

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:  
ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**  
**Μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα:**  
**Αποτύπωμα Άνθρακα**



Συνεπιβλέποντες:

Αθανάσιος Κούγκολος, Καθηγητής  
Λασπίδου Χρυσή, Επίκουρη Καθηγήτρια

**Νυδρέος Σακουέλος Παναγιώτης**  
**Περιβαλλοντολόγος**

**ΒΟΛΟΣ 2010**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 9016/1  
Ημερ. Εισ.: 26-10-2010  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
628.167  
ΝΥΔ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ**  
**ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:**  
**ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή**  
**Μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα:**  
**Αποτύπωμα Άνθρακα**

Συνεπιβλέποντες:

Αθανάσιος Κούγκολος, Καθηγητής  
Λασπίδου Χρυσή, Επίκουρη Καθηγήτρια

**Νυδρέος Σακουέλος Παναγιώτης**  
**Περιβαλλοντολόγος**

**ΒΟΛΟΣ 2010**

## Περίληψη

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ	
Αριθ. Πρωτοκ.	542
Ημερομηνία	17-9-2010

Η έλλειψη φρέσκου νερού είναι ένα από τα κυριότερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας. Η εκρηκτική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, σε συνδυασμό με τη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη έχει οδηγήσει σε μια αυξανόμενη απαίτηση νερού, καθιστώντας την έλλειψη του κρίσιμο θέμα για τις χώρες όπως την Ελλάδα. Η αφαλάτωση του νερού της θάλασσας είναι κατάλληλη για τον ανεφοδιασμό των ξηρών περιοχών της χώρας με πόσιμο νερό και καθίσταται κυρίαρχη εναλλακτική λύση στην παραγωγή πόσιμου νερού, αλλά μπορεί να είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα. Από την άλλη, οι πρωτοβουλίες σχετικά με τη παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας ωθούν για τις βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις που θα παραγάγουν τις ελάχιστες ή αμελητέες ποσότητες του CO<sub>2</sub> για να αποτρέψουν τους όρους αλλαγής κλίματος. Στη παρούσα εργασία, πραγματοποιούμε μια έρευνα για διάφορες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα και μελετάμε τα μοτίβα της ενεργειακής τους κατανάλωσης, σε μια προσπάθεια να καθορίσουμε το αποτύπωμα άνθρακα αυτών. Προσδιορίζουμε τις τάσεις σχετικά με τη θέση και το μέγεθος των μονάδων αφαλάτωσης, τη κατάσταση του εξοπλισμού, την εποχικότητα της παραγωγής νερού, το τύπο καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και άλλους σχετικούς με την ενέργεια παράγοντες.

*Λέξεις-Κλειδιά: αφαλάτωση, αποτύπωμα άνθρακα, παραγωγή CO<sub>2</sub>, παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας.*



## Abstract

Fresh water shortage is one of the greatest problems of modern society; the explosive increase in world population, along with the unusual socio-economic development have led to an increased water demand, making water shortage a critical issue for countries like Greece. Desalination of seawater is suitable for supplying arid regions of the country with potable water and is becoming the dominant alternative in drinking water production, but may be energy intensive. On the other hand, global warming initiatives push for sustainable alternatives that will produce minimal or negligible quantities of CO<sub>2</sub> to prevent climate change conditions. In this present work, we conduct a survey of several desalination plants in Greece and study their energy usage patterns, in an effort to determine their carbon footprint. We identify trends relative to the location and size of desalination plants, plant equipment condition, water production seasonality, type of fuel used by the power plant and other energy-related factors.

*Keywords: desalination, carbon footprint, CO<sub>2</sub> production, global warming.*

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>1</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> – ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1	ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2	ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ – Η ΜΕΓΑΛΗ ΕΙΚΟΝΑ	1
1.3	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ	2
1.4	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ	4
1.5	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	5
1.6	ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ – ΕΝΑΣ ΡΟΛΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	5
<b>2</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ</b>	<b>7</b>
2.1	ΓΕΝΙΚΑ – ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	7
2.2	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	8
2.3	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	10
2.4	ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	17
2.5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	18
2.5.1	Πολυβάθμια Εκρηκτική Εξάτμιση (Multi-Stage Flash Evaporation, MSF)	19
2.5.2	Πολυβάθμια Εξάτμιση ή Απόσταξη (Multi-Effect Evaporation/Distillation, MEE/MED)	21
2.5.3	Συμπύεση Ατμού (Vapor Compression, VC)	23
2.5.4	Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation, SD)	24
2.5.5	Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis, RO)	27
2.5.5.1	Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης	28
2.5.5.2	Στοιχεία μεμβρανών (membrane module)	30
2.5.5.3	Περιοριστικοί παράγοντες (σχηματισμός επιστρώματος, επικαθίσεις αλάτων, υποβάθμιση μεμβρανών)	32
2.5.5.4	Στάδιο προεπεξεργασίας και μετεπεξεργασίας	35
2.5.5.5	Χημικές ενώσεις σταδίων επεξεργασίας των μονάδων αφαλάτωσης	40
2.5.6	Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)	41

2.6	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	43
2.7	ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	47
<b>3</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	<b>49</b>
3.1	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	49
3.2	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	50
3.3	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	55
3.3.1	Ηλιακή Ενέργεια (Solar Energy)	55
3.3.2	Αιολική Ενέργεια (Wind Power)	58
3.3.3	Γεωθερμική Ενέργεια (Geothermal Energy)	60
3.3.4	Βιομάζα (Biomass)	61
3.3.5	Ωκεάνια Ενέργεια (Ocean Energy)	62
3.3.6	Υδρο-Ενέργεια (Hydro-Energy)	62
3.4	ΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ – ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	63
3.5	ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	63
<b>4</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ</b>	<b>66</b>
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	66
4.2	ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	67
4.3	ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΓΕΙΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΟΡΙΖΟΝΤΑ	67
4.4	ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	68
4.4.1	Σύσταση Άλμης	70
4.4.2	Διάθεση Άλμης	72
4.4.2.1	Απαλλαγή αλμών με τη χρήση αγωγού στην ανοιχτή θάλασσα	72
4.4.2.2	Άμεση απαλλαγή άλμης στην ακτή	74
4.4.2.3	Απαλλαγή άλμης μέσω κοινής εξόδου βιομηχανικών ή αστικών αποβλήτων	74
4.4.2.4	Κατεύθυνση άλμης σε εγκαταστάσεις παραγωγής άλατος	75
4.4.2.5	Εναλλακτικές τεχνικές διάθεσης	75

4.5	ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	76
4.6	ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	77
<b>5</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>0</sup> – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΔΑΠΑΝΩΝ</b>	<b>78</b>
5.1	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	78
5.2	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΔΑΠΑΝΩΝ	82
5.3	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ	83
5.4	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ (RO)	85
5.5	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ (ΜΕΕ)	86
5.6	ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ (ΜΕΕ)	86
5.7	ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΑΛΛΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ	87
<b>6</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>0</sup> – ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ</b>	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>0</sup> – ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ – ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ &amp; ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ</b>	<b>97</b>
7.1	ΓΕΝΙΚΑ	97
7.2	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ	98
7.3	Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ	101
7.4	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	103
<b>8</b>	<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ</b>	<b>106</b>
8.1	ΓΕΝΙΚΑ - ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	106
8.1.1	Διασυνδεδεμένο Ηπειρωτικό Σύστημα	106
8.1.2	Μη Διασυνδεδεμένο Νησιωτικό Σύστημα Αιγαίου Πελάγους	109
8.2	ΚΑΛΥΨΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	110
8.3	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	111
8.4	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	114
8.4.1	Γενικά - Λιγνίτης	114
8.4.1.1	Συμβολή του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή	115

8.4.1.2	Αποθέματα λιγνίτη	116
8.4.1.3	Ορυχεία σε λειτουργία σήμερα	118
8.4.1.4	Ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη	119
8.4.1.5	Θερμικές λιγνιτικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας	120
8.4.1.6	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO <sub>2</sub>	123
8.4.1.7	Μελλοντικές τάσεις στο τομέα του άνθρακα	123
8.4.2	Υδροηλεκτρική Ενέργεια	124
8.4.2.1	Γενικά	124
8.4.2.2	Λειτουργικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα	126
8.4.2.2.1	Μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Large Hydropower Plants, LHP)	127
8.4.2.2.2	Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Small Hydropower Plants, SHP)	130
8.5	<b>ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ</b>	134
8.5.1	Γενικά – Νησιωτική Περιοχή Αιγαίου Πελάγους	134
8.5.2	Υπάρχον σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των νησιών	135
8.5.3	Κατανάλωση καυσίμων	137
8.6	<b>ΔΕΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	138
8.6.1	Ηλιακή Ενέργεια	138
8.6.2	Αιολική Ενέργεια	138
<b>9</b>	<b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ</b>	<b>141</b>
9.1	ΓΕΝΙΚΑ – ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	141
9.2	ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (GREENHOUSE EFFECT)	142
9.2.1	Περιγραφή του Φαινομένου του Θερμοκηπίου	142
9.2.2	Παγκόσμια Αύξηση της Θερμοκρασίας και Συνέπειες	144
9.3	<b>ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b>	145
9.3.1	Εκπομπές CO <sub>2</sub>	145
9.3.2	Ελλάδα: Εκπομπές CO <sub>2</sub> και Παραγωγή Ενέργειας	147
9.3.3	Στόχοι Περιορισμού των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα	150
9.3.3.1	Επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης	150

9.3.3.1	Επίπεδο Ελλάδας – Δράσεις ΔΕΗ	151
9.4	ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (CARBON FOOTPRINT, CF)	151
9.4.1	Γενικά	151
9.4.2	Συνοπτική Επισκόπηση Ορισμών	152
9.4.3	Ορισμός Αποτυπώματος Άνθρακα	153
9.4.4	Αποτύπωμα Άνθρακα Μονάδων Αφαλάτωσης	153
<b>10</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>155</b>
10.1	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	155
10.1.1	Χαρακτηριστικά Ερωτηματολογίου	155
10.1.2	Δειγματοληπτική Μονάδα – Δειγματοληπτικό Πλαίσιο	156
10.1.3	Επεξεργασία Στατιστικών Στοιχείων	156
10.2	ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	157
10.2.1	Ερωτηματολόγιο Έρευνας	157
10.2.2	Πληθυσμός – Δειγματοληψία	158
10.2.3	Συμπλήρωση Ερωτηματολογίων	159
10.2.4	Ανάλυση Ερωτηματολογίων	160
<b>11</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	<b>161</b>
11.1	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	161
11.1.1	Παρουσίαση Μονάδων Αφαλάτωσης	161
11.1.1.1	Μονάδα Αφαλάτωσης Ερμούπολης Σύρου	161
11.1.1.2	Μονάδα Αφαλάτωσης Τήνου (1)	162
11.1.1.3	Μονάδα Αφαλάτωσης Τήνου (2)	162
11.1.1.4	Μονάδα Αφαλάτωσης Τήνου (3)	163
11.1.1.5	Μονάδα Αφαλάτωση Οίας Σαντορίνης	164
11.1.1.6	Μονάδα Αφαλάτωσης Νάουσας Πάρου	165
11.1.1.7	Μονάδα Αφαλάτωσης Γαζίου - Ηρακλείου	166
11.1.1.8	Μονάδα Αφαλάτωσης Νισύρου	166
11.1.1.9	Μονάδα Αφαλάτωσης Ίου	167
11.1.1.10	Μονάδα Αφαλάτωσης Αγίου Γεωργίου Κέρκυρας	168

11.1.1.11	Επισκόπηση βασικών χαρακτηριστικών μονάδων αφαλάτωσης	168
11.1.2	Βασικά Στοιχεία Μονάδων Αφαλάτωσης	170
11.1.3	Σύντομο Ιστορικό και Στοιχεία Κόστους Μονάδων Αφαλάτωσης	172
11.1.4	Δυναμικότητα και Χαρακτηριστικά Μονάδων Αφαλάτωσης	174
11.1.5	Ενεργειακά Χαρακτηριστικά Μονάδων Αφαλάτωσης	186
11.2	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	189
11.3	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	195
11.4	ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ	200
<b>12</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>204</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>207</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>215</b>

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.	Ταξινόμηση των πηγών νερού ανάλογα με τη ποσότητα των διαλυμένων στερεών.	3
Πίνακας 2.	Πλεονεκτημάτων και μειονεκτήματα των διαδικασιών αφαλάτωσης.	44
Πίνακας 3.	Αξιολόγηση των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας.	63
Πίνακας 4.	Χαρακτηριστικά άλμης για διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης.	69
Πίνακας 5.	Ευαισθησία θαλάσσιων βιοτόπων στις μονάδες αφαλάτωσης.	70
Πίνακας 6.	Ποσοστιαία κατανομή παραγόντων των δαπανών.	80
Πίνακας 7.	Κόστος αφαλάτωσης διαφόρων τεχνολογιών αφαλάτωσης.	82
Πίνακας 8.	Ενεργειακές απαιτήσεις των διαδικασιών αφαλάτωσης.	83
Πίνακας 9.	Εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης ανά χώρα.	90
Πίνακας 10.	Αριθμός μονάδων αφαλάτωσης και ικανότητας παγκοσμίως (1/1/2005).	91
Πίνακας 11.	Εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης ανά έτος, αριθμό μονάδων και συνολικής ικανότητας.	92
Πίνακας 12.	Ικανότητα αφαλάτωσης ανά χώρα (1/1/1996).	94
Πίνακας 13.	Σύγκριση Προσφοράς – Ζήτησης ανά υδατικό Διαμέρισμα.	98
Πίνακας 14.	Μηνιαίος όγκος εισαγόμενου νερού στα νησιά των Κυκλάδων και Δωδεκανήσων.	102
Πίνακας 15.	Μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα.	104
Πίνακας 16.	Εγκατεστημένη ικανότητα διασυνδεδεμένου συστήματος, για το 2007.	107
Πίνακας 17.	Αριθμός των θερμοηλεκτρικών σταθμών διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού δικτύου.	108
Πίνακας 18.	Εγκατεστημένη ικανότητα μη διασυνδεδεμένου συστήματος.	109
Πίνακας 19.	Γραμμές μεταφοράς διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς (km).	111



Πίνακας 20.	Σύστημα διανομής (MV & LV).	111
Πίνακας 21.	Ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, ανά τύπο καυσίμου.	115
Πίνακας 22.	Λιγνιτικά κέντρα της Ελλάδας, στοιχεία του 2004.	118
Πίνακας 23.	Κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελληνικού λιγνίτη.	119
Πίνακας 24.	Θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους.	120
Πίνακας 25.	Εκπομπές CO <sub>2</sub> ορυκτών καυσίμων.	123
Πίνακας 26.	Κύρια χαρακτηριστικά των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών (LHP).	128
Πίνακας 27.	Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, ισχύος 1-10 MW.	131
Πίνακας 28.	Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, ισχύος <1 MW.	132
Πίνακας 29.	Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί υπό κατασκευή.	134
Πίνακας 30.	Αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής του μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού δικτύου.	136
Πίνακας 31.	Φωτοβολταϊκά πάρκα σε λειτουργία.	138
Πίνακας 32.	Αιολικά πάρκα σε λειτουργία.	139
Πίνακας 33.	Αιολικά πάρκα υπό κατασκευή.	140
Πίνακας 34.	Κυριότερα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου.	143
Πίνακας 35.	Διαχρονική εξέλιξη εκπομπών CO <sub>2</sub> .	148
Πίνακας 36.	Συντελεστές εκπομπών CO <sub>2</sub> (kg/kWh) ανά είδος καυσίμου.	149
Πίνακας 37.	Ορισμοί του αποτυπώματος άνθρακα.	152
Πίνακας 38.	Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων των μονάδων αφαλάτωσης.	169
Πίνακας 39.	Βασικά στοιχεία των μονάδων αφαλάτωσης.	170
Πίνακας 40.	Πληροφορίες σχετικά με τη διάθεση της άλμης.	185
Πίνακας 41.	Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος.	189

Πίνακας 42.	Σταθμοί παραγωγής ενέργειας μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού συστήματος.	191
Πίνακας 43.	Διασυνδέσεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.	193

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1.	Διαγράμματα που παρουσιάζουν τις μερίδες της συνολικής ικανότητας αφαλάτωσης και του συνολικού αριθμού των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο.	9
Γράφημα 2.	Διάγραμμα που παρουσιάζει τη κατανομή της παγκόσμιας ικανότητας των μονάδων αφαλάτωσης ανά περιοχή.	10
Γράφημα 3.	Συνολική ικανότητα των μονάδων αφαλάτωσης παγκοσμίως βάσει του τύπου της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας.	11
Γράφημα 4.	Παγκόσμια εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης ανά διεργασία.	15
Γράφημα 5.	Κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που παρέχουν ενέργεια σε διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης.	54
Γράφημα 6.	Τεχνολογίες αφαλάτωσης που συνδυάζονται με ΑΠΕ.	55
Γράφημα 7.	Κατανομή των δαπανών για μονάδα αφαλάτωσης RO υφάλμυρων υδάτων.	84
Γράφημα 8.	Κατανομή των δαπανών για μονάδα αφαλάτωσης RO θαλασσινού νερού.	84
Γράφημα 9.	Πρόσφατες μειώσεις κόστους παραγωγής μονάδων αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το κόστος ανά 1000 γαλόνια παραγόμενου νερού.	85
Γράφημα 10.	Κατανομή δαπανών (κόστη σχεδιασμού) για μονάδα MEE αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.	86
Γράφημα 11.	Κατανομή των τυπικών δαπανών μιας μεγάλης θερμικής μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.	87
Γράφημα 12.	Παγκόσμια κατανομή της εγκατεστημένης ικανότητας αφαλάτωσης ανά κατηγορία τεχνολογίας.	89
Γράφημα 13.	Συσσωρευτική ικανότητα των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης, για τη περίοδο 1945 έως 2004.	93
Γράφημα 14.	Συνολική κατανομή της ζήτησης νερού στην Ελλάδα.	100
Γράφημα 15.	Παραγωγή αφαλατωμένου νερού στην Ελλάδα για τη περίοδο 1970-2009.	104
Γράφημα 16.	Εξέλιξη της ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου, από	112

το 1972.

