμε υπόψη μονάχα ένα κριτήριο. Στις περισσότερες πραγματικές καταστάσεις, το να βασιστεί μια απόφαση σε ένα μόνο κριτήριο είναι σχεδόν

αδύνατο. Είναι πιθανό, πολλές φορές, να χρειάζεται να συνυπολογιστούν ασύμβατα μεταξύ τους κριτήρια. Συνεπώς, είναι αδύνατο να υπάρξει μια και μοναδική κατάλληλη απόφαση σε κάποιο πρόβλημα. Ο κάθε ενδιαφερόμενος λαμβάνει υπόψη με διαφορετικό τρόπο τα κριτήρια που επηρεάζουν ένα πρόβλημα και που ο ίδιος θεωρεί σημαντικά για την απόφαση (Loken, 2005). Γι' αυτούς τους λόγους η διαδικασία λήψης στρατηγικών αποφάσεων χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και υποκειμενικότητας (Zorounidis/ Pardalos, 2010).

Η πολυκριτηριακή ανάλυση για τη λήψη αποφάσεων είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να ληφθούν αποφάσεις, σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από ένα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή της καταλληλότερης κατεύθυνσης. Με την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης διαχειριζόμαστε περίπλοκα προβλήματα διαχωρίζοντας τα στις επιμέρους συνιστώσες τους. Σταθμίζοντας όλες τις παραμέτρους, τα συστατικά του προβλήματος συναθροίζονται για να συστήσουν το τελικό αποτέλεσμα (San Cristobal Mateo, 2012).

## **Βασικές έννοιες**

### **i. Εναλλακτικές κινήσεις (alternatives)**

Σε ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης, επιλέγεται η ευνοϊκότερη κίνηση από ένα σύνολο δράσεων, που εξετάζονται από τον ερευνητή μέσω μιας σειράς κριτηρίων. Σε ένα τέτοιου είδους πρόβλημα, ο αποφασίζων αξιολογεί δεδομένες εναλλακτικές επιλογές, τις ιεραρχεί ή τις ταξινομεί με βάση τις επιδόσεις τους στα κριτήρια και σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Ο αξιολογητής πρέπει να προσδιορίσει τις επικρατέστερες λύσεις από το άπειρο σύνολο λύσεων που υπακούουν σε ένα σύνολο περιορισμών και να επιλέξει σύμφωνα με τις προτιμήσεις του.

### **ii. Κριτήρια (set of criteria)**

Οι εναλλακτικές κινήσεις συγκρίνονται μέσω ενός συνόλου κριτηρίων, ο καθορισμός των οποίων είναι πολύ σημαντικός για τη διαδικασία. Πρέπει να είναι λογικά και να καλύπτουν το πρόβλημα σφαιρικά.

### **iii. Πίνακας αξιολόγησης**

Ο πίνακας αξιολόγησης κατασκευάζεται μετά τον προσδιορισμό των κριτηρίων και των εναλλακτικών κινήσεων. Περιέχει ποσοτικές και ποιοτικές τιμές κάθε εναλλακτικής ως προς κάθε κριτήριο.

### **iv. Συντελεστές βαρύτητας**

Η σύνθεση των επιδόσεων των εναλλακτικών για όλα τα κριτήρια αποτελεί προϋπόθεση για την επίλυση του προβλήματος. Ο αναλυτής προσδιορίζει τις βαρύτητες των κριτηρίων ανάλογα με τις προτιμήσεις του. Η βαρύτητα ( $w_i$ ) κάποιου κριτηρίου υποδηλώνει τον βαθμό κατά τον οποίο συμμετέχει αυτό το κριτήριο στη συνολική επίδοση μιας εναλλακτικής κίνησης (Catalina/ Virgone/ Blanco, 2011).

Τα βήματα που ακολουθούνται για τη λήψη μιας απόφασης με τη χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι τα παρακάτω:

#### **Βήμα 1ο:** Καθορισμός του προβλήματος

Πρέπει να γίνει σαφής ορισμός του προβλήματος.

#### **Βήμα 2ο:** Δόμηση του προβλήματος

Ορίζεται το εξωτερικό περιβάλλον του προβλήματος, οι ομάδες ενδιαφερομένων, οι εναλλακτικές επιλογές, οι περιορισμοί και καθορίζονται στόχοι.

#### **Βήμα 3ο:** Δημιουργία του μοντέλου απόφασης

Καθορίζονται τα κριτήρια που θα ληφθούν υπόψη και οι βαρύτητές τους. Οι εναλλακτικές επιλογές ορίζονται λεπτομερώς και ποσοτικοποιούνται.

#### **Βήμα 4ο:** Εφαρμογή του μοντέλου απόφασης

Σε αυτό το στάδιο συνθέτονται όλες οι πληροφορίες και εξάγονται οι βαθμολογίες των εναλλακτικών επιλογών. Η εναλλακτική πρόταση με τη μεγαλύτερη βαθμολογία προτείνεται ως λύση του προβλήματος. Γίνεται ανάλυση ευαισθησίας για να εντοπιστούν διαφορές στην απόφαση που θα λαμβανόταν εφόσον οι βαρύτητες των

κριτηρίων ήταν διαφορετικές.

### **Βήμα 5ο:** Ανάπτυξη σχεδίου δράσης

Στο τελευταίο στάδιο, αφ' ότου έχει επιλεγεί η βέλτιστη λύση με βάση τα κριτήρια που έχουν τεθεί, ο ενδιαφερόμενος υλοποιεί την απόφαση (Ehrgott/ Figueira/ Greco, 2010).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο τομέας της ενέργειας και ο σχεδιασμός πολιτικών που άπτονται σε αυτόν τον τομέα επηρεάζονται από πλήθος παραγόντων, δε θα ήταν επαρκές και επιστημονικά τεκμηριωμένο αν σε μια σχετιζόμενη απόφαση δεν συνυπολογίζονταν όλες αυτές οι παράμετροι. Πολυάριθμα και διαφορετικά σύνολα δράσεων, με διαφορετικές απόψεις και κριτήρια που λαμβάνουν υπόψη, όπως κυβερνήσεις, τοπικές κοινωνίες, επενδυτές και πολλοί άλλοι ενδιαφερόμενοι επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης στον τομέα της ενέργειας (San Cristobal Mateo, 2012).

Συνεπώς, η πολυκριτηριακή ανάλυση είναι κατάλληλη μέθοδος για τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τον σχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής, η οποία υπόκειται σε αβεβαιότητα, πολύχρονο σχεδιασμό και υψηλές επενδύσεις (Loken, 2005). Οι απλές προσεγγίσεις των παλαιότερων ετών, που λάμβαναν υπόψη την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος σε σχέση με το κόστος του θεωρούνται ξεπερασμένες. Η λήψη αποφάσεων και συγκεκριμένα στον ενεργειακό τομέα έχει λάβει πλέον κοινωνικές και περιβαλλοντικές εκτάσεις, καθιστώντας την πολυκριτηριακή ανάλυση αναγκαία στη χρήση της (Pohekar/ Ramachandran, 2004).

## **4.2 Οι σημαντικότερες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης**

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες πολυκριτηριακές αναλύσεις είναι οι MAUT (Multi Attribute Utility Theory), ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant le Realite), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal

Situation) και AHP (Analytic Hierarchy Process). Με βάση τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε κάθε ανάλυση ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Πολυκριτηριακή ιεράρχηση επιλογών (Θεωρία σχέσεων υπεροχής): (PROMETHEE, ELECTRE)
- Πολυκριτήρια βελτιστοποίηση (TOPSIS)
- Πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας (MAUT, AHP)

#### **4.2.1 Η οικογένεια μεθόδων ELECTRE**

Στα τέλη της δεκαετίας του '60 ο Bernard Roy ανέπτυξε τη μέθοδο Electre. Δημιουργήθηκε από την ιδέα ότι άκαμπτα μαθηματικά αξιώματα είναι ακατάλληλα για να περιγράψουν μια περίπλοκη πραγματικότητα, όπως μια διαδικασία απόφασης με πολλά αντιφατικά στοιχεία (San Cristobal Mateo, 2012). Η «οικογένεια» Electre (I, II, III, IV) Βασίζεται στη σύγκριση ζευγών σχεδίων ή εναλλακτικών. Η κυρίαρχη εναλλακτική επιλέγεται όντας σε συμφωνία με καθορισμένες αρχές ή κανόνες και η πιο αδύναμη απορρίπτεται μέχρι να εξαχθεί μια ικανοποιητική λύση.

Ο Roy ανέπτυξε αυτή τη θεωρία με βάση επίπεδα συμφωνίας και ασυμφωνίας, ώστε να γίνεται κατανοητό κάτω από ποιες προϋποθέσεις κάποια εναλλακτική κυριαρχεί έναντι κάποιας άλλης (Munier, 2011). Στηρίζεται στο ότι ο λήπτης της απόφασης εκφράζει για κάθε ζεύγος ενεργειών, όχι μόνο την προτίμησή του (P) ή την αδιαφορία του μεταξύ τους (I), αλλά και μια μικρότερη προτίμηση, δηλαδή *ελαφρά* προτίμηση (Q) ή κατάσταση μη συγκρισιμότητας (R) (San Cristobal Mateo, 2012). Συνεπώς, μια δράση a κυριαρχεί έναντι μιας δράσης b, όταν η a έχει καλύτερες αξιολογήσεις στα περισσότερα κριτήρια και έχει ανεκτά λιγότερο καλές αξιολογήσεις στα υπόλοιπα (Σίσκος, 2008).

##### **4.2.1.1 Η ELECTRE I**

Επιλέγει ένα ικανοποιητικό σύνολο εναλλακτικών και δουλεύει με πίνακες συμφωνίας. Μετρά την ισχύ των διαφωνιών αποδεχόμενη τον ισχυρισμό ότι η

ενέργεια a υπερέχει της ενέργειας b. Υπάρχει, επίσης, ένας πίνακας διαφωνίας, που σχετίζεται με την ποσότητα ή ισχύ αντικρουόμενων ορισμάτων που προξενούν τον ισχυρισμό ότι η δράση a υπερέχει της b (Munier, 2011). Η εν λόγω μέθοδος περιλαμβάνει τρεις τύπους:

- Συντελεστές βαρύτητας (weights) των διαφόρων κριτηρίων  $p_1, p_2, \dots, p_i$  τα οποία κανονικοποιούνται από τη σχέση:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

- Κατώφλι συμφωνίας (concordance threshold  $s$ ), που είναι ένας αριθμός που κυμαίνεται από 0,5 έως 1
- Κατώφλια βέτο (veto thresholds)  $v_1, v_2, \dots, v_n$  που στόχο έχουν να δίνεται απευθείας κυριαρχία σε κάποια δράση η οποία απέχει πολύ σε σχέση με την άλλη

### Έλεγχος συμφωνίας

Το ζεύγος (a,b) ικανοποιεί τη συνθήκη συμφωνίας όταν:

$C(a,b) \geq s$ , όπου  $C(a,b)$  το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων για τα οποία η δράση a προτιμάται ή είναι αδιάφορη της b και  $s$  το κατώφλι αδιαφορίας.

### Έλεγχος διαφωνίας

Η συνθήκη διαφωνίας ικανοποιείται όταν:

$$g_j(b) - g_j(a) \leq v_j, \text{ όπου } j \in \{j/g_j(a) < g_j(b)\}$$

#### 4.2.1.2 Η ELECTRE II

Η μέθοδος Electre II ομοιάζει με την I. Σε αυτήν την μέθοδο λαμβάνονται υπόψη δύο σχέσεις υπεροχής:

- **Ισχυρή υπεροχή  $S^1$**  με υψηλά κατώφλια συμφωνίας  $s^1$  και χαμηλά κατώφλια βέτο
- **Ασθενής υπεροχή  $S^2$**  με χαμηλό κατώφλι συμφωνίας  $s^2 < s^1$  και υψηλά κατώφλια βέτο

Οι σχέσεις υπεροχής θα πρέπει να ικανοποιούν τους εξής κανόνες:

$$aS^i b \leftrightarrow C(a,b) = \sum_{i \in \{i/g_i(a) \geq g_i(b)\}} p_i \geq s^i \text{ και } C(a,b) \geq C(b,a)$$

$$\text{και } g_j(b) - g_j(a) \leq v_j^i, i = 1, 2$$

### Ασαφείς σχέσεις διαφωνίας

Παρακάτω φαίνεται το μοντέλο ασαφούς σχέσης διαφωνίας που ορίζει τη διαφωνία ενός κριτηρίου  $g_j$  στην πρόταση  $aSb$  :

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 1 \text{ εάν } g_j(b) > g_j(a) + v_j[g_j(a)] \\ 0 \text{ εάν } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j[g_j(a)] \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j[g_j(a)]}{v_j[g_j(a)] - p_j[g_j(a)]} \end{cases}$$

### Ασαφής σχέση υπεροχής

Ο στόχος της ασαφούς σχέσης υπεροχής είναι σύνθεση των κριτηρίων στην πρόταση  $aSb$ . Το ακόλουθο μοντέλο ικανοποιεί αυτή τη σχέση:

$$d(a,b) = \begin{cases} C(a,b) \text{ εάν } C(a,b) \geq D_j(a,b) \forall j \\ \frac{C(a,b)}{1-C(a,b)} \prod_j [1 - D_j(a,b)], j \in \left\{ \frac{j}{D_j(a,b)} > C(a,b) \right\} \end{cases}$$

(Σίσκος, 2008)



### 4.2.1.3 Η ELECTRE III

Το διακριτό χαρακτηριστικό της μεθόδου Electre III είναι η δυνατότητά της να διαχειρίζεται ένα σύνολο δεδομένων που επηρεάζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας. Πλεονέκτημά της είναι ότι είναι λιγότερο ευαίσθητη σε αλλαγές των δεδομένων. Μπορεί να διαχειριστεί ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον καθορισμό της λειτουργίας των κατωφλίων, τη δημιουργία πίνακα συμφωνίας και διαφωνίας, την κατασκευή μοντέλου υπεροχής και την κατάταξη των εναλλακτικών.

#### Στάδιο 1. Καθορισμός λειτουργίας κατωφλίων

Υποθέτουμε ότι τα  $q_j$  και  $p_j$  αντιπροσωπεύουν το κατώφλι αδιαφορίας και κατώφλι προτίμησης αντίστοιχα σε σχέση με το κριτήριο  $j$ . Τα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης χαρακτηρίζουν την αποδοχή της ανακρίβειας στην κρίση, υποθέτοντας δύο οντότητες ως ουδέτερες όταν η επίδοση της κάθε μιας για κάθε κριτήριο  $j$  διαφέρει λιγότερο από την καθορισμένη τιμή  $q_j$ . Συγκεκριμένα, το  $q_j$  υποδεικνύει το ελάχιστο όριο αβεβαιότητας συσχετιζόμενο με τους υπολογισμούς των επιδόσεων, όταν το  $p_j$  θεωρείται ως το μεγαλύτερο όριο σφάλματος, συσχετιζόμενο με τους υπολογισμούς επιδόσεων. Επιπλέον, η μετάβαση από την αδιαφορία στην προτίμηση γίνεται βαθμιαία, με γραμμική μετάβαση από το  $q_j$  στο  $p_j$ . Ένα κριτήριο  $g_j$  είναι ένα ψευδοκριτήριο αν υπάρχουν δύο λειτουργίες κατωφλίων  $q(g)$  και  $p(g)$  που αντιπροσωπεύουν τα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης, αντίστοιχα, έτσι ώστε για  $g(a) \geq g(b)$  να υπάρχουν καταστάσεις μεταξύ των οποίων μια ελαφρά προτίμηση για τη σχέση του  $a$  υπέρ του  $b$  δηλωμένη ως  $aQb$  ισχύει ως εξής:

1.  $g(a) > g(b) + p(g(b)) \leftrightarrow aPb$
2.  $g(b) + q(g(b)) < g(a) \leq g(b) + p(g(b)) \leftrightarrow aQb$
3.  $g(b) \leq g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \leftrightarrow aIb$

Ο καθορισμός της λειτουργίας των κατωφλίων θα πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω:

1.  $g(a) > g(b) \rightarrow g(a) + q(g(a)) \geq g(b) + q(g(b))$   
 $g(a) + p(g(a)) \geq g(b) + p(g(b))$
2. για κάθε κριτήριο,  $p(g) \geq q(g)$

$p_j(g_j(a))$  και  $q_j(g_j(a))$  καθορίζονται σύμφωνα με του τύπους:

$$p_j(g_j(a)) = \alpha_p + \beta_p g_j(a)$$

$$q_j(g_j(a)) = \alpha_q + \beta_q g_j(a)$$

$p_j(g_j(a))$  και  $q_j(g_j(a))$  καθορίζονται σύμφωνα με του τύπους:

$$p_j(g_j(a)) = \alpha_p + \beta_p g_j(a)$$

$$q_j(g_j(a)) = \alpha_q + \beta_q g_j(a)$$

όπου  $g_j(a)$  είναι τιμή της εναλλακτικής  $a$  στο κριτήριο  $j$ .

## Στάδιο 2. Δημιουργία πίνακα συμφωνίας και ασυμφωνίας

Ο πίνακας συμφωνίας  $C(a,b)$  υπολογίζεται για κάθε ζεύγος εναλλακτικών ως:

$$C(a,b) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^n k_j c_j(a,b)$$

Όπου  $k_j$  η βαρύτητα του κριτηρίου  $j$  και  $c_j(a,b)$  είναι ο βαθμός υπεροχής της εναλλακτικής  $a$  ως προς την  $b$  και υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{εάν } g_j(a) + q_j \geq g_j(b) \\ 0 & \text{εάν } g_j(a) + p_j \leq g_j(b) \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j}, & g_j(b) \in [g_j(b) - p_j, g_j(b) - q_j] \end{cases}$$

Ο πίνακας ασυμφωνίας  $d_j(a,b)$  ορίζεται ως εξής:

$$d_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } g_j(a) + p_j \geq g_j(b) \\ 1 & \text{εάν } g_j(a) + v_j \leq g_j(b) \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{v_j - p_j}, & g_j(a) \in [g_j(b) - v_j, g_j(b) - p_j] \end{cases}$$

όπου το  $v_i$  αναφέρεται στο κατώφλι βέτο καθορισμένο για κάθε κριτήριο  $j$ . Το κατώφλι βέτο είναι η οριακή τιμή της διαφοράς  $g_j(b) - g_j(a)$ , πάνω από την οποία είναι λογικό να απορρίψουμε την υπόθεση της υπεροχής του  $a$  έναντι του  $b$ , παίρνοντας υπόψη το υπό θεώρηση κριτήριο. Το κατώφλι βέτο στοχεύει στον έλεγχο μεγάλης διαφοράς επιδόσεων μεταξύ ζευγών σε κάποιο κριτήριο, ώστε να υπάρχει ξεκάθαρη υπεροχή του ενός εφόσον η επίδοσή του σε κάποιο κριτήριο υπερβαίνει την τιμή του βέτο. Η τιμή του κατωφλίου βέτο υπερβαίνει το 0 καθώς η διαφορά των κριτηρίων αξιολόγησης υπερβαίνει το  $p$  και συνεπώς ισχύει η σχέση  $q < p < v$ .

### Στάδιο 3. Κατασκευή μοντέλου υπεροχής

Για κάθε ζεύγος εναλλακτικών υπάρχουν ένα μέτρο συμφωνίας και ασυμφωνίας έτσι ώστε να μπορέσει να παραχθεί ένα μέτρο του βαθμού υπεροχής. Δηλαδή ένας δείκτης αξιοπιστίας που αξιολογεί τον ισχυρισμό ότι «το  $a$  είναι τουλάχιστον τόσο καλό όσο και το  $b$ ». Ο δείκτης αξιοπιστίας για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δίνεται από το  $S(a,b)$ :

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b) & \text{εάν } d_j(a,b) \leq C(a,b) \forall j \\ C(a,b) * \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1-d_j(a,b)}{1-C(a,b)} & \end{cases}$$

όπου  $J(a,b)$  ένα σύνολο κριτηρίων για τα οποία  $d_j(a,b) > C(a,b)$

Από αυτήν την εξίσωση συμπεραίνουμε ότι αν η ισχύς του δείκτη συμφωνίας είναι μεγαλύτερος από τον δείκτη διαφωνίας, η αξία της συμφωνίας δεν πρέπει να τροποποιείται. Σε αντίθετη περίπτωση μπορούμε να αμφισβητήσουμε ότι  $aSb$  και να τροποποιήσουμε το  $C(a,b)$  σύμφωνα με το δεύτερο σκέλος της εξίσωσης (San Cristobal Mateo, 2012).

### Στάδιο 4. Κατάταξη των εναλλακτικών

Η τελική κατάταξη εξάγεται από τη λεγόμενη «διύλιση», μια διαδικασία που παρέχει δύο κατατάξεις αποτελεσμάτων:

- Η πρώτη είναι αποτέλεσμα φθίνουσας διύλισης, όπου οι εναλλακτικές ταξινομούνται από την καλύτερη προς τη χειρότερη.

- Η δεύτερη είναι αποτέλεσμα αύξουσας διύλισης, όπου οι εναλλακτικές ταξινομούνται από τη χειρότερη προς την καλύτερη (Beccali/ Cellura/ Mistretta, 2003).

Οι μερικές κατατάξεις λαμβάνουν υπόψη την αδιαφορία και όχι την ασυγκρισσιμότητα και είναι πλεγμένες ώστε να πετύχουν την τελική κατάταξη όπου η ασυγκρισσιμότητα λαμβάνεται υπόψη. Η γενική προσέγγιση της αξιοπιστίας είναι η κατασκευή δύο κατατάξεων  $Z_1$  και  $Z_2$  χρησιμοποιώντας μια φθίνουσα και μια αύξουσα διαδικασία διύλισης, αντίστοιχα, και συνδυάζοντας αυτά για να παραχθεί μια μερική κατάταξη  $Z = Z_1 \cap Z_2$ . Η φθίνουσα διαδικασία διύλισης είναι η ακόλουθη:

Έστω  $\lambda = \max_{a,b \in A} S(a, b)$ . Ορίζουμε μια τιμή αξιοπιστίας τέτοια ώστε μόνο τιμές του  $S(a,b)$  που είναι αρκετά κοντά στο  $\lambda$  λαμβάνονται υπόψη, δηλαδή  $\lambda - s(\lambda)$ . Για παράδειγμα όταν  $\lambda = 1$  και  $s(\lambda) = 0,15$ . Ορίζουμε τον πίνακα  $T$  ως:

$$T(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{εάν } S(a, b) > \lambda - s(\lambda) \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Η πρώτη κατάταξη ορίζεται μέσω του αλγορίθμου:

1. ορίζουμε την επίδοση του κάθε σχεδίου -  $Q(a)$  - ως τον αριθμό των σχεδίων που ξεπερνιούνται σε επίδοση από το σχέδιο  $a$  μείον τον αριθμό αυτών που ξεπερνούν σε επίδοση το  $a$ . Το  $Q(a)$ , απλουστευμένα, είναι το άθροισμα της γραμμής μείον το άθροισμα της στήλης του πίνακα  $T$ .
2. Εάν η πρώτη διύλιση  $D_1$  περιλαμβάνει μία εναλλακτική, εξαιρούμε την εναλλακτική που εντάχθηκε στο σύνολο  $D_1$  και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία από το βήμα 1. Σε αντίθετη περίπτωση τα βήματα επαναλαμβάνονται εντός του συνόλου  $D_1$ . Εάν η  $D_2$  περιλαμβάνει μία εναλλακτική, η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το σύνολο  $D_1 - D_2$ , διαφορετικά επαναλαμβάνεται εντός του  $D_2$  και συνεχίζουμε έως ότου εξαντληθεί το  $D_1$ . Στη συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται χωρίς το  $D_1$ . Το αποτέλεσμα επιφέρει την πρώτη κατάταξη  $Z_1$ , τη φθίνουσα κατάταξη.

Η αύξουσα διύλιση γίνεται με παρόμοιο τρόπο με τη διαφορά ότι τα χαμηλότερης επίδοσης σχέδια αναφέρονται πρώτα (Buchanan/ Sheppard/ Vanderpooten, 1999).

#### 4.2.1.4 Η ELECTRE IV

Η βασική διαφορά μεταξύ ELECTRE III και IV είναι ότι στη δεύτερη δε χρησιμοποιούνται βαρύτητες για τα κριτήρια, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτά είναι ισοδύναμα για κάθε κριτήριο. Χρησιμοποιούνται οι παρακάτω παραδοχές:

- $m_p(a,b)$ : ο αριθμός των κριτηρίων για τα οποία η εναλλακτική  $a$  είναι ισχυρώς προτιμότερη έναντι της  $b$ .
- $m_q(a,b)$ : ο αριθμός των κριτηρίων για τα οποία η εναλλακτική  $a$  είναι ελαφρώς προτιμότερη έναντι της  $b$ .
- $m_i(a,b)$ : ο αριθμός των κριτηρίων για τα οποία η εναλλακτική  $a$  θεωρείται αδιάφορη σε σχέση με τη  $b$ , αλλά έτσι ώστε η  $a$  να έχει μεγαλύτερες τιμές κριτηρίων σε σχέση με τη  $b$ .
- $m_o(a,b) = m_o(b,a)$ : ο αριθμός των ίσων τιμών κριτηρίων των εναλλακτικών  $a$  και  $b$ .

Οι σχέσεις κατάταξης στην ELECTRE IV είναι οι ακόλουθες:

1. Μερική κυριαρχία  $S_q$   
 $aS_qb \Leftrightarrow m_p(b,a) + m_q(a,b) = 0$  και  $m_i(b,a) \leq 1 + m_i(a,b) + m_q(a,b) + m_p(a,b)$
2. Κανονική κυριαρχία  $S_c$   
 $aS_cb \Leftrightarrow m_p(b,a) = 0$  και  $m_q(b,a) \leq m_p(a,b)$  και  $m_q(b,a) + m_i(b,a) \leq 1 + m_i(a,b) + m_q(a,b) + m_p(a,b)$
3. Ψευδο- κυριαρχία  $S_p$   
 $aS_pb \Leftrightarrow m_p(b,a) = 0$  και  $m_q(b,a) \leq m_q(a,b) + m_p(a,b)$
4. Κυριαρχία βέτο  $S_v$   
 $aS_vb \Leftrightarrow m_p(b,a) = 0$  εάν  $m_p(b,a) = 1$  και

Η μερική κατάταξη κατασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο όπως στην ELECTRE III.

#### 4.2.2 Οι μέθοδοι PROMETHEE I και II

Το 1985 οι Brans και Vincke ανέπτυξαν τη μέθοδο PROMETHEE. Η PROMETHEE I μας δίνει τη μερική κατάταξη και η PROMETHEE II την ολική. Υλοποιείται σε

πέντε στάδια. Στο πρώτο στάδιο, καθορίζεται μια σχέση προτίμησης που να φανερώνει την προτίμηση του λήπτη της απόφασης για μια ενέργεια  $a$  σε σχέση με μια ενέργεια  $b$ . Στο δεύτερο στάδιο συγκρίνονται οι εναλλακτικές με βάση αυτή τη σχέση προτίμησης. Στο τρίτο στάδιο εμφανίζεται το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης. Στο τέταρτο στάδιο εμφανίζεται η κατάταξη με μερική ταξινόμηση (PROMETHEE I) και στο πέμπτο στάδιο (PROMETHEE II), η κατάταξη με ολική ταξινόμηση (San Cristobal Mateo, 2012).

### Στάδιο 1. Καθορισμός σχέσης προτίμησης

Δοθείσης της προτίμησης του ερευνητή για μια ενέργεια  $a$  σε σχέση με μια ενέργεια  $b$  από ένα σύνολο ενεργειών  $K$ , η σχέση προτίμησης, που είναι μια σχέση διαφορετικότητας μεταξύ δύο εναλλακτικών ενός κριτηρίου, ορίζεται ξεχωριστά για κάθε κριτήριο και η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1. Όσο μικρότερη είναι η τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι η αδιαφορία μεταξύ των δύο κριτηρίων. Όσο η τιμή πλησιάζει το 1, τόσο μεγαλύτερη είναι η προτίμηση του ενός έναντι του άλλου.

Σε περίπτωση αυστηρούς προτίμησης, η σχέση προτίμησης θα είναι 1. Η σχετική προτίμηση  $P(a,b)$  του  $a$  σε σχέση με το  $b$  ορίζεται ως:

$$P(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{για } f(a) \leq f(b) \\ p[f(a), f(b)] & \text{για } f(a) > f(b) \end{cases}$$

(San Cristobal Mateo, 2012).

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί για τη δυαδική σύγκριση των επιλογών ένα ή περισσότερα από τα έξι κριτήρια που παρουσιάζονται παρακάτω:

- 1) Κανονικό κριτήριο (usual form)- δεν περιλαμβάνει κατώφλια (thresholds) και υποθέτει απότομη μετάβαση από την κατάσταση αδιαφορίας στην κατάσταση προτίμησης.
- 2) Κριτήριο με κατώφλι αδιαφορίας (U – form)- τύπος με κατώφλι αδιαφορίας  $q$  (indifference threshold). Χρησιμοποιείται για ποιοτικά κριτήρια.

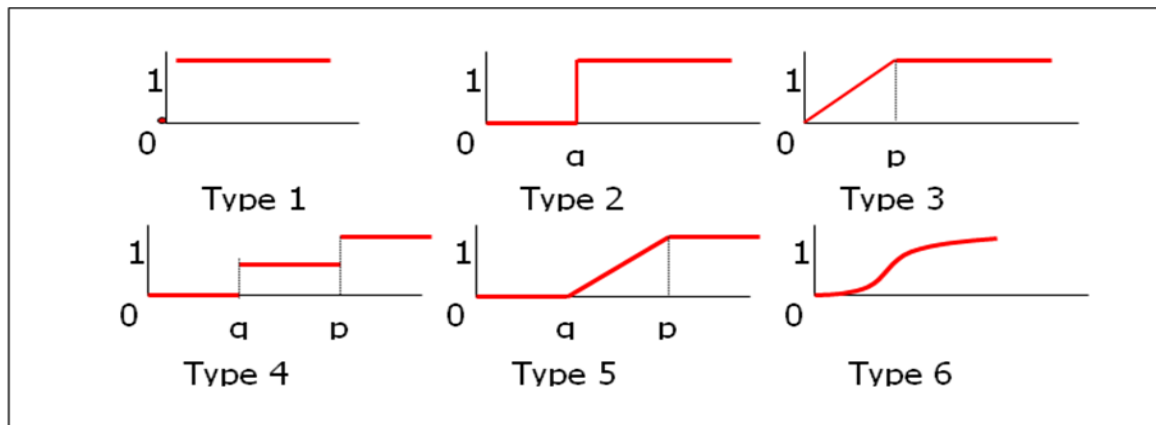
3) Κριτήριο με κατώφλι προτίμησης (V – form)- τύπος με κατώφλι προτίμησης  $p$  (strict preference threshold). Χρησιμοποιείται για ποσοτικά κριτήρια

4) Βαθμωτό κριτήριο (level form)- περιλαμβάνει κατώφλι αδιαφορίας  $q$  και κατώφλι προτίμησης  $p$ , που ορίζει μόνο επίπεδο ενδιάμεσης προτίμησης μεταξύ αδιαφορίας και σαφούς προτίμησης. Χρησιμοποιείται για ποιοτικά κριτήρια.

5) Γραμμικό κριτήριο (linear form)- περιλαμβάνει κατώφλι αδιαφορίας  $q$  και γραμμική μετάβαση στην κατάσταση σαφούς προτίμησης που ορίζεται από το κατώφλι προτίμησης  $p$ . Χρησιμοποιείται για ποσοτικά κριτήρια.

6) Κριτήριο Gauss (Gauss form)- υποθέτει σταδιακή μετάβαση από την κατάσταση αδιαφορίας προς την κατάσταση σαφούς προτίμησης ακολουθώντας τη συνάρτηση μιας κατανομής Gauss και προσδιορίζεται από την τυπική απόκλιση της κατανομής  $\sigma$ . (Munier, 2011).

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται διαγραμματικά οι έξι τύποι:



Πίνακας 4.1 Οι έξι διαφορετικοί τύποι της μεθόδου Promethee

Για λόγους συντομίας γράφουμε:

$$d = f(a) - f(b)$$

$$\text{συνεπώς, } H(d) = \begin{cases} P(a, b), & d \geq 0 \\ P(b, a), & d \leq 0 \end{cases}$$

### Τύπος 1:

Σε αυτόν τον τύπο ισχύει:

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \forall d \leq 0 \\ 1, & \forall d > 0 \end{cases}$$

Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει αδιαφορία μεταξύ του  $a$  και του  $b$  μόνο όταν  $f(a) = f(b)$ . Όσο οι τιμές είναι διαφορετικές, ο ερευνητής έχει ισχυρή προτίμηση για την ενέργεια που έχει υψηλότερη τιμή.

### Τύπος 2:

Σε αυτήν την περίπτωση:

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{για } d \leq q \\ 1, & \text{για } d > q \end{cases}$$

Εφόσον η διαφορά  $f(a) - f(b)$  είναι μικρότερη από το κατώφλι αδιαφορίας  $q$ , ο ερευνητής είναι αδιάφορος μεταξύ των δύο, αν όχι, η προτίμηση γίνεται ισχυρή για τη μία ενέργεια έναντι της άλλης.

### Τύπος 3:

Ισχύει ότι:

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{για } d \leq 0 \\ \frac{d}{p}, & \text{για } 0 \leq d \leq p \\ 1, & \text{για } d > p \end{cases}$$

Ο ερευνητής δείχνει προοδευτική προτίμηση στην ενέργεια  $a$  έναντι της  $b$ , όσο αυξάνεται η διαφορά  $f(a) - f(b)$ . Η ισχύς της προτίμησης αυξάνεται όσο η διαφορά πλησιάζει στο κατώφλι προτίμησης. Η προτίμηση γίνεται τελείως ισχυρή όταν η διαφορά υπερβεί αυτό το κατώφλι.



#### Τύπος 4:

Σύμφωνα με αυτόν τον τύπο:

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{για } d \leq q \\ \frac{1}{2}, & \text{για } q < d \leq p \\ 1, & \text{για } d > p \end{cases}$$

Όταν η διαφορά  $f(a) - f(b)$  δεν υπερβαίνει το κατώφλι αδιαφορίας  $q$ , τότε ο ερευνητής είναι αδιάφορος. Όταν η τιμή της διαφοράς είναι μεταξύ του κατωφλίου αδιαφορίας  $q$  και του κατωφλίου προτίμησης  $p$ , υπάρχει ελαφρά προτίμηση ίση με  $\frac{1}{2}$ . Πέρα από αυτήν την τιμή, ο ερευνητής έχει ισχυρή προτίμηση.

#### Τύπος 5:

Σε αυτήν την περίπτωση:

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{για } x \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, & \text{για } q < d \leq p \\ 1, & \text{για } d > p \end{cases}$$

Εδώ, ο αποφασίζων είναι αδιάφορος μεταξύ του  $a$  και του  $b$  όσο η τιμή της διαφοράς  $f(a) - f(b)$  δεν ξεπερνά την τιμή του κατωφλίου αδιαφορίας  $q$ . Πάνω από αυτήν την τιμή η προτίμηση αυξάνεται προοδευτικά μέχρι η διαφορά να γίνει ίση με την τιμή του κατωφλίου προτίμησης  $p$ . Έπειτα από αυτήν την τιμή υπάρχει ισχυρή προτίμηση.

#### Τύπος 6:

Ισχύει ότι:

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{για } d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & \text{για } d > 0 \end{cases}$$

Η προτίμηση του ερευνητή αυξάνεται όσο αυξάνεται η διαφορά  $f(a) - f(b)$ . Η τιμή του  $\sigma$  είναι η απόσταση από την αρχή ως το σημείο καμπής της καμπύλης.

## Στάδιο 2: Υπολογισμός του δείκτη προτίμησης

Ας υποθέσουμε ότι κάθε κριτήριο έχει προσδιοριστεί, ώστε κάθε σχέση προτίμησης  $P_h(a,b)$  να έχει οριστεί για κάθε  $h = 1, 2, \dots, k$ . Για κάθε ζεύγος ενεργειών  $a, b \in K$ , ορίζουμε έναν πίνακα προτίμησης για το  $a$  σε σχέση με το  $b$  λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια. Έστω:

$$\pi(a,b) = \frac{1}{k} \sum_{h=1}^k P_h(a, b)$$

αποτελεί τον δείκτη προτίμησης που δίνει ένα μέτρο της προτίμησης του  $a$  έναντι του  $b$  για όλα τα κριτήρια. Όσο πιο κοντά πλησιάζει στην τιμή 1, τόσο μεγαλύτερη είναι και η προτίμηση.

## Στάδιο 3. Κατασκευή του γραφήματος κατάταξης

Οι τιμές που έχουν υπολογιστεί στο δεύτερο στάδιο δίνουν και το γράφημα κατάταξης, τα κομβικά σημεία του οποίου είναι οι ενέργειες του  $K$ , έτσι ώστε για όλα τα  $a, b \in K$ , το τόξο  $(a,b)$  να έχει την τιμή  $\pi(a,b)$ . Ορίζουμε, για κάθε κομβικό σημείο στο γράφημα κατάταξης, τη ροή εισόδου:

$$\varphi^+(a) = \sum_{x \in K} \pi(a, x).$$

Και τη ροή εξόδου:

$$\varphi^-(a) = \sum_{x \in K} \pi(x, a)$$

Όσο μεγαλύτερο  $\varphi^+(a)$ , τόσο περισσότερο κυριαρχεί η  $a$  έναντι των άλλων ενεργειών του  $K$  και το αντίθετο. Το αντίστροφο ισχύει για το  $\varphi^-(a)$ .

## Στάδιο 4. Κατάταξη των ενεργειών με μερική ταξινόμηση

Εάν ο αποφασίζων θέλει να κατατάξει τις ενέργειες του  $K$  από την καλύτερη στην πιο αδύναμη πρέπει να αποφασίσει αν θα κάνει ολική ή μερική ταξινόμηση. Ας ορίσουμε δύο ολικές ταξινομήσεις  $(P+, I+)$  και  $(P-, I-)$  έτσι ώστε:

$$a P^+ b \text{ εάν } \varphi^+(a) > \varphi^+(b)$$

$$a P^- b \text{ εάν } \varphi^-(a) < \varphi^-(b)$$

και  $a I^+ b \text{ εάν } \varphi^+(a) = \varphi^+(b)$

$$a I^- b \text{ εάν } \varphi^-(a) = \varphi^-(b)$$

Κατά συνέπεια αποκομίζουμε την ακόλουθη μερική ταξινόμηση  $(P^{(1)}, I^{(1)}, R)$ , λαμβάνοντας υπόψη:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta \ a \ \text{κυριαρχεί της } b \ \text{εάν} \ \begin{cases} aP^+b \ \text{και} \ aP^-b \\ aP^+b \ \text{και} \ aP^-b \\ aI^+b \ \text{και} \ aP^+b \end{cases} \\ \eta \ a \ \text{είναι αδιάφορη ως προς τη } b \ \text{εάν} \ aI^+b \ \text{και} \ aI^-b \\ \eta \ a \ \text{και} \ b \ \text{είναι μη συγκρίσιμες,} \quad \text{αλλιώς} \end{array} \right.$$

### Στάδιο 5. Κατάταξη των ενεργειών με ολική ταξινόμηση

Θεωρούμε για κάθε κριτήριο  $a \in K$  την καθαρή ροή:

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

η οποία χρησιμοποιείται για κατάταξη των ενεργειών:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta \ a \ \text{κυριαρχεί έναντι στη } b \ \text{εάν } \varphi(a) > \varphi(b) \\ \eta \ a \ \text{είναι αδιάφορη ως προς τη } b \ \text{εάν } \varphi(a) = \varphi(b) \end{array} \right.$$

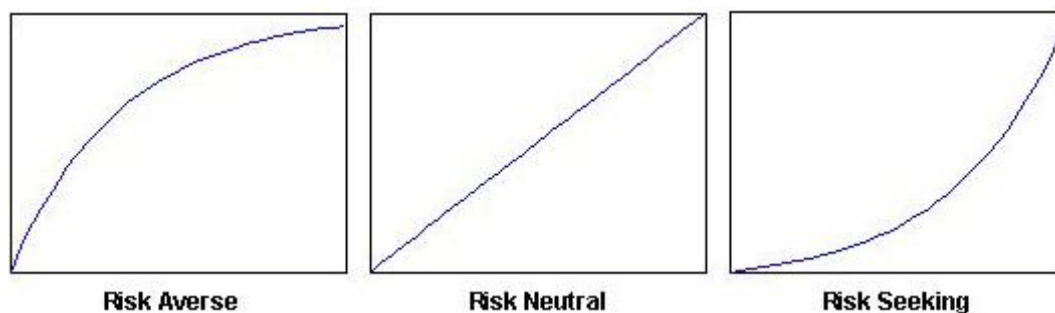
### 4.2.3 Η μέθοδος MAUT

Η μέθοδος MAUT είναι μια μεθοδολογία που στηρίζεται στη Θεωρία Χρησιμότητας και αποτελεί επέκταση αυτής. Σκοπός της είναι να επιλεγεί η βέλτιστη λύση μεταξύ πολλών εναλλακτικών, σε καταστάσεις όπου τα αποτελέσματα της απόφασης δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα. Λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις του λήπτη της

απόφασης και το αποτέλεσμα προσδιορίζεται ως συνδυασμός όλων των προτιμήσεών του ώστε να επιτευχθεί το συνολικό μέγεθος της χρησιμότητας. Τα αξιώματα της θεωρίας ορίζουν ότι οι προτιμήσεις των εναλλακτικών εκφράζονται σε όρους προσδοκώμενων χρησιμοτήτων. Η αξία της χρησιμότητας καθορίζεται σε τρία επίπεδα:

- i. Προσδιορισμός των ατομικών χρησιμοτήτων κάθε συστατικού. Η αξία της χρησιμότητας μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1 και αντικατοπτρίζει το επίπεδο σημαντικότητας του χαρακτηριστικού.
- ii. Εξακρίβωση των προνομιακών και ανεξαρτησίας χρησιμότητας συνθηκών.
- iii. Εξαγωγή της πολλαπλών χαρακτηριστικών συνάρτησης χρησιμότητας.

Η συνάρτηση χρησιμότητας ποσοτικοποιεί τις προτιμήσεις του αποφασίζοντος δημιουργώντας έναν αριθμητικό δείκτη με διάφορα επίπεδα ικανοποίησης από κάθε κριτήριο. Για κάθε κριτήριο η χρησιμότητα από την ικανοποίηση από μια συνέπεια  $x'$  δηλώνεται ως  $(u(x'))$ . Οι συναρτήσεις χρησιμότητας κατασκευάζονται έτσι ώστε  $(u(x'))$  να είναι λιγότερο προτιμητέα από τη  $(u(x''))$ .



**Πίνακας 4.2 Βασικές μορφές συναρτήσεων χρησιμότητας**

Συνίσταται στον πολλαπλασιασμό της επίδοσης κάθε εναλλακτικής επιλογής ενός κριτηρίου με τη βαρύτητα αυτού του κριτηρίου. Έπειτα αθροίζονται τα αποτελέσματα των τιμών που έχουν βρεθεί. Η επιλεγόμενη εναλλακτική πρόταση είναι αυτή που έχει τη μεγαλύτερη τιμή. Συνεπώς αν θέσουμε ως  $U_Y$  τη συνολική χρησιμότητα του προϊόντος  $Y$ ,  $w_i$  τη βαρύτητα του χαρακτηριστικού  $i$  και  $u_{iY}$  η χρησιμότητα του

προϊόντας  $Y$  σε σχέση με το  $i$ . Η  $U_Y$  είναι η συνάρτηση που υπολογίζει την περιοχή που ταιριάζει στα κριτήρια:

$$U_Y = \sum_i w_i u_{i,Y}$$

#### 4.2.4 Η μέθοδος AHP

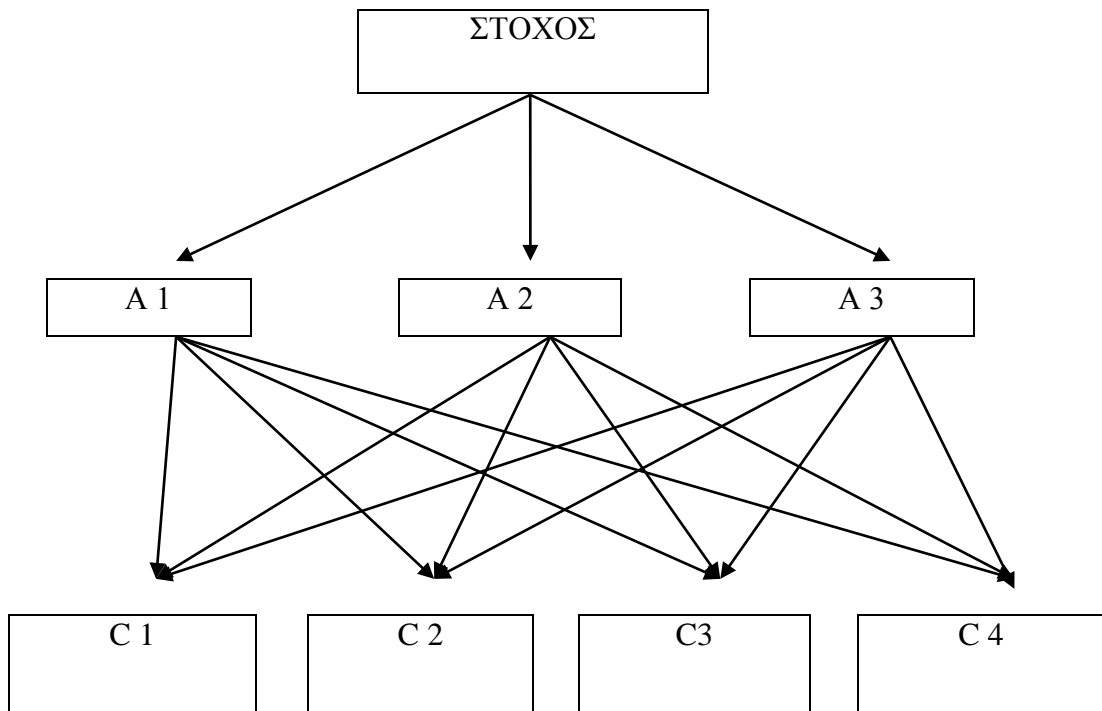
Η μέθοδος AHP αναπτύχθηκε το 1970 από τον Saaty και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη δόμηση και επίλυση προβλημάτων που περιλαμβάνουν πολλαπλά και μερικές φορές αντιτιθέμενα δεδομένα. Ο στόχος, εφαρμόζοντας την AHP είναι να προσδιοριστεί η καλύτερη εναλλακτική επιλογή και να καταταχθούν οι υπόλοιπες εναλλακτικές λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια που τις χαρακτηρίζουν.

Σκοπός είναι να οδηγηθούμε από το αρχικό δύσκολο πρόβλημα απόφασης, σε μικρότερα επιμέρους προβλήματα. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της μεθόδου είναι η μαθηματική και λογική αιτιολόγηση για τη λήψη αποφάσεων. Δομείται το πρόβλημα σε μια ιεραρχία και η αποδόμησή του σε επί μέρους προβλήματα μειώνει την πολυπλοκότητά του.

Η μέθοδος AHP πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια:

##### **Στάδιο 1. Δόμηση του προβλήματος σε μια ιεραρχική δομή**

Κάθε πρόβλημα λήψης απόφασης αποτελείται από συστατικά μέρη, τα οποία κάποιες φορές μπορεί να είναι εξαρτώμενα μεταξύ τους. Στο στάδιο αυτό δομείται η απόφαση σε ένα μοντέλο ιεράρχησης. Αυτό περιλαμβάνει την αποδόμηση του προβλήματος σε επιμέρους συστατικά ανάλογα με τα κοινά χαρακτηριστικά τους και τη δημιουργία ενός μοντέλου ιεράρχησης σε διαφορετικά επίπεδα φανερώνοντας τη σχέση μεταξύ του στόχου, των κριτηρίων ή υποκριτηρίων αν είναι αναγκαίο και των εναλλακτικών (San Cristobal Mateo, 2012). Στο σχήμα 4.1 αναπαριστάται μια ιεραρχία τριών επιπέδων (Ασημακόπουλος/ Αραμπατζής, 2002).