Γράφημα 17.	Χρονική εξέλιξη της ελληνικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.	113
Γράφημα 18.	Ανάλυση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τομέα.	113
Γράφημα 19.	Ανάλυση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 2004.	116
Γράφημα 20.	Εγκατεστημένη ικανότητα (MWe) των λιγνιτικών θερμικών σταθμών.	120
Γράφημα 21.	Κατανομή της ικανότητας των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πέντε κλίμακες.	121
Γράφημα 22.	Κατανομή των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βάσει της λειτουργικής διάρκειας ζωής τους.	122
Γράφημα 23.	Συσχέτιση της απόδοσης και του έτους έναρξης της λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας.	122
Γράφημα 24.	Η συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στη παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.	124
Γράφημα 25.	Ενεργειακή παραγωγή των υδροηλεκτρικών σταθμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, περίοδος 1990-2004.	125
Γράφημα 26.	Συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην εθνική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη.	126
Γράφημα 27.	Εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς και ετήσια παραγωγή ενέργειας.	129
Γράφημα 28.	Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών, έτος 2006.	131
Γράφημα 29.	Εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού στη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους (1991-2008).	135
Γράφημα 30.	Χρονική εξέλιξη της κατανάλωσης καυσίμων σε επιλεγμένα νησιά του Αιγαίου Πελάγους.	137
Γράφημα 31.	Συσχέτιση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και της μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη.	144
Γράφημα 32.	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε εκατομμύρια τόνους ανά έτος, για τα τελευταία 200 χρόνια.	146
Γράφημα 33.	Συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (ppm) στην	146

ατμόσφαιρα.

Γράφημα 34.	Κατανομή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα στην Ελλάδα, 2007.	147
Γράφημα 35.	Κατανομή εκπομπών ανά αέριο του θερμοκηπίου, 2007.	148
Γράφημα 36.	Διαχρονική εξέλιξη του μέσου παράγοντα εκπομπών.	149
Γράφημα 37.	Διαχρονική εξέλιξη των παραγόντων εκπομπής CO <sub>2</sub> (kg/kWh) ανά είδος καυσίμου.	150
Γράφημα 38.	Επιφάνεια κάλυψης εγκαταστάσεων των μονάδων αφαλάτωσης.	177
Γράφημα 39.	Περίοδος έναρξης λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης.	172
Γράφημα 40.	Δαπάνες κατασκευής και κόστος λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων αφαλάτωσης.	173
Γράφημα 41.	Τύπος νερού τροφοδοσίας των μονάδων αφαλάτωσης.	174
Γράφημα 42.	Περίοδος αντικατάστασης των μεμβρανών των μονάδων αφαλάτωσης.	175
Γράφημα 43.	Μέγιστη ημερήσια ικανότητα παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης.	175
Γράφημα 44.	Μέγιστη ετήσια ικανότητα παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης.	176
Γράφημα 45.	Ημερήσια παραγωγή νερού των μονάδων αφαλάτωσης.	177
Γράφημα 46.	Ετήσια παραγωγή νερού των μονάδων αφαλάτωσης.	178
Γράφημα 47.	Μηνιαίο ποσοστό παραγωγής βάσει της μέγιστης ικανότητας παραγωγής των μονάδων αφαλάτωσης.	179
Γράφημα 48.	Μέσο ετήσιο ποσοστό παραγωγής.	180
Γράφημα 49.	Εποχιακή διακύμανση της παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης.	181
Γράφημα 50.	Ποσοστό κάλυψης των υδρευτικών αναγκών της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένες οι μονάδες αφαλάτωσης.	182
Γράφημα 51.	Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης των υδρευτικών αναγκών της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένες οι μονάδες αφαλάτωσης.	183
Γράφημα 52.	Αναλογία παραγωγής άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού των μονάδων αφαλάτωσης.	184

Γράφημα 53.	Ετήσια παραγωγή άλμης των μονάδων αφαλάτωσης.	184
Γράφημα 54.	Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης.	187
Γράφημα 55.	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης.	188
Γράφημα 56.	Μέσος όρος ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης.	188
Γράφημα 57.	Συσχέτιση του βαθμού απόδοσης, είδους καυσίμου και συντελεστή εκπομπών.	190
Γράφημα 58.	Συσχέτιση του βαθμού απόδοσης και συντελεστή εκπομπών.	192
Γράφημα 59.	Συσχέτιση του μέσου όρου βαθμού απόδοσης και του συντελεστή εκπομπών βάσει αναλογίας καυσίμου.	193
Γράφημα 60.	Συντελεστές εκπομπών διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος και ορισμένων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής του νησιωτικού συστήματος.	194
Γράφημα 61.	Δείκτης αναλογίας επιφάνειας/παραγωγικότητας.	195
Γράφημα 62.	Συσχέτιση νερού τροφοδοσίας και κόστους λειτουργίας και συντήρησης.	196
Γράφημα 63.	Συσχέτιση της μέγιστης ημερήσιας ονομαστικής ικανότητας παραγωγής νερού και του κόστους κατασκευής.	197
Γράφημα 64.	Συσχέτιση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης και του έτους αντικατάστασης μεμβρανών.	198
Γράφημα 65.	Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού των μονάδων αφαλάτωσης.	199
Γράφημα 66.	Συνολικό ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης.	200
Γράφημα 67.	Αποτύπωμα άνθρακα ως ποσοστό επί του συνόλου των μονάδων αφαλάτωσης.	201
Γράφημα 68.	Συσχέτιση του αποτυπώματος άνθρακα και της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας.	201
Γράφημα 69.	Συσχέτιση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και του συντελεστή εκπομπών.	202
Γράφημα 70.	Εποχιακή διακύμανση του αποτυπώματος άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης.	203

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.	Κατανομή παγκόσμιων υδάτων.	1
Εικόνα 2.	Παγκόσμιος κύκλος του νερού με υπολογισμούς των ροών και του ανθρώπινου σφετερισμού. Οι μονάδες είναι Km <sup>3</sup> /έτος.	2
Εικόνα 3.	Υπολογισμός διαθεσιμότητας υδάτινων πόρων παγκοσμίως.	3
Εικόνα 4.	Προβλεπόμενη έλλειψη νερού παγκοσμίως έως το 2020.	4
Εικόνα 5.	Ναυτικοί παράγον φρέσκο νερό με απόσταξη θαλασσινού νερού.	7
Εικόνα 6.	Εύρος μεγέθους απομάκρυνσης σωματιδίων ανάλογα με το τύπο μεμβρανών βάσει του φάσματος διήθησης.	15
Εικόνα 7.	Κατηγορίες διαδικασιών αφαλάτωσης.	17
Εικόνα 8.	Σχηματικό διάγραμμα των κύριων διαδικασιών αφαλάτωσης.	17
Εικόνα 9.	Αναπαράσταση ενός τυπικού συστήματος αφαλάτωσης.	18
Εικόνα 10.	Σχηματική δομή της MSF διαδικασίας αφαλάτωσης.	20
Εικόνα 11.	Σχηματική δομή της MEE/MED διαδικασίας αφαλάτωσης.	22
Εικόνα 12.	Σχηματική δομή της διαδικασίας αφαλάτωσης της μηχανικής συμπίεσης ατμού ενός σταδίου.	23
Εικόνα 13.	Απεικόνιση του βασικού σχεδιασμού μιας μονάδας ηλιακής απόσταξης.	25
Εικόνα 14.	Διάγραμμα λειτουργίας της αντίστροφης όσμωσης.	28
Εικόνα 15.	Στοιχείο μεμβράνης σπειροειδούς περιέλιξης.	31
Εικόνα 16.	Στοιχείο μεμβρανών κοίλων ιών.	31
Εικόνα 17.	Περιοριστικοί παράγοντες της απόδοσης των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης.	32
Εικόνα 18.	Σχηματικό διάγραμμα διαδικασίας αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση.	42
Εικόνα 19.	Δέσμη ηλεκτροδιάλυσης σε λειτουργία.	43

Εικόνα 20.	Συνδυασμοί τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεθόδων αφαλάτωσης.	53
Εικόνα 21.	Σχεδιασμός κατάλληλης μονάδας ΑΠΕ-αφαλάτωσης.	54
Εικόνα 22.	Στοιχεία κόστους μιας μονάδας αφαλάτωσης.	82
Εικόνα 23.	Απλουστευμένη απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου.	143



# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1.	Διαθεσιμότητα υδατικών πόρων.	99
Χάρτης 2.	Περιοχές που εμφανίζουν πρόβλημα υφαλμύρωσης του υδροφόρου ορίζοντα.	101
Χάρτης 3.	Ο όγκος πόσιμου νερού ( $m^3$ ) που μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια στα νησιά του Αιγαίου, για το έτος 2007.	102
Χάρτης 4.	Οι κυριότεροι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί.	108
Χάρτης 5.	Τοποθεσία μονάδων παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ.	112
Χάρτης 6.	Εθνικά αποθέματα λιγνίτη.	117
Χάρτης 7.	Εύρος τιμών του ελληνικού υδροδυναμικού.	127
Χάρτης 8.	Γεωγραφική κατανομή των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών.	129
Χάρτης 9.	Γεωγραφική κατανομή μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών ισχύος 1-10 MW.	132
Χάρτης 10.	Γεωγραφική κατανομή μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών ισχύος <1MW.	133
Χάρτης 11.	Νησιωτικό σύμπλεγμα Αιγαίου Πελάγους.	134

## *Ευχαριστίες*

*Για την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τους συνεπιβλέποντες κ. Αθανάσιο Κούγκολο, Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης και τη κα Χρυσή Λασπίδου, Επίκουρος Καθηγήτρια του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, για την ουσιαστική βοήθεια τους και τη συνεχή καθοδήγηση τους σε όλες τις φάσεις της διατριβής. Τους είμαι κυρίως ευγνώμων περισσότερο για τη φιλική διάθεση, γεγονός που ωθεί σε μια αποτελεσματική συνεργασία.*

*Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την κατανόηση και την ηθική τους συμπαράσταση.*

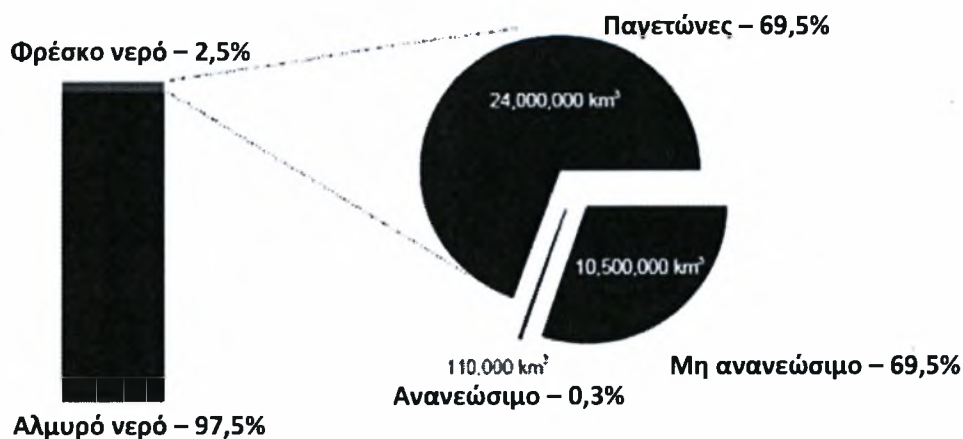
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

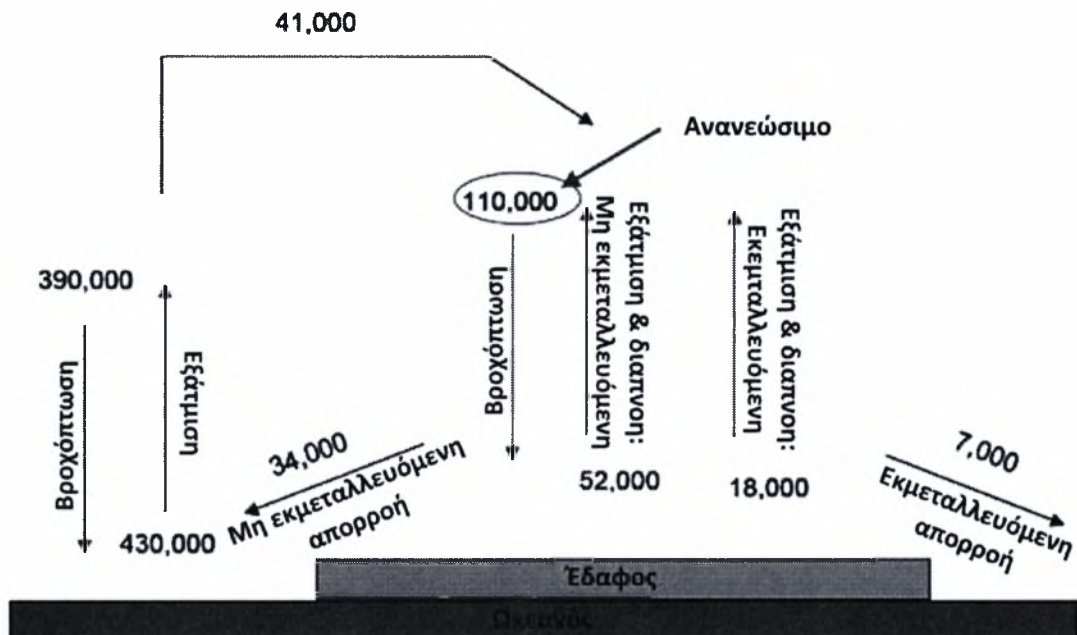
Αναμφίβολα, το νερό αποτελεί το πιο βασικό συστατικό της ζωής του πλανήτη, αλλά και τη κινητήρια δύναμη για την ανθρώπινη εξέλιξη. Η σημασία του νερού στη δημιουργία, διατήρηση και ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού είναι σε όλους γνωστή και προφανής. Όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν σε περιοχές όπου το νερό ήταν άφθονο και διαθέσιμο. Ακόμη και στις μέρες μας, η βιομηχανική και αστική ανάπτυξη εντοπίζεται σε περιοχές όπου κυριαρχεί το υγρό στοιχείο.

### 1.2 ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ – Η ΜΕΓΑΛΗ ΕΙΚΟΝΑ

Σε παγκόσμια κλίμακα υπάρχει μια σχεδόν ανυπολόγιστη ποσότητα νερού στη γη: περίπου 1,4 δισεκατομμύρια  $\text{Km}^3$  (Miller, 2003). Από αυτό λιγότερο από το 3% είναι φρέσκο νερό, μέρος του οποίου, περίπου 24 εκατομμύρια  $\text{Km}^3$ , είναι απρόσιτο καθώς είναι εγκλωβισμένο με τη μορφή πάγου στους παγετώνες των πόλων και των οροσειρών (Εικόνα 1) (Khawaji et al., 2008). Υπολογίζεται ότι 0,77% (περίπου 11 εκατομμύρια  $\text{Km}^3$ ) του νερού όλου του πλανήτη βρίσκεται με τη μορφή υπόγειων υδάτων, επιφανειακών υδάτων (λίμνες, ποτάμια, έλη κλπ), στα φυτά και την ατμόσφαιρα (Gleick, 1993). Σχεδόν όλο αυτό το νερό, έχει συσσωρευτεί σταδιακά, με τη πάροδο του χρόνου, και δεν μπορεί να θεωρηθεί ανανεώσιμο. Ο παγκόσμιος κύκλος του νερού αποτελεί τη μοναδική φυσικά ανανεώσιμη πηγή φρέσκου νερού, δηλαδή τη βροχόπτωση (περίπου 110.300  $\text{Km}^3$ /έτος). Η Εικόνα 2 αποτελεί μια απλουστευμένη απεικόνιση του παγκόσμιου υδρολογικού κύκλου (Miller, 2003).



Εικόνα 1. Κατανομή παγκόσμιων υδάτων (Miller, 2003).



Εικόνα 2. Παγκόσμιος κύκλος του νερού με υπολογισμούς των ροών και του ανθρώπινου σφετερισμού. Οι μονάδες είναι  $\text{Km}^3/\text{έτος}$  (Miller, 2003).

### 1.3 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Λιγότερο από το 3% των παγκόσμιων υδάτων μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές για την ανθρώπινη κατανάλωση βάσει της περιεκτικότητας του σε αλατότητα. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO, 1984) τα ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids, TDS) πρέπει να είναι λιγότερα από  $1.000 \text{ mg/L}$  στο πόσιμο νερό, και η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency, EPA) έχει καθορίσει ένα αυστηρότερο όριο για τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) στο πόσιμο νερό, με τιμή  $500 \text{ mg/L}$  (EPA, 2002). Το νερό της θάλασσας παρουσιάζει μέσο όρο ολικών διαλυμένων στερεών περίπου  $35.000 \text{ mg/L}$  (Πίνακας 1). Κατά συνέπεια, το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων άμεσα διαθέσιμων υδάτινων πόρων παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή αλατότητα για πόσιμη χρήση, και ένα μεγάλο μέρος του παγκόσμιου φρέσκου νερού είναι παγιδευμένο στους πολικούς πάγους ή εντοπίζεται υπογείως. Υπολογίζεται ότι λιγότερο από το 0,5% των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού είναι ευπρόσιτο και έχει τα αποδεκτά επίπεδα αλατότητας (National Academy of Sciences, 2004; NRC, 1998; NRC, 2001).