Σχήμα 4.1 Ιεραρχικό μοντέλο στη μέθοδο ΑΗΡ

## Στάδιο 2. Καθορισμός των βαρών των κριτηρίων

Στο δεύτερο στάδιο, εφόσον τα κριτήρια και οι εναλλακτικές επιλογές έχουν καθοριστεί, καθώς επίσης και οι σχέσεις μεταξύ τους, τα στοιχεία ενός επιπέδου συγκρίνονται κατά ζεύγη με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του αμέσως προηγούμενου επιπέδου. Κατασκευάζεται ένας πίνακας συγκρίσεων που περιλαμβάνει, αριθμητικά, τις επιδόσεις του κάθε κριτηρίου έναντι των υπολοίπων, με βάση την κρίση του λήπτη της απόφασης, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.3.

$$A = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & \dots & j \\ \hline 1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ 2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ i & a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} \end{array}$$

Πίνακας 4.3 Πίνακας συγκρίσεων

Ο συμβολισμός  $a_{ij}$  υποδεικνύει πόσο σημαντικότερο είναι το κριτήριο  $i$  συγκριτικά με το  $j$ . Ο Saaty πρότεινε μια κλίμακα 1-9 ώστε να προσδιορίζονται οι σημαντικότητες των κριτηρίων, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.4.

1.	Οι δύο παράγοντες είναι ίσης σημαντικότητας
3	Ο παράγοντας $i$ είναι ελαφρώς σημαντικότερος από τον παράγοντα $j$
5	Ο παράγοντας $i$ είναι σαφώς σημαντικότερος από τον παράγοντα $j$
7	Ο παράγοντας $i$ είναι ισχυρά σημαντικότερος από τον παράγοντα $j$
9	Ο παράγοντας $i$ είναι απόλυτα σημαντικότερος από τον παράγοντα $j$
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές, π.χ. η τιμή 8 σημαίνει ότι ο παράγοντας $i$ είναι μεταξύ ισχυρούς και απόλυτης σημαντικότητας έναντι του παράγοντα $j$

**Πίνακας 4.4 Τιμές και ερμηνεία τους ως προς την σημαντικότητα**

Κατασκευάζοντας τον πίνακα συγκρίσεων πρέπει να ακολουθήσουμε στις παρακάτω κανόνες:

1. Εάν  $a_{ij} = a$ , τότε  $a_{ji} = \frac{1}{a}$
2. Εάν το κριτήριο  $i$  έχει ίση σημαντικότητα με το κριτήριο  $j$ , τότε  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ , και  $a_{ii} = 1$  για κάθε  $i$
3. Εάν στις οι συγκρίσεις έχουν τέλεια συνέπεια, τότε  $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \quad \forall i, j, k$

Για να υπολογιστούν τα βάρη των κριτηρίων,  $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$  από τον κατά ζεύγη πίνακα συγκρίσεων, ακολουθούμε δύο βήματα:

1. Διαιρούμε κάθε ένα στοιχείο στις στήλης  $i$  με το άθροισμα των στοιχείων τις στήλης. Έτσι δημιουργούμε έναν νέο πίνακα, τον κανονικοποιημένο πίνακα, όπου το άθροισμα κάθε στήλης είναι ίσο με 1
2. Υπολογίζουμε το  $W_i$  ως ο μέσος όρος των στοιχείων που εισάγαμε στη στήλη  $i$  του κανονικοποιημένου πίνακα.

Εφόσον έχουμε κατασκευάσει τον πίνακα σύγκρισης των ζευγών, πρέπει να τον ελέγξουμε ως στις τη συνέπειά του. Μικρές ασυνέπειες είναι συνήθεις και δεν δημιουργούν σοβαρά προβλήματα. Ο έλεγχος συνέπειας γίνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Υπολογίζουμε το  $A*W^T$ , όπου το  $W$  συμβολίζει τον υπολογισμό στις όσον αφορά στις βαρύτητες των κριτηρίων
2. Βρίσκουμε τη μεγαλύτερη ιδιοτιμή ( $\lambda_{max}$ ):

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{ith entry in } AW}{\text{ith entry in } W}$$

3. Βρίσκουμε τον δείκτη συνέπειας (CI):

$$CI = \frac{(\lambda_{max}) - n}{n - 1}$$

Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης συνέπειας, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός συνέπειας. Εάν ο δείκτης συνέπειας είναι επαρκώς μικρός, οι συγκρίσεις του λήπτη στις απόφασης είναι, προφανώς, αρκετά συνεπείς ώστε να δώσουν ασφαλή αποτελέσματα για τη βαρύτητα του κάθε κριτηρίου ξεχωριστά. Όσο ο δείκτης CI πλησιάζει την τιμή 0, τόσο πιο μεγάλη συνέπεια υπάρχει στις συγκρίσεις των κριτηρίων.

4. Συγκρίνουμε τον δείκτη συνέπειας με έναν αυθαίρετο πίνακα συγκρίσεων, του οποίου τα δεδομένα επιλέγονται τυχαία. Ο Saaty κάνοντας προσομοίωση πέτυχε τα εξής αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 4.5:



n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48

**Πίνακας 4.5 RI για διαφορετικές τιμές του n**

Το n συμβολίζει τη διάσταση ενός συγκεκριμένου πίνακα συγκρίσεων και το RI τον τυχαίο δείκτη που υπολογίζεται από τον μέσο όρο του CI για ένα μεγάλο δείγμα τυχαίων πινάκων σύγκρισης. Ο λόγος συνέπειας, συνεπώς, καθορίζεται ως:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{(\lambda_{max}) - n}{n-1}$$

Εάν  $CR < 0.10$ , ο βαθμός συνέπειας είναι ικανοποιητικός, αλλά εάν  $CR > 0.10$ , τότε υπάρχουν ασυνέπειες οι οποίες πρέπει να διορθωθούν, διότι η μέθοδος AHP δε θα δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

### **Στάδιο 3. Βρίσκουμε την επίδοση της κάθε εναλλακτικής για κάθε κριτήριο**

Βρίσκουμε, τώρα, πόσο καλά κάθε εναλλακτική ικανοποιεί κάθε επιλογή. Για να υπολογίσουμε αυτές τις επιδόσεις κατασκευάζουμε έναν πίνακα σύγκρισης κάθε επιλογής. Οι γραμμές και οι στήλες αυτού του πίνακα απεικονίζουν τις πιθανές αποφάσεις του ερευνητή.

### **Στάδιο 4. Λαμβάνουμε την τελική επίδοση της κάθε εναλλακτικής**

Συνθέτουμε τις βαρύτητες των επιλογών με τις επιδόσεις κάθε εναλλακτικής κάθε κριτηρίου για να παράξουμε την τελική επίδοση της κάθε εναλλακτικής (San Cristobal Mateo, 2012).

#### 4.2.5 Η μέθοδος TOPSIS

Η μέθοδος TOPSIS αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon, το 1981, ως μια εναλλακτική των μεθόδων ELECTRE. Λαμβάνει υπόψη την απόσταση που χωρίζει την κάθε εναλλακτική επιλογή από την ιδεατή. Όσο μικρότερη είναι αυτή η απόσταση, τόσο καλύτερη είναι και η εναλλακτική. Αυτός είναι και ο τρόπος για να ορίσουμε την κυριαρχία μιας έναντι κάποιας άλλης (Munier, 2011). Η καλύτερη επιλογή έχει την μικρότερη απόσταση από την ιδεατή και τη μεγαλύτερη απόσταση από τη χειρότερη. Περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

##### Στάδιο 1. Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης

Κατασκευάζεται ένας πίνακας απόφασης με  $m$  εναλλακτικές και  $n$  κριτήρια. Η κανονικοποιημένη τιμή  $r_{ij}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m f_{ij}^2}}$$

όπου  $f_{ij}$  είναι η τιμή της συνάρτησης του  $i$ -οστού κριτηρίου για την εναλλακτική  $A_j$  ( $j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$ )

##### Στάδιο 2. Υπολογισμός του πίνακα κανονικοποιημένων βαρών

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη τιμή  $v_{ij}$  υπολογίζεται:

$$V_{ij} = w_i r_{ij}$$

Όπου  $w_i$  είναι η βαρύτητα του κριτηρίου  $i$  και  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

##### Στάδιο 3. Καθορισμός των ιδανικών και αρνητικών – ιδανικών λύσεων

Η λύση που είναι πιο κοντά στην ιδανική λύση και πιο μακριά από την αρνητική – ιδανική λύση, επιλέγεται ως βέλτιστη. Όταν κριτήριο είναι τα κέρδη, ο αποφασίζων θέλει να επιτύχει τις μέγιστες τιμές από τις εναλλακτικές και όταν πρόκειται για κριτήρια κοστών, θέλει τις ελάχιστες. Έτσι, οι ιδανικές λύσεις  $A^*$  και οι αρνητικές-ιδανικές λύσεις  $A^-$  θα είναι:

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} = \{(\max_j v_{ij} \mid i \in I'), (\min_j v_{ij} \mid i \in I'')\}$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_j v_{ij} \mid i \in I'), (\max_j v_{ij} \mid i \in I'')\}$$

Όπου το  $I'$  σχετίζεται με κριτήρια κέρδους και το  $I''$  με κριτήρια κόστους.

#### Στάδιο 4. Υπολογισμός των αποστάσεων

Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε λύσης και της ιδανικής και αρνητικής- ιδανικής λύσης ορίζεται αντίστοιχα ως:

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2}$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}$$

#### Στάδιο 5. Υπολογισμός του μεγέθους που δείχνει πόσο πλησιάζει η λύση την ιδεατή λύση

Η σχετική κοντινότητα της εναλλακτικής  $a_j$  σε σχέση με το  $A^*$  δίνεται από τη σχέση:

$$C_j^* = \frac{D_j^-}{(D_j^* + D_j^-)}$$

#### Στάδιο 6. Κατάταξη των εναλλακτικών

Γίνεται η κατάταξη των εναλλακτικών, σύμφωνα με την κατάταξη βάσει του  $C_j^*$  με φθίνουσα διάταξη. Η λύση είναι η εναλλακτική που έχει την μικρότερη απόσταση από την ιδεατή και ταυτόχρονα εξασφαλίζεται ότι θα έχει και τη μεγαλύτερη απόσταση από την αρνητική- ιδανική λύση (San Cristobal Mateo, 2012).

## 5 Πολυκριτηριακή ανάλυση στον ενεργειακό σχεδιασμό

Στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα πολυκριτηριακές μέθοδοι για τη λήψη αποφάσεων. Για τη λήψη τέτοιων αποφάσεων είναι προαπαιτούμενο να καθοριστούν κριτήρια που θα καθορίζουν το αποτέλεσμα. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις ομάδες με επιμέρους παραμέτρους: τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά (Haralambopoulos/ Polatidis, 2003).

### 5.1 Επιλογή κριτηρίων

#### Τεχνικά κριτήρια

*Αποτελεσματικότητα:* Η αποτελεσματικότητα συνίσταται στο κατά πόσο είναι χρήσιμη η ενέργεια που παράγεται από μια πηγή ενέργειας. Ο συντελεστής αποτελεσματικότητας είναι ο λόγος της ποσότητας ενέργειας που παράγεται προς την ποσότητα που εισάγεται για να παραχθεί. Η αποτελεσματικότητα είναι άμεσα συνυφασμένη με την αξιοπιστία της εγκατάστασης και είναι απαραίτητη λόγω της συνεχούς ανάγκης για ενέργεια. Αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο των τεχνικών κριτηρίων.

*Αξιοπιστία:* Η αξιοπιστία ενός συστήματος καθορίζεται από τη δυνατότητά του να λειτουργεί κάτω από ορισμένες συνθήκες και στην απαιτούμενη χρονική διάρκεια και από την αντοχή του στον χρόνο. Η ποιότητα του εξοπλισμού, η διατηρησιμότητά του και ο τρόπος λειτουργίας του είναι σημαντικοί παράγοντες αξιοπιστίας. Ο βαθμός αξιοπιστίας είναι υψηλής σημασίας για ένα σύστημα.

*Ασφάλεια:* Οι συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας, η περιβαλλοντική νομοθεσία και η εργατική νομοθεσία για την ασφάλεια στους χώρους εργασίας καθιστούν τον τομέα της ασφάλειας όλο και πιο απαιτητικό. Οι ασφάλεια των εργαζόμενων αποτελεί προτεραιότητα σε ένα ενεργειακό σχέδιο.

*Τεχνολογική ωριμότητα:* Η ωριμότητα της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας είναι ένα σημαντικό μέτρο για να γίνει εκτίμηση της ως αξιόπιστης. Η ωριμότητα συνίσταται στο κατά πόσο η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε εγχώριο αλλά και διεθνές επίπεδο.

### **Οικονομικά κριτήρια:**

*Κόστος επένδυσης:* Το κόστος της επένδυσης περιλαμβάνει την αγορά μηχανολογικού εξοπλισμού, τεχνολογικές εγκαταστάσεις και οποιαδήποτε άλλη εργασία που αφορά την κατασκευή και τοποθέτηση του συστήματος. Είναι από τα σημαντικότερα οικονομικά κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη.

*Κόστος λειτουργίας και συντήρησης:* Περιλαμβάνει το εργατικό κόστος και όλες τις υπηρεσίες και προϊόντα που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του συστήματος. Επίσης, συμπεριλαμβάνεται το κόστος συντήρησής του ώστε να παραταθεί η διάρκεια ζωής του και να αποφευχθούν λάθη από τυχόν ανεπάρκεια της λειτουργίας του. Το κόστος συντήρησης είναι χαμηλότερο από το κόστος που μπορεί να προκύψει από ένα λάθος σε περίπτωση βλάβης και επίσης βελτιώνει την αξιοπιστία του.

*Κόστος καυσίμου:* Περιλαμβάνει το κόστος καυσίμου που χρειάζεται το σύστημα για τη λειτουργία του. Η τιμή του μπορεί να κυμαίνεται σε διαφορετικές περιόδους, ανάλογα με την παραγωγή, τη ζήτηση, καθώς και μπορεί να επηρεαστεί από πολιτικές της εκάστοτε χώρας.

*Κόστος ηλεκτρισμού:* Το κόστος ηλεκτρισμού αποτελεί απόρροια της ισχύος του συστήματος. Ο κάθε ενδιαφερόμενος, κυβέρνηση, επενδυτές, καταναλωτές, έχουν διαφορετικές προσδοκίες από το συγκεκριμένο κόστος.

*Καθαρή παρούσα αξία (NPV):* Είναι μέθοδος αξιολόγησης μιας επένδυσης, σύμφωνα με την οποία όλες οι καθαρές ταμειακές ροές προεξοφλούνται στο παρόν με συντελεστή προεξόφλησης την ελάχιστη αποδεκτή απόδοση. Χρησιμεύει στο να υπολογιστεί το αν το σχέδιο αποτελεί συμφέρουσα επένδυση. Σε περίπτωση που είναι θετική, το σχέδιο αποτελεί συμφέρουσα πρόταση. Σε αντίθετη περίπτωση, η πρόταση είναι απορριπτέα.

*Περίοδος αποπληρωμής:* Η περίοδος αποπληρωμής είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε να γίνει επιστροφή στην επένδυση. Μικρότερη περίοδος αποπληρωμής είναι προτιμότερη έναντι μεγαλύτερης.

*Διάρκεια ζωής:* Είναι η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής του συστήματος ή η ελάχιστη αποδεκτή διάρκεια ζωής του. Συγκριτικά με την περίοδο αποπληρωμής, η μεγάλη διάρκεια ζωής είναι πιο προτιμητέα ως δείκτης για την επιλογή της επένδυσης.

### **Περιβαλλοντικά κριτήρια**

*Εκπομπή NOx:* Εκπομπή οξειδίων του αζώτου μπορεί να προκαλέσουν μόλυνση του περιβάλλοντος και κλιματικές αλλαγές. Επίσης τα οξείδια του αζώτου μπορεί να αντιδράσουν με την αμμωνία, με πτητικά οργανικά συστατικά, συνήθη χημικά συστατικά και να δημιουργήσουν τοξικές ουσίες επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία. Δημιουργείται κατά τη διάρκεια καύσης φυσικού καυσίμου και βιομάζας, ειδικά καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες.

*Εκπομπή CO<sub>2</sub>:* Το διοξείδιο του άνθρακα είναι διαφανές, άοσμο και άγευστο αέριο. Συνεισφέρει κατά 9-26% στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Απελευθερώνεται κυρίως από την καύση του άνθρακα, λιγνίτη, πετρελαίου και φυσικού αερίου στα ενεργειακά συστήματα. Συνεισφέρει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

*Εκπομπή CO:* Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται από μερική καύση μειγμάτων που περιέχουν άνθρακα, κυρίως στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Στην ατμόσφαιρα, με φυσική διεργασία, οξειδώνεται σε διοξείδιο του άνθρακα. Ελεύθερο στην ατμόσφαιρα έχει διάρκεια ζωής λίγους μήνες. Το μονοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από βιομηχανικές εκπομπές συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

*Εκπομπή SO<sub>2</sub>:* Το διοξείδιο του θείου είναι μια ακόμα βλαβερή ουσία που εκπέμπεται από τον άνθρακα. Περαιτέρω οξείδωσή του δημιουργεί το θειικό οξύ που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή που αποτελεί παράγοντα ανησυχίας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης καυσίμου ως πηγή ισχύος. Προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα και πρόωρο θάνατο.

*Εκπομπή μορίων:* Η εκπομπή τέτοιων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι επιβλαβής για το περιβάλλον. Εκπέμπονται κυρίως από τον άνθρακα, τη βιομάζα και από εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών κατά τη διάρκεια κατασκευής των ηλιακών κυττάρων. Η εκπομπή μορίων που προέρχεται από το διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου έχουν ως αποτέλεσμα το θόλωμα της ατμόσφαιρας μειώνοντας την ορατότητα.

*Χρήση γης:* Τα ενεργειακά συστήματα προϋποθέτουν χρήση γης. Η απαιτούμενη έκταση γης που προϋποθέτει κάποια εγκατάσταση αποτελεί σημαντική απόφαση. Το περιβάλλον και η τοποθεσία επηρεάζονται άμεσα από την καταλαμβανόμενη έκταση από ένα ενεργειακό σύστημα. Η έκταση θα μπορούσε εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πάρκων και κέντρων αναψυχής. Οι εκσκαφές και γενικότερα κάθε εργασία που σχετίζεται με τη λειτουργία ενός ενεργειακού συστήματος αποσταθεροποιεί τη χλωρίδα, την πανίδα και το οικοσύστημα γενικότερα.

*Ηχορύπανση:* Η ηχορύπανση διαταράσσει τον ρυθμό και την ισορροπία της ζωής ανθρώπων και ζώων. Δεν έχει μόνο περιβαλλοντικές επιδράσεις αλλά ζημιώνει τη φυσιολογική και ψυχολογική υγεία του ανθρώπου. Χρόνια έκθεση σε θόρυβο στον χώρο εργασίας μπορεί να προκαλέσει σοβαρά ακουστικά προβλήματα.

### **Κοινωνικά κριτήρια**

*Κοινωνική αποδοχή:* Αφορά την αποδοχή ή μη αποδοχή από την τοπική κοινωνία ενός ενεργειακού έργου. Δεν είναι ποσοτικό κριτήριο, αλλά ποιοτικό.

*Δημιουργία θέσεων εργασίας:* Τα συστήματα ενεργειακής τροφοδότησης απασχολούν θέσεις εργασίας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Από την κατασκευή και τη λειτουργία μέχρι τη λήξη της λειτουργίας τους. Τοπικές κοινωνίες όπου εγκαθίσταντο ενεργειακά συστήματα στήριζαν την ανάπτυξη και την ευημερία τους σε αυτά για πολλές δεκαετίες. Ο υπολογισμός αυτού του κριτηρίου είναι αποφασιστικής σημασίας για τη διαδικασία της απόφασης όταν αυτή λαμβάνεται από την τοπική αυτοδιοίκηση.

*Κοινωνικά οφέλη:* Τα κοινωνικά οφέλη αφορούν τη συνολική οικονομική ανάπτυξη που έχει προκαλέσει η εγκατάσταση ενός ενεργειακού συστήματος. Θέσεις εργασίας, εισόδημα και γενικότερα αύξηση του βιοτικού επιπέδου που προέρχεται από αυτήν τη δραστηριότητα (Wang/ Jing/ Zhang/ Zhao, 2009).

## **5.2 Ανασκόπηση εφαρμογών πολυκριτηριακών μεθόδων ανάλυσης στη λήψη αποφάσεων στον τομέα των ΑΠΕ**

Ο ενεργειακός σχεδιασμός είναι ένας τομέας, όπου η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί μια απόλυτα ταιριαστή μέθοδο για τη λήψη αποφάσεων γιατί υπόκειται σε αβεβαιότητα, μακρόχρονο σχεδιασμό, κοστοβόρες επενδύσεις και πολλά διαφορετικά κριτήρια που πρέπει να συνυπολογιστούν για τη λήψη της απόφασης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν δημοσιευτεί πολλές εφαρμογές της πολυκριτηριακής ανάλυσης στον ενεργειακό τομέα (Loken, 2007).

Παρακάτω παρουσιάζονται εφαρμογές της πολυκριτηριακής ανάλυσης στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας:

Ο Beccali χρησιμοποίησε την ELECTRE III για να αξιολογήσει ποιες ενεργειακές πηγές χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στη Σαρδηνία. Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για να καταταχθούν 14 διαφορετικές προτάσεις βασισμένες είτε σε ένα σενάριο που δίνει βαρύτητα στα οικονομικά κριτήρια, είτε στα περιβαλλοντικά είτε σε ένα σενάριο που λαμβάνει υπόψη τον ορθολογισμό και την εξοικονόμηση ενέργειας. Ο σκοπός της μελέτης ήταν να προταθεί μια ταιριαστή αναπτυξιακή στρατηγική με τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Scott/ Ho/ Dey, 2012).

Ο Afgan και ο Carvalho και ο Hovanon σύγκριναν διάφορες εκδοχές νέων και ανανεώσιμων τεχνολογιών έναντι δεικτών αειφόρου ανάπτυξης, με τη μέθοδο ASPID. Το αποτέλεσμα της μελέτης ήταν μια σχετική κατάταξη κάθε τεχνολογικής εκδοχής όσον αφορά την αειφόρο ανάπτυξη. Δείχνει πως η επιλογή μπορεί να αλλάξει όταν δοθεί έμφαση σε διαφορετικά περιβαλλοντικά κριτήρια. Οι τεχνολογίες που συγκρίθηκαν ήταν καύση άνθρακα, η ηλιακή, η γεωθερμική, η βιομάζα, η



πυρηνική, τα φωτοβολταϊκά, ο άνεμος και το φυσικό αέριο. Χρησιμοποίησαν, επίσης, την πολυκριτηριακή μέθοδο βασισμένοι σε μια παράμετρο μέτρησης που περιγράφεται ως γενικός δείκτης βιωσιμότητας. Η μέθοδος του γενικού δείκτη απαιτεί τη δημιουργία μιας αθροιστικής λειτουργίας χρησιμοποιώντας τις βαρύτητες διαφορετικών δεικτών. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα διαφορετικών τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όταν χρησιμοποιούνται μαζί, για παράδειγμα φωτοβολταϊκά (PV) με αιολική ενέργεια. Για να γίνει η εκτίμηση της βιωσιμότητας χρησιμοποιήθηκαν ένας κοινωνικός, ένας οικονομικός και ένας περιβαλλοντικός δείκτης. Η μελέτη συγκρίνει πέντε διαφορετικά ενεργειακά συστήματα που αξιολογούνται σε επτά διαφορετικές περιπτώσεις όπου δίνονται κάθε φορά διαφορετικές βαρύτητες στους διάφορους συντελεστές (Afgan/ Carvalho/ Hovanov, 2000).

Ο Haralambopoulos και ο Polatidis εξέτασαν τη γεωθερμική ενέργεια για τη Χίο, παρόλο που η βιομάζα θεωρείται μια εναλλακτική πηγή ενέργειας. Χρησιμοποίησαν τη μέθοδο PROMETHEE II για να αξιολογήσουν τέσσερα σενάρια με βάση τρία ποσοτικά και δύο ποιοτικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά διαιρέθηκαν σε υποκριτήρια για να υποστηριχθεί η μέτρηση των ποσοτικών μερών του προβλήματος. Η μελέτη αυτή είχε ως στόχο να προτείνει την τεχνολογία που να ικανοποιεί με τον καλύτερο τρόπο τα κριτήρια που είχαν τεθεί (Scott/ Ho/ Dey, 2012).

Ο Khalil σύγκρινε τις μεθόδους PROMETHEE και GAIA. Σκοπός της μελέτης ήταν να προσδιοριστούν οι καταλληλότερες συνθήκες επεξεργασίας της λάσπης των λυμάτων. Στη μελέτη δημιουργήθηκαν διάφορες συνθήκες λειτουργίας με εναλλαγές θερμοκρασίας και δοσολογίας οξειδωτικών. Τα αρχικά ολικά και πτητικά στερεά παρέμειναν σταθερά σε σχέση με τους άλλους παράγοντες. Σκοπός της μελέτης ήταν να ερευνηθούν σε μεγαλύτερο βάθος οι ιδανικές συνθήκες παραγωγής λάσπης με διαφορετική ποιότητα. Ένα από τα προϊόντα της διαδικασίας καθαρισμού λυμάτων είναι το βιοαέριο και η κατανόηση αυτών των αλληλεπιδράσεων μπορεί να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση της παραγωγής αερίου (Khalil/ Goonetilleke/ Kokot/ Carroll, 2004).

Ο Ulutas εξέτασε την αναμενόμενη έλλειψη ενέργειας στην Τουρκία. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ANP (Analytical Network Process) για να αξιολογηθεί το ποιες τεχνολογίες είναι οι προτιμότερες ώστε να ικανοποιηθεί η ζήτηση ενέργειας

στο μέλλον. Στόχος της μελέτης ήταν να κάνει προτάσεις σε αυτούς που χαράσσουν πολιτικές κατά τη διάρκεια της δόμησης της μακρόχρονης ενεργειακής πολιτικής. Το συμπέρασμα ήταν ότι η βιομάζα είναι η καταλληλότερη πηγή ενέργειας ακολουθούμενη από το βιοκαύσιμο και τη βιοαιθανόλη (Scott/ Ho/ Dey, 2012).

Ο Doukas εφάρμοσε την PROMETHEE II για να επιλέξει μεταξύ πολιτικών για την Ελλάδα που είχαν ως σκοπό την εισαγωγή των πιο σύγχρονων τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι τεχνολογίες που ερευνήθηκαν συμπεριλάμβαναν κυψέλες καυσίμων, αεριοποίηση βιομάζας, αιολική ενέργεια, φωτοβολταϊκά και ορυκτά καύσιμα. Δημιουργήθηκαν αρκετά πιθανά σενάρια βασισμένα στις μελλοντικές ανάγκες και απαιτήσεις, βάσιμο, απαισιόδοξο, αισιόδοξο και αβάσιμο με βάση εγχώριους και διεθνείς όρους. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν κατηγοριοποιήθηκαν με βάση οικονομικούς, περιβαλλοντικούς, τεχνολογικούς και κοινωνικούς παράγοντες. Τα συμπεράσματα αποκάλυψαν ότι πρέπει να δοθεί έμφαση σε εγχώριες πηγές, όπως λιγνίτη, άνεμο και βιομάζα (Doukas/ Papadopoulou/ Nychtis/ Psarras/ Van Beeck, 2008).

Ο Begic και ο Afgan, επίσης, έλαβαν υπόψη περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς δείκτες για μια πολυκριτηριακή αξιολόγηση για την ανακαίνιση μιας εγκατάστασης θερμικής ενέργειας στη Βοζνία, κάνοντας χρήση της PROMETHEE. Η μελέτη αυτή σύγκρινε τη διαφορά στα αποτελέσματα που προκύπτουν, όταν η αιεφόρος ανάπτυξη αποτελεί κρίσιμο παράγοντα έναντι της περίπτωσης όπου το κόστος της επένδυσης αποτελεί το βασικό κριτήριο λήψης της απόφασης.

Ο Zhou παρουσίασε μια μέθοδο επιλογής μεταξύ διαφόρων τύπων καυσίμου συμπεριλαμβανομένης της βιοαιθανόλης και μίγματα βιοκαυσίμων. Η πολυκριτηριακή μέθοδος χρησιμοποιούσε την πιθανότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη, την καθαρή ενεργειακή απόδοση και την πιθανότητα εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στηρίχθηκε σε μια αθροιστική λειτουργία που συνδυάζει τις σχετικές βαρύτητες κάθε κριτηρίου σε σχέση με τις επιδράσεις του κάθε τύπου καυσίμου. Εξετάστηκε η επίδραση που είχε στο αποτέλεσμα η αλλαγή των σχετικών βαρών του κάθε κριτηρίου (Scott/ Ho/ Dey, 2012).

Ο Terrados έκανε χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης μαζί με SWOT ανάλυση για συμβάλλει σε ένα δημοσίευμα για την περιφερειακή ανάπτυξη στην Ισπανία. Οι

μεγάλες ποσότητες βιομάζας θεωρήθηκαν ως το δυνατό σημείο της περιφέρειας όταν ήθελαν να ικανοποιήσουν τα κριτήρια που λαμβάνονταν υπόψη για την πρόβλεψη της εγχώριας παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Terrados/ Almonacid/ Hontoria, 2007).

Ο Cherni παρουσίασε ένα σύστημα υποστήριξης πολυκριτηριακών αποφάσεων, το SURE DSS (Sustainable Rural Energy Decision Support System) για να επιλέξει ανάμεσα σε οχτώ διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Οι τεχνολογικές εναλλακτικές κατατάσσονται με βάση τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές τους επιδράσεις. Το SURE DSS επιτρέπει στον ερευνητή να εξετάσει την επίδραση της εγκατάστασης διαφορετικών ενεργειακών εκδοχών στα «προς το ζην» των τοπικών κοινωνιών. Η μελέτη έγινε για μια αγροτική περιοχή της Κολομβίας (Cherni/ Dyner/ Henao/ Jaramillo/ Smith/ Font, 2007).

Ο Madlener χρησιμοποίησε την PROMETHEE για να συγκρίνει πέντε διαφορετικά σενάρια που υπέθεταν διαφορετικές αναλογίες ηλεκτρισμού και θέρμανσης παραγμένες από διάφορα συνδυαστικά συστήματα τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για να επιλεγεί το καλύτερο σενάριο χρησιμοποιήθηκαν ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια (Madlener/ Kowalski/ Stagl, 2007).

Ο Buchholz δημοσίευσε μια συγκριτική ανασκόπηση διαφόρων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που εφαρμόστηκαν για μια μελέτη στην Ουγκάντα. Η μελέτη εστίαζε στις απόψεις των διαφόρων ομάδων ενδιαφερομένων για τη λήψη της απόφασης. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι μέθοδοι SuperDecisions, DecideIT, Decision Lab και NAIADE. Η μελέτη είχε σαν βασικό κριτήριο την αειφόρο ανάπτυξη, συνεπώς τα περιβαλλοντικά κριτήρια έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της λήψης απόφασης. Υπήρχαν μεγάλες αποκλίσεις στα αποτελέσματα των διαφόρων τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν Buchholz/ Rametsteiner/ Volk/ Luzadis, 2009).

Ο Karagiannidis και ο Perkoulidis εφάρμοσαν την ELECTRE III για να επιλέξουν μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών αναερόβιας χώνεψης στερεών αποβλήτων. Τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη ήταν εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ανάκτηση ενέργειας ανά τόνο, ανάκτηση υλικών ανά τόνο και κόστος λειτουργίας ανά τόνο πρώτης ύλης. Η μελέτη έγινε στην Ελλάδα (Karagiannidis/ Perkoulidis, 2009).

Ο Mohamadabadi χρησιμοποίησε τη μέθοδο PROMETHEE για να επιλέξει τύπους καυσίμων για οχήματα. Μη ανανεώσιμα καύσιμα μελετήθηκαν μαζί με βιοκαύσιμα, ηλεκτροϋβριδικά και συμπιεσμένο φυσικό αέριο. Δόθηκε βαρύτητα σε διαφορετικά κριτήρια με βάση ένα σενάριο προστασίας του περιβάλλοντος και διαφορετικά με βάση ένα σενάριο που το κόστος ήταν ο βασικός παράγοντας επιλογής (Mohamadabadi/ Tichkowsky/ Kumar, 2009).

Ο Terrados χρησιμοποίησε την PROMETHEE μαζί με την Delphi για να αξιολογήσει πολιτικές σχεδιασμού σε μια περιοχή στην Ισπανία. Η μελέτη είχε σα σκοπό να κάνει μια πρόταση για πολιτικές αποφάσεις που θα είχαν ως αποτέλεσμα την αειφόρο ανάπτυξη. Τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη είχαν να κάνουν με περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά ζητήματα. Η γνώμη ενός ειδικού λήφθηκε υπόψη για την εφαρμογή της μεθόδου Delphi (Terrados/ Almonacid/ Perez-Higueras, 2009).

Ο Kaya και ο Kahraman χρησιμοποίησαν τη VIKOR και την AHP ώστε να επιλέξουν μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για μια περιοχή στην Τουρκία. Έπειτα, χρησιμοποίησαν τις ίδιες μεθόδους για να επιλέξουν την καλύτερη τοποθεσία για την επιλεγόμενη τεχνολογία, μεταξύ έξι διαφορετικών περιοχών (Kaya/ Kahraman, 2010).

Ο Theodorou χρησιμοποίησε τις πολυκριτηριακές μεθόδους AHP, PROMETHEE και ELECTRE για να κάνει προτάσεις για ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Κύπρο. Οι προτάσεις αξιολογήθηκαν με βάση κριτήρια τεχνολογικής ωριμότητας, αρχικού κόστους επένδυσης, αποτελεσματικότητας και κοινωνικής αποδοχής (Theodorou/ Florides/ Tassou, 2010).

Ο Tzeng εφάρμοσε την PROMETHEE για να κάνει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων για την ανάπτυξη ενός νέου ενεργειακού συστήματος. Η μελέτη στάθμισε την ενεργειακή τεχνολογία, περιβαλλοντικές επιδράσεις, κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες και πρότεινε κατευθύνσεις ανάπτυξης και στρατηγική για μελλοντική ανάπτυξη ενεργειακών συστημάτων στην Ταϊβάν (Tzeng/ Shiau/ Lin, 1992).

Η Diakoulaki και ο Karangelis χρησιμοποίησαν την PROMETHEE, βασισμένοι σε οικονομικά, τεχνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια για να αποτιμήσουν τέσσερα σενάρια του τομέα ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα (Diakoulaki/ Karangelis, 2007).

Ο Hyde αξιολόγησε έξι σενάρια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιώντας την PROMETHEE. Η μελέτη περιλάμβανε τον καθορισμό της αβεβαιότητας των εισαγόμενων στην ανάλυση τιμών χρησιμοποιώντας κατανομές πιθανότητας, εκτέλεση μιας ανάλυσης αξιοπιστίας με την προσομοίωση Monte Carlo και κάνοντας μια ανάλυση σημαντικότητας χρησιμοποιώντας τον συντελεστή συσχέτισης της κατάταξης Spearman (Behzadian/ Kazemzadeh/ Albadvi/ Aghdasi, 2009).

Ο Papadopoulos και ο Karagiannidis χρησιμοποίησαν την ELECTRE III για να αξιολογήσουν την εφικτότητα εισαγωγής τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές για την παραγωγή ενέργειας. Η μελέτη έγινε σε περιοχές της Καρπάθου και της Κάσου και τα αποτελέσματα κατέδειξαν τις υψηλές δυνατότητες εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές (Papadopoulos/Karagiannidis, 2008).

Ο Cavallaro χρησιμοποίησε τη μέθοδο NAIADE για να αξιολογήσει εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας στο νησί Salina της Ιταλίας. Σκοπός της εργασίας ήταν να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα της εγκατάστασης ανεμογεννητριών σε αυτό το νησί. Τέσσερις διαφορετικές ανεμογεννήτριες συγκρίθηκαν με βάση τη δυναμικότητά τους, τη δυναμικότητα των ανέμων και το κόστος τους (Cavallaro/ Ciraolo, 2005).

Ο Akash εφάρμοσε την AHP για να αξιολογήσει και να ιεραρχήσει τις διάφορες εναλλακτικές πηγές ενέργειας, που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στην αφαλάτωση στην Ιορδανία (Akash/ Al-Jayyousi/ Mohsen, 1997).

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά όλα τα παραπάνω:

Συγγραφέας	Τίτλος εργασίας	Μέθοδος
Afgan	Energy system assessment with sustainability indicators	ASPID
Akash	Multi-criteria analysis of non-conventional energy technologies for water desalination in Jordan	AHP
Beccali	Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology	ELECTRE III
Begic	Sustainability assessment tool for the decision making in the selection of energy system-Bosnian case	PROMETHEE
Buchholz	Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments	SuperDecisions- DecideIT- Decision Lab- NAIADE
Cavallaro	A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the ELECTRE III method	NAIADE
Cherni	Energy supply for sustainable rural livelihoods. A multi-criteria decision-support system	SURE DSS
Diakoulaki	Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece	PROMETHEE
Doukas	Energy Research and Technology Development Data Collection Strategies: The Case of Greece	PROMETHEE II
Haralambopoulos	Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework	PROMETHEE II
Hyde	Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method	PROMETHEE
Karagiannidis	A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes	ELECTRE III
Kaya	Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: the case of Istanbul	VIKOR-AHP
Khalil	Use of Chemometrics Methods and Multicriteria Decision-Making for Site Selection for Sustainable On-site Sewage Effluent Disposal	PROMETHEE- GAIA

<b>Madlener</b>	<b>New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios: the case of renewable energy use in Austria</b>	<b>PROMETHEE</b>
<b>Mohadabadi</b>	<b>Development of multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles</b>	<b>PROMETHEE</b>
<b>Papadopoulos</b>	<b>Application of multi-criteria analysis method Electre III for the optimization of decentralized energy systems</b>	<b>ELECTRE III</b>
<b>Terrados</b>	<b>Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region</b>	<b>PROMETHEE-Delphi</b>
<b>Terrados</b>	<b>Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools: impact on renewables development</b>	<b>PROMETHEE-Delphi</b>
<b>Theodorou</b>	<b>The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, a review</b>	<b>AHP-PROMETHEE-ELECTRE</b>
<b>Tzeng</b>	<b>Application of multi-criteria decision making to the evaluation of new energy system development in Taiwan</b>	<b>PROMETHEE</b>
<b>Ulutas</b>	<b>Determination of the appropriate energy policy for Turkey</b>	<b>ANP</b>
<b>Zhou</b>	<b>Life cycle sustainability assessment of fuels</b>	<b>linear aggregation functions</b>

**Πίνακας 5.1 Ανασκόπηση εφαρμογών πολυκριτηριακών μεθόδων**

## **6 Μελέτη περιπτώσεων**

Τα νησιά του Αιγαίου βρίσκονται στο νοτιοανατολικό άκρο της Ευρώπης. Το κλίμα στα νησιά αυτά είναι το τυπικό μεσογειακό ξηρό. Για τα περισσότερα νησιά οι πηγές νερού είναι πολύ περιορισμένες. Τα αποθέματα αυτά δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού. Το πρόβλημα αυτό επιδεινώνεται ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, όπου η ανάγκη για πόσιμο νερό πενταπλασιάζεται της φυσιολογικής, κυρίως λόγω της ανάπτυξης του τουρισμού. Η υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι, των υφιστάμενων αποθεμάτων νερού, το καθιστούν ακατάλληλο για να εξυπηρετήσει τις ανθρώπινες ανάγκες (Karagiannis/ Soldatos, 2007).

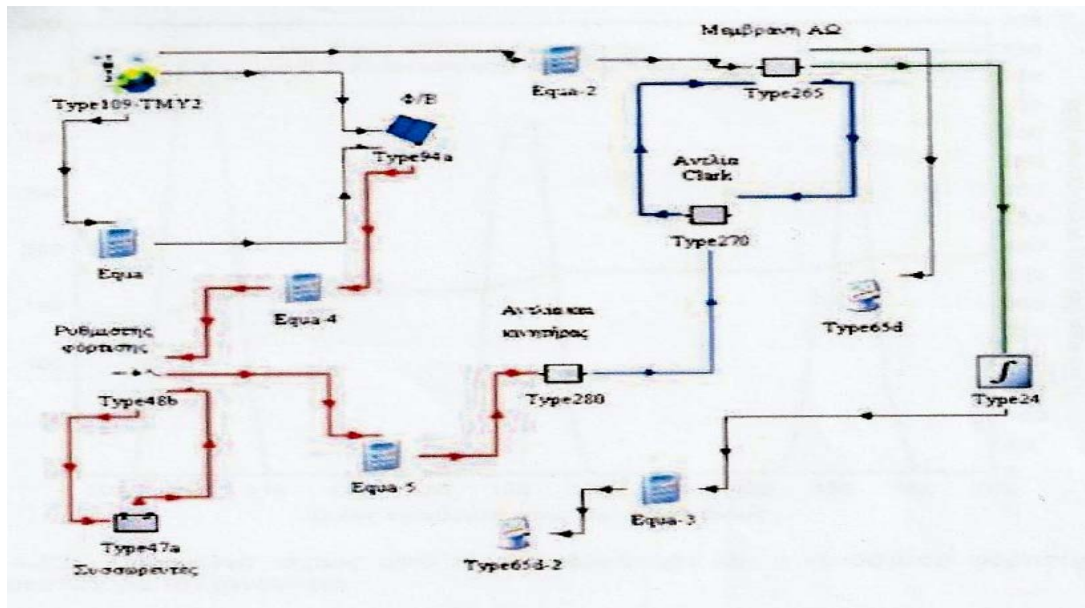
Η μελέτη που θα παρουσιαστεί αναφέρεται στα κατάλληλα συνδυαστικά συστήματα αφαλάτωσης-ΑΠΕ που μπορούν να εγκατασταθούν στην Ύδρα και στη Δονούσα με βάση κάποια συγκεκριμένα κριτήρια, έτσι ώστε να καλυφτεί μέρος των αναγκών τους σε νερό και να γίνει χρήση λιγότερου νερού μέσω της μεταφοράς του, η οποία έχει αποδειχτεί ως ακριβότερη λύση.

### **6.1 Διαδικασία επιλογής τεχνολογίας αφαλάτωσης**

Στην Ελλάδα, κυρίαρχη μέθοδος αφαλάτωσης είναι η αντίστροφη όσμωση (RO) (Μουτάφης, 2008). Συνεπώς η μελέτη θα επικεντρωθεί στη σύγκριση τεσσάρων τοπολογιών (συνδυαστικά συστήματα αφαλάτωσης-ΑΠΕ) τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης όπως έχουν περιγραφεί από τον Μωχάμεντ Εσσάμ, 2009 (τοπολογία 1-τοπολογία 4) και μιας όπως έχει περιγραφεί από τον Σταύρου Κωνσταντίνο, 2012 (τοπολογία 5):

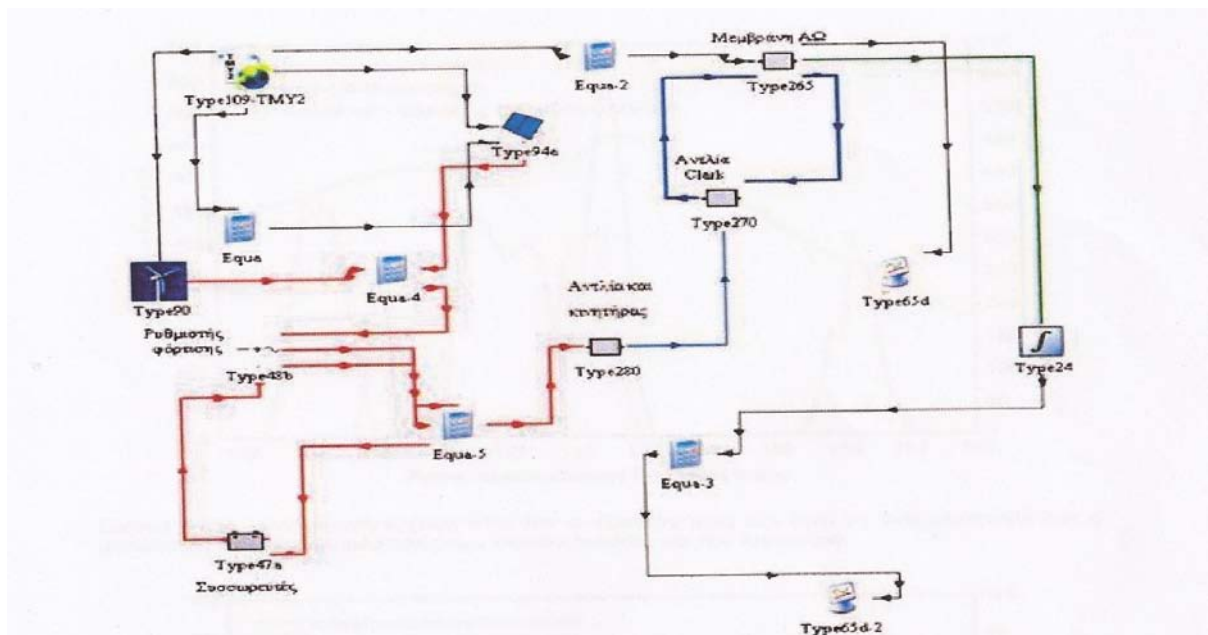


**Τοπολογία 1:** Σύνδεση Φ/Β συστοιχίας με τη μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης(ΑΩ) μέσω των συσσωρευτών και ρυθμιστή φόρτισης.



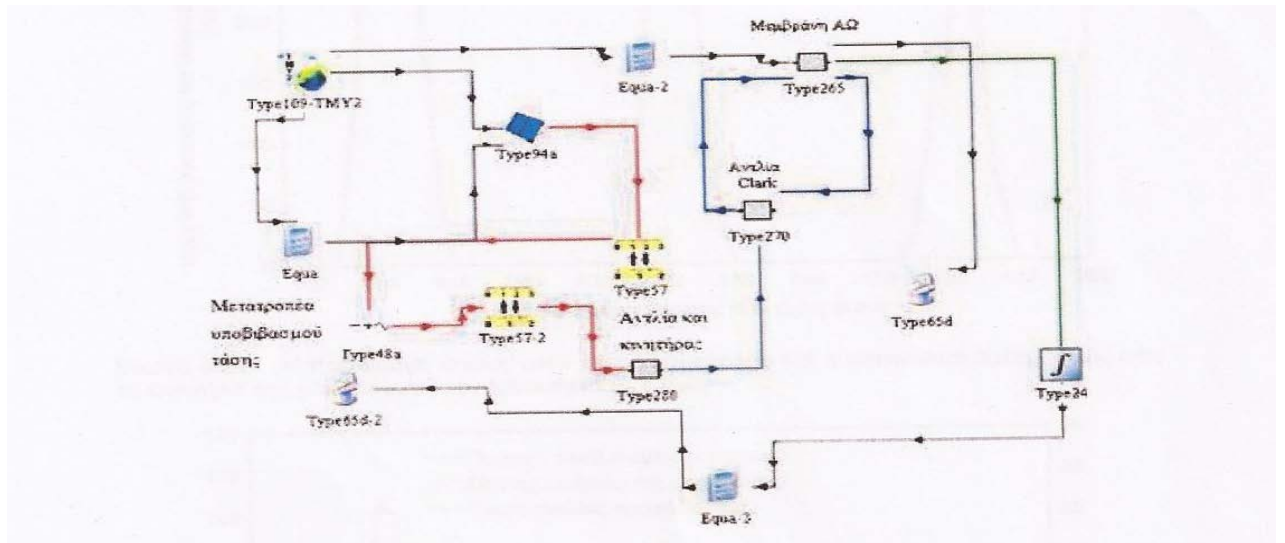
Σχήμα 6.1 Σύνδεση της μονάδας ΑΩ με τη Φ/Β συστοιχία μέσω συσσωρευτών και ρυθμιστή φόρτισης

**Τοπολογία 2:** Σύνδεση της Φ/Β συστοιχίας και της ανεμογεννήτριας με τη μονάδα ΑΩ μέσω των συσσωρευτών και ρυθμιστών φόρτισης.