**Πίνακας 1. Ταξινόμηση των πηγών νερού ανάλογα με τη ποσότητα των διαλυμένων στερεών (National Academy of Sciences, 2004).**

Πηγές νερού	Σύνολο διαλυμένων στερεών (mg/L)
Πόσιμο νερό	<1.000
Ελαφρώς υφάλμυρα νερά	1.000 – 5.000
Μεσαία υφάλμυρα νερά	5.000 – 15.000
Έντονα υφάλμυρα νερά	15.000 – 35.000
Μέσος όρος θαλασσινού νερού	35.000

Η διαθεσιμότητα νερού περιλαμβάνει τα ζητήματα και της ποσότητας και της ποιότητας του νερού (Εικόνα 3). Σε παγκόσμια κλίμακα, η προκληθείσα από τον άνθρωπο ρύπανση των φυσικών πηγών πόσιμου νερού αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες αιτίες για τη παρατηρούμενη έλλειψη πόσιμου νερού (Kalogirou, 2005). Σε τελευταία ανάλυση, ακριβώς όπως οι συνθήκες ξηρασίας μπορούν να μειώσουν το ποσό διαθέσιμου νερού, η υποβάθμιση της ποιότητας νερού μπορεί να περιορίσει τη διαθέσιμη παροχή νερού για τη προοριζόμενη χρήση της. Η κατάλληλα σχεδιασμένη επεξεργασία νερού μπορεί να μετατρέψει το ειδήλλως ακατάλληλο προς χρήση νερό σε χρησιμοποιήσιμο νερό, αυξάνοντας με το τρόπο αυτό τη ποσότητα του διαθέσιμου νερού. Εντούτοις, καθώς τα όλο και περισσότερο υποβιβασμένα νερά χρησιμοποιούνται ως πηγές νερού κατανάλωσης, απαιτείται προσοχή για να εξασφαλιστεί ότι το επεξεργασμένο νερό είναι ασφαλές για το ευρύ κοινό και τα ευαίσθητα υποσύνολα πληθυσμού προς πόση, εξετάζοντας το μεγάλο αριθμό πιθανών μολυσματικών παραγόντων που δεν υπόκεινται στην ανίχνευση με το καθιερωμένο πρότυπο ελέγχου ποιότητας νερού (National Academy of Sciences, 2004).

**Εικόνα 3. Υπολογισμός διαθεσιμότητας υδάτινων πόρων παγκοσμίως (National Academy of Sciences, 2004).**



Στο γενικότερο πρόβλημα της ρύπανσης των διαθέσιμων υδάτινων πόρων, προστίθεται και αυτό της άνιση κατανομής του πόρου στο πλανήτη. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται ότι ο Καναδάς αν και συγκεντρώνει το 1/10 των επιφανειακών αποθεμάτων γλυκού νερού του πλανήτη, φιλοξένει λιγότερο από το 1% του παγκόσμιου πληθυσμού (Kalogirou, 2005).

#### 1.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

Το νερό αποτελεί τη βασική ουσία της ζωής στη γη. Το καθαρό πόσιμο νερό έχει μετατραπεί σε πολύτιμο αγαθό λόγω των αυξημένων αναγκών του εκρηκτικά αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού και της παγκόσμιας εκβιομηχάνισης. Σχεδόν το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό (WWAP, 2003). Η έλλειψη νερού επηρεάζει 88 αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες φιλοξενούν το μισό παγκόσμιο πληθυσμό. Σε αυτές, το 80-90% των ασθενειών και το 30% των θανάτων οφείλονται στη κακή ποιότητα του πόσιμου νερού (Miller, 2003). Σύμφωνα με στοιχεία του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (WWAP, 2003), πάνω από το 50% των εθνών στο κόσμο θα αντιμετωπίσουν κρίσεις νερού μέχρι το 2025, τετραπλασιάζοντας τον αριθμό των ανθρώπων που επηρεάζονται από τη σημαντική έλλειψη σε νερό (Engelman et al., 2000), ενώ μέχρι το 2050 αναμένεται περίπου το 75% του παγκόσμιου πληθυσμού να αντιμετωπίσει σοβαρές ελλείψεις πόσιμου νερού (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Προβλεπόμενη έλλειψη νερού παγκοσμίως έως το 2020 (National Academy of Sciences, 2004).

Σύμφωνα με στοιχεία, η κατανάλωση νερού διπλασιάζεται κάθε 20 χρόνια. Πολλοί έχουν προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα μετατραπεί στο πετρέλαιο του μέλλοντος καθιστώντας χώρες με πλεονάζοντα αποθέματα νερού τις πιο πλούσιες χώρες του

πλανήτη. Οι κυβερνήσεις σε όλο το κόσμο αντιλαμβάνονται τη κρίση που είναι προ των πυλών. Αναγνωρίζεται πλέον, ότι η μελλοντική ειρήνη και ευημερία είναι, αν όχι άμεσα, τουλάχιστον στενά, συνδεδεμένες με τη διαθεσιμότητα καθαρού, φρέσκου νερού και ότι οι μελλοντικοί πόλεμοι θα διεξαχθούν για το νερό. Δεν έχουν περάσει πολλά χρόνια από τότε που το Ισραήλ απείλησε με πόλεμο το Λίβανο για την εκτροπή του ποταμού Wazzani, του οποίου οι εκβολές καταλήγουν τελικά στη Θάλασσα της Γαλιλαίας (Miller, 2003).

Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η ανάπτυξη της Δυτικής Ευρώπης, η ευημερία και η κυριαρχία απειλήθηκαν από το γεγονός ότι ξεπεράστηκαν τα όρια των δυνατοτήτων των εδαφών να υποστηρίξουν τους ανθρώπους της. Η στασιμότητα και η κατάρρευση αποτράπηκαν όταν ο Fritz Haber εφηύρε μια χημική διαδικασία για τη παραγωγή λιπάσματος αμμωνίας. Ο κόσμος σήμερα μπορεί να βρίσκεται σε μια παρόμοια κρίσιμη καμπή. Ίσως να αποτελεί η τεχνολογία της αφαλάτωσης, αυτή την εφεύρεση, που θα αποσταθεροποιήσει την απειλή της έλλειψης νερού που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης (Miller, 2003).

## 1.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Εκτός από τη φυσική διαθεσιμότητα, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που καθορίζουν τη χρήση του νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ένας προφανής παράγοντας είναι το μέγεθος του πληθυσμού. Στενά συνδεδεμένοι είναι επίσης οι παράγοντες του τύπου της κοινότητας (γεωργικός, αστικός, βιομηχανικός), της υγείας και του επιπέδου ανάπτυξης της οικονομίας. Η τιμή της ετήσιας διαθεσιμότητας νερού των 1000 m<sup>3</sup> ανά κάτοικο αποτελεί το όριο κάτω από το οποίο δεν είναι δυνατόν να εγγυηθεί την ύπαρξη ενός αποδεκτού βιοτικού επιπέδου και της οικονομικής ανάπτυξης (Eltawil et al., 2009). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η διαθεσιμότητα του νερού σε σχεδόν όλες τις χώρες της Μεσογείου υπολογίζεται σε λιγότερο από 1000 m<sup>3</sup>/κάτοικο και σε μερικές περιορίζεται κάτω από 500 m<sup>3</sup>/κάτοικο (Tsiourtis, 2001). Ο πλούτος μιας κοινότητας επηρεάζει το τρόπο σίας και χρηματοδότησης απέναντι στην ανάπτυξη και την επεξεργασία του νερού καθώς επίσης και σε θέματα περιβάλλοντος. Η οικονομία και ο πλούτος επίσης επηρεάζουν τα επίπεδα τεχνολογίας που είναι διαθέσιμα σε μια κοινότητα. Το τοπικό κλίμα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο λόγω της επίδρασης στα ποσοστά εξάτμισης. Οι πολιτιστικές αξίες επίσης μπορούν να ασκήσουν σημαντική

επίδραση, όπως επίσης οι πολιτικές δράσεις και ενέργειες και το νομικό πλαίσιο σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο (Miller, 2003).

## 1.6 ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ – ΕΝΟΣ ΡΟΛΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Όλο και περισσότερο, η έλλειψη νερού θα απασχολεί τους ανθρώπινους πληθυσμούς. Η έλλειψη νερού εμποδίζει την οικονομική ανάπτυξη, επηρεάζει δυσμενώς την ανθρώπινη υγεία, οδηγεί σε περιβαλλοντική υποβάθμιση και ενθαρρύνει τη πολιτική αστάθεια. Περιοχές της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής ήδη δοκιμάζονται από τα αποτελέσματα της έλλειψης νερού. Διάφορες παράλληλες προσεγγίσεις θα είναι απαραίτητες ώστε να περιοριστούν τέτοιου είδους φαινόμενα συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού, εφαρμογή τεχνολογιών και πολιτικών ώστε να ενθαρρύνουν τη συντήρηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού, επιβράδυνση της πληθυσμιακής αύξησης και χρήση μη παραδοσιακών πηγών γλυκού νερού, όπως το νερό της θάλασσας (Miller, 2003).

Πολλοί επιστήμονες, με τη προοπτική της ανάπτυξης ενός παγκόσμιου σχεδίου ανεφοδιασμού και παροχής νερού σημειώνουν ότι ο πρακτικότερος τρόπος αύξησης της παροχής ανανεώσιμου νερού είναι η κατασκευή νέων φραγμάτων και δεξαμενών. Αν και αναγνωρίζουν το ρόλο της αφαλάτωσης στη παροχή φρέσκου νερού, προβλέπουν ότι θα περιοριστεί μόνο για αστική χρήση και μόνο στα ενεργειακά πλούσια έθνη, εξαιτίας του υψηλού κόστους, ασκώντας μια δευτερεύουσα επίδραση στη παγκόσμια παροχή νερού. Σήμερα, λειτουργούν περίπου 12.000 εργοστάσια αφαλάτωσης σε ολόκληρο το πλανήτη και κυρίως σε πλούσια ενεργειακά κράτη. Για παράδειγμα, το Κουβέιτ αντλεί σχεδόν το σύνολο των απαιτήσεων σε γλυκό νερό από μονάδες αφαλάτωσης. Δυστυχώς πολλά αναπτυσσόμενα κράτη δεν κατέχουν τον ανάλογο πλούτο ή τους ενεργειακούς πόρους που απαιτούνται για την εγκατάσταση και εκμετάλλευση μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης. Οι οικονομικές βελτιώσεις θα είναι απαραίτητες ώστε η λύση της αφαλάτωσης να είναι προσιτή σε πολλές μη πλουτοπαραγωγικές χώρες ή περιοχές και να καταστεί μέρος ενός βιώσιμου παγκόσμιου σχεδίου ώστε το νερό να είναι προσβάσιμο σε όλους (Miller, 2003).

Αδιαμφισβήτητο είναι το γεγονός ότι σε εθνικό, περιφερειακό και πόσο μάλλον σε τοπικό επίπεδο, η αφαλάτωση μπορεί να ασκήσει ιδιαίτερα σημαντική επίδραση, να περιορίσει ακόμα και να λύσει προβλήματα που σχετίζονται με την έλλειψη νερού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η πρώτη γραπτή περιγραφή της αφαλάτωσης εντοπίζεται στην Έξοδο της Παλαιάς Διαθήκης (1500 π.Χ.). Σύμφωνα με τη Βίβλο, η πρώτη εφαρμογή μιας τεχνικής αφαλάτωσης εκτελέστηκε από το Μωυσή στη τοποθεσία Meï Mara στην έρημο Sour του Σινά, όταν τοποθετώντας ένα κομμάτι ξύλου σε πικρό (μη πόσιμο) νερό το μετέτρεψε σε πόσιμο παρέχοντας νερό στο διψασμένο λαό του (Delyannis, 2003).

Ιστορικά η ιδέα της αφαλάτωσης ανάγεται στους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς που την εφάρμοζαν κατά τον 4<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα διά εξατμίσεως του θαλασσινού νερού. Η ανάγκη για τη παραγωγή φρέσκου νερού εμφανίστηκε τη περίοδο που ταξίδια μεγάλων αποστάσεων ήταν εφικτά. Η Εικόνα 5 παρουσιάζει τη τεχνική που εφάρμοζαν οι ναυτικοί εν πλω, οι οποίοι έβραζαν θαλασσινό νερό και τοποθετούσαν μεγάλα σφουγγάρια στο στόμιο του δοχείου για να απορροφήσουν τον ατμό (Kalogirou, 2005). Επίσης, στοιχεία για τη χρήση της αφαλάτωσης παρέχονται από περιγραφές του Αριστοτέλη και του Ιπποκράτη, τον 4<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. (National Academy of Sciences, 2004). Επίσης περιγραφή της αφαλάτωσης αναφέρεται ως πραγματεία, από Άραβα συγγραφέα του 8<sup>ου</sup> αιώνα, που βασίζεται στην απόσταξη του νερού (Kalogirou, 2005).



**Εικόνα 5. Ναυτικοί παράγουν φρέσκο νερό με απόσταξη θαλασσινού νερού (Kalogirou, 2005).**

Δέκα αιώνες αργότερα, με την ανάπτυξη των ατμοκίνητων πλοίων (της ατμοπλοΐας) η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος στη χρήση των ατμομηχανών κατέστησε επιτακτική ανάγκη την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ώστε να μη προκαλείται ταχύτατη διάβρωση αυτών (Κασάπη, 2009). Η πρώτη επιστημονική έκθεση περιγραφής μιας τεχνολογίας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού δημοσιεύθηκε από τον Thomas Jefferson το 1791. Οι οδηγίες σχετικά με τη λειτουργία της τεχνολογίας ανακοινώθηκαν στους πίνακες κάθε σκάφους, για τη χρήση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου Πολέμου, εκατοντάδες φορητές συσκευές αφαλάτωσης χρησιμοποιήθηκαν από τα στρατεύματα (Einav et al., 2002).

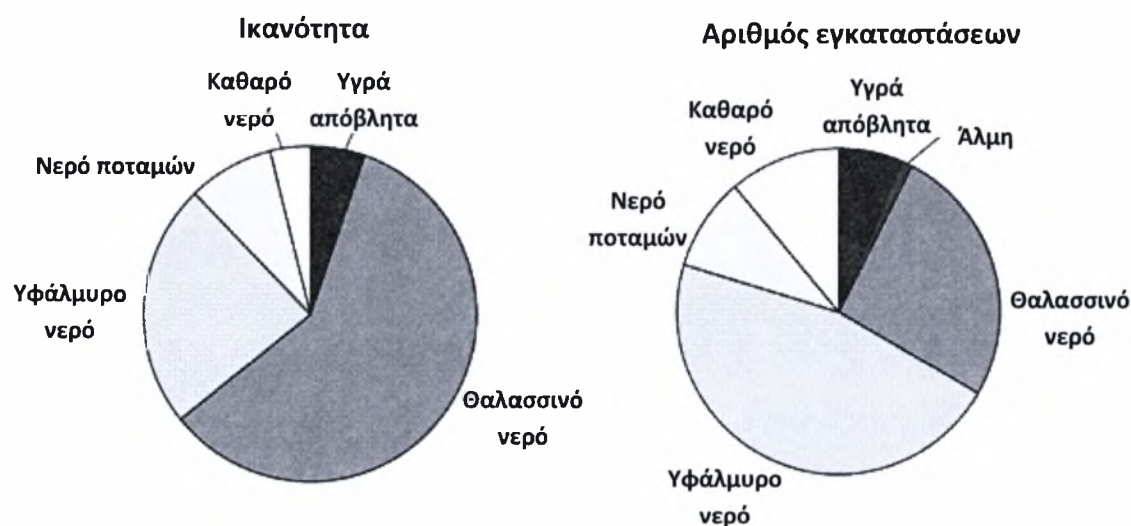
Στις αρχές της δεκαετίας του '50, τα ερευνητικά προγράμματα είχαν ως στόχο την ελάττωση της τιμής της διαδικασίας αφαλάτωσης (Einav et al., 2002). Την ίδια περίοδο είχε ξεκινήσει από ευρωπαϊούς κατασκευαστές, με πολύ μικρή εφαρμογή, η διαδικασία αφαλάτωσης ύδατος. Μόλις το 1952 και 1960 ξεκίνησε η έρευνα για την ανάπτυξη της μεθόδου της αφαλάτωσης από τα Ηνωμένα Έθνη. Κατά το τέλος του 1960 η έρευνα των τεχνολογιών αφαλάτωσης είχε δείξει σημαντική πρόοδο (Κασάπη, 2009), στην οποία συνέβαλε και η ενσωμάτωση των διαδικασιών μεμβρανών οδηγώντας σε σημαντική βελτίωση της τεχνικής (Einav et al., 2002).

## 2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Σε γενικές γραμμές, η αφαλάτωση μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία της αφαίρεσης των διαλυμένων στερεών - πρωτίστως διαλυμένων αλάτων και άλλων ανόργανων ουσιών - από το νερό (θαλασσινό ή υφάλμυρο). Σκοπός της αφαλάτωσης είναι η παραγωγή πόσιμου νερού μειώνοντας τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στα επιτρεπτά επίπεδα ορίων. Η αφαλάτωση εμφανίζεται φυσικά στον υδρολογικό κύκλο καθώς το νερό εξατμίζεται από τους ωκεανούς και τις λίμνες σχηματίζοντας τα σύννεφα και την βροχόπτωση, απαλλαγμένα από τα διαλυμένα στερεά (National Academy of Sciences, 2004).

Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης και η εφαρμογή τους έχουν αυξηθεί ουσιαστικά τα τελευταία πενήντα έτη. Μέχρι το 1953, υπήρξαν περίπου 225 χερσαίες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης παγκοσμίως, με μια συνολική ικανότητα περίπου 27 εκατομμύριων γαλονιών ανά ημέρα (million gallons per day, mgd). Η πρόοδος στις τεχνολογίες αφαλάτωσης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60, συμπεριλαμβανομένης της

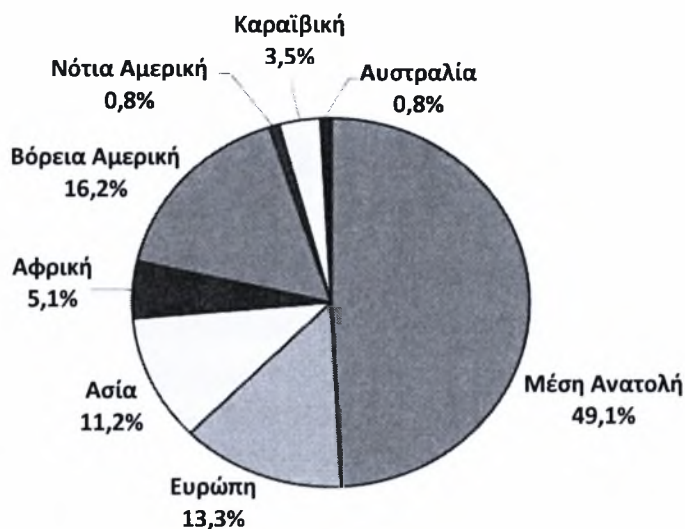
ανάπτυξης της αντίστροφης όσμωσης (Reverse Osmosis, RO), που οδήγησε σε σημαντικές μειώσεις του κόστους των διαδικασιών αφαλάτωσης, διευκόλυνε την ευρύτερη χρήση της. Μέχρι το 2002, υπήρξαν περισσότερες από 15.000 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που είχαν μια μέση ικανότητα των 0,026 mgd (100 m<sup>3</sup>/d) ή μεγαλύτερες. Παγκοσμίως, η συνδυασμένη ικανότητα αυτών των εργοστασίων έχει υπολογιστεί και προσδιοριστεί στα 8.560 mgd, αν και η πραγματική παραγωγή μπορεί να είναι χαμηλότερη δεδομένου ότι μερικές από αυτές τις εγκαταστάσεις δεν λειτουργούν σε πλήρη απόδοση (National Academy of Sciences, 2004). Ωστόσο, υπολογίζεται ότι πάνω από 75 εκατομμύρια άνθρωποι έχουν πρόσβαση σε φρέσκο νερό που παράγεται μέσω της αφαλάτωσης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού (Khawaji et al., 2008). Μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν σε περίπου 125 χώρες, με τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού της θάλασσας να συμβάλλουν κατά 59%, ενώ οι μονάδες αφαλάτωσης υφάλμυρων υδάτων κατά 24%, στη συνολική παγκόσμια ικανότητα αφαλάτωσης, (Γράφημα 1) (National Academy of Sciences, 2004).



**Γράφημα 1.** Απεικόνιση των μεριδίων της συνολικής ικανότητας αφαλάτωσης και του συνολικού αριθμού των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο (National Academy of Sciences, 2004).

Αν και μερικές ξηρές περιοχές εξαρτώνται άμεσα από την αφαλάτωση για την παροχή νερού, έως 1999, οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνέβαλαν λιγότερο από 0,2% στη παγκόσμια κατανάλωση νερού. Περισσότερες από 1.200 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης λειτουργούν στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, οι οποίες κατέχουν το 16% της συνολικής παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης, ενώ η Μέση Ανατολή διαδραματίζει

κυρίαρχο ρόλο έχοντας το υψηλότερο μερίδιο, 49,1% της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης (Γράφημα 2) (National Academy of Sciences, 2004). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία 7 χρόνια παρατηρείται μια μέση ετήσια ποσοστιαία αύξηση της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης της τάξης του 12% (Khawaji et al., 2008)



Γράφημα 2. Διάγραμμα που παρουνσάζει τη κατανομή της παγκόσμιας ικανότητας των μονάδων αφαλάτωσης ανά περιοχή (National Academy of Sciences, 2004).

### 2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Πολλές διαφορετικές τεχνολογίες αφαλάτωσης υπάρχουν για το διαχωρισμό των διαλυμένων αλάτων από το νερό, και η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας εξαρτάται από διάφορους τοπικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας του νερού τροφοδοσίας, την προοριζόμενη χρήση του παραγόμενου νερού, το μέγεθος της εγκατάστασης, τις κύριες δαπάνες, τα ενεργειακά κόστη και τη δυνατότητα για ενεργειακή ανάκτηση.

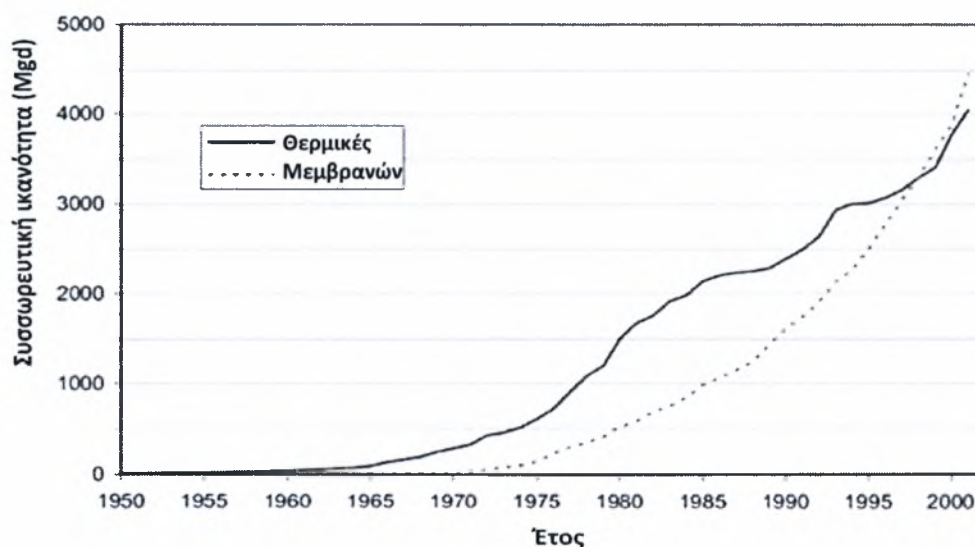
Υπάρχουν δυο βασικές προσεγγίσεις στο διαχωρισμό του νερού από το άλας. Η πρώτη προσέγγιση περιλαμβάνει τη χρήση θερμικών μέσων για να πραγματοποιηθεί μια αλλαγή της φάσης του νερού ώστε να επιτευχθεί ο διαχωρισμός της νέας φάσης από το άλας. Οι διεργασίες απόσταξης ήταν οι πρώτες διαδικασίες αφαλάτωσης που εφαρμόστηκαν σε μεγάλη εμπορική κλίμακα και αποτελούν μεγάλη μερίδα της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης (Miller, 2003).

Η δεύτερη προσέγγιση για την αφαλάτωση είναι ο διαχωρισμός των συστατικών με μεμβράνη. Οι δυο κύριες διαδικασίες αυτού του τύπου είναι η αντίστροφη όσμωση



(RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED). Στην αντίστροφη όσμωση το νερό διέρχεται μέσω της μεμβράνης, η οποία είναι μη διαπερατή στα διαλυμένα στοιχεία, που επιτυγχάνεται με την άσκηση πίεσης. Στην ηλεκτροδιάλυση τα ιόντα μετακινούνται μέσω ειδικά επιλεγμένων ανιονικών και κατιονικών μεμβρανών καθώς εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Και οι δυο αυτές διαδικασίες είναι εμπορικά επιτυχείς σε μεγάλη κλίμακα (Miller, 2003; Tsiourtis, 2001).

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση των διαδικασιών αφαλάτωσης αποτελεί μια βασική δομή και σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί το κανόνα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των τεχνολογιών αφαλάτωσης και εξαρτώνται τόσο από τη βασική λειτουργία της εκάστοτε τεχνολογίας όσο και από την υποκειμενική κρίση του εκάστοτε συγγραφέα. Η ταξινόμηση που περιγράφεται παραπάνω βασίζεται στο γεγονός της ύπαρξης ή μη αλλαγής φάσης κατά την επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας και περιλαμβάνει μόνο εκείνες τις τεχνολογίες που παρουσιάζουν ευρύτερη εμπορική εφαρμογή.



**Γράφημα 3. Συνολική ικανότητα των μονάδων αφαλάτωσης παγκοσμίως βάσει του τύπου της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας (National Academy of Sciences, 2004).**

Οι θερμικές τεχνολογίες θερμαίνουν το νερό της θάλασσας ή το υφάλμυρο νερό για το σχηματισμό υδρατμού, ο οποίος έπειτα συμπυκνώνεται σε φρέσκο νερό (Tsiourtis, 2001). Οι μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτρέψουν επιλεκτικά ή να απαγορεύσουν τη μετάβαση των ιόντων, επιτρέποντας την αφαλάτωση του νερού. Αν και οι θερμικές τεχνολογίες υπερέφεραν από τη δεκαετία του '50 μέχρι πρόσφατα, οι διαδικασίες μεμβρανών, σήμερα, καταλαμβάνουν περίπου ίσο μερίδιο με τις θερμικές

διαδικασίες στη παγκόσμια ικανότητα αφαλάτωσης (Γράφημα 3) (National Academy of Sciences, 2004).

#### i. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Περίπου το 50% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ικανότητας αφαλάτωσης χρησιμοποιεί μια θερμική διαδικασία απόσταξης για να παράγει φρέσκο νερό από το νερό της θάλασσας. Οι θερμικές διαδικασίες είναι οι κύριες τεχνολογίες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σε όλη τη Μέση Ανατολή επειδή αυτές μπορούν να παράγουν νερό υψηλής καθαρότητας (χαμηλής συγκέντρωσης ολικών διαλυμένων στερεών, TDS) από το νερό της θάλασσας και λόγω των χαμηλότερων τιμών καυσίμων στην περιοχή. Οι πρώτες τρεις θερμικές διαδικασίες αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία των θερμικών τεχνολογιών αφαλάτωσης που βρίσκονται σε λειτουργία σήμερα (National Academy of Sciences, 2004).

- **Η πολυβάθμια εκρηκτική απόσταξη ή εξαέρωση (Multi-Stage Flash Distillation, MSF)** χρησιμοποιεί μια σειρά δοχείων, κάθε ένα με διαδοχικά χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση, για να εξατμιστεί γρήγορα (ή «αστραπιαία») το νερό από όλη τη μάζα του διαλύματος τροφοδοσίας. Έπειτα, ο ατμός συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτήρα, ο οποίος χρησιμοποιεί ως μέσο ψύξης το εισερχόμενο διάλυμα τροφοδοσίας για λόγους οικονομίας κατανάλωσης ενέργειας (National Academy of Sciences, 2004; Kalogirou, 2005).
- **Η πολυβάθμια απόσταξη (Multi-Stage Flash Distillation/Evaporation, MED/MEE)** όπου ο ατμός που παράγεται σε ένα δοχείο συμπυκνώνεται στη συνέχεια στο επόμενο δοχείο, όπου η θερμοκρασία και η πίεση είναι χαμηλότερη, παρέχοντας πρόσθετη θερμότητα για την εξάτμιση. Η τεχνολογία MED χρησιμοποιείται με αυξανόμενη συχνότητα όταν η θερμική εξάτμιση προτιμάται ή απαιτείται, λόγω της πιο μικρής κατανάλωσης ισχύος έναντι της MSF (National Academy of Sciences, 2004; Kalogirou, 2005).
- **Η συμπίεση ατμού (Vapor Compression, VC)** είναι μια εξατμιστική διαδικασία όπου ατμός από τον εξατμιστήρα συμπιέζεται μηχανικά και η θερμότητά του χρησιμοποιείται για την επόμενη εξάτμιση του νερό τροφοδοσίας (National Academy of Sciences, 2004).

- **Η ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation, SD)** χρησιμοποιεί την ενέργεια του ήλιου για να εξατμίσει το νερό από ένα δοχείο χαμηλού βάθους, το οποίο στη συνέχεια συμπυκνώνεται στη διάφανη επιφάνεια, συνήθως από γυαλί, πάνω από το δοχείο και λόγω της κλίσης της ρέει προς τη βάση όπου και συλλέγεται (National Academy of Sciences, 2004).

## ii. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

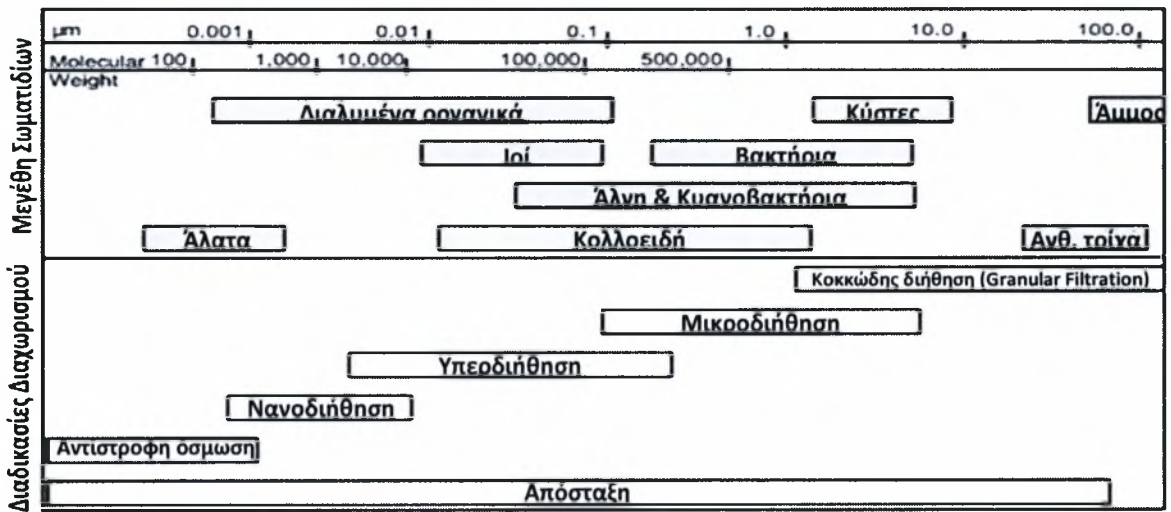
Οι ημιδιαπερατές μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτρέψουν ή να απαγορεύσουν επιλεκτικά τη μετάβαση των ιόντων, επιτρέποντας την αφαλάτωση του νερού. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών, έχουν γίνει σημαντικές προόδους στον τομέα των τεχνολογιών μεμβρανών. Στην πραγματικότητα, η αντίστροφη όσμωση (RO) αντιπροσωπεύει τον ταχύτερο αναπτυσσόμενο τομέα της αγοράς αφαλάτωσης, και από το 2002, η RO αντιπροσώπευε το 43,5% της ικανότητας όλων των εργοστασίων αφαλάτωσης με δυναμικότητα μεγαλύτερη από το 0,026 mgd (εκατομμύρια γαλόνια ανά ημέρα), περίπου ίση με τη θερμική ικανότητα αφαλάτωσης (National Academy of Sciences, 2004).

Οι τεχνολογίες μεμβρανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αφαλάτωση και του θαλασσινού και του υφάλμυρου νερού, αλλά χρησιμοποιούνται συχνότερα για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού επειδή η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών (αλατότητα) του νερού τροφοδοσίας. Έναντι των θερμικών διαδικασιών απόσταξης, οι τεχνολογίες μεμβρανών έχουν γενικά τις χαμηλότερες κύριες δαπάνες και απαιτούν λιγότερη ενέργεια, που συμβάλλει στις χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες. Εντούτοις, η αλατότητα του παραγόμενου νερού τείνει να είναι υψηλότερη για την αφαλάτωση μεμβρανών (<500 ppm TDS) από αυτή που παράγεται από τις θερμικές τεχνολογίες ( $\leq 25$  ppm TDS) (National Academy of Sciences, 2004; USBR, 2003).

Οι τεχνολογίες μεμβρανών για την αφαλάτωση και τον καθαρισμό νερού λειτουργούν με δύο κινητήριες δυνάμεις: πίεση ή ηλεκτρικό πεδίο. Οι ακόλουθες τεχνολογίες μεμβρανών που λειτουργούν με την άσκηση πίεσης είναι διαθέσιμες στο εμπόριο για την επεξεργασία πόσιμου νερού χαμηλής ποιότητας για τη παραγωγή υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού, για μια ποικιλία εφαρμογών (Εικόνα 6) (National Academy of Sciences, 2004).

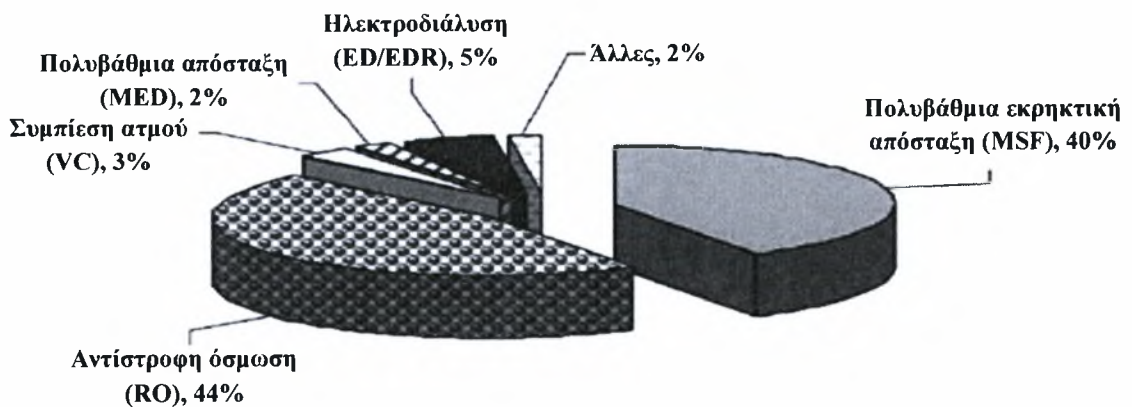
- **Οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης (Reverse Osmosis, RO)** χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση αλάτων από υφάλμυρο και θαλασσινό νερό. Οι μεμβράνες RO έχουν αποδειχθεί επίσης για να αφαιρέσουν σημαντικές ποσότητες μερικών μοριακών οργανικών μολυσματικών παραγόντων από το νερό. Οι RO λειτουργούν υπό διαφορά πίεσης μεταξύ 5 - 8 MPa (National Academy of Sciences, 2004).
- **Οι μεμβράνες νανοδιήθησης (Nanofiltration, NF)** χρησιμοποιούνται για τη αποσκλήρυνση του νερού, αφαίρεση οργανικών ουσιών και θεικών αλάτων και μερική αφαίρεση ιών. Οι μεμβράνες νανοδιήθησης λειτουργούν κάτω από διαφορά πίεσης μεταξύ 0.5 - 1.5 MPa (National Academy of Sciences, 2004; Fritzmann et al., 2007).
- **Οι μεμβράνες υπερδιήθησης (Ultrafiltration, UF)** χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση του χρώματος, διαλυμένων οργανικών ενώσεων μεγάλου βάρους, βακτηριδίων, και μερικών ιών. Οι μεμβράνες υπερδιήθησης επίσης λειτουργούν υπό διαφορά πίεσης μεταξύ 50 - 500 kPa (National Academy of Sciences, 2004; Fritzmann et al., 2007).
- **Οι μεμβράνες μικροδιήθησης (Microfiltration, MF)** χρησιμοποιούνται για τη μείωση της θολότητας και την αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών και βακτηριδίων. Οι μεμβράνες μικροδιήθησης λειτουργούν υπό διαφορά πίεσης μεταξύ 50 - 500 kPa (National Academy of Sciences, 2004; Fritzmann et al., 2007).
- **Η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)** είναι μια άλλη διαδικασία μεμβρανών που είναι σημαντική στην αφαλάτωση, η οποία λειτουργεί κάτω από μια διαφορετική κινητήρια δύναμη, εφαρμόζοντας ένα ηλεκτρικό πεδίο ώστε να απομακρυνθούν τα ιόντα προς τις αντίθετες κατευθύνσεις. Η ηλεκτροδιάλυση είναι ο διαχωρισμός των ιόντων του νερού μέσω της εφαρμογής ηλεκτρικού πεδίου, χρησιμοποιώντας κατιονικές και ανιονικές μεμβράνες. Η **αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis Reversal, EDR)** λειτουργεί σύμφωνα με τις ίδιες αρχές, αλλά περιοδικά αντιστρέφει την πολικότητα του συστήματος για να περιορίσει το σχηματισμό επιστρώματος στην επιφάνεια των μεμβρανών (National Academy of Sciences, 2004).