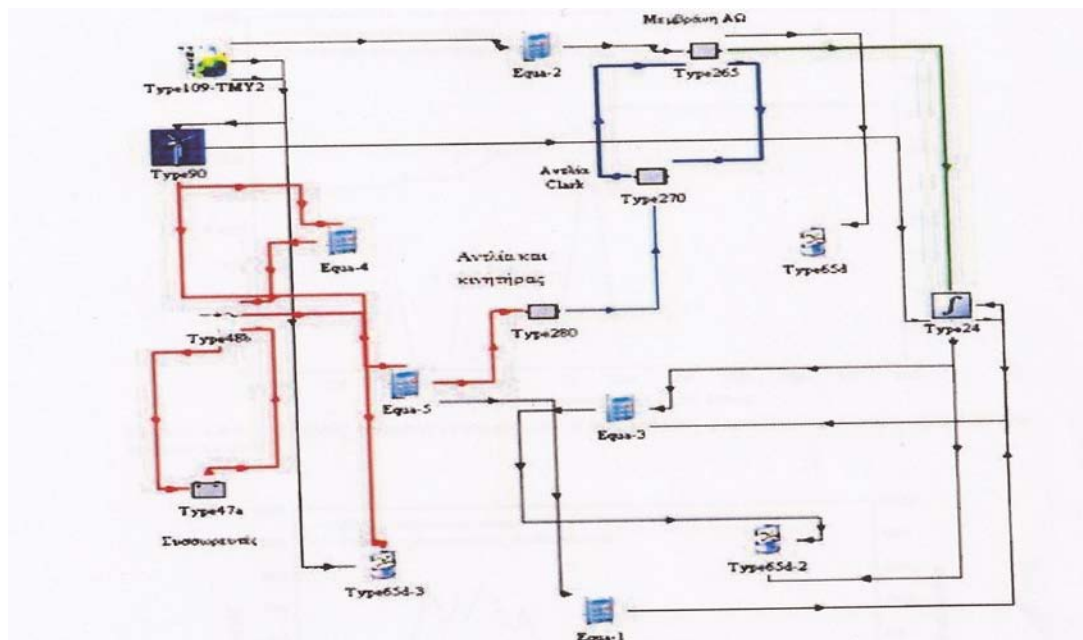
Σχήμα 6.2 Υβριδικό σύστημα με ανεμογεννήτρια Φ/Β συστοιχία και συσσωρευτές

**Τοπολογία 3:** Απευθείας σύνδεση της Φ/Β συστοιχίας με τη μονάδα ΑΩ μέσω μετατροπέα υποβιβασμού τάσης.



**Σχήμα 6.3** Απευθείας σύνδεση της Φ/Β συστοιχίας με τη μονάδα ΑΩ μέσω μετατροπέα υποβιβασμού τάσης

**Τοπολογία 4:** Σύνδεση της μονάδας ΑΩ με ανεμογεννήτρια και συσσωρευτές.



**Σχήμα 6.4** Σύνδεση της μονάδας ΑΩ με ανεμογεννήτρια και συσσωρευτές

(Μωχάμεντ, 2009)

## **Τοπολογία 5:** Σύνδεση της μονάδας ΑΩ με γεννήτρια diesel

(Σταύρου, 2012)

Η επιλογή της τεχνολογίας είναι μια πολύπλοκη διαδικασία όπου ο λήπτης της απόφασης λαμβάνει υπόψη του πολλούς παράγοντες ώστε να πάρει την τελική απόφαση (Al- Subaie, 2007).

Τα κριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση είναι οικονομικά, περιβαλλοντικά, τεχνικά και κοινωνικά. Αυτά χωρίζονται σε επιμέρους υποκριτήρια, τα οποία είναι η Καθαρά Παρούσα Αξία (NPV), το κόστος επένδυσης (Capital investment indicator), το κόστος παραγωγής νερού (water production cost) και το ρίσκο (risk) της επένδυσης για τα οικονομικά, σε πολυπλοκότητα (Complexity) και ωριμότητα (maturity) της τεχνολογίας, ποσότητα νερού που παράγεται (Amount of produced water), ποιότητα παραγόμενου νερού (Quality of produced water) και σε κατανάλωση ενέργειας (Specific Energy Consumption) για τα τεχνικά, σε εκπομπές CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> και αποβολή απολλυμμάτων για τα περιβαλλοντικά και σε θέσεις εργασίας (Job indicator), πιθανή αύξηση της ποιότητας ζωής της περιοχής (Standard indicator), τα οφέλη για την κοινωνία, λαμβάνοντας υπόψη ατομικά κριτήρια και το κατά πόσο θα είναι υψηλό το ποσό των χρημάτων που θα πρέπει να δαπανηθεί σε εισαγωγή τεχνολογίας από το εξωτερικό (Capital paid abroad) για τα κοινωνικά κριτήρια (Afgan/ Carvalho/ Hovanov, 2000).

## **6.2 Επιλογή μεθοδολογίας**

Όπως έχει αναφερθεί, στις αποφάσεις για τον ενεργειακό σχεδιασμό είναι απόλυτα ταιριαστή η χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης. Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλές πολυκριτηριακές μέθοδοι για τη λήψη αποφάσεων. Φυσικά, δεν μπορεί να υπάρχει η απολύτως κατάλληλη μέθοδος για κάποιο πρόβλημα που απαιτείται λήψη μιας απόφασης.

Η επιλογή της πολυκριτηριακής μεθόδου είναι ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα. Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Διαφορετικοί λήπτες

αποφάσεων μπορεί πάντα να διαφωνούν για το ποια είναι η κατάλληλη μέθοδος. Κάθε κατηγορία πολυκριτηριακών αναλύσεων έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας είναι ότι είναι απλή στην εφαρμογή και ότι μπορεί να επεξεργαστεί ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα. Το μειονέκτημά της είναι ότι γίνεται πολύ χρονοβόρα ως διαδικασία όταν τα κριτήρια για την επιλογή είναι πολλά (Loken, 2007). Είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδος χρησιμοποιούμενη για αποφάσεις που αφορούν τον ενεργειακό σχεδιασμό (Pohekar/ Ramachandran, 2004).

Οι μέθοδοι που στηρίζονται στη σχέση υπεροχής, με κύριες τις ELECTRE και Promethee έχουν ως κύριο πλεονέκτημα το ότι λαμβάνουν υπόψη τυχόν διστακτικότητα του αποφασίζοντος όσον αφορά την υπεροχή ενός κριτηρίου έναντι ενός άλλου (Loken, 2007). Χρησιμοποιούνται ευρέως στον ενεργειακό σχεδιασμό (Pohekar/ Ramachandran, 2004).

Η Θεωρία Χρησιμότητας επεξεργάζεται ποιοτικούς παράγοντες, όπως και ποσοτικούς Δεν χρησιμοποιείται ευρέως στον ενεργειακό σχεδιασμό (Pohekar/ Ramachandran, 2004).

Η επιλογή, συνεπώς εξαρτάται πάντα από τις προτιμήσεις των ενδιαφερόντων ή των αναλυτών. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη η εφαρμοστικότητα, η εγκυρότητα και η ευκολία στη χρήση της μεθόδου. Είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτό ότι η χρήση διαφορετικών μεθόδων μπορεί να αποφέρει διαφορετικά αποτελέσματα. Αυτό, φυσικά, δε σημαίνει ότι κάτι λειτουργεί με λανθασμένο τρόπο σε κάποια μέθοδο, αλλά ότι οι διάφορες μέθοδοι εφαρμόζουν διαφορετική διαδικασία (Loken, 2007).

Επίσης, η κάθε μέθοδος μπορεί να εξάγει διαφορετικό αποτέλεσμα. Γι' αυτόν τον λόγο η χρήση δύο διαφορετικών μεθόδων κρίνεται απαραίτητη, ώστε να εξαχθεί ένα πιο ασφαλές συμπέρασμα (Anagnostopoulos/ Petalas/ Pisinaras, 2005).

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν δύο μέθοδοι, η AHP και η Promethee, ώστε τα αποτελέσματα να επιβεβαιωθούν πλήρως. Η AHP αποτελεί το κυρίαρχο μοντέλο λήψης αποφάσεων στον ενεργειακό σχεδιασμό (Pohekar/ Ramachandran,

2004. Κρίνεται ιδανική για την εφαρμογή, όχι μόνο ως εργαλείο επιλογής, αλλά και ως εργαλείο που αξιολογεί και αναδεικνύει όλες τις συνιστώσες του προβλήματος. Είναι μια εύκολα αντιληπτή και πολύ αποτελεσματική μεθοδολογία. Απεικονίζεται ξεκάθαρα το περιβάλλον της απόφασης και καταγράφονται όλες οι παράμετροι του προβλήματος που την επηρεάζουν. Επίσης, ένα ακόμη πλεονέκτημά της είναι η ευκολία της στη διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας σε όλα τα στάδια της διαδικασίας και έτσι κρίνεται πολύ εύκολη η δοκιμή της συνέπειας των εναλλακτικών. Τα πλεονεκτήματα αυτά, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι, αποδεδειγμένα, από τη βιβλιογραφία, είναι κυρίαρχη μέθοδος για λήψη αποφάσεων στον ενεργειακό σχεδιασμό, κρίνεται κατάλληλη η χρήση της στην παρούσα εργασία.

Η μέθοδος Promethee κρίνεται κατάλληλη για χρήση στον ενεργειακό σχεδιασμό γιατί λαμβάνει υπόψη αμφιβολία του λήπτη αποφάσεων σε διαφορές των εναλλακτικών κριτηρίων. Επίσης, προσφέρει και τη δυνατότητα ξεκάθαρης υπεροχής ενός κριτηρίου έναντι κάποιου άλλου. Αυτές οι λειτουργίες μπορεί να είναι αποφασιστικής σημασίας στην τελική επιλογή. Επίσης χρησιμοποιούνται έξι διαφορετικοί τύποι για την επιλογή, συνεπώς κάθε λήπτης αποφάσεων μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτόν που θεωρεί πιο κατάλληλο για την αξιολόγηση που θα κάνει.

Οι δύο μέθοδοι θα εφαρμοστούν με βάση τα στοιχεία που αναφέρονται στη διδακτορική διατριβή του Μωχάμεντ, 2009, για την κάθε τοπολογία και φαίνονται αναλυτικά στους πίνακες 6.1 - 6.7 :

Αρχική επένδυση του Φ/Β συστήματος	Μέγεθος	Κόστος μονάδας	Συνολικό κόστος(€)	% από το συνολικό κόστος	Ωφέλιμος χρόνος ζωής(έτη)	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος(€/έτος)
Ισχύς Φ/Β συστοιχίας(kW)	0,85	5.000	4.257,31	65,1	25	398,82
Ρυθμιστής φόρτωσης(kW)	0,84	700	346,86	5,3	10	51,69
Μετατροπέας υποβιβασμού(kW)	0,7	360	0	0	10	0
Κατασκευή στήριξης Φ/Β συστοιχίας	1	350	350	5,4	25	32,79
Καλωδίωση	1	100	100	1,5	20	10,19
Μεταφορά & εγκατάσταση(€)	1	350	350	5,4	25	32,79
Συσσωρευτές(kWh)	7,56		1.133,67	17,3	6,24	237,7
<b>Σύνολα</b>			<b>6.537,84</b>	<b>100</b>		<b>763,98</b>
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας Φ/Β συστήματος(€/έτος)	% από την αρχική επένδυση		(€/έτος)			
Συντήρηση συσσωρευτών	5		56,68	51,22		
Καθάρισμα Φ/Β πλαισίων	0,5		21,29	19,24		
Γενικά έξοδα συντήρησης	0,5		32,69	29,54		
<b>Σύνολα</b>			<b>110,66</b>	<b>100</b>		<b>110,66</b>
<b>Ισοδύναμο ετήσιο κόστος Φ/Β</b>						<b>874,64</b>

Πίνακας 6.1 Στοιχεία κόστους Φ/Β συστήματος

Αρχική επένδυση ΑΓ(€)	% από την αρχική επένδυση	Κόστος μονάδας	Συνολικό κόστος(€)	% από το συνολικό κόστος	Ωφέλιμος χρόνος ζωής(έτη)	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος(€/έτος)
Ανεμογεννήτρια	1	2.000	2.008,89	67,2	20	204,61
Ιστός	6	80	480	16,1	30	42,64
Καλωδίωση	1	100	100	3,3	20	10,19
Μεταφορά και εγκατάσταση(€)			400	13,4	20	40,74
Πτερύγια της ΑΓ	3	150	450	15,1	10	67,06
<b>Σύνολα</b>			<b>2.988,89</b>	<b>100</b>		<b>298,18</b>
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας(€/έτος)	% από την αρχική επένδυση					
Συντήρηση ΑΓ	5		100,44			
Ηλεκτρικές ρυθμίσεις	1		29,89			
<b>Σύνολα</b>			<b>130,33</b>			<b>130,33</b>
<b>Ισοδύναμο ετήσιο κόστος ΑΓ</b>						<b>428,51</b>

Πίνακας 6.2 Στοιχεία κόστους ανεμογεννήτριας

Αρχική επένδυση μονάδας	Μέγεθος	Κόστος μονάδας	Συνολικό κόστος(€)	% από το συνολικό κόστος	Ωφέλιμος χρόνος ζωής	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος(€/έτος)
Μεμβράνες	2	450	945,82	10,01	5,01	236,6
Μεμβρανοθήκη	2	750	1.592,52	16,86	30	141,46
Φίλτρα	3	15	48,99	0,52	2	27,47
Αισθητήρια	1	500	319,49	3,38	10	47,61
Αντλία τροφοδοσίας	1	300	335,87	3,56	15	39,24
Κινητήρας ΣΡ	1	1.000	790,41	8,37	20	80,51
Αντλία Clark	1	3.400	4.097,50	43,38	20	417,34
Μονάδα ελέγχου	1	500	522,47	5,53	20	53,21
Υδραυλικά και σωλήνες	1	100	89,18	0,94	30	7,92
Καλωδίωση	1	100	90,05	0,95	20	9,17
Δεξαμενή τροφοδοσίας	1	150	132,16	1,4	50	10,8
Δεξαμενή παραγόμενου νερού	1	100	122,01	1,29	50	9,97
Μεταφορά και εγκατάσταση			359,66	3,81	25	33,69
<b>Σύνολα</b>			<b>9446,13</b>	<b>100</b>		<b>1114,99</b>
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας(€/έτος)						
Χημικά		0,1	30,18			30,28
Συντήρηση			100			100
<b>Σύνολα</b>						<b>130,28</b>
<b>Ισοδύναμο ετήσιο κόστος ΑΩ</b>						<b>1245,27</b>
Γενικό σύνολο του ισοδύναμου ετήσιου κόστους του συστήματος(€/έτος)						2548,42

Πίνακας 6.3 Στοιχεία κόστους του συστήματος αφαλάτωσης



Παρακάτω, στον πίνακα οικονομικών δεικτών φαίνονται οι οικονομικές επιδόσεις της κάθε τοπολογίας και στους επόμενους τα στοιχεία όπως έχουν αποτυπωθεί στη διδακτορική διατριβή του Μωχάμεντ Εσσαμ, 2009:

<b>Οικονομικοί Δείκτες</b>				
	<b>Κ.Π.Α (€)</b>	<b>Κόστος Επένδυσης (€)</b>	<b>Κόστος παραγωγής νερού (€/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Ρίσκο</b>
<b>Τοπολογία 1</b>	<b>-6000</b>	<b>15000</b>	<b>8.1</b>	<b>Μέτριο</b>
<b>Τοπολογία 2</b>	<b>17200</b>	<b>19000</b>	<b>4</b>	<b>Μέτριο</b>
<b>Τοπολογία 3</b>	<b>3300</b>	<b>14000</b>	<b>4.9</b>	<b>Υψηλό</b>
<b>Τοπολογία 4</b>	<b>-4000</b>	<b>13000</b>	<b>5.8</b>	<b>Μέτριο</b>
<b>Τοπολογία 5</b>	<b>5300</b>	<b>10000</b>	<b>6.4</b>	<b>Χαμηλό</b>

Πίνακας 6.4 Οικονομικοί δείκτες τοπολογιών

<b>Τεχνικοί Δείκτες</b>					
	<b>Πολυπλοκ- ότητα</b>	<b>Ωριμότητα</b>	<b>Ποσότητα παραγόμενου νερού (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Ποιότητα παραγόμενο υ νερού (μS/cm)</b>	<b>Κατανάλωσ η ενέργειας (kWh/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Τοπολογία 1</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>257</b>	<b>400</b>	<b>4.7</b>
<b>Τοπολογία 2</b>	<b>Υψηλή</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>630</b>	<b>400</b>	<b>4.7</b>
<b>Τοπολογία 3</b>	<b>Χαμηλή</b>	<b>Χαμηλή</b>	<b>330</b>	<b>500</b>	<b>4.1</b>
<b>Τοπολογία 4</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>353</b>	<b>400</b>	<b>5</b>
<b>Τοπολογία 5</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Υψηλή</b>	<b>388</b>	<b>350</b>	<b>4</b>

Πίνακας 6.5 Τεχνικοί δείκτες τοπολογιών

<b>Περιβαλλοντικοί Δείκτες</b>					
		<b>CO<sub>2</sub> (kg/yr)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (kg/yr)</b>	<b>SO<sub>x</sub> (kg/yr)</b>	<b>Υπολλείμματα</b>
<b>1</b>	<b>Τοπολογία 1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Υψηλή</b>
<b>2</b>	<b>Τοπολογία 2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Υψηλή</b>
<b>3</b>	<b>Τοπολογία 3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Χαμηλή</b>
<b>4</b>	<b>Τοπολογία 4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Υψηλή</b>
<b>5</b>	<b>Τοπολογία 5</b>	<b>1417</b>	<b>31.2</b>	<b>2.84</b>	<b>Μέτρια</b>

Πίνακας 6.6 Περιβαλλοντικοί δείκτες τοπολογιών

<b>Κοινωνικοί Δείκτες</b>				
	<b>Θέσεις εργασίας SI<sub>job</sub></b>	<b>Επίπεδο ζώης SI<sub>std</sub></b>	<b>Κατ'άτομο επίπεδο ζώης SI<sub>com</sub></b>	<b>Επίπεδο εισαγωγών SI<sub>cap</sub></b>
<b>Τοπολογία 1</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Μέτριο</b>
<b>Τοπολογία 2</b>	<b>Υψηλή</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Υψηλό</b>
<b>Τοπολογία 3</b>	<b>Χαμηλή</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Χαμηλό</b>
<b>Τοπολογία 4</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Υψηλό</b>	<b>Μέτριο</b>
<b>Τοπολογία 5</b>	<b>Μέτρια</b>	<b>Μέτριο</b>	<b>Μέτριο</b>	<b>Μέτριο</b>

Πίνακας 6.7 Κοινωνικοί δείκτες τοπολογιών

Αρχικά, εφαρμόζεται η πολυκριτηριακή μεθοδολογία AHP συγκρίνοντας όλα τα υποκριτήρια των διαφόρων κριτηρίων μεταξύ τους. Κατασκευάζεται μια ιεραρχία που περιλαμβάνει τις διάφορες παραμέτρους του προβλήματος. Για κάθε τοπολογία, κάθε κριτήριο συνεισφέρει με διαφορετική βαρύτητα στο τελικό αποτέλεσμα. Η ιεραρχία διαμορφώνεται σε τέσσερα επίπεδα. Στο πρώτο επίπεδο βρίσκεται ο τελικός στόχος, που είναι η εύρεση της καλύτερης τοπολογίας με βάση τα κριτήρια που έχουν τεθεί. Στο δεύτερο επίπεδο είναι τα διάφορα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη, οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά και τεχνολογικά. Στο τρίτο επίπεδο βρίσκονται τα υποκριτήρια, δηλαδή τα επιμέρους των κριτηρίων που δίνουν μια πιο λεπτομερή περιγραφή του προβλήματος και στο πέμπτο είναι οι διαφορετικές τοπολογίες (συνδυαστικά συστήματα αφαλάτωσης-ΑΠΕ) που θα εξεταστούν (Anagnostopoulos/Petalas/Pisinaras, 2005).

Στον πίνακα 6.8 φαίνονται οι συγκρίσεις των οικονομικών υποκριτηρίων:

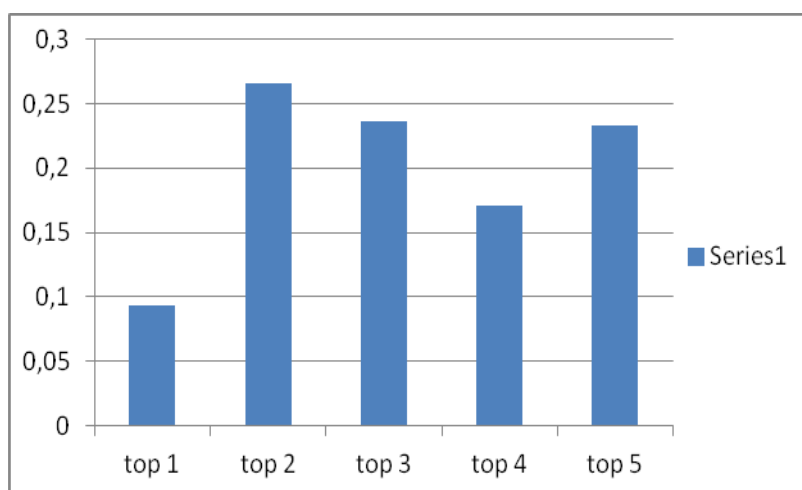
<b>Οικονομικά κριτήρια</b>	<b>Κ.Π.Α.</b>	<b>Κ.Ε.</b>	<b>Κ.Π.Ν.</b>	<b>Ρίσκο</b>	<b>Βάρη</b>
<b>Κ.Π.Α.</b>	<b>1</b>	<b>0,333</b>	<b>0,167</b>	<b>0,333</b>	<b>0,069</b>
<b>Κ.Ε.</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,333</b>	<b>0,13</b>
<b>Κ.Π.Ν.</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0,58</b>
<b>Ρίσκο</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0,25</b>	<b>1</b>	<b>0,221</b>
<b>CR</b>					<b>0,08</b>

Πίνακας 6.8 Σύγκριση οικονομικών υποκριτηρίων

Όπως φαίνεται στον πίνακα, το κόστος παραγωγής του νερού έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα και ακολουθούν το κόστος της επένδυσης και το ρίσκο. Αυτό, το θέτουμε, διότι η οικονομική απόδοση (NPV) έχει δευτερεύουσα σημασία, εφόσον το σύστημα δε χρησιμοποιείται για οικονομική εκμετάλλευση. Παρακάτω στον πίνακα 6.9 φαίνονται οι επιδόσεις των τοπολογιών ως προς τα οικονομικά υποκριτήρια και στο διάγραμμα 6.1 η τελική κατάταξη των τοπολογιών.