Εικόνα 6. Εύρος μεγέθους απομάκρυνσης σωματιδίων ανάλογα με το τύπο μεμβρανών βάσει του φάσματος διήθησης (National Academy of Sciences, 2004).

Περίπου το 80% της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης παρέχεται από δυο τεχνολογίες: τη πολυβάθμια εκρηκτική απόσταξη (MSF) και την αντίστροφη όσμωση (RO). Οι διαδικασίες MSF και RO καταλαμβάνουν το 44% και 42% της παγκόσμιας ικανότητας, αντίστοιχα (Eltawil et al., 2009; Garcia-Rodriguez, 2003). Η διαδικασία MSF αντιπροσωπεύει πάνω από το 93% της παραγωγής των θερμικών διαδικασιών, ενώ η RO αντιπροσωπεύει πάνω από το 88% της παραγωγής των διαδικασιών μεμβρανών (He and Yan, 2009; Garcia-Rodriguez, 2003). Η παγκόσμια εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης ανά κατηγορία διαδικασίας, για το έτος 2002, εμφανίζεται στο Γράφημα 4.



Γράφημα 4. Παγκόσμια εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης ανά διεργασία. (Eltawil et al., 2009)

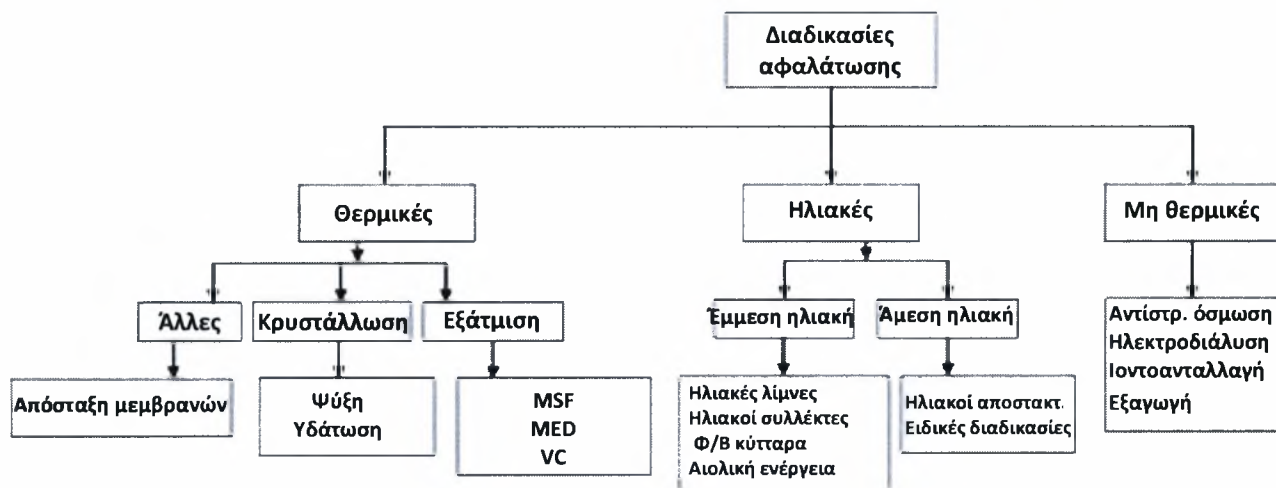
Οι μονάδες MSF χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη Μέση Ανατολή (ιδιαίτερα στη Σαουδική Αραβία, το Κουβέιτ και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα) και καταλαμβάνουν πάνω από το 40% της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009). Η διαδικασία απόσταξης MSF έχει λάβει ευρεία αποδοχή, ειδικά στη Μέση Ανατολή. Αυτό οφείλεται εξαιτίας των παρακάτω (He and Yan, 2009):

- 1) χρήση χαμηλής θερμοκρασίας πηγή θερμότητας
- 2) απλή κατασκευή του εξοπλισμού
- 3) εκτενής εμπειρία στη λειτουργία
- 4) αξιοπιστία διαδικασίας
- 5) ευκολία εργασιών συντήρησης.

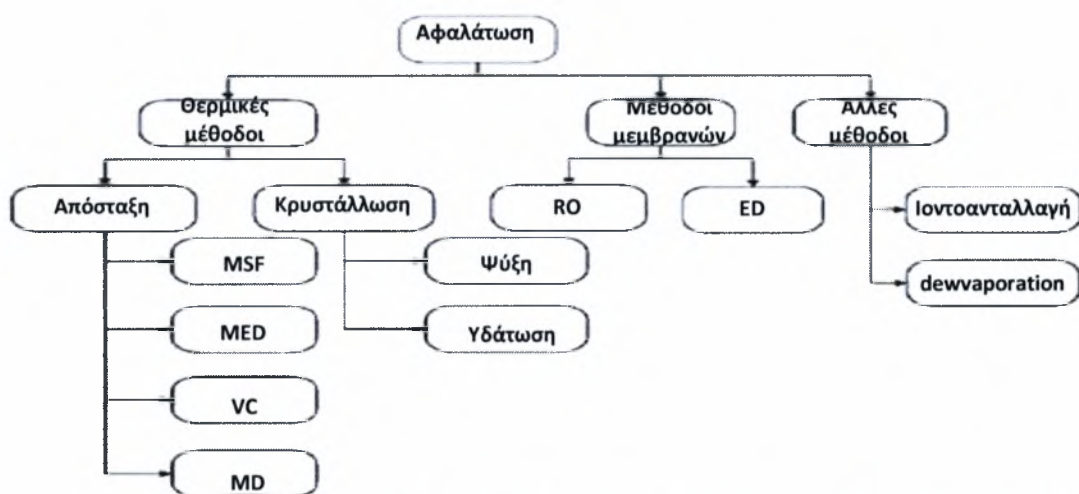
Τέλος, υπάρχουν και άλλες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για την αφαλάτωση, ωστόσο δεν ήταν εμπορικά επιτυχείς μέχρι σήμερα. Η κατηγορία αυτή, ποικίλλει πολύ περισσότερο από τις δυο προηγούμενες (θερμικές και μεμβρανών) και περιλαμβάνει διαδικασίες όπως η **απόσταξη μεμβρανών (membrane distillation, MD)**, **ιοντοανταλλαγή (ion exchange)**, **ψύξη (freezing)**, **κρυσταλλοποίηση με υδρικό αιθάνιο (methane hydrate crystallization)**, **ύγρανση-αφύγρανση (humidification-dehumidification, HD)**, **υγρή – υγρή εξαγωγή (liquid – liquid extraction)**, κ.α. (Khawaji et al., 2008).

Λαμβάνοντας υπόψη την ωριμότητα των θερμικών διαδικασιών και των διαδικασιών μεμβρανών, οι παραπάνω τεχνικές αφαλάτωσης είναι σχεδόν εξ 'ορισμού χημικές διαδικασίες ή υβριδικοί συνδυασμοί χημικών και άλλων διαδικασιών. Η περιορισμένη εμπορικότητα τους οφείλεται στο γεγονός ότι είτε είναι ιδιαίτερα δαπανηρές και επομένως οικονομικά ασύμφωρες για να εφαρμοστούν στη παραγωγή φρέσκου νερού ή βρίσκονται ακόμα υπό πειραματικό στάδιο (Miller, 2003).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η κατηγοριοποίηση των τεχνολογιών αφαλάτωσης ποικίλλει σημαντικά. Στην Εικόνα 7 και 8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ταξινόμησης των διαδικασιών αφαλάτωσης σύμφωνα με τους Eltawil et al (2009) και He and Yan (2009), αντίστοιχα.



Εικόνα 7. Κατηγορίες διαδικασιών αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009).

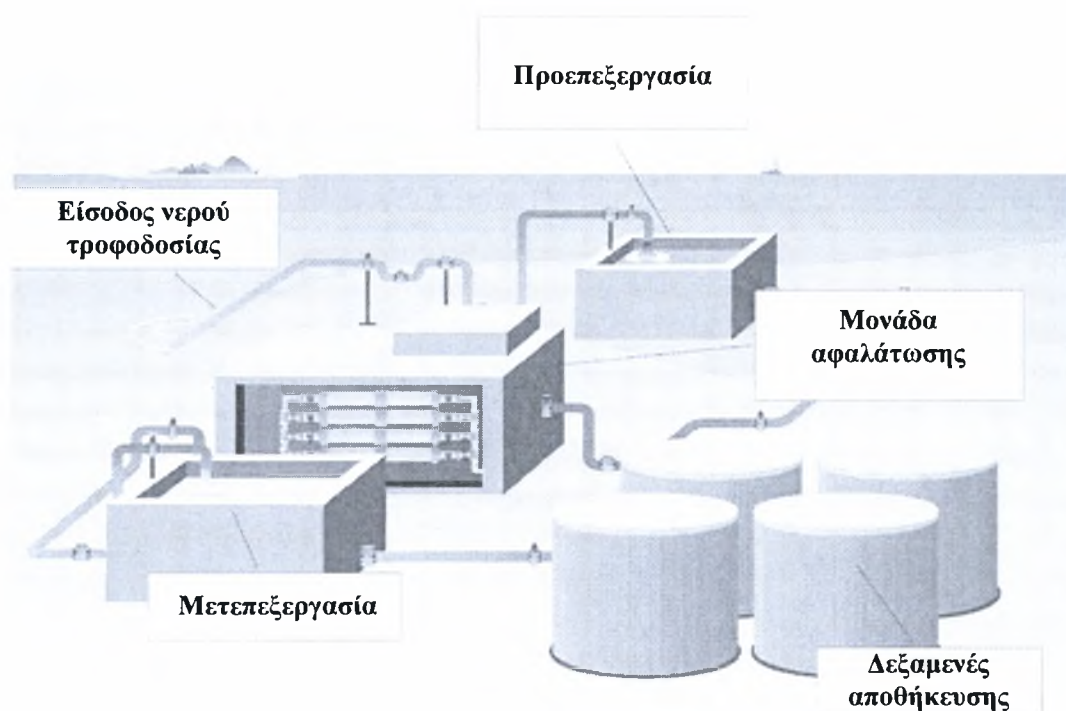


Εικόνα 8. Απεικόνιση των κύριων διαδικασιών αφαλάτωσης (He and Yan, 2009).

## 2.4 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Αν και έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες και μέθοδοι αφαλάτωσης, η βασική διαδικασία και τα επί μέρους στάδια όλου του συστήματος είναι κοινά. Σε ένα τυπικό σύστημα αφαλάτωσης, όπως απεικονίζεται γραφικά στην Εικόνα 9, το νερό τροφοδοσίας (θαλασσίνο ή υφάλμυρο) συλλέγεται μέσω ενός δικτύου αγωγών, ενώ συγχρόνως αφαιρούνται σωματίδια προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση της διαδικασίας και της ποιότητας του νερού τροφοδοσίας (είσοδος). Στη συνέχεια το ρεύμα νερού τροφοδοσίας διέρχεται ενός σταδίου που προηγείται της αφαλάτωσης, όπου φιλτράρεται ή και επεξεργάζεται χημικά αναλόγως τη μέθοδο αφαλάτωσης

(προεπεξεργασία). Στη συνέχεια, οδηγείται στο κύριο μέρος της εγκατάστασης, δηλαδή στο σύστημα αφαλάτωσης (αφαλάτωσης). Το σύστημα αφαλάτωσης διαχωρίζει το ρεύμα εισόδου σε ρεύμα παραγόμενου νερού και άλμης. Το παραγόμενο νερό επεξεργάζεται εκ νέου, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ποιότητας, προκειμένου να είναι κατάλληλο προς πόση (μετεπεξεργασία). Τέλος, το παραγόμενο νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές, σε περίπτωση που η ανάγκη εκμετάλλευσης του δεν είναι άμεση (αποθήκευση) (Σπύρου, 2009).



Εικόνα 9. Αναπαράσταση ενός τυπικού συστήματος αφαλάτωσης ( Σπύρου, 2009).

## 2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Παρακάτω, περιγράφονται οι κυριότερες μέθοδοι αφαλάτωσης που παρουσιάζουν σημαντική εφαρμογή και αυξημένη εμπορικότητα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, δυο είναι οι βασικές κατηγορίες των τεχνολογιών αφαλάτωσης: οι *θερμικές διαδικασίες*, που περιλαμβάνουν τη πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (MSF), πολυβάθμια εξάτμιση (MED/MEE), τη συμπίεση ατμού (VC) και την ηλιακή απόσταξη (SD), και οι *διαδικασίες μεμβρανών* που περιλαμβάνουν την αντίστροφη όσμωση (RO) και την ηλεκτροδιάλυση (ED).



### 2.5.1 Πολυβάθμια Εκρηκτική Εξάτμιση (Multi-Stage Flash Evaporation, MSF)

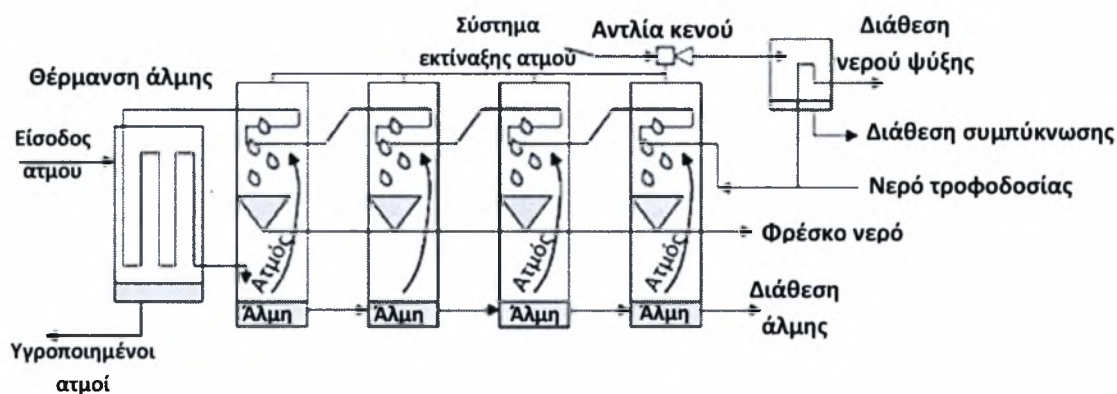
Η πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (MSF) είναι μια διαδικασία (θερμικής) απόσταξης που περιλαμβάνει την εξάτμιση και συμπύκνωση του νερού. Τα βήματα εξάτμισης και συμπύκνωσης σε μια μονάδα MSF συνδυάζονται έτσι ώστε η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης να ανακτάται και να επαναχρησιμοποιείται μέσω της προθέρμανσης του εισερχόμενου νερού. Για τη μεγιστοποίηση της ανάκτησης νερού, κάθε στάδιο μιας μονάδας MSF λειτουργεί με διαδοχικά χαμηλότερη πίεση. Ένα βασικό χαρακτηριστικό σχεδιασμού των συστημάτων MSF είναι ότι η εξάτμιση πραγματοποιείται από τη συνολική μάζα του διαλύματος. Αυτό περιορίζει τα προβλήματα που σχετίζονται με το σχηματισμό επιστρώματος στους αγωγούς μεταφοράς θερμότητας (Miller, 2003; Kalogirou, 2005).

Η διαδικασία της MSF περιλαμβάνει τη θέρμανση μιας ποσότητας θαλασσινού νερού σε μια ορισμένη πίεση, σε θερμοκρασία ελάχιστα χαμηλότερη από αυτή του σημείου βρασμού του και στη συνέχεια τη μεταφορά της ποσότητας αυτής σε ένα θάλαμο ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από αυτή του διαλύματος, με αποτέλεσμα τον εκρηκτικό, απότομο βρασμό του διαλύματος (Kalogirou, 2005).

Σε όλη τη μάζα του υγρού σχηματίζονται στιγμιαία φυσαλίδες και το νερό εξατμίζεται έως ότου για τη πίεση που επικρατεί, επέλθει ισορροπία του διαλύματος με τους σχηματιζόμενους ατμούς. Ο εκρηκτικός αυτός βρασμός με το σχηματισμό ατμών έχει σαν αποτέλεσμα τη ψύξη του διαλύματος.