<b>Πίνακας Επιδόσεων</b>				
	<b>Κ.Π.Α.</b>	<b>Κ.Ε.</b>	<b>Κ.Π.Ν.</b>	<b>Ρίσκο</b>
<b>Τοπ.1</b>	<b>0,071</b>	<b>0,104</b>	<b>0,064</b>	<b>0,173</b>
<b>Τοπ.2</b>	<b>0,45</b>	<b>0,062</b>	<b>0,325</b>	<b>0,173</b>
<b>Τοπ.3</b>	<b>0,144</b>	<b>0,171</b>	<b>0,331</b>	<b>0,056</b>
<b>Τοπ.4</b>	<b>0,089</b>	<b>0,192</b>	<b>0,179</b>	<b>0,161</b>
<b>Τοπ.5</b>	<b>0,246</b>	<b>0,471</b>	<b>0,102</b>	<b>0,436</b>

**Πίνακας 6.9** Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα οικονομικά υποκριτήρια



**Διάγραμμα 6.1** Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα οικονομικά υποκριτήρια

Στον πίνακα 6.10 φαίνονται οι συγκρίσεις των τεχνικών υποκριτηρίων:

τεχνικά κριτήρια	πολυπλοκότητα	ωριμότητα	Π.Π.Ν.	Π.Ν.	Π.Κ.Ε.	Βάρη
πολυπλοκότητα	1	3	5	7	0,2	0,222
ωριμότητα	0,333	1	2	5	0,143	0,11
Π.Π.Ν.	0,2	0,5	1	2	0,111	0,057
Π.Ν.	0,143	0,2	0,5	1	0,111	0,036
Π.Κ.Ε.	5	7	9	9	1	0,575

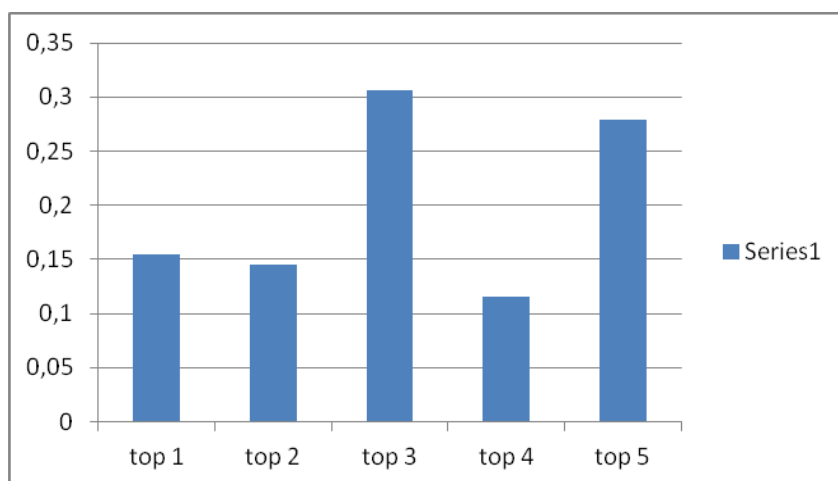
**CR 0,064**

Πίνακας 6.10 Σύγκριση τεχνικών υποκριτηρίων

Ως τεχνικό κριτήριο, η κατανάλωση ενέργειας θεωρείται πως είναι το σημαντικότερο. Η ποσότητα και η ποιότητα δε θεωρούνται πολύ υψηλής σημαντικότητας, λόγω του ότι οι τιμές τους για κάθε τοπολογία κυμαίνονται σε επιθυμητά επίπεδα. Η ωριμότητα της τεχνολογίας και η πολυπλοκότητά της θεωρούνται μέτριας σημαντικότητας. Παρακάτω στον πίνακα 6.11 φαίνονται οι επιδόσεις των τοπολογιών ως προς τα τεχνικά υποκριτήρια και στο διάγραμμα 6.2 η τελική κατάταξη των τοπολογιών.

Πίνακας Επιδόσεων					
	Πολυπλοκότητα	Ωριμότητα	Π.Π.Ν.	Π.Ν.	Π.Κ.Ε.
Τοπ.1	0,16	0,167	0,068	0,184	0,158
Τοπ.2	0,047	0,167	0,351	0,148	0,158
Τοπ.3	0,491	0,047	0,139	0,344	0,298
Τοπ.4	0,145	0,167	0,125	0,184	0,089
Τοπ.5	0,158	0,451	0,317	0,141	0,298

Πίνακας 6.11 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα τεχνικά υποκριτήρια



Διάγραμμα 6.2 Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα τεχνικά υποκριτήρια

environmental					
criteria	CO2	NO x	SO x	Υπολλείμματα	Βάρη
CO2	1	0,333	0,2	1	0,097
NO x	3	1	0,5	4	0,301
SO x	5	2	1	5	0,51
Υπολλείμματα	1	0,25	0,2	1	0,091

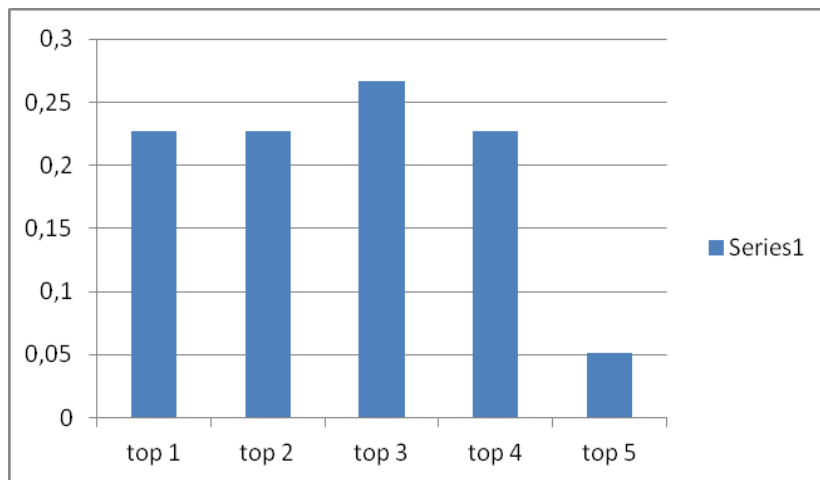
**CR 0,008**

Πίνακας 6.12 Σύγκριση περιβαλλοντικών υποκριτηρίων

Οι κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συστημάτων προέρχονται από οξείδια του θείου και του αζώτου. Το διοξείδιο του άνθρακα και τα υπολλείμματα έχουν δευτερεύουσα σημασία. Παρακάτω στον πίνακα 6.13 φαίνονται οι επιδόσεις των υποκριτηρίων και στο διάγραμμα 6.3 η τελική κατάταξη των τοπολογιών.

Πίνακας Επιδόσεων				
	CO2	NO x	SO x	Υπολλείμματα
Τοπ.1	0,241	0,241	0,241	0,087
Τοπ.2	0,241	0,241	0,241	0,087
Τοπ.3	0,241	0,241	0,241	0,514
Τοπ.4	0,241	0,241	0,241	0,087
Τοπ.5	0,034	0,034	0,034	0,224

Πίνακας 6.13 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα περιβαλλοντικά υποκριτήρια



**Διάγραμμα 6.3 Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα περιβαλλοντικά υποκριτήρια**

Στον πίνακα 6.14 φαίνονται οι συγκρίσεις των κοινωνικών υποκριτηρίων:

<b>Κοινωνικά κριτήρια</b>	<b>Θέσεις εργασίας</b>	<b>Επίπεδο ζωής</b>	<b>Κατ'άτομο επίπεδο ζωής</b>	<b>Εισαγωγές</b>	<b>Βάρη</b>
Θέσεις εργασίας	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,288</b>
Επίπεδο ζωής	<b>0,333</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,333</b>	<b>0,127</b>
Κατ'άτομο επίπεδο ζωής	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,333</b>	<b>0,138</b>
Εισαγωγές imports	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0,447</b>

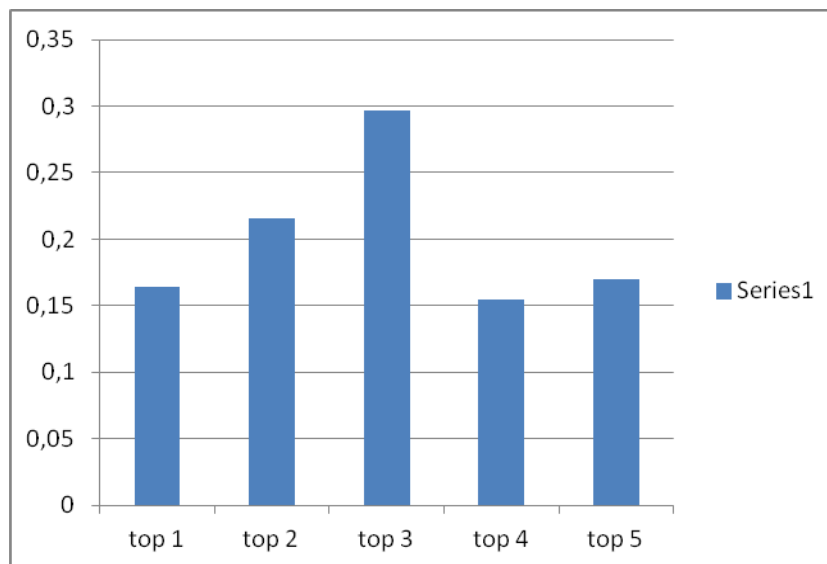
**CR 0,017**

**Πίνακας 6.14 Σύγκριση κοινωνικών υποκριτηρίων**

Η αύξηση του επιπέδου ζωής και η δημιουργία θέσεων εργασίας είναι σχεδόν ίσης σημαντικότητας. Οι εισαγωγή τεχνολογιών από το εξωτερικό που ενδέχεται να προκληθεί από τη χρήση συγκεκριμένων τεχνολογιών αφαλάτωσης είναι βαρύνουσας σημασίας. Παρακάτω στον πίνακα 6.15 φαίνονται οι επιδόσεις των υποκριτηρίων και στο διάγραμμα 6.4 η τελική κατάταξη των τοπολογιών.

<b>Πίνακας Επιδόσεων</b>				
	<b>Θέσεις εργασίας</b>	<b>Επίπεδο ζωής</b>	<b>Κατ'άτομο επίπεδο ζωής</b>	<b>Εισαγωγές</b>
<b>Τοπ.1</b>	<b>0,152</b>	<b>0,231</b>	<b>0,222</b>	<b>0,155</b>
<b>Τοπ.2</b>	<b>0,351</b>	<b>0,231</b>	<b>0,222</b>	<b>0,055</b>
<b>Τοπ.3</b>	<b>0,076</b>	<b>0,231</b>	<b>0,222</b>	<b>0,491</b>
<b>Τοπ.4</b>	<b>0,152</b>	<b>0,231</b>	<b>0,222</b>	<b>0,143</b>
<b>Τοπ.5</b>	<b>0,268</b>	<b>0,077</b>	<b>0,111</b>	<b>0,155</b>

**Πίνακας 6.15** Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα κοινωνικά υποκριτήρια



**Διάγραμμα 6.4** Κατάταξη τοπολογιών ως προς τα κοινωνικά υποκριτήρια

Οι επιμέρους πίνακες συγκρίσεων των τοπολογιών με βάση τις επιδόσεις τους στα υποκριτήρια παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα.

### **6.3 Ανάλυση ευαισθησίας**

Το αρχικό αποτέλεσμα της εφαρμογής της πολυκριτηριακής μεθόδου έχει εξαχθεί με την κατάταξη των εναλλακτικών. Προτού, όμως, η απόφαση υιοθετηθεί πρέπει να

διεξαχθεί ανάλυση ευαισθησίας. Η ανάλυση ευαισθησίας μας δείχνει τον βαθμό στον οποίον, η διακύμανση των βαρών επηρεάζει την κατάταξη των εναλλακτικών. Έτσι, ελέγχεται το κατά πόσο τα αποτελέσματα είναι σταθερά για την κάθε εναλλακτική.

Μια λύση χαρακτηρίζεται ως ευαίσθητη, όταν η σειρά της κατάταξης επηρεάζεται αρκετά σε μικρές αλλαγές των βαρών των κριτηρίων. Το αντίθετο, σημαίνει πως η λύση δεν είναι ευαίσθητη. Έτσι, με την ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να διαπιστωθεί το αν η λύση είναι αρκετά αξιόπιστη, διαφορετικά θα αναδείξει την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης του προβλήματος (Παναγιωτόπουλος, 2007)

## 6.4 Η περίπτωση της Ύδρας

Η Ύδρα είναι νησί του Αργοσαρωνικού. Το όνομα αυτό φέρει και η πρωτεύουσα και λιμάνι του νησιού, το οποίο στην απογραφή του 2001 αριθμούσε 2.719 κατοίκους (Γεωτρόπιο, 2001). Έχει έκταση 52 τετραγωνικά χιλιόμετρα και απέχει 6 ναυτικά μίλια από τη νοτιοανατολική ακτή του νομού Αργολίδας. Είναι βραχώδης οροσειρά με μήκος 20 χιλιόμετρα. Το νησί είναι άνυδρο και άγονο, ενώ το κλίμα είναι μεσογειακό. Οι ετήσιες ανάγκες της σε νερό κυμαίνονται στις 200.000m<sup>3</sup> (Απόφαση Δ.Σ. Ύδρας 065/2012).

Στην Ύδρα, η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί πρωτεύων στόχο. Χαρακτηριστικό είναι ότι δεν υπάρχουν τροχοφόρα οχήματα, που με εκπομπές αερίων θα μπορούσαν να βλάψουν το περιβάλλον του νησιού.





#### 6.4.1 Εφαρμογή πολυκριτήριας μεθόδου AHP για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας

Η σύγκριση των στοιχείων της απόφασης και η αξιολόγησή τους γίνεται με γνώμονα το γεγονός ότι στην Ύδρα, τα περιβαλλοντικά κριτήρια αποτελούν τον κυρίαρχο παράγοντα λήψης αποφάσεων, με βαθμό εξαιρετικής σημαντικότητας. Δηλαδή, για τη συγκεκριμένη περίπτωση, το στοιχείο "περιβάλλον" υπερτερεί σε μεγάλο βαθμό έναντι των υπολοίπων και κυρίως των κοινωνικών και τεχνικών κριτηρίων.

Στις κατά ζεύγη συγκρίσεις που διεξήχθησαν ακολουθήθηκε η κλίμακα του Saaty,

$$P = \left\{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9} \right\} \text{ όπως έχει αναπτυχθεί παραπάνω.}$$

Στον πίνακα 6.16 εμφανίζονται οι συγκρίσεις των κριτηρίων. Η σύγκριση έχει γίνει με βάση το γεγονός ότι κριτήριο με βαρύνουσα σημασία, είναι το περιβάλλον. και παρακάτω φαίνεται η τελική τους κατάταξη. Ο πίνακας 6.17 απεικονίζει τις τελικές επιδόσεις των τοπολογιών και το διάγραμμα 6.5 την τελική του κατάταξη

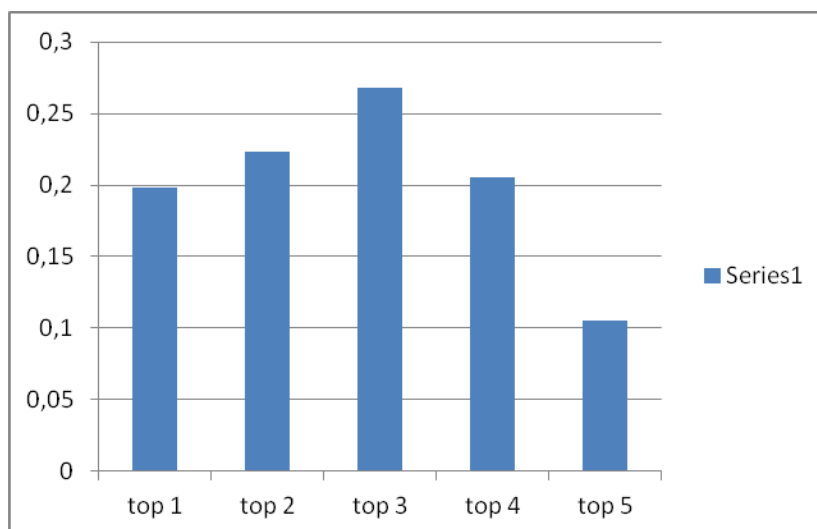
Πίνακας σύγκρισης					
κριτηρίων	οικονομικά.	τεχνικά	περιβαλλ.	κοινωνικά	Βάρη
οικονομικά	1	2	0,167	2	0,144
τεχνικά	0,5	1	0,125	1	0,079
περιβαλλ.	6	8	1	8	0,697
κοινωνικά	0,5	1	0,125	1	0,079

**CR 0,008**

Πίνακας 6.16 Σύγκριση κριτηρίων

Πίνακας Επιδόσεων				
	οικονομικά.	τεχνικά	περιβαλλ..	κοινωνικά
Τοπ.1	0,094	0,155	0,227	0,173
Τοπ.2	0,266	0,145	0,227	0,186
Τοπ.3	0,237	0,306	0,266	0,301
Τοπ.4	0,17	0,115	0,227	0,168
Τοπ.5	0,233	0,279	0,052	0,172

Πίνακας 6.17 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα κριτήρια



Διάγραμμα 6.5 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών

## 6.4.2 Εφαρμογή πολυκριτήριας μεθόδου Promethee για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας

Στον πίνακα 6.18 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιδόσεις των υποκριτηρίων. Στη συνέχεια φαίνεται η κατεύθυνση που θέλουμε να έχει η σειρά κατάταξης. Έπειτα, αναγράφεται ο τύπος της Promethee που χρησιμοποιείται, τα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης. Η αιτιολογία της κάθε επιλογής αναπτύσσεται παρακάτω. Οι βαρύτητες των υποκριτηρίων υπολογίζονται ως το γινόμενο της βαρύτητας του κριτηρίου επί επί τη βαρύτητα του εκάστοτε υποκριτηρίου.

Criteria performance matrix																		
	NPV	invC	cost	risk	complex.	maturity	quantity	quality	SEC	CO2	NO x	SO x	waste	jobs	std.living	commun.	imports	
top 1	-6000	15000	8,1	3	3	3	257	400	4,7	0	0	0	0	5	3	5	5	3
top 2	17200	19000	4	3	5	3	630	400	4,7	0	0	0	0	5	5	5	5	5
top 3	3300	14000	4,9	5	1	1	330	500	4,1	0	0	0	0	1	1	5	5	1
top 4	-4000	13000	5,8	3	3	3	353	400	5	0	0	0	0	5	3	5	5	3
top 5	5300	10000	6,4	1	3	5	388	350	4	1417	31,2	2,84	0	3	3	3	3	3
direction	max	min	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max	min	
type	5	4	2	1	1	1	2	5	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
q	2000	1001	1				25	40										
p	4000	2001						99	0,5									
weight	0,009884	0,018735	0,083578	0,031798	0,017637	0,008717	0,00451	0,002852	0,045634	0,067847	0,210213	0,355451	0,063793	0,02286	0,010091	0,010953	0,035447	

Πίνακας 6.18 Επιδόσεις κριτηρίων

### 6.4.2.1 Επιλογή τύπων στην ανάλυση Promethee- επιλογή κατωφλίων

Η επιλογή των τύπων που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της Promethee επιλέχθηκαν ως εξής:

→ NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία)

**τύπος 5:** Είναι κριτήριο χαμηλής βαρύτητας και θέλω να υπάρχει προοδευτική κυριαρχία μεταξύ των τοπολογιών. Για τον ίδιο λόγο είναι υψηλές και οι τιμές των κατώφλιων.

→ invC (Κόστος Επένδυσης)

**τύπος 4:** Έχει μεγαλύτερη βαρύτητα από την NPV και θέλω να υπάρχει μια μόνο ενδιάμεση τιμή.

→ cost (Κόστος παραγωγής νερού)

**τύπος 2:** Έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα από τα οικονομικά κριτήρια και από μια τιμή και μετά θέλω να υπάρχει ισχυρή κυριαρχία

→ quantity (Ποσότητα παραγόμενου νερού)

**τύπος 2:** Θέλω να υπάρχει ισχυρή κυριαρχία από μια τιμή και πάνω. Όπως προκύπτει από την AHP, δεν υπάρχει προτίμηση αν η ποσότητα παραγόμενου νερού δεν υπερβαίνει τα  $25\text{m}^3/\text{d}$ , γι' αυτό και το κατώφλι αδιαφορίας προσδιορίστηκε σε αυτήν την τιμή.

→ quality (Ποιότητα παραγόμενου νερού)

**τύπος 5:** Η ποιότητα του νερού θεωρείται αποδεκτή για όλες τις τοπολογίες. Συνεπώς θέλω προοδευτική κυριαρχία και υψηλές τιμές στα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης. Αυτό, γιατί και από την AHP προκύπτει ότι δεν υπάρχει μεγάλη σχέση υπεροχής μιας επίδοσης έναντι άλλης.

→ SEC (Κατανάλωση ενέργειας)

**τύπος 3:** Θέλω κυριαρχία μιας τοπολογίας έναντι άλλης πέρα από μια τιμή, αλλά είμαι αδιάφορος για τη διαφορά που υπάρχει πριν το πέρας αυτής τις τιμής. Είναι το τεχνικό κριτήριο με τη μεγαλύτερη βαρύτητα, γι' αυτόν τον λόγο θέτω μικρή τιμή στο κατώφλι προτίμησης.

Στα υπόλοιπα κριτήρια χρησιμοποιώ τον τύπο 1, γιατί είτε θέλω ισχυρή κυριαρχία σε διαφορές τιμών, όπως στα περιβαλλοντικά κριτήρια, τα οποία έχουν και πολύ υψηλή

βαρύτητα για την Ύδρα, είτε έχω κλίμακα τιμών, οπότε υπάρχει απευθείας κυριαρχία ενός έναντι άλλου σε μια διαφορά τιμών.

#### 6.4.2.2 Τελικά αποτελέσματα

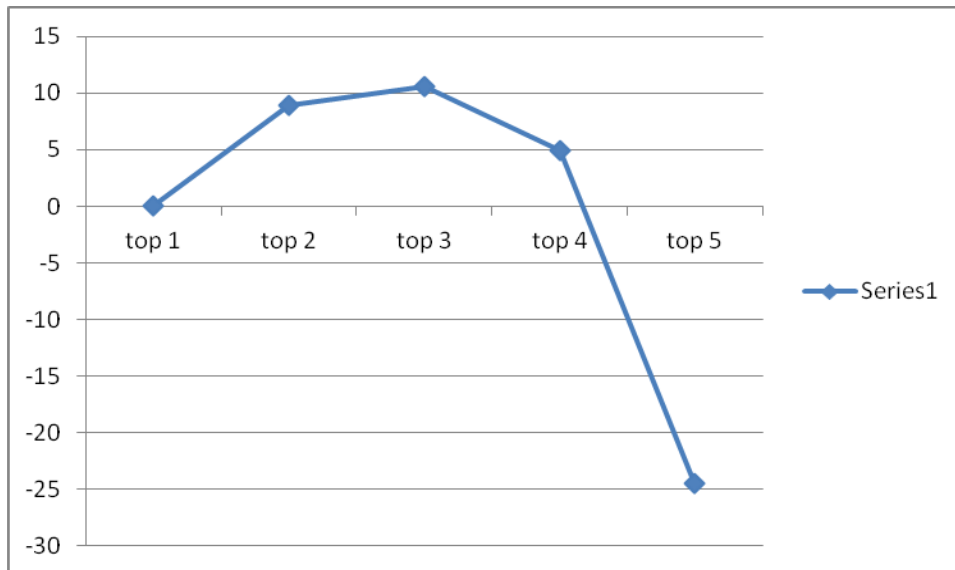
Παρακάτω, στον πίνακα 6.19 φαίνονται οι επιδόσεις των τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια και στο διάγραμμα 6.6 η τελική τους κατάταξη:

<b>Τελικός πίνακας</b>						
	<b>Τοπ.1</b>	<b>Τοπ.2</b>	<b>Τοπ.3</b>	<b>Τοπ.4</b>	<b>Τοπ.5</b>	<b>Φ+</b>
<b>Τοπ.1</b>		<b>0,072</b>	<b>0,063</b>	<b>0,027</b>	<b>0,655</b>	<b>0,818</b>
<b>Τοπ.2</b>	<b>0,121</b>		<b>0,078</b>	<b>0,148</b>	<b>9,169</b>	<b>9,516</b>
<b>Τοπ.3</b>	<b>0,263</b>	<b>0,184</b>		<b>0,175</b>	<b>10,2</b>	<b>10,82</b>
<b>Τοπ.4</b>	<b>0,125</b>	<b>0,099</b>	<b>0,063</b>		<b>5,169</b>	<b>5,457</b>
<b>Τοπ.5</b>	<b>0,267</b>	<b>0,222</b>	<b>0,087</b>	<b>0,183</b>		<b>0,758</b>
<b>Φ-</b>	<b>0,776</b>	<b>0,577</b>	<b>0,291</b>	<b>0,534</b>	<b>25,19</b>	

Πίνακας 6.19 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια

<b>Φ</b>	<b>Κατάταξη</b>
<b>0,042</b>	<b>4</b>
<b>8,939</b>	<b>2</b>
<b>10,53</b>	<b>1</b>
<b>4,923</b>	<b>3</b>
<b>-24,44</b>	<b>5</b>

Πίνακας 6.20 Τελική κατάταξη τοπολογιών



Διάγραμμα 6.6 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών

## 6.5 Η περίπτωση της Δονούσας

Η Δονούσα είναι το ανατολικότερο νησί των Κυκλάδων. Βρίσκεται ανατολικά της Νάξου και ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Μικρών Κυκλάδων. Η έκτασή της είναι 13.652 τ.χμ και στην απογραφή του 2001 είχε 163 κατοίκους. Βρίσκεται 9 μίλια ανατολικά της Νάξου και 14 μίλια βόρεια της Αμοργού (<http://www.donousa.gr>).

Η ζήτηση νερού στη Δονούσα είναι περίπου 12000m<sup>3</sup> ανά έτος (Kondili/ Kaldellis, 2007).



Εικόνα 6.2 Χάρτης της Δονούσας

### 6.5.1 Εφαρμογή πολυκριτήριας μεθόδου AHP για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας

Η σύγκριση των στοιχείων της απόφασης και η αξιολόγησή τους γίνεται με γνώμονα το γεγονός ότι στην Δονούσα, τα οικονομικά κριτήρια αποτελούν τον κυρίαρχο παράγοντα λήψης αποφάσεων. Στο νησί, η μεταφορά νερού είναι δύσκολη και κοστοβόρα, διότι δεν υπάρχει συχνή ακτοπλοϊκή σύνδεση. Έτσι, λοιπόν, το κυρίως μέλημα για την αξιολόγηση των τοπολογιών είναι τα οικονομικά κριτήρια, αφού θα πρέπει να επιλεγεί μια ανταγωνιστική σε οικονομικά ζητήματα τοπολογία ([www.nikipress.gr](http://www.nikipress.gr)). Στον πίνακα 6.21 φαίνονται οι συγκρίσεις των κριτηρίων και οι βαρύτητές τους:

Πίνακας συγκρίσεως κριτηρίων					
κριτηρίων	οικονομικά.	τεχνικά	περιβαλλ..	κοινωνικά	Βάρη
οικονομικά	1	7	5	7	0,647
τεχνικά	0,143	1	0,333	1	0,078
περιβαλλ.	0,2	3	1	3	0,196
κοινωνικά	0,143	1	0,333	1	0,078

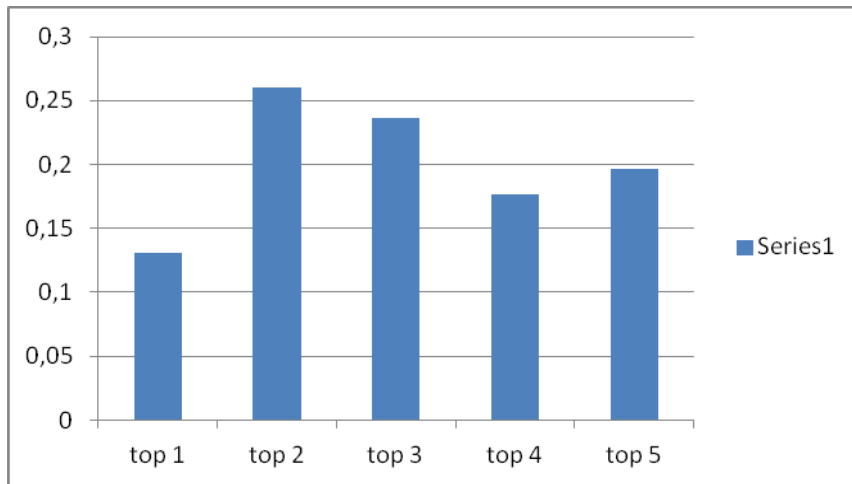
**CR 0,027**

Πίνακας 6.21 Σύγκριση κριτηρίων

Στον πίνακα 6.22 απεικονίζονται οι επιδόσεις των τοπολογιών ως προς τα κριτήρια και στο διάγραμμα 6.7 φαίνεται η τελική τους κατάταξη:

Πίνακας Επιδόσεων				
	οικονομικά.	τεχνικά	περιβαλλ..	κοινωνικά
Τοπ.1	0,093	0,155	0,227	0,173
Τοπ.2	0,293	0,145	0,227	0,186
Τοπ.3	0,211	0,306	0,266	0,301
Τοπ.4	0,169	0,115	0,227	0,168
Τοπ.5	0,234	0,279	0,052	0,172

Πίνακας 6.22 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα κριτήρια



Διάγραμμα 6.7 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών

### 6.5.2 Εφαρμογή πολυκριτήριας μεθόδου Promethee για την επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας

Στον πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιδόσεις των υποκριτηρίων. Στη συνέχεια φαίνεται η κατεύθυνση που θέλουμε να έχει η σειρά κατάταξης. Εν συνεχεία αναγράφεται ο τύπος της Promethee που χρησιμοποιείται, τα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης. Η αιτιολογία της κάθε επιλογής αναπτύσσεται παρακάτω. Οι βαρύτητες των υποκριτηρίων υπολογίζονται ως το γινόμενο της βαρύτητας του κριτηρίου επί επί τη βαρύτητα του εκάστοτε υποκριτηρίου.

Criteria performance matrix																		
	NPV	invC	cost	risk	complex.	maturity	quantity	quality	SEC	CO2	NO x	SO x	waste	jobs	std.living	commun.	imports	
top 1	-6000	15000	8,1	3	3	3	257	400	4,7	0	0	0	0	5	3	5	5	3
top 2	17200	19000	4	3	5	3	630	400	4,7	0	0	0	0	5	5	5	5	5
top 3	3300	14000	4,9	5	1	1	330	500	4,1	0	0	0	0	1	1	5	5	1
top 4	-4000	13000	5,8	3	3	3	353	400	5	0	0	0	0	5	3	5	5	3
top 5	5300	10000	6,4	1	3	5	388	350	4	1417	31,2	2,84	0	3	3	3	3	3
direction	max	min	min	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max	min	
type	5	2	2	1	1	1	2	5	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
q	1500	1001	0,5				25	40										
p	2001							99	0,5									
weight	0,044439	0,084239	0,375787	0,142971	0,017383	0,008592	0,004445	0,002811	0,044975	0,019086	0,059134	0,099989	0,017945	0,02253	0,009945	0,010795	0,034935	

Πίνακας 6.23 Επιδόσεις τοπολογιών



### 6.5.2.1 Επιλογή τύπων στην ανάλυση Promethee- επιλογή κατώφλιων

Η επιλογή των τύπων που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της Promethee επιλέχθηκαν ως εξής:

→ NPV (Καθαρή Παρούσα Αξία)

**τύπος 5:** Είναι κριτήριο σχετικά υψηλής βαρύτητας. Θέλω να υπάρχει προοδευτική κυριαρχία μεταξύ των τοπολογιών. Επειδή από την AHP δεν υπάρχει μεγάλη προτίμηση σε τιμές που δεν έχουν μεγάλη διαφορά, θέτω σχετικά χαμηλές τιμές στα κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης.

→ invC (Κόστος Επένδυσης)

**τύπος 2:** Έχει μεγαλύτερη βαρύτητα από την NPV και θέλω να υπάρχει μόνο κατώφλι αδιαφορίας με σχετικά χαμηλή τιμή. Το κατώφλι προσδιορίζεται σε αυτήν την τιμή, διότι στην AHP φαίνεται πως δε υπάρχει προτίμηση σε διαφορές τιμών μικρότερων της τιμής του κατώφλιου.

→ cost (Κόστος παραγόμενου νερού)

**τύπος 2:** Έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα από τα οικονομικά κριτήρια και από μια τιμή και μετά θέλω να υπάρχει ισχυρή κυριαρχία. Γι' αυτό και έχω θέσει χαμηλή τιμή στο κατώφλι.

→ quantity (Ποσότητα παραγόμενου νερού)

**τύπος 2:** Θέλω να υπάρχει ισχυρή κυριαρχία από μια τιμή και πάνω. Όπως προκύπτει από την AHP, δεν υπάρχει προτίμηση αν η ποσότητα παραγόμενου νερού δεν υπερβαίνει τα  $25\text{m}^3/\text{d}$ , γι' αυτό και το κατώφλι αδιαφορίας προσδιορίστηκε σε αυτήν την τιμή.

→ quality (ποιότητα παραγόμενου νερού)

**τύπος 5:** Η ποιότητα του νερού θεωρείται αποδεκτή για όλες τις τοπολογίες. Συνεπώς θέλω προοδευτική κυριαρχία και υψηλές τιμές στα κατώφλια αδιαφορίας και

προτίμησης. Αυτό, γιατί και από την AHP προκύπτει ότι δεν υπάρχει μεγάλη σχέση υπεροχής μιας επίδοσης έναντι άλλης.

→ SEC (Κατανάλωση ενέργειας)

**τύπος 3:** Θέλω κυριαρχία μιας τοπολογίας έναντι άλλης πέρα από μια τιμή, αλλά είμαι αδιάφορος για τη διαφορά που υπάρχει πριν το πέρας αυτής τις τιμής. Είναι το τεχνικό κριτήριο με τη μεγαλύτερη βαρύτητα, γι' αυτόν τον λόγο θέτω μικρή τιμή στο κατώφλι προτίμησης.

Στα υπόλοιπα κριτήρια χρησιμοποιώ τον τύπο 1, γιατί είτε θέλω ισχυρή κυριαρχία σε διαφορές τιμών, όπως στα περιβαλλοντικά κριτήρια, τα οποία έχουν και πολύ υψηλή βαρύτητα για την Ύδρα, είτε έχω κλίμακα τιμών, οπότε υπάρχει απευθείας κυριαρχία ενός έναντι άλλου σε μια διαφορά τιμών.

### 6.5.2.2 Τελικά αποτελέσματα

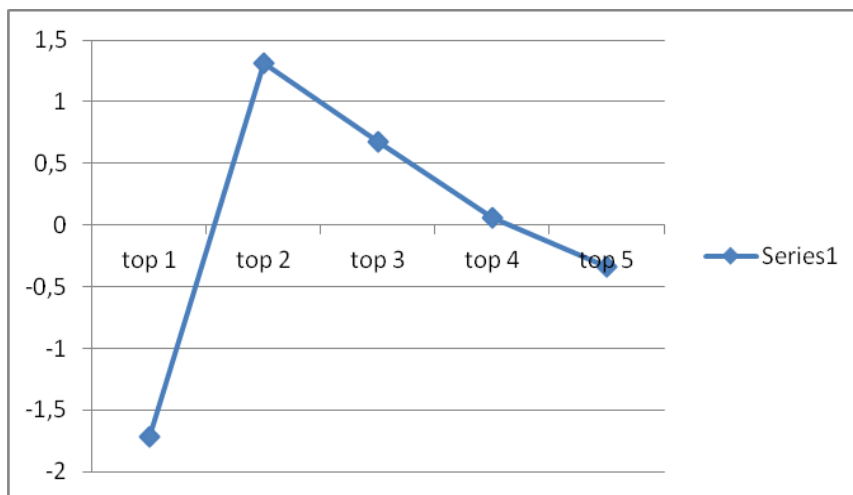
Παρακάτω, στον πίνακα 6.24 φαίνονται οι επιδόσεις των τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια και στο διάγραμμα 6.8 η τελική τους κατάταξη:

Τελικός πίνακας						
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5	Φ+
Τοπ.1		0,137	0,174	0,027	0,199	0,537
Τοπ.2	0,447		0,599	0,474	0,647	2,167
Τοπ.3	0,543	0,202		0,538	0,657	1,94
Τοπ.4	0,536	0,164	0,174		0,575	1,449
Τοπ.5	0,723	0,351	0,316	0,348		1,738
Φ-	2,249	0,853	1,263	1,387	2,078	

Πίνακας 6.24 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια

$\Phi$	Κατάταξη
-1,712	5
1,313	1
0,677	2
0,062	3
-0,34	4

Πίνακας 6.25 Τελική κατάταξη τοπολογιών



Διάγραμμα 6.8 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών

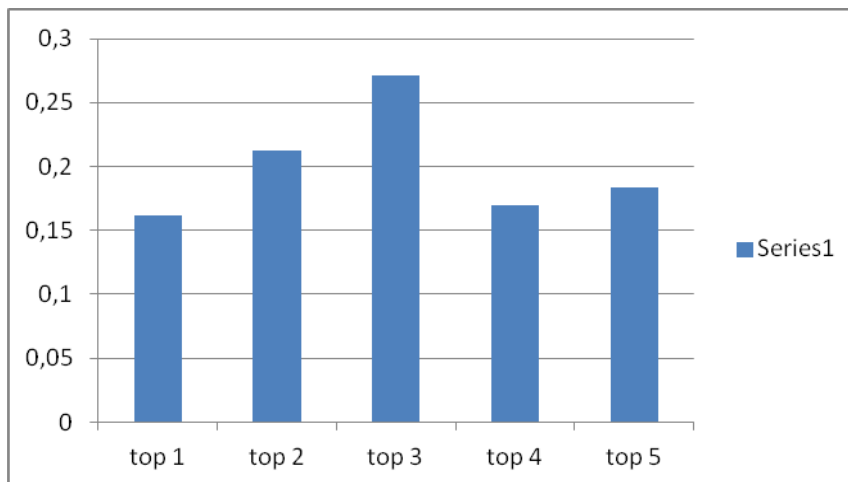
## 6.6 Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε υποθέτει πως όλα τα κριτήρια έχουν την ίδια βαρύτητα. Τα αποτελέσματα για τις δύο μεθόδους φαίνονται παρακάτω:

από την ΑΗΡ:

<b>Πίνακας Επιδόσεων</b>				
	οικονομικά.	τεχνικά	περιβαλλ..	κοινωνικά
Τοπ.1	0,093	0,155	0,227	0,173
Τοπ.2	0,293	0,145	0,227	0,186
Τοπ.3	0,211	0,306	0,266	0,301
Τοπ.4	0,169	0,115	0,227	0,168
Τοπ.5	0,234	0,279	0,052	0,172

Πίνακας 6.26 Επιδόσεις τοπολογιών



Διάγραμμα 6.9 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών - ΑΗΡ

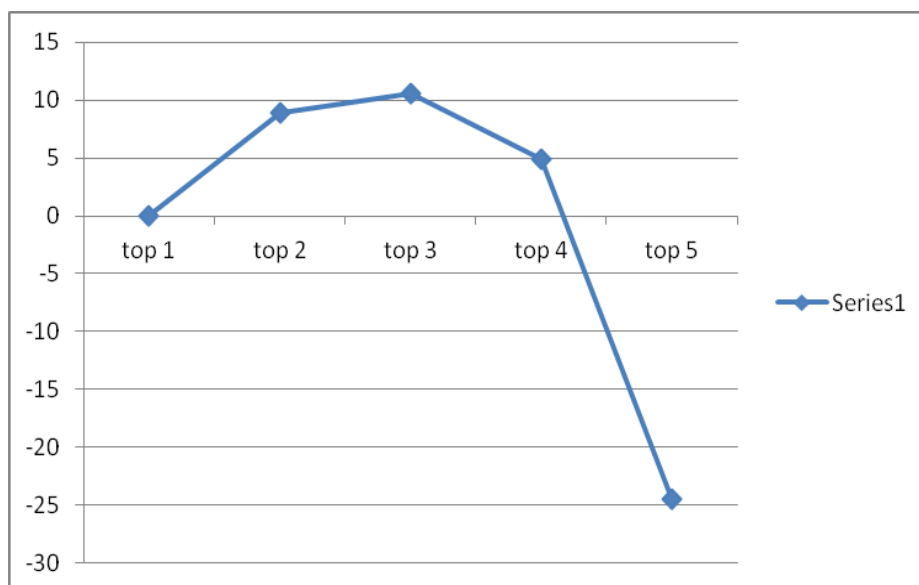
από την Promethee για την Ύδρα:

Τελικός πίνακας						Φ+
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5	
Τοπ.1		0,2	0,155	0,086	0,295	0,736
Τοπ.2	0,248		0,186	0,335	9,169	9,939
Τοπ.3	0,519	0,375		0,36	10,2	11,45
Τοπ.4	0,262	0,286	0,155		5,169	5,872
Τοπ.5	0,458	0,449	0,201	0,313		1,422
Φ-	1,488	1,31	0,697	1,094	24,83	

Πίνακας 6.27 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια

Φ	Κατάταξη
-0,752	4
8,629	2
10,76	1
4,778	3
-23,41	5

Πίνακας 6.28 Τελική κατάταξη τοπολογιών



Διάγραμμα 6.10 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών - Promethee

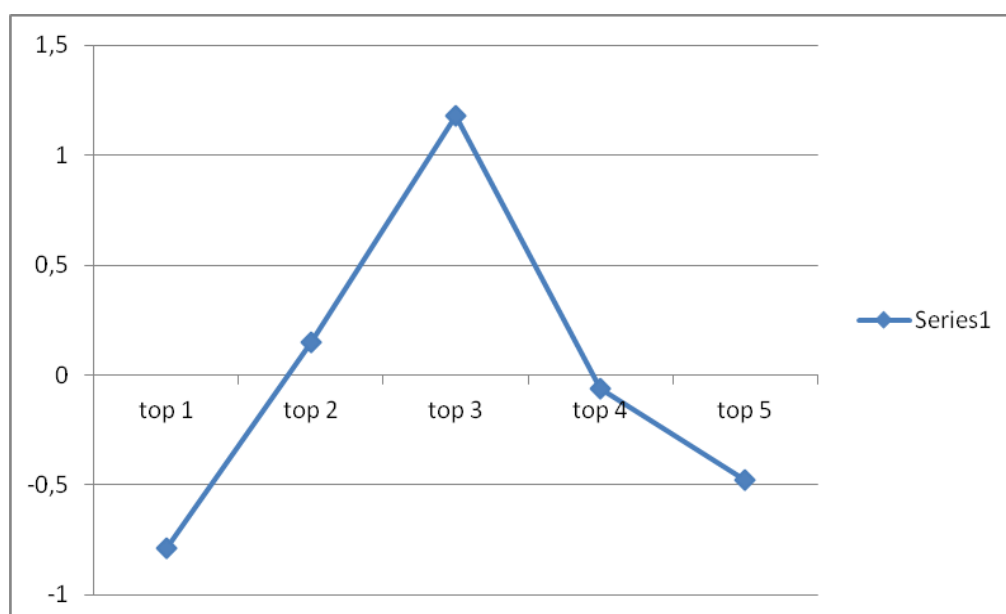
από την Promethee για τη Δονούσα:

Τελικός πίνακας						
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5	Φ+
Τοπ.1		0,2	0,155	0,086	0,295	0,736
Τοπ.2	0,248		0,331	0,335	0,543	1,458
Τοπ.3	0,519	0,375		0,505	0,666	2,066
Τοπ.4	0,295	0,286	0,155		0,44	1,176
Τοπ.5	0,458	0,449	0,247	0,313		1,468
Φ-	1,521	1,31	0,888	1,239	1,945	

Πίνακας 6.29 Επιδόσεις τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια

Φ	Κατάταξη
-0,786	5
0,148	2
1,178	1
-0,063	3
-0,477	4

Πίνακας 6.30 Τελική κατάσταση τοπολογιών



Διάγραμμα 6.11 Γραφική απεικόνιση τελικής κατάταξης τοπολογιών - Promethee

## 7 Αποτελέσματα

Η τελική κατάταξη της μεθόδου AHP είναι σχεδόν όμοια με αυτή της Promethee. Λαμβάνοντας υπόψη την υποκειμενικότητα απόψεων των εμπλεκόμενων στην απόφαση, τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν πολύ ικανοποιητικά και ότι οι επιλεγμένες τοπολογίες είναι οι καλύτερες δυνατές για τα κριτήρια που έχουν τεθεί.

Η χρήση δύο μεθόδων βελτίωσε τη διαδικασία της απόφασης τεκμηριώνοντας περισσότερο το αποτέλεσμα. Παρατηρούμε ότι στην Ύδρα, όπου υποθέσαμε τα περιβαλλοντικά κριτήρια ως το βασικό μέτρο λήψης της απόφασης, η τρίτη τοπολογία της σύνδεσης Φ/Β συστοιχίας με τη μονάδα είναι η πιο αποδεκτή. Για την πέμπτη τοπολογία, επιβεβαιώθηκαν οι προβλέψεις ότι θα είναι τελευταία στην κατάταξη, αφού λειτουργεί με γεννήτρια που αποφέρει επιβλαβείς εκπομπές αερίων για το περιβάλλον. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε πως η πολυκριτηριακή ανάλυση αποδείχτηκε αξιόπιστο εργαλείο για την αντιμετώπιση του προβλήματος απόφασης.

Αντίστοιχα, για τη Δονούσα, η καταλληλότερη τοπολογία εμφανίζεται να είναι η δεύτερη και να έπεται η τρίτη. Τα ίδια αποτελέσματα προκύπτουν και από την Promethee με κάποιες διαφορές στην κατάταξη των άλλων τοπολογιών. Σε γενικές γραμμές, πάντως, η τελικές αξιολογήσεις είναι ίδιες και στις δύο μεθόδους.

Επίσης, από την ανάλυση ευαισθησίας, όπου θεωρήθηκε πως όλα τα κριτήρια έχουν την ίδια βαρύτητα προκύπτουν ελαφρώς διαφορετικά αποτελέσματα στην ανάλυση Promethee για τη Δονούσα. Για την Ύδρα δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στην τελική επιλογή από τις αλλαγές που έγιναν για να διαπιστωθεί η ευαισθησία των αποτελεσμάτων. Όσον αφορά στη Δονούσα, μπορούμε να πούμε πως το αποτέλεσμα της ανάλυσης ευαισθησίας φανερώνει μια μικρή ευαισθησία στην τελική κατάταξη. Αυτό, συμβαίνει γιατί, δεν υπερτερεί ένα κριτήριο έναντι όλων των υπολοίπων, αλλά έχουμε θεωρήσει πως και το περιβάλλον είναι παράγοντας που επηρεάζει την απόφαση, αλλά λιγότερο από τον οικονομικό παράγοντα. Από τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε πως η επιλογή τοπολογίας και για τις δύο τοποθεσίες κρίνεται αρκετά αξιόπιστη.

## 8 Συμπεράσματα

Η έλλειψη νερού στα ελληνικά νησιά είναι ένα μεγάλο πρόβλημα, το οποίο εντείνεται και θα συνεχίσει να εντείνεται τα επόμενα χρόνια. Γι' αυτόν τον λόγο και για το ότι η μεταφορά νερού είναι κοστοβόρα και η ανατίμηση των καυσίμων την καθιστά ολό και πιο κοστοβόρα, η αφαλάτωση θεωρείται μια βιώσιμη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Επίσης, ο συνδυασμός της με Α.Π.Ε., για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας καθιστά το σύστημα πιο οικονομικό από πλευράς καυσίμου και πολύ πιο φιλικό περιβαλλοντικά.

Στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι να αναδείξει τη δυνατότητα των πολυκριτηριακών μεθόδων, ως μέσο χάραξης σωστής πολιτικής στην επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας αφαλάτωσης-Α.Π.Ε. Η επιλογή της κατάλληλης τοπολογίας είναι μια δύσκολη απόφαση που απαιτεί σύγκριση πολλών παραγόντων. Για κάθε τοποθεσία, με διαφορετική βαρύτητα εξετάζονται τα επιμέρους κριτήρια που επηρεάζουν την απόφαση, ώστε να αποφασιστεί το ποια τοπολογία είναι η κατάλληλη.

Τα πλεονεκτήματα το προτεινόμενου πλαισίου είναι:

- Το σύνθετο πρόβλημα που έχουμε να επιλύσουμε αποδομείται σε απλούστερα "υποπροβλήματα", που το καθιστούν ευκολότερο στην επίλυσή του. Δημιουργείται μια ιεραρχική δομή και καθορίζονται συγκεκριμένα υποκριτήρια ως μέσα για την επιλογή. Έτσι, το πρόβλημα γίνεται πιο συγκεκριμένο και ο λήπτης της απόφασης μπορεί να αποφασίσει εξετάζοντας τις επιμέρους πτυχές.
- Με την κατανόηση του προβλήματος οδηγούμαστε σε ορθότερη λήψη απόφασης. Γνωρίζουμε τα κριτήρια που θέτονται ως σημαντικά και αναλόγως φτιάχνουμε τα διαφορετικά μοντέλα αποφάσεων, με βάση κάθε φορά τις διαφορετικές επιθυμίες του αποφασίζοντος.