Η ψύξη αυτή είναι σημαντική π.χ. για την εξάτμιση περίπου του 7% μιας ποσότητας θαλασσινού νερού αρχικής θερμοκρασίας 100 °C, η θερμοκρασία του οποίου φθάνει μετά την εξάτμιση περίπου τους 60 °C.

Για να είναι δυνατή μια νέα εκρηκτική εξάτμιση στην επόμενη βαθμίδα πρέπει η πίεση στο θάλαμο της να είναι χαμηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί στο σημείο βρασμού του διαλύματος στην προηγούμενη βαθμίδα (Ali et al., 1999; Sommariva et al., 1997; Aly and Marwan, 1995). Η Εικόνα 10, παρουσιάζει τη δομή μιας μονάδας MSF τεσσάρων βαθμίδων.



Εικόνα 10. Σχηματική δομή της MSF διαδικασίας αφαλάτωσης (Miller, 2003).

Οι MSF χρησιμοποιούνται ευρέως στη Μέση Ανατολή (κυρίως στη Σαουδική Αραβία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και το Κουβέιτ) και καταλαμβάνουν πάνω από το 40% της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης (Miller, 2003).

Στη περιοχή του Περσικού Κόλπου, μεγάλες μονάδες MSF συχνά συνδυάζονται με εγκαταστάσεις στροβίλων ατμού ή αέρα για τη παραγωγή ενέργειας, για τη καλύτερη απόδοση της ενέργειας των ορυκτών καυσίμων. Ο ατμός που παράγεται σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση από τα καύσιμα, διοχετεύεται μέσω ενός στροβίλου για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μια αναλογία απόδοσης που χρησιμοποιείται συχνά για τις θερμικές διαδικασίες αφαλάτωσης είναι αναλογία παραγωγής, που ορίζεται ως η μάζα του παραγόμενου νερού ανά μάζα θερμαινόμενου ατμού. Μια τυπική αναλογία παραγωγής για μονάδες MSF είναι 8. Μια μονάδα 20 σταδίων έχει τυπική απαίτηση της τάξης των 290 kJ/kg παραγωγής (Miller, 2003).

Από την εμφάνιση της μεθόδου στα τέλη της δεκαετίας του '50 έχουν επέλθει σημαντικές βελτιώσεις στο σχεδιασμό, κατασκευή και τη λειτουργία της διεργασίας, με αποτέλεσμα να αποτελεί την πλέον αξιόπιστη θερμική κατεργασία αφαλάτωσης. Η μέθοδος επέλυσε σοβαρά προβλήματα που σχετίζονται με το σχηματισμό επιστρωμάτων και επικαθίσεων αλάτων. Ο λόγος που αποτρέπεται η δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων επικαθίσεων είναι ότι οι ατμοί εξέρχονται από το θερμό διάλυμα σε δοχείο εξάτμισης και τα τυχόν σχηματιζόμενα άλατα παραμένουν στο διάλυμα. Επίσης, παρατηρείται σημαντική μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για τη παραγωγή νερού (Αυλωνίτης, 2006).

Παρά τις υψηλές ενεργειακές ανάγκες, τα επακριβή επίπεδα πίεσης που απαιτούνται στα διαφορετικά στάδια και ο μεταβατικός χρόνος που απαιτείται για να καθιερωθεί η κανονική τρέχουσα λειτουργία του συστήματος (Kalogiou, 2005), η MSF είναι μια από τις συνηθέστερα εφαρμοζόμενες τεχνολογίες αφαλάτωσης. Η MSF είναι μια αξιόπιστη τεχνολογία ικανή για πολύ μεγάλες ικανότητες παραγωγής (National Academy of Sciences, 2004).

### 2.5.2 Πολυβάθμια Εξάτμιση ή Απόσταξη (Multi-Effect Evaporation/Distillation, MEE/MED)

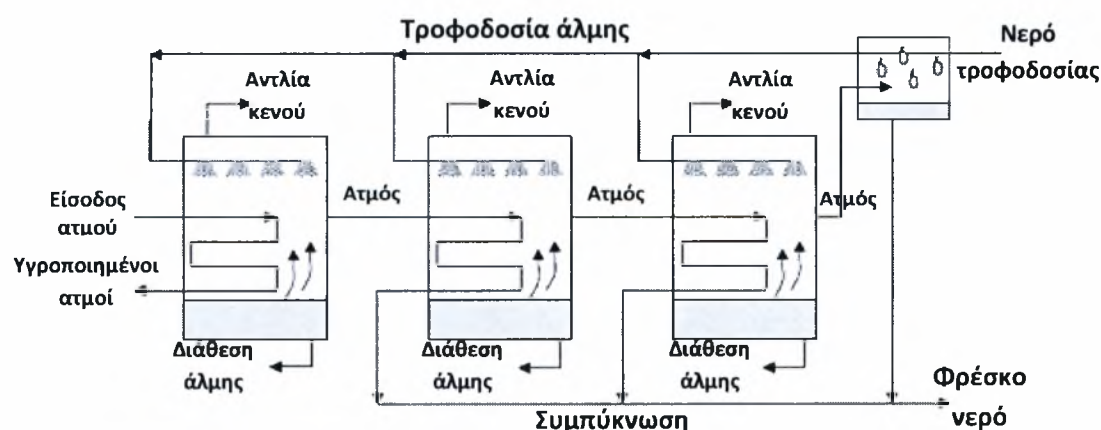
Πολυβάθμια εξάτμιση ή απόσταξη (MEE/MED) είναι μια διαδικασία απόσταξης σχετική με την MSF (Εικόνα 11). Η τεχνολογία της πολυβάθμιας εξάτμισης αναπτύχθηκε και οι πρώτες μονάδες εγκαταστάθηκαν τη δεκαετία του '50. Ωστόσο, λόγω εμφάνισης προβλημάτων από τη δημιουργία επιστρώματος στους αγωγούς μεταφοράς θερμότητας, εγκαταλείφθηκαν και αντικαταστάθηκαν με MSF (Al-Shammri and Safar, 1999). Η τεχνολογία της πολυβάθμιας εξάτμισης ακόμα δεν χρησιμοποιείται ευρέως, αλλά έχει κεντρίσει τη προσοχή λόγω της καλύτερης θερμικής απόδοσης συγκριτικά με την MSF (Ophir and Lokiee, 2005). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η κατανάλωση ενέργειας ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού περιορίζεται κάτω από  $1,8 \text{ kWh/m}^3$ , όταν η αντίστοιχη αναλογία για την διαδικασία MSF είναι  $4 \text{ kWh/m}^3$  (Khawaji et al., 2008). Οι νεότερες εγκαταστάσεις σχεδιάζονται με στόχο το περιορισμό των προβλημάτων σχηματισμού επιστρώματος (Miller, 2003).

Η διαδικασία MED, που ανταγωνίζεται τη διαδικασία MSF, παρουσιάζει σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως (He and Yan, 2009):

- 1) Η ταυτόχρονη μεταφορά της λανθάνουσας θερμότητας και στις δύο πλευρές της επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας ενός οριζόντιου τύπου εξατμιστήρα σωλήνων διατηρώντας μια σταθερή θερμοκρασία.
- 2) Η χρησιμοποίηση των ανέξοδων σωλήνων αργιλίου επιτρέπει μια μεγάλη περιοχή μεταφοράς θερμότητας, μειώνοντας κατά συνέπεια τα θερμικά φορτία καθώς επίσης και τις ταχύτητες ατμού και ως εκ τούτου συμβάλλει στην υψηλότερη ποιότητα του αποστάγματος.
- 3) Επιτυγχάνεται ευελιξία στις εγκαταστάσεις MED καθώς έχουν μικρές χρονικές περιόδους έναρξης με περιορισμένη χρονική απώλεια για τη θέρμανση τους.

Η βασική αρχή λειτουργίας της πολυβάθμιας εξάτμισης είναι ότι μειώνοντας τη πίεση λειτουργίας κάθε σταδίου μειώνεται και το σημείο βρασμού του νερού τροφοδοσίας (Αυλωνίτης, 2006). Στις μονάδες πολυβάθμιας εξάτμισης, ο ατμός από κάθε στάδιο συμπυκνώνεται στο επόμενο διαδοχικό στάδιο παρέχοντας τη θερμότητα του για περαιτέρω εξάτμιση (Miller, 2003). Έτσι, οι παραγόμενοι ατμοί του πρώτου αποστακτήρα ψύχονται στο δεύτερο και η θερμότητα που παράγεται χρησιμοποιείται για το βρασμό του νερού τροφοδοσίας στο δεύτερο αποστακτήρα. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και στις επόμενες βαθμίδες. Δηλαδή, ο δεύτερος αποστακτήρας λειτουργεί ως συμπυκνωτής για το πρώτο. Η παραγόμενη άλμη από τη πρώτη βαθμίδα που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία αποτελεί το νερό τροφοδοσίας για τη δεύτερη βαθμίδα. Έτσι δεν απαιτείται η θέρμανση του νερού τροφοδοσίας μέχρι το σημείο ζέσεως του, καθώς το σημείο ζέσεως σε κάθε επομένη βαθμίδα είναι μικρότερο της προηγούμενης (Αυλωνίτης, 2006).

Για να αυξηθεί η απόδοση, κάθε στάδιο λειτουργεί σε διαδοχικά χαμηλότερη πίεση (Miller, 2003). Η πίεση σε όλους τους αποστακτήρες είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής και συνεπώς απαιτούνται αντλίες κενού (Αυλωνίτης, 2006). Αυτό επιτρέπει τη μονάδα να διαμορφώνεται για μια υψηλής θερμοκρασίας (>90 °C) ή χαμηλής θερμοκρασίας (<90 °C) λειτουργία. Η θερμοκρασία βρασμού στις μονάδες χαμηλής θερμοκρασίας μπορεί να είναι πολύ χαμηλή της τάξης των 55 °C, βοηθώντας έτσι στη μείωση της διάβρωσης και στο περιορισμό δημιουργίας επιστρώματος (Miller, 2003).



Εικόνα 11. Σχηματική δομή της MEE/MED διαδικασίας αφαλάτωσης (Miller, 2003).

Η διαδικασία της πολυβάθμιας εξάτμισης μπορεί να έχει ποικίλες διαφορετικές διαμορφώσεις ανάλογα με το τύπο της επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας και τη

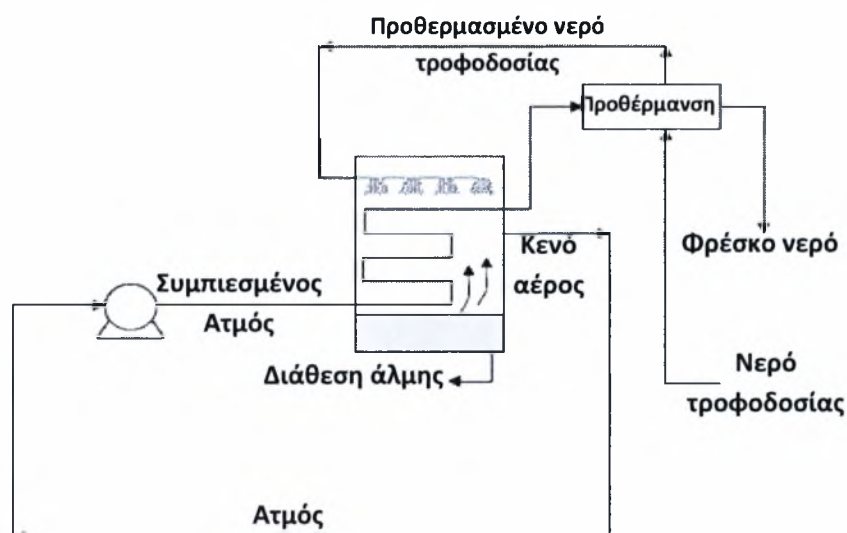


κατεύθυνση ροής της άλμης σε σύγκριση με τη ροή ατμού. Τα συστήματα πολυβάθμιας εξάτμισης μπορούν να συνδυαστούν με εισαγωγή θερμότητας μεταξύ των σταδίων από μια ποικιλία πηγών, όπως για παράδειγμα η μηχανική ή θερμική συμπίεση ατμού (VC) (Miller, 2003).

### 2.5.3 Συμπίεση Ατμού (Vapor Compression, VC)

Οι διαδικασίες συμπίεσης ατμού στηρίζονται στη λειτουργία υπό χαμηλή πίεση για δημιουργία εξάτμισης. Η θερμότητα για την εξάτμιση παρέχεται από τη συμπίεση του ατμού, είτε μέσω ενός μηχανικού συμπιεστή (μηχανική συμπίεση ατμού, Mechanical Vapor Compression, MVC) Εικόνα 12, ή ενός συστήματος εκτίναξης ατμού (θερμική συμπίεση ατμού, Thermal Vapor Compression, TVC) (Miller, 2003; Bueros, 2000).

Οι διαδικασίες συμπίεσης ατμού είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις. Οι μονάδες μηχανικής συμπίεσης έχουν τυπικό εύρος παραγωγής που κυμαίνεται μέχρι τα 3.000 m<sup>3</sup>/ημέρα ενώ οι μονάδες θερμικής συμπίεσης κυμαίνονται μέχρι 20.000 m<sup>3</sup>/ημέρα. Τα συστήματα μηχανικής συμπίεσης ατμού διαθέτουν ένα στάδιο μόνο ενώ αντίθετα τα συστήματα θερμικής συμπίεσης ατμού πολλά. Αυτή η διαφορά προκύπτει από το γεγονός ότι τα συστήματα μηχανικής συμπίεσης έχουν την ίδια ειδική ενεργειακή κατανάλωση (ενέργεια/μονάδα παραγόμενου νερού) ανεξάρτητα από τον αριθμό των σταδίων, ενώ η θερμική αποδοτικότητα των συστημάτων θερμικής συμπίεσης ατμού αυξάνεται με τη προσθήκη πρόσθετων σταδίων (Miller, 2003; Mandani et al., 2000).



Εικόνα 12. Σχηματική δομή της διαδικασίας αφαλάτωσης της μηχανικής συμπίεσης ατμού ενός σταδίου (Miller, 2003).

Τα κύρια προβλήματα που συνδέονται με τη διαδικασία μηχανικής συμπίεσης ατμού είναι:

- i. ο ατμός που περιέχει την άλμη μεταφέρεται στο συμπιεστή και οδηγεί στη διάβρωση των εξαρτημάτων των συμπιεστών.
- ii. υπάρχουν περιορισμοί που σχετίζονται με το μέγεθος της εγκατάστασης λόγω των περιορισμένων ικανοτήτων των συμπιεστών (Kalogirou, 2005).

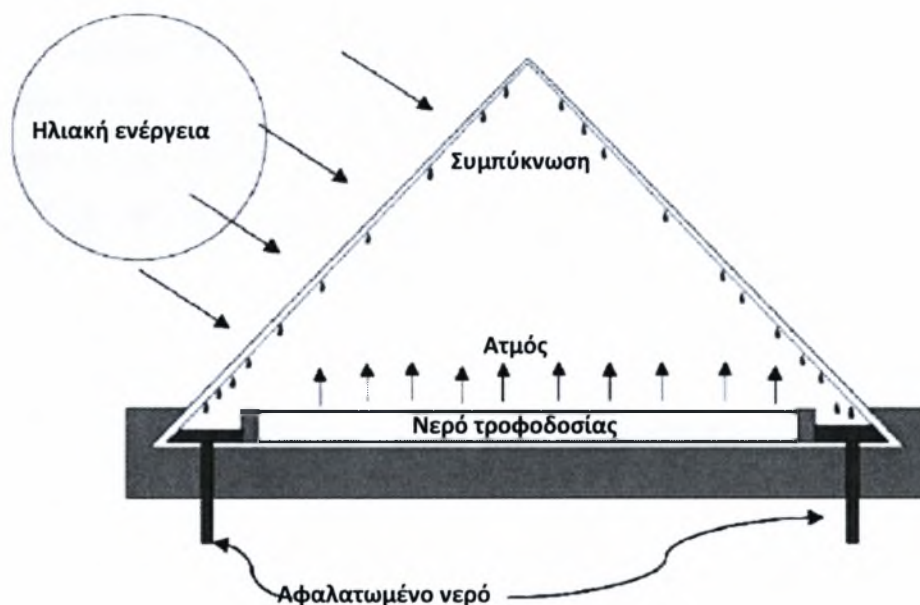
Παρ' όλα αυτά, η συμπίεση ατμού αποτελεί μια μέθοδο απλή, αξιόπιστη και αποδοτική η οποία απαιτεί μόνο ισχύ. Με τη χρήση μεγάλης ισχύος συμπιεστή, η διαδικασία γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 70°C, όποτε αποφεύγεται ως ένα βαθμό η διάβρωση. Χρησιμοποιείται για μεσαίου μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης, ενώ έχει χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους (Khawaji et al., 2008).

#### **2.5.4 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation, SD)**

Η μέθοδος αποτελεί τμήμα του υδρολογικού κύκλου και χρησιμοποιεί άμεσα την ηλιακή ενέργεια στους ηλιακούς αποστακτήρες (solar stills), όπου το νερό εξατμίζεται και οι παραγόμενοι ατμοί συμπυκνώνονται, προς παραγωγή αφαλατωμένου νερού (Kalogirou, 2005).

Οι ηλιακοί αποστακτήρες (Εικόνα 13) αποτελούνται από το δίσκο (pan), του οποίου η επιφάνεια παρουσιάζει υψηλό δείκτη απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, και από ένα διάφανο κάλυμμα το οποίο επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει το νερό τροφοδοσίας στο εσωτερικό του δίσκου. Οι παραγόμενοι υδρατμοί ανέρχονται και συμπυκνώνονται στη διάφανη επιφάνεια, η οποία είναι συνήθως κατασκευασμένη από γυαλί, και ρέουν προς τη βάση όπου και συλλέγονται (Αυλωνίτης, 2006; Kalogirou, 2005).

Η βάση του δίσκου καλύπτεται από φωτοαπορροφητικό υλικό συνήθως μαύρου χρώματος. Το ύψος της στάθμης του νερού τροφοδοσίας στο εσωτερικό του δίσκου μπορεί να ποικίλλει και επιδρά στη διάρκεια και τη ταχύτητα της εξάτμισης (Αυλωνίτης, 2006; Kalogirou, 2005).



**Εικόνα 13.** Απεικόνιση του βασικού σχεδιασμού μιας μονάδας ηλιακής απόσταξης (Eltawil et al., 2009).

Σύμφωνα με τον Αυλωνίτης (2006), η θερμοκρασία εντός του αποστακτήρα μεταβάλλεται, με την υψηλότερη θερμοκρασία να επιτυγχάνεται στο νερό τροφοδοσίας και η χαμηλότερη στα διάφανα τοιχώματα, αλλά δεν υπερβαίνει ποτέ τους 80 °C, οπότε δεν προκαλείται βρασμός. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τοιχωμάτων και του νερού τροφοδοσίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή αφαλατωμένου νερού. Η παραγωγή νερού μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση μεθόδων που αυξάνουν την προσπίπτουσα ακτινοβολία, όπως είναι οι καθρέπτες, φακοί κλπ. Το κόστος λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων είναι μηδενικό. Ωστόσο, το κόστος επένδυσης ανά παραγόμενο κυβικό μέτρο νερού είναι σημαντικό, εξαιτίας της μικρής παραγωγής ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει η εγκατάσταση των ηλιακών αποστακτήρων να γίνεται σε περιοχές όπου η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι σημαντική καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η απόδοση των ηλιακών αποστακτήρων είναι μικρότερη του 50%. Υπάρχουν βέβαια τρόποι αύξησης της απόδοσης των ηλιακών αποστακτήρων χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενα συστήματα ηλιακής τροχιάς, έτσι ώστε οι ακτίνες του Ήλιου να προσπίπτουν πάντα κάθετα στον συλλέκτη. Στη περίπτωση αυτή όμως το κόστος αυξάνεται σημαντικά. Ένας απλός τρόπος αύξησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι η χρήση επικλινών συλλεκτών με γωνία κλίσης αντίστοιχη στο γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης της μονάδας.

Ωστόσο, τα περιορισμένα κόστη για τη κατασκευή και τη λειτουργία τους, καθιστούν τη συγκεκριμένη τεχνολογία συμφέρουσα για ορισμένες περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια.

Η απόδοση ενός ηλιακού αποστακτήρα καθορίζεται από δυο παράγοντες (Αυλωνίτης, 2006):

- Από τις μετεωρολογικές συνθήκες, ημερήσια ηλιοφάνεια, ένταση ακτινοβολίας, ταχύτητα ανέμων κλπ.
- Από το σχεδιασμό και κατασκευή του ηλιακού αποστακτήρα.

Όσον αφορά το δεύτερο παράγοντα, υπάρχουν ορισμένοι παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όπως:

- i. Είδος των υλικών κατασκευής
- ii. Σχήμα και θέση των ηλιακών αποστακτήρων
- iii. Ύψος στάθμης του νερού τροφοδοσίας στο δίσκο.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι ηλιακοί αποστακτήρες παρουσιάζουν απόδοση μικρότερη από 50% (Eltawil et al., 2009). Σύμφωνα με τους Eltawil et al (2009), ένας γενικός εμπειροτεχνικός κανόνας προσδιορίζει ότι περίπου 1 m<sup>2</sup> εδάφους θα παράγει μόνο 4 L φρέσκου νερού ανά ημέρα (Buros, 2000). Για το λόγο αυτό, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται υλικά κατασκευής χαμηλού κόστους ώστε να ελαχιστοποιούνται οι κύριες δαπάνες. Ακόμα και έτσι, οι δαπάνες εγκατάστασης των ηλιακών αποστακτήρων τείνουν να είναι αρκετά υψηλότερες σε σχέση με άλλες μεθόδους. Επιπλέον, οι αποστακτήρες είναι τρωτοί σε ζημιές που σχετίζονται σε καιρικά φαινόμενα, απαιτούν μεγάλες εδαφικές εκτάσεις για την εγκατάστασή τους και έχουν χαμηλή παραγωγή. Διάφορες τροποποιήσεις στους αποστακτήρες με σκοπό την αύξηση της απόδοσης, όπως τα τροχιακά συστήματα που ακολουθούν τη πορεία του Ήλιου, έχουν αποδειχτεί ιδιαίτερα δαπανηρά ώστε να έχουν πρακτική εφαρμογή. Ωστόσο, οι αποστακτήρες ηλιο-τροχιακής λειτουργίας παρουσιάζουν ενεργειακή αύξηση της τάξης περίπου 16%. Η σημαντικότερη ενεργειακή απώλεια των ηλιακών αποστακτήρων είναι η χαμηλή ενέργεια ακτινοβολίας από την άλμη προς το κάλυμμα. Οι απώλειες θερμότητας προς το έδαφος είναι χαμηλές. Οι ερευνητικές δραστηριότητες στοχεύουν στην ενίσχυση της θέσης των ηλιακών αποστακτήρων, την αύξηση της

παραγωγικότητας νερού, της αξιοπιστίας και της μείωσης των αρχικών δαπανών (Eltawil et al., 2009).

Γενικά, οι ηλιακοί αποστακτήρες αντιπροσωπεύουν τη καλύτερη τεχνικά λύση για τη παροχή καθαρού νερού σε απομονωμένα χωριά ή οικισμούς χωρίς την ανάλογη εξάρτηση από την υψηλή τεχνολογία και εμπειρία.

### 2.5.5 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis, RO)

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία κατά την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος, συνήθως το νερό, μεταφέρεται και διαχωρίζεται μέσω της μεμβράνης, από τα συστατικά του διαλύματος, με την άσκηση πίεσης (Khawajia et al., 2008; Αυλωνίτης, 2006).

Πιο συγκεκριμένα, η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού, χρησιμοποιώντας μεμβράνες, που ανακτά το νερό από ένα αλατούχο διάλυμα εφαρμόζοντας πίεση σε ένα σημείο του διαλύματος μεγαλύτερη από την οσμωτική πίεση. Η διαδικασία της αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση απαιτεί τη λειτουργία δυο επιπλέον σταδίων, της προεπεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας και της μετεπεξεργασίας του παραγόμενου νερού (Miller, 2003; Khawaji et al., 2008).

Η άσκηση πίεσης στο αλατούχο διάλυμα αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται κατά τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης. Καθώς η οσμωτική πίεση, και ως εκ τούτου η πίεση που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός σχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση των αλάτων, η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης επιλέγεται συνήθως για υφάλμυρα νερά, όπου απαιτείται η εφαρμογή χαμηλών και μεσαίων πιέσεων. Η λειτουργική πίεση για συστήματα υφάλμυρων υδάτων κυμαίνεται από 15 – 25 bar και για συστήματα θαλασσινού νερού από 54 έως 80 bar (η οσμωτική πίεση θαλασσινού νερού είναι περίπου 25 bar) (Miller, 2003; Buos, 2000).

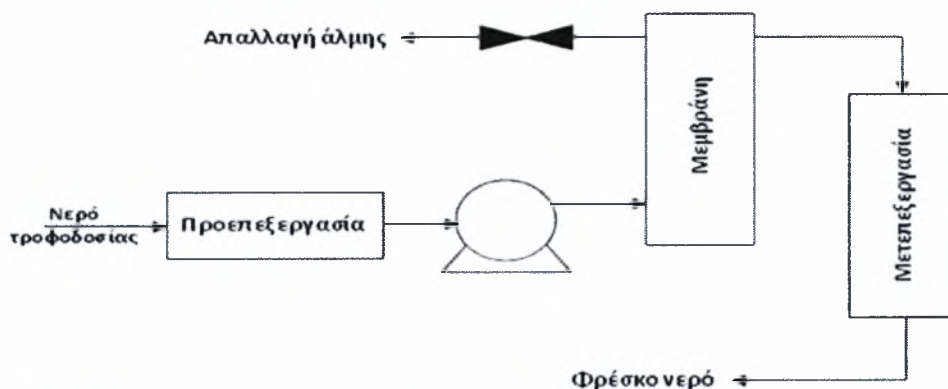
Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών απωλειών των συστημάτων αντίστροφης όσμωσης προέρχεται από την απελευθέρωση της πίεσης της συγκεντρωμένης άλμης, σήμερα τα μεγάλης κλίμακας συστήματα αντίστροφης όσμωσης είναι εξοπλισμένα με ειδικά συστήματα για την ανάκτηση της ενέργειας μηχανικής συμπίεσης από τον αγωγό διάθεσης της συγκεντρωμένης άλμης με αποδόσεις πάνω από 96% (Fritzmann et al., 2007). Σε αυτές τις εγκαταστάσεις, έχει



αναφερθεί ότι η απαιτούμενη ενέργεια για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού προσδιορίζεται σε 9kJ/kg παραγωγής. Αυτή η χαμηλή τιμή ωστόσο εμφανίζεται συχνότερα σε συστήματα επεξεργασίας υφάλμυρου νερού (Miller, 2003).

Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη όσμωση είναι ευαίσθητες στο pH, οξειδωτικά, σε ένα ευρύ φάσμα οργανικών ουσιών, άλγη, βακτηρίδια, διάφορα σωματίδια και άλλα θρομβωτικά. Επομένως, η προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας είναι μια σημαντική παράμετρος που επιδρά στο κόστος της αντίστροφης όσμωσης, καθώς όλο το νερό τροφοδοσίας, ακόμα και το 60% αυτού, που τελικά θα διατεθεί, πρέπει να προεπεξεργάζεται προτού φτάσει στις μεμβράνες (Miller, 2003).

Μια αντλία υψηλής πίεσης διοχετεύει συνεχώς το νερό τροφοδοσίας (αλατούχο διάλυμα) στην επιφάνεια της μεμβράνης, η οποία βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο υψηλής πίεσης. Το νερό τροφοδοσίας διαχωρίζεται σε δυο μέρη. Σε εκείνο που διέρχεται της μεμβράνης και αποτελεί το καθαρό παραγόμενο νερό με πολύ χαμηλή συγκέντρωση αλάτων, και στο απορριπτόμενο διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης, την άλμη (Αυλωνίτης, 2006). Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης.



Εικόνα 14. Διάγραμμα λειτουργίας της αντίστροφης όσμωσης (Miller, 2003).

### 2.5.5.1 Μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης

Μια ημιδιαπερατή μεμβράνη χωρίζει ένα διάλυμα από το καθαρό διαλυτή. Ο όρος ημιδιαπερατή μεμβράνη αναφέρεται σε εκείνες τις μεμβράνες οι οποίες επιτρέπουν τη διέλευση από αυτές κάποιων συστατικών, κυρίως του διαλυτή ενός διαλύματος, ενώ δεν επιτρέπουν στα συστατικά του διαλύματος να διέρχονται (Αυλωνίτης, 2006). Μια

μεμβράνη για να είναι κατάλληλη για τη διεργασία της αντίστροφης όσμωσης θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Αυλωνίτης, 2006; Fritzmann et al., 2007):

- Μεγάλη απόρριψη αλάτων με υψηλή διαπερατότητα διαλυτή.
- Ικανότητα σχηματισμού λεπτών διαχωριστικών στρωμάτων μεγάλης αντοχής.
- Ικανότητα κατασκευής με μεγάλη αναλογία επιφάνειας προς όγκο.
- Μεγάλο εύρος λειτουργικών παραμέτρων (πίεσης, θερμοκρασίας και είδος διαλύματος τροφοδοσίας).
- Μεγάλη διάρκεια ζωής. Η διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 3 έως 5 χρόνια και εξαρτάται από τη ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, το τρόπο χρήσης και καθαρισμού.
- Μεγάλη αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια.
- Ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος pH.
- Χαμηλό κόστος.

Οι μεμβράνες είναι πολύ λεπτά φύλλα τα οποία αποτελούν ένα φράγμα στην ελεύθερη ροή του διαλύματος τροφοδοσίας. Αποτελούνται από δυο διακεκριμένες στοιβάδες: μια λεπτότατη στοιβάδα, τον υμένα (skin), που είναι το δραστικό τμήμα της μεμβράνης για το διαχωρισμό του νερού από τα διαλυμένα ή αιωρούμενα συστατικά, και από ένα λεπτό στρώμα από πορώδες υλικό το οποίο είναι περατό τόσο στο νερό όσο και στα υπόλοιπα συστατικά που περιέχονται σε αυτό (Αλεξιάκης, 1993; Fritzmann et al., 2007).

Ο δραστικός υμένας είναι πολύ «ευαίσθητος», και το πάχος του είναι μικρότερο του 0.1 μm. Συνήθως αφήνει το νερό να διέρχεται ελεύθερα μέσω της επιφάνειας του, ενώ συγκρατεί το 90 με 98% των ανόργανων και 95 με 99% των οργανικών συστατικών και σχεδόν το 100% των λεπτών αιωρούμενων κολλοειδών, όπως βακτήρια, ιούς, κ.α. Ανάλογα με το τρόπο παρασκευής του και το πολυμερές υλικό που χρησιμοποιείται, διακρίνονται σε ομοιογενείς και ετερογενείς μεμβράνες. Η δομή της επιφάνειας του υμένα καθορίζει τη περατότητα και την εκλεκτικότητα της μεμβράνης, ενώ η εσωτερική δομή της όλης μεμβράνης αφορά στη μηχανική της αντοχή (Αλεξιάκης, 1993; Fritzmann et al., 2007). Ως προς την εσωτερική μορφή οι μεμβράνες διακρίνονται σε:

- Ομοιογενείς
- Ασύμμετρες



- Σύνθετες
- Ασύμμετρες με επιφανειακό λεπτό υμένα

Συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες μεμβράνες στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης για την αφαλάτωση νερού είναι οι ασύμμετρες και οι σύνθετες. Ο δραστικός υμένας στις ασύμμετρες μεμβράνες σχηματίζεται από οξική κυτταρίνη CA, πολυαμίδες PA και πολύ-ιμίδες PI. Αντίθετα, η δραστική στοιβάδα στις σύνθετες μεμβράνες παρασκευάζεται από μια μεγάλη ποικιλία πολυμερών ουσιών, όπως οξική κυτταρίνη CA, πολυσουφλόνες PS, φθοριούχο πολυβινυλιδένιο PVDF, κ.α. (Δεληγιάνη και Μπελεσιώτη, 1995; Fritzmman et al., 2007).

### 2.5.5.2 Στοιχεία μεμβρανών (membrane module)

Οι μεμβράνες παρασκευάζονται από οργανικές πολυμερείς ενώσεις και είναι πολύ λεπτές και εύθραυστες, για αυτό το λόγο μορφοποιούνται, με τη βοήθεια διαφόρων στηριγμάτων, σε μονάδες οι οποίες ονομάζονται στοιχεία μεμβρανών (modules) (Fritzmman et al., 2007; Μοχάμεντ, 2009). Κατά τη παρασκευή τους σχηματοποιούνται σε δυο μορφές:

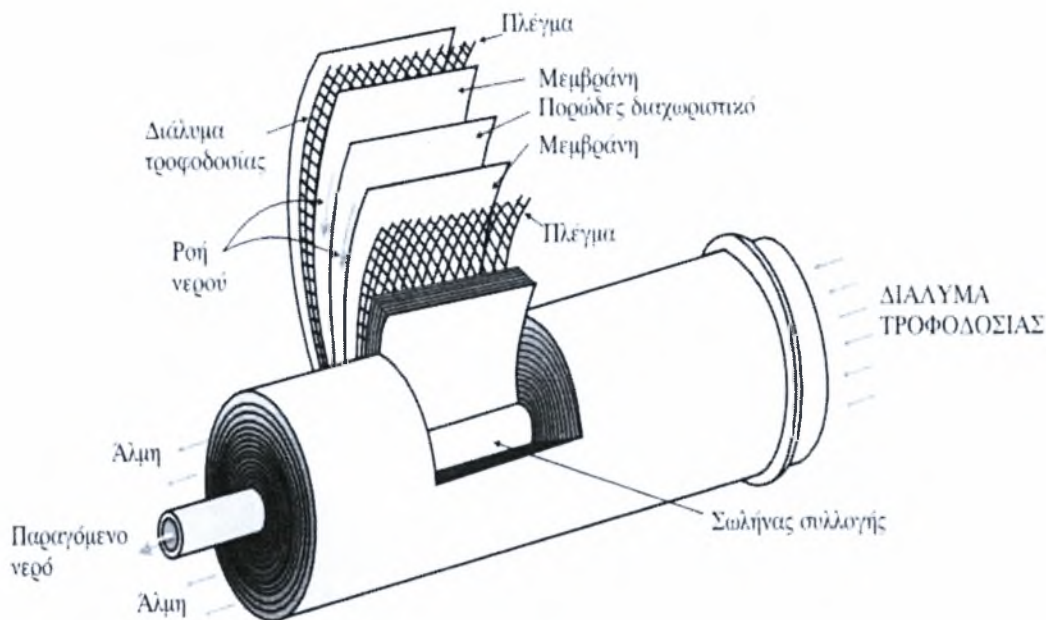
1. Σε επίπεδο σχήμα
2. Σε σωληνωτή μορφή με διάμετρο 85 mm έως 2.54 cm (1 inch) (Μοχάμεντ, 2009)

Από τη δεκαετία του '60 μέχρι σήμερα έχουν δοκιμασθεί διάφορες διαμορφώσεις των στοιχείων μεμβρανών με σκοπό τη μεγιστοποίηση της αναλογίας επιφάνειας προς όγκο ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική παραγωγή νερού (Αυλωνίτης, 2006). Οι τέσσερις τύποι των στοιχείων είναι:

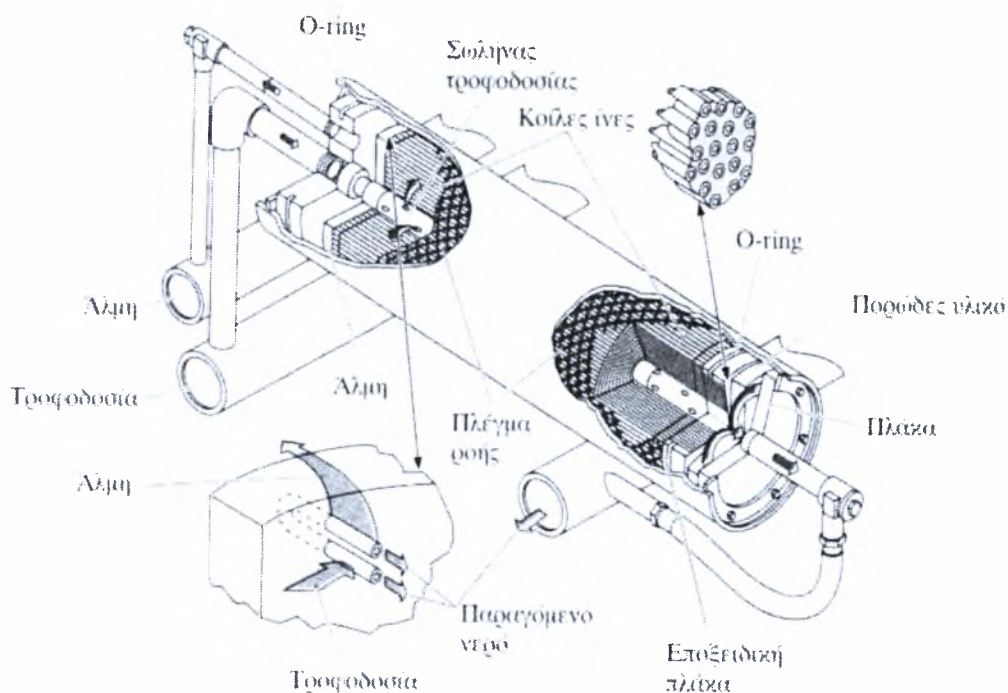
1. Σωληνοειδή στοιχεία μεμβρανών (tubular module)
2. Δισκοειδή στοιχεία μεμβρανών (plate and frame modules)
3. Στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης (spiral wound modules)
4. Στοιχεία μεμβρανών κοίλων ινών (hollow fiber modules)

Τα δυο τελευταία στοιχεία παρουσιάζουν την ευρύτερη εφαρμογή στην αντίστροφη όσμωση για τη παραγωγή καθαρού νερού από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό (Fritzmman

et al., 2007; Μοχάμεντ, 2009). Στην Εικόνα 15 και Εικόνα 16 απεικονίζονται τα στοιχεία μεμβρανών σπειροειδούς περιέλιξης και κοίλων ινών, αντίστοιχα.



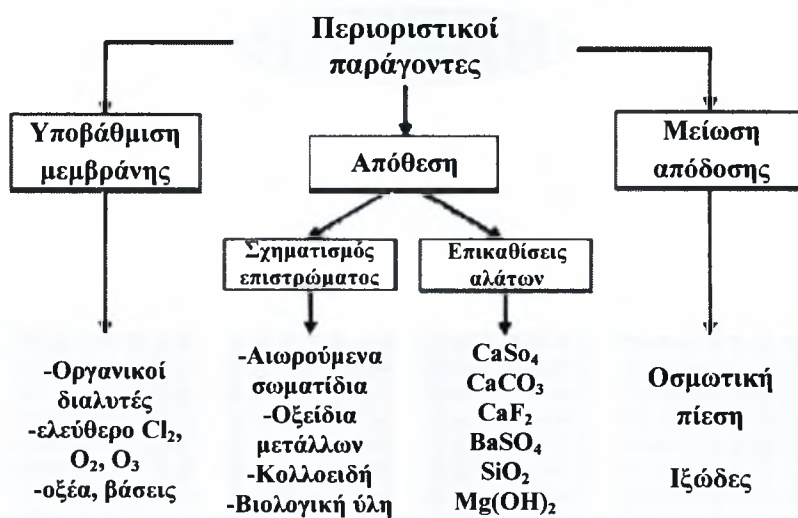
Εικόνα 15. Στοιχείο μεμβράνης σπειροειδούς περιέλιξης (Αυλωνίτης, 2006).



Εικόνα 16. Στοιχείο μεμβρανών κοίλων ινών (Αυλωνίτης, 2006).

### 2.5.5.3 Περιοριστικοί παράγοντες (σχηματισμός επιστρώματος, επικαθίσεις αλάτων, υποβάθμιση μεμβρανών)

Οι διαδικασίες αντίστροφης όσμωσης περιορίζονται εξαιτίας διαφόρων παραγόντων που οδηγούν στη μείωση της απόδοσης. Οι παράγοντες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει του μηχανισμού επίδρασης τους όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Περιοριστικοί παράγοντες της απόδοσης των μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης (Fritzmman et al., 2007).

#### I. Φαινόμενο πόλωση συγκέντρωσης (Concentration polarisation)

Συμφωνα με τους Fritzmman et al (2007) η απόρριψη των διαλυμένων σωματιδίων από τις μεμβράνες οδηγεί στη συσσώρευση μεγάλων συγκεντρώσεων αυτών των ουσιών στην επιφάνεια των μεμβρανών. Η πόλωση επιδρά αρνητικά στην απόδοση των συστημάτων αντίστροφης όσμωσης:

- Προκαλεί μείωση της ικανότητας απόρριψης εξαιτίας της υψηλότερης ροής αλάτων λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης.
- Η ροή του νερού μειώνεται εξαιτίας της υψηλότερης οσμωτικής πίεσης που σχετίζεται με την υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων στη πλευρά της επιφάνειας τροφοδοσίας της μεμβράνης.
- Τα σωματίδια συσσωρεύονται στη μεμβράνη δημιουργώντας ένα στρώμα στην επιφάνεια της.

## II. Υποβάθμιση μεμβρανών (Membrane deterioration)

Διάφορες χημικές ουσίες μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στο ενεργό στρώμα της μεμβράνης, προκαλώντας μη αναστρέψιμη φθορά που επηρεάζει άμεσα την ικανότητα απόρριψης, οδηγώντας στη καταστροφή της μεμβράνης. Οξειδωτικές χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της προεπεξεργασίας ή στο χημικό καθαρισμό αποτελούν τη κυριότερη ομάδα χημικών, υπεύθυνων για την υποβάθμιση των μεμβρανών (Fritzmann et al., 2007).

## III. Μηχανισμοί απόθεσης

Ανάλογα με τους μηχανισμούς διακρίνουμε τις επικαθίσεις αλάτων, που εμφανίζονται όταν ανόργανες ενώσεις επικάθονται στην επιφάνεια της μεμβράνης και το σχηματισμό επιστρώματος εξαιτίας της μεταφοράς σωματιδιακού υλικού στην επιφάνεια ή της ανάπτυξης βιολογικού επιστρώματος μόλυνσης (bio-fouling).

- **Επικαθίσεις αλάτων (scaling)**

Οι επικαθίσεις αλάτων προκαλούνται από τον υπέρκορεσμό των ανόργανων ενώσεων από τη πλευρά εισόδου της τροφοδοσίας της μεμβράνης. Τα άλατα δημιουργούν ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια της μεμβράνης, το οποίο εμποδίζει τη μεταφορά μάζας μέσω της μεμβράνης. Οι επικαθίσεις εμφανίζονται πάντα στην επιφάνεια των μεμβρανών λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης αλάτων που προκαλείται από τη πόλωση συγκέντρωσης (Fritzmann et al., 2007). Για το σχηματισμό επικαθίσεων αλάτων απαιτείται η εκπλήρωση τριών προϋποθέσεων (Αυλωνίτης, 2006):

- i. Τοπικός σχηματισμός υπέρκορου διαλύματος.
- ii. Σημεία έναρξης κρυστάλλωσης στη στερεή επιφάνεια.
- iii. Επαρκής χρόνος επαφής υπέρκορου διαλύματος και σημείων έναρξης κρυστάλλωσης.

Μερικές από τις σημαντικότερες ενώσεις επικαθίσεων είναι: ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), θειικό ασβέστιο ( $\text{CaSO}_4$ ), θειικό βάριο ( $\text{BaSO}_4$ ) και ενώσεις πυριτίου. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας πραγματοποιείται η σταθεροποίηση αυτών των ουσιών, με τη ρύθμιση του pH και τη χρήση αντικαθαλωτικών, ώστε να εμποδιστεί ο σχηματισμός επικαθίσεων (Fritzmann et al., 2007).

- **Σχηματισμός επιστρώματος (fouling)**

Ο σχηματισμός επιστρώματος στην επιφάνεια των μεμβρανών προκαλείται είτε από τη μεταφορά και διάχυση των αιωρούμενων ή κολλοειδών σωματιδίων ή από τη βιολογική ανάπτυξη, που ονομάζεται επίσης βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης (bio-fouling) (Fritzmann et al., 2007).

Η ύπαρξη επιστρώματος στην επιφάνεια της μεμβράνης λειτουργεί προσθετικά στη συνολική αντίσταση της μεταφοράς μάζας μέσω της μεμβράνης, μειώνοντας σημαντικά την απόδοση της. Επίσης, το επίστρωμα μεμβρανών αυξάνει την απώλεια πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης, μειώνοντας την ικανότητα απόρριψης. Η δημιουργία επιστρώματος λάσπης μεμβρανών είναι μια αναστρέψιμη διεργασία διότι δεν σχηματίζει συγκολλούμενο σώμα με την επιφάνεια των μεμβρανών και μπορεί να αφαιρεθεί με τη μηχανική προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας (Fritzmann et al., 2007; Αυλωνίτης, 2006).

Το βιολογικό επίστρωμα μόλυνσης προκαλείται όταν μικροοργανισμοί προσκολλώνται στη μεμβράνη, αναπτύσσονται και σχηματίζουν ένα λεπτό στρώμα, δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία των μονάδων αντίστροφης όσμωσης. Για την αποφυγή ανάπτυξης βιολογικού επιστρώματος εφαρμόζεται χλωρίωση στο στάδιο προεπεξεργασίας (Fritzmann et al., 2007; Αυλωνίτης, 2006).

Ο σχηματισμός επιστρώματος στην επιφάνεια των μεμβρανών δεν μπορεί να αποτραπεί ακόμα και με την εφαρμογή ενός βέλτιστου σταδίου προεπεξεργασίας. Για αυτό το λόγο, είναι απαραίτητος ο περιοδικός καθαρισμός των μεμβρανών. Η πλήρης αφαίρεση του επιστρώματος δεν είναι δυνατή, γι' αυτό ο καθαρισμός των μεμβρανών απαιτείται όταν (Fritzmann et al., 2007):

- η ροή μειώνεται κάτω από το 75% της λειτουργικής ροής
- η ροή εξόδου μειώνεται κατά 10%
- η πίεση του αγωγού τροφοδοσίας αυξάνεται κατά 15%
- η απόρριψη αλάτων μειώνεται κατά 10%, από τις αρχικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των πρώτων 48 ωρών της λειτουργίας της μονάδας.



#### 2.5.5.4 Στάδιο προεπεξεργασίας και μετεπεξεργασίας

##### 1. Προεπεξεργασία

Εξαιτίας της υψηλής ευαισθησίας των μεμβρανών των μονάδων αντίστροφης όσμωσης, απαιτείται υψηλής ποιότητας νερό τροφοδοσίας για να εξασφαλιστεί η σταθερή και μακροπρόθεσμη λειτουργία των μονάδων. Ένα ικανοποιητικό στάδιο προεπεξεργασίας παρέχει υψηλής ποιότητας νερό τροφοδοσίας ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις της ποιότητας του. Η προεπεξεργασία περιορίζει την ικανότητα σχηματισμού επιστρώματος, αυξάνει τη διάρκεια ζωής των μεμβρανών, διατηρεί το επίπεδο απόδοσης και ελαχιστοποιεί τις επικαθίσεις αλάτων στην επιφάνεια των μεμβρανών (Αυλωνίτης, 2006; Fritzmann et al., 2007).

Ένα αναξιόπιστο σύστημα προεπεξεργασίας έχει ως αποτέλεσμα το συχνό καθαρισμό των μεμβρανών, υψηλά ποσοστά σχηματισμού επιστρώματος, χαμηλό ποσοστό ανάκτησης, μειωμένη διάρκεια ζωής των μεμβρανών, υψηλότερη λειτουργική πίεση και χαμηλής ποιότητας παραγόμενο νερό. Όλα αυτά, έχουν άμεση επίδραση στο λειτουργικό κόστος, γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να δίνεται η ανάλογη σημασία στην επιλογή της κατάλληλης προεπεξεργασίας κατά το σχεδιασμό των μονάδων αφαλάτωσης (Fritzmann et al., 2007).

Ωστόσο, σήμερα, σε αρκετές μονάδες αφαλάτωσης το στάδιο της προεπεξεργασίας περιλαμβάνει τις μεμβράνες μικροδιήθησης (MF) και υπερδιήθησης (UF), οι οποίες αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ευρέως στο προσεχές μέλλον. Οι μεμβράνες μικροδιήθησης και υπερδιήθησης έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολύ δυσκολότερα ακατέργαστα υγρά από το θαλασσινό νερό, όπως στη επεξεργασία βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων για πολλά χρόνια. Και οι δυο τύποι μεμβρανών διαμορφώνουν ένα αδιαπέραστο εμπόδιο για αιωρούμενα σωματίδια, κolloειδή και μικροοργανισμούς. Ακόμα και με ισχυρές διακυμάνσεις της ποιότητας του ακατέργαστου νερού, οι μεμβράνες είναι σε θέση να λειτουργούν σε υψηλές και σταθερές ροές για μεγάλες χρονικές περιόδους (Pearce et al., 2004; Vial and Doussau, 2002).

Σύμφωνα με τους Avlonitis et al (2003), η κατάλληλη προεπεξεργασία θα μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα της διαδικασίας και τη διάρκεια ζωής των μεμβρανών με την ελαχιστοποίηση του σχηματισμού επιστρώματος και αποθέσεων,

εμφάνισης φθορών και υποβάθμισης των μεμβρανών. Το αποτέλεσμα της προεπεξεργασίας θα είναι η βελτιστοποίηση:

- της ροής του προϊόντος
- της απόρριψης αλάτων
- της αποκατάσταση προϊόντων
- του κόστους αντικατάστασης και λειτουργίας των μεμβρανών

Ο τύπος και το εύρος της προεπεξεργασίας που χρησιμοποιείται, κατά ένα μεγάλο μέρος, εξαρτάται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού τροφοδοσίας, το τύπο και τη διαμόρφωση των μεμβρανών, την αναλογία ανάκτησης και ποιότητα του παραγόμενου νερού (Khawajia et al., 2008; Vial et al., 2003). Ένα τυπικό σύστημα προεπεξεργασίας, περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- **Χλωρίωση**

Για τη πρόληψη δημιουργίας επιστρώματος μόλυνσης οργανικής κυρίως προέλευσης (biofouling) το νερό προς αφαλάτωσης χλωριώνεται, είτε με αέριο χλώριο είτε συνήθως με υποχλωριώδες νάτριο. Η χλωρίωση γίνεται με δοσομετρικές αντλίες, μέχρι τη συγκέντρωση των 10 ppm (Fritzmann et al., 2007; Αυλωνίτης, 2006).

- **Θρόμβωση – Κροκίδωση**

Για νερό τροφοδοσίας με υψηλό ποσοστό αιωρούμενων στερεών, προστίθενται χημικές ενώσεις ώστε τα διαλυμένα στερεά να απορροφηθούν σχηματίζοντας υδροξείδια και τα κολλοειδή να σχηματίσουν συσσωματώματα με σκοπό το διαχωρισμό τους από το νερό προς επεξεργασία σε επόμενο στάδιο. Για την αύξηση του μεγέθους των συσσωματωμάτων απαιτείται κατάλληλη επιλογή των χημικών ουσιών και της δόσης αυτών. Συνήθως χρησιμοποιούνται άλατα σιδήρου ή αλουμινίου ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) (Migliorini and Luzzo, 2004). Τα συσσωματώματα ή γενικώς τα αιωρούμενα στερεά διέρχονται από δυο είδη φίλτρων. Τα φίλτρα άμμου, που περιλαμβάνουν στρώσεις από αδρανή υλικά διαφορετικού μεγέθους και από τα φίλτρα φυσιγγίων όπου συγκρατούνται όλα τα αιωρούμενα στερεά μεγέθους μεγαλύτερου των 1-5  $\mu\text{m}$  (Αυλωνίτης, 2006).



- **Πολυστρωματικά φίλτρα**

Τα πολυστρωματικά φίλτρα περιέχουν αδρανή υλικά σε στρώματα και λειτουργούν ως φίλτρα. Περιλαμβάνουν στρώσεις διαφόρων μεγεθών από το πυθμένα προς τα πάνω από χαλαζιακά μικρά χαλίκια, αδρανή πυριτική άμμο και ανθρακίτη. Η πυκνότητα αυτών των υλικών είναι τέτοια ώστε να διατηρείται η διαστρωμάτωση τους ακόμα και σε ισχυρές αναδεύσεις λόγω μεγάλης ταχύτητας λόγω του διερχόμενου νερού τροφοδοσίας (Αυλωνίτης, 2006).

- **Αποχλωρίωση**

Η αποχλωρίωση πρέπει να εφαρμόζεται πριν από το στάδιο της αντίστροφης όσμωσης, καθώς το χλώριο μπορεί να καταστρέψει τις μεμβράνες (Fritzmann et al., 2007). Με δοσομετρική αντλία τροφοδοτείται το νερό με αναγωγικά μέσα κατάλληλης δοσολογίας ώστε να μην υπάρχει καμιά περίπτωση να παραμείνει χλώριο στο διάλυμα. Η αποχλωρίωση μπορεί να γίνει και με φίλτρα ενεργού άνθρακα. Τα