Παρόλο που τα αποτελέσματα είναι σχεδόν όμοια και με τις δύο μεθόδους, υπάρχουν κάποιες διαφορές. Οι διαφορές αυτές είναι απόλυτα φυσιολογικές αφού είναι διαφορετικές και οι μέθοδοι ανάλυσης. Μπορούμε να πούμε, πως οφείλονται στο



γεγονός ότι στην AHP χρησιμοποιούμε κλίμακα βαθμολόγησης 0-9, πράγμα που τις περισσότερες φορές αποκλείει το να υπάρξει απόλυτη συνέπεια. Για παράδειγμα, εάν η εναλλακτική  $A$  είναι 5 φορές σημαντικότερη από την εναλλακτική  $B$  και η  $B$  5 φορές σημαντικότερη από τη  $\Gamma$ , προκύπτει πρόβλημα. Η AHP δεν μπορεί να αντιμετωπίσει το γεγονός ότι μια εναλλακτική μπορεί να είναι 25 φορές σημαντικότερη από κάποια άλλη. Επίσης, μπορεί να τύχει αντιστάθμιση μεταξύ των καλών και των κακών επιδόσεων. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί στην Promethee όπου η σχέση κυριαρχίας εμπλουτίζεται περαιτέρω. Στην AHP, από την άλλη μεριά υπάρχει ιεραρχία των κριτηρίων (Macharis/ Springael/ De Brucker/ Verbeke, 2004).

Τέλος, η χρήση των Α.Π.Ε. στην αφαλάτωση φαίνεται ως αξιόπιστη και πολύ ανταγωνιστική έναντι της χρήσης γεννήτριας για την παροχή ενέργειας, κυρίως λόγω του ότι είναι φιλική προς το περιβάλλον.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### I. Ελληνική Βιβλιογραφία

Αλεξιάκης, Σ. Α. (2003). *Αφαλάτωση*. Αθήνα: Σιδέρης Μιχάλης

Ασημακόπουλος, Δ., Αραμπατζής, Γ. (2002). *Τεχνικές Ανάλυσης Δεδομένων & Λήψης Αποφάσεων*. Αθήνα: Παπασωτηρίου

Μουτάφης, Π. (2008). *Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο*. Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./ Σχολή Μηχανολόγων Μηχ/κών

Μωχάμεντ, Σ. Ε. (2009). *Διερεύνηση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση*. Διδακτορική Διατριβή Γ.Π.Α./ Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

Παναγιωτόπουλος, Κ. Π. (2007). *Εφαρμογή Πολυκριτήριας Μεθοδολογίας AHP για την επιλογή ERP*. Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π./ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχ/κών-Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας

Σίσκος, Γ. (2008). *Μεθοδολογία Επιχειρησιακής Έρευνας. Θεωρία Πολυκριτήριας Ανάλυσης. Εφαρμογές σε Επιχειρήσεις και Οργανισμούς*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών

Σταύρου, Κ. (2012). *Συγκριτική μελέτη δύο αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης μέσω μαθηματικής προσομοίωσης*. Πτυχιακή Εργασία Γ.Π.Α.

Απόφαση Δημοτικού Συμβουλίου Ύδρας 065/2012

<http://www.donousa.net>

<http://www.donousa.gr>

[www.nikipress.gr](http://www.nikipress.gr)

"Ύδρα: Ύδρατινη ντίβα". (2001) *Ειδικό αφιέρωμα περιοδικού Γεωτρόπιο*, τεύχος 62, σ. 32-48

## II. Ξένη Βιβλιογραφία

Afgan, H. N., Carvalho, G. M., Hovanov, V. N. (2000), Energy system assessment with sustainability indicators, *Energy Policy*, vol. 28, pp. 605-606

Afify, A. (2010), Prioritizing desalination strategies using multi-criteria decision analysis, *Desalination*, vol. 250, pp. 931-932

Akash, A. B., Al-Jayyousi, R. O., Mohsen, S. M. (1997), Multi-criteria analysis of non-conventional energy technologies for water desalination in Jordan, *Desalination*, vol. 114, pp. 1-12

Al-Karaghoul, A., Kazmerski, L. L. (2011), Comparisons of technical and economic performance of the main desalination processes with and without renewable energy coupling, *National Renewable Energy Laboratory*, pp. 4-6

Al-Subaie, Z. K. (2007), Precise way to select a desalination technology, *Desalination*, vol. 206, pp. 29-31

Anagnostopoulos, P. K., Petalas, C., Pisinaras, V. (2005), Water resources planning using the AHP and Promethee multi-criteria methods: The case of Nestos river-Greece, *The 7<sup>th</sup> Balkan Conference on Operational Research*

Barin, A., Neves Canha, L., da Rosa Abaide, A., Faverzani Megnano, K., Wottrich, B. (2004), Multicriteria Analysis of the Operation of Renewable Energy Sources taking as basis the AHP Method and Fuzzy Logic concerning Distributed Generation Systems, *The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering*, vol. 1, pp. 52-53

Beccali, M., Cellura, M., Mistretta, M. (2003), Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology, *Renewable Energy*, vol. 28, pp. 2064-2069

Begic, F., Afgan, N. H. (2007), Sustainability assessment tool for the decision making in the selection of energy system- Bosnian case, *Energy*, vol.32, pp. 1979-1985

- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., Aghdasi, M. (2010), PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operational Research*, vol. 200, pp. 205-206
- Buchanan, J., Sheppard, P., Vanderpooten, D. (1999). *Project ranking using ELECTRE III*. NZ: Hamilton
- Buchholz, T., Rametsteiner, E., Volk, T., Luzadis, V (2009). Multi Criteria Analysis for bioenergy systems assessments, *Energy Policy*, vol. 37, pp. 484-495
- Catalina, T., Virgone, J., Blanco, E. (2011), Multi-source energy systems analysis using a multi-criteria decision aid methodology, *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 2245-2247
- Cavallaro, F. (2010), A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the ELECTRE III method, *Energy Policy*, vol. 38, pp. 463-464
- Cavallaro, F., Ciraolo, L. (2005), A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island, *Energy Policy*, vol. 33, pp. 235-244
- Cherni, A. J., Dyrer, I., Henao, F., Jaramillo, P., Smith, R., Font, R. O. (2007), Energy supply for sustainable rural livelihoods. A multi-criteria decision-support system, *Energy Policy*, vol. 35, pp. 1493-1504
- Diakoulaki, D., Karangelis, F. (2007), Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, pp. 716-727
- Doukas, H., Papadopoulou A. G., Nychtis, J., Psarras, N., Van Beeck, N. (2008), Energy Research and Technology Development Data Collection Strategies: The Case of Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1-4
- Ehrgott, M., Figueira, J., Greco, S. (2010), *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*. NW: Springer
- El-Nashar, M. A. (2000), Why use Renewable Energy for Desalination, *Renewable Energy Systems and Desalination*, vol. 1, pp. 1-4

Eltawil, M. A., Zhengming, Z., Yuan, L. (2009), A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 2245-2258

Garcia-Rodriguez, L. (2002), Seawater desalination driven by renewable energies: a review, *Desalination*, vol. 143, pp. 103-110

Goumas, M., Lygerou, V. (2000), An extension of PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects, *European Journal of Operational Research*, vol. 123, pp. 606

Haralambopoulos, D. A., Polatidis, H. (2003), Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework, *Renewable Energy*, vol. 28, pp. 961-965

Hajeeh, M., Al-Othman, A. (2005), Application of the analytical hierarchy process in the selection of desalination plants, *Desalination*, vol. 174, pp. 98-100

Hamed, A. O. (2004), Overview of Hybrid Desalination Systems-Current Status and Future Prospects, *International Conf. on Water Resources & Arid Environment*, pp. 1-3

Huang, B. I., Keisler, J., Linkov, I. (2011), Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends, *Science of the total Environment*, vol. 409, pp. 3579

Hyde, K., Maier, H., Colby, C. (2003), Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method., *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 12, pp. 245-259

Karagiannidis, A., Perkoulidis, G. (2009), A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes, *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 2355-2360

Karagiannis, I., Soldatos, P. (2007), Current status of water desalination in the Aegean Islands, *Desalination*, vol. 203, pp. 56-57

- Karagiannis, I., Soldatos, P. (2008), Water desalination cost literature: review and assessment, *Desalination*, vol. 223, pp. 450-453
- Kaya, T., Kahraman, C. (2010), Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: the case of Istanbul, *Energy*, vol. 35, pp. 2517-2527
- Khalil, W. A., Goonetilleke, A., Kokot, S., Carroll, S. (2004), Use of Chemometrics Methods and Multicriteria Decision-Making for Site Selection for Sustainable On-site Sewage Effluent Disposal, *Analytica Chimica Acta*, vol. 506, pp. 1-8
- Kondili, E., Kaldellis, K. J. (2007), Operations research methods in water systems optimization, *Soft Energy Applications and Environmental Protection Lab-TEI of Piraeus*, pp. 11
- Loken, E. (2007), Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, pp. 1584-1586
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., Verbeke, A. (2004), PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with the ideas of AHP, *European Journal of Operational Research*, vol. 153, pp. 313-316
- Madlener, R., Kowalski, K., Stagl, S. (2007), New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios: the case of renewable energy use in Austria, *Energy Policy*, vol. 35, pp. 6060-6074
- Martinez-Cortina, L., Garrido, A., Lopez-Gunn, E. (2010). *Re-thinking Water and Food Security*. UK: Taylor & Francis Group
- Mathioulakis, E., Belessiotis, V., Delyannis, E. (2007), Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art, *Desalination*, vol. 203, pp. 346-359
- Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., Khaled, A. (2011), Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies, *Desalination*, vol. 266, pp. 263-265

Mohamadabadi, H. S., Tichkowski, G., Kumar, A. (2009), Development of multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles, *Energy*, vol. 34, pp. 112-125

Munda, G. (2008). *Social Multi-Criteria Evaluation for a Sustainable Economy*. Berlin: Springer

Munier, N. (2011). *A Strategy for Using Multicriteria Analysis in Decision- Making*. NW: Springer

Nisan, S., Benzarti, N. (2008), A comprehensive economic evaluation of integrated desalination systems using fossil fueled and nuclear energies and including their environmental costs, *Desalination*, vol. 229, pp. 125-128

Papadopoulos, A., Karagiannidis, A. (2008), Application of multi-criteria analysis method Electre III for the optimization of decentralized energy systems, *Omega*, vol. 36, pp. 766-767

Pilavachis, A. P., Chatzipanagi, I. A., Spyropoulou, I. A. (2009), Evaluation of hydrogen production methods using the Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 5294

Pohekar, S. D., Ramachandran, M. (2004), Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, pp. 365-371

San Cristobal Mateo, J. R. (2012). *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. NW: Springer

Scott, J. A., Ho, W., Dey, P. K. (2012), A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems, *Energy*, vol. 42, pp. 146-150

Terrados, J., Almonacid, G., Hontoria, L. (2007), Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools: impact on renewables development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 11, pp. 1275-1287

Terrados, J., Almonacid, G., Perez-Higueras, P. (2009), Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region, *Renewable and Sustainable energy Reviews*, vol. 13, pp. 2022-2025

Theodorou, S., Florides, G., Tassou, S. (2010), The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, a review, *Energy Policy*, vol. 38, pp. 7783-7795

Tsiourtis, N. (2001), Desalination and the environment, *Desalination*, vol. 141, pp. 223-228

Tzeng, G. H., Shiau, T.A., Lin, C. Y. (1992), Application of multi-criteria decision making to the evaluation of new energy system development in Taiwan, *Energy*, vol. 17, pp. 983-992

Ulutas, B. H. (2005), Determination of the appropriate energy policy for Turkey, *Energy*, vol. 30, pp. 1146-1161

Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhao, J. H. (2009), Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 2264-2274

Zhou, Z., Jiang, H., Qin, L. (2007), Life cycle sustainability assessment of fuels, *Fuel*, vol. 86, pp. 256-263

Zobaa, F. A., Bansal, C. R. (2011). *Handbook of Renewable Energy Technology*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Zopounidis, K., Pardalos, M. Π. (2010). *Handbook of multicriteria analysis*. NW: Springer



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. Εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου ΑΗΡ για την αξιολόγηση των τοπολογιών ως προς τα υποκριτήρια

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την Κ.Π.Α.*

		Κ.Π.Α.				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0,333	0,333	0,5	0,25
Τοπ.2		6	1	4	5	2
Τοπ.3		3	0,25	1	2	0,5
Τοπ.4		2	0,2	0,5	1	0,333
Τοπ.5		4	0,5	2	3	1
sum		16	2,283	7,833	11,5	4,083

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το κόστος επένδυσης*

		Κόστος Επένδυσης				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	2	0,5	0,5	0,25
Τοπ.2		0,5	1	0,333	0,25	0,2
Τοπ.3		2	3	1	1	0,25
Τοπ.4		2	4	1	1	0,333
Τοπ.5		4	5	4	3	1
sum		9,5	15	6,833	5,75	2,033

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το κόστος παραγωγής νερού

		Κόστος παραγωγής νερού				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0,2	0,25	0,333	0,5
Τοπ.2		5	1	1	2	3
Τοπ.3		4	1	1	2	4
Τοπ.4		3	0,5	0,5	1	2
Τοπ.5		2	0,333	0,25	0,5	1
sum		15	3,033	3	5,833	10,5

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το ρίσκο της επένδυσης

		Ρίσκο				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	1	4	1	0,333
Τοπ.2		1	1	4	1	0,333
Τοπ.3		0,25	0,25	1	0,333	0,2
Τοπ.4		1	1	3	1	0,333
Τοπ.5		3	3	5	3	1
sum		6,25	6,25	17	6,333	2,2

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την πολυπλοκότητα της τεχνολογίας

		Πολυπλοκότητα τεχνολογίας				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	5	0,25	1	1
Τοπ.2		0,2	1	0,167	0,25	0,25
Τοπ.3		4	6	1	5	3
Τοπ.4		1	4	0,2	1	1
Τοπ.5		1	4	0,333	1	1
sum		7,2	20	1,95	8,25	6,25

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ωριμότητα της τεχνολογίας

		Ωριμότητα τεχνολογίας				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	1	4	1	0,333
Τοπ.2		1	1	4	1	0,333
Τοπ.3		0,25	0,25	1	0,25	0,143
Τοπ.4		1	1	4	1	0,333
Τοπ.5		3	3	7	3	1
sum		6,25	6,25	20	6,25	2,143

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα του παραγόμενου νερού

		Ποσότητα παραγόμενου νερού				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0,2	0,333	0,5	0,333
Τοπ.2		5	1	4	4	0,5
Τοπ.3		3	0,25	1	1	0,5
Τοπ.4		2	0,25	1	1	0,5
Τοπ.5		3	2	2	2	1
sum		14	3,7	8,333	8,5	2,833

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποιότητα του παραγόμενου νερού

		Ποιότητα παραγόμενου νερού				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	1	0,5	1	2
Τοπ.2		1	1	0,5	1	0,5
Τοπ.3		2	2	1	2	3
Τοπ.4		1	1	0,5	1	2
Τοπ.5		0,5	2	0,333	0,5	1
sum		5,5	7	2,833	5,5	8,5

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα κατανάλωσης ενέργειας

Κατανάλωση ενέργειας					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1	1	1	0,5	2	0,5
Τοπ.2	1	1	0,5	2	0,5
Τοπ.3	2	2	1	3	1
Τοπ.4	0,5	0,5	0,333	1	0,333
Τοπ.5	2	2	1	3	1
sum	6,5	6,5	3,333	11	3,333

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις εκπομπές CO<sub>2</sub>

CO <sub>2</sub> kg/annum					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1	1	1	1	1	7
Τοπ.2	1	1	1	1	7
Τοπ.3	1	1	1	1	7
Τοπ.4	1	1	1	1	7
Τοπ.5	0,143	0,143	0,143	0,143	1
sum	4,143	4,143	4,143	4,143	29

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις εκπομπές NO<sub>x</sub>

NO <sub>x</sub> kg/annum					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1	1	1	1	1	7
Τοπ.2	1	1	1	1	7
Τοπ.3	1	1	1	1	7
Τοπ.4	1	1	1	1	7
Τοπ.5	0,143	0,143	0,143	0,143	1
sum	4,143	4,143	4,143	4,143	29

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το SO x

		SO x kg/annum				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	1	1	1	7
Τοπ.2		1	1	1	1	7
Τοπ.3		1	1	1	1	7
Τοπ.4		1	1	1	1	7
Τοπ.5		0,143	0,143	0,143	0,143	1
sum		4,143	4,143	4,143	4,143	29

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την αποβολή υπολλειμμάτων

		Υπολλείμματα				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	1	0,2	1	0,333
Τοπ.2		1	1	0,2	1	0,333
Τοπ.3		5	5	1	5	4
Τοπ.4		1	1	0,2	1	0,333
Τοπ.5		3	3	0,25	3	1
sum		11	11	1,85	11	6

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τη δημιουργία θέσεων εργασίας

		Θέσεις εργασίας				
		Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0,5	2	1	0,5
Τοπ.2		2	1	4	2	2
Τοπ.3		0,5	0,25	1	0,5	0,25
Τοπ.4		1	0,5	2	1	0,5
Τοπ.5		2	0,5	4	2	1
sum		6,5	2,75	13	6,5	4,25

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την αύξηση του επιπέδου ζωής*

	Επίπεδο ζωής				
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1	1	1	1	1	3
Τοπ.2	1	1	1	1	3
Τοπ.3	1	1	1	1	3
Τοπ.4	1	1	1	1	3
Τοπ.5	0,333	0,333	0,333	0,333	1
sum	4,333	4,333	4,333	4,333	13

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την κατ' άτομο αύξηση του επιπέδου ζωής*

	Κατ' άτομο αύξηση επιπέδου ζωής				
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1	1	1	1	1	2
Τοπ.2	1	1	1	1	2
Τοπ.3	1	1	1	1	2
Τοπ.4	1	1	1	1	2
Τοπ.5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
sum	4,5	4,5	4,5	4,5	9

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις απαιτούμενες εισαγωγές*

	Εισαγωγές				
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1	1	4	0,25	1	1
Τοπ.2	0,25	1	0,2	0,333	0,25
Τοπ.3	4	5	1	4	4
Τοπ.4	1	3	0,25	1	1
Τοπ.5	1	4	0,25	1	1
sum	7,25	17	1,95	7,333	7,25

## Β. Εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου Promethee για την Ύδρα

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την Κ.Π.Α*

<b>Κ.Π.Α.</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	1		1	1	1
Τοπ.3	1	0		1	0
Τοπ.4	0	0	0		0
Τοπ.5	1	0	0	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το κόστος επένδυσης*

<b>invC</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	0	1		0	0
Τοπ.4	0,5	1	0		0
Τοπ.5	1	1	1	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς κόστος παραγωγής νερού*

<b>cost</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	1		0	1	1
Τοπ.3	1	0		0	1
Τοπ.4	1	0	0		0
Τοπ.5	1	0	0	0	

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το ρίσκο της επένδυσης

<b>risk</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	1	0	0
Τοπ.2	0		1	0	0
Τοπ.3	0	0		0	0
Τοπ.4	0	0	1		0
Τοπ.5	1	1	1	1	

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την πολυπλοκότητα της τεχνολογίας

<b>complex.</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	1	0		0
Τοπ.5	0	1	0	0	

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ωριμότητα της τεχνολογίας

<b>maturity</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	1	0	0
Τοπ.2	0		1	0	0
Τοπ.3	0	0		0	0
Τοπ.4	0	0	1		0
Τοπ.5	1	1	1	1	

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα παραγόμενου νερού

<b>quantity</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	1		1	1	1
Τοπ.3	1	0		0	0
Τοπ.4	1	0	0		0
Τοπ.5	1	0	1	1	



Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποιότητα του παραγόμενου νερού

**quality**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0,169492
Τοπ.2	0		0	0	0,169492
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	0	0		0,169492
Τοπ.5	0	0	0	0	

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την κατανάλωση ενέργειας

**SEC**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0,6	0
Τοπ.2	0		0	0,6	0
Τοπ.3	1	1		1	0,2
Τοπ.4	0,6	0,6	0		0
Τοπ.5	1	1	0	1	

Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις εκπομπές CO<sub>2</sub>

**CO2**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις εκπομπές NOx*

<b>NOx</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις εκπομπές SOx*

<b>SOx</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα αποβολής υπολειμμάτων*

<b>waste</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	0	0		0
Τοπ.5	1	1	0	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τη δημιουργία θέσεων εργασίας*

**jobs**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	1	0	0
Τοπ.2	1		1	1	1
Τοπ.3	0	0		0	0
Τοπ.4	0	0	1		0
Τοπ.5	0	0	1	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την αύξηση του επιπέδου ζωής*

**std.living**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την κατ' άτομο αύξηση του επιπέδου ζωής*

**commun.**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις απαιτήσεις εισαγωγών*

**imports**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	1	0		0
Τοπ.5	0	1	0	0	

**Εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου Promethee για τη Δονούσα**

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την Κ.Π.Α.*

**NPV**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	1		1	1	1
Τοπ.3	1	0		1	0
Τοπ.4	0,998004	0	0		0
Τοπ.5	1	0	0,998004	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το κόστος της επένδυσης*

**invC**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	0	1		0	0
Τοπ.4	1	1	0		0
Τοπ.5	1	1	1	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το κόστος παραγωγής νερού*

<b>cost</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	1		1	1	1
Τοπ.3	1	0		1	1
Τοπ.4	1	0	0		1
Τοπ.5	1	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς το ρίσκο της επένδυσης*

<b>risk</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	1	0	0
Τοπ.2	0		1	0	0
Τοπ.3	0	0		0	0
Τοπ.4	0	0	1		0
Τοπ.5	1	1	1	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την πολυπλοκότητα της τεχνολογίας*

<b>complex.</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	1	0		0
Τοπ.5	0	1	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ωριμότητα της τεχνολογίας*

**maturity**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	1	0	0
Τοπ.2	0		1	0	0
Τοπ.3	0	0		0	0
Τοπ.4	0	0	1		0
Τοπ.5	1	1	1	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα του παραγόμενου νερού*

**quantity**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	1		1	1	1
Τοπ.3	1	0		0	0
Τοπ.4	1	0	0		0
Τοπ.5	1	0	1	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποιότητα του παραγόμενου νερού*

**quality**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0,169492
Τοπ.2	0		0	0	0,169492
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	0	0		0,169492
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα κατανάλωσης ενέργειας*

<b>SEC</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0,6	0
Τοπ.2	0		0	0,6	0
Τοπ.3	1	1		1	0,2
Τοπ.4	0,6	0,6	0		0
Τοπ.5	1	1	0,2	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα εκπομπών CO<sub>2</sub>*

<b>CO<sub>2</sub></b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα εκπομπών NO<sub>x</sub>*

<b>NO<sub>x</sub></b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα εκπομπών SOx*

<b>SOx</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την ποσότητα αποβολής υπολειμμάτων*

<b>waste</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	0	0		0
Τοπ.5	1	1	0	1	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τη δημιουργία θέσεων εργασίας*

<b>jobs</b>					
	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	1	0	0
Τοπ.2	1		1	1	1
Τοπ.3	0	0		0	0
Τοπ.4	0	0	1		0
Τοπ.5	0	0	1	0	



*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την αύξηση του επιπέδου ζωής*

**std.living**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς την κατ' άτομο αύξηση του επιπέδου ζωής*

**commun.**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		0	0	0	1
Τοπ.2	0		0	0	1
Τοπ.3	0	0		0	1
Τοπ.4	0	0	0		1
Τοπ.5	0	0	0	0	

*Αξιολόγηση τοπολογιών ως προς τις απαιτήσεις εισαγωγών*

**imports**

	Τοπ.1	Τοπ.2	Τοπ.3	Τοπ.4	Τοπ.5
Τοπ.1		1	0	0	0
Τοπ.2	0		0	0	0
Τοπ.3	1	1		1	1
Τοπ.4	0	1	0		0
Τοπ.5	0	1	0	0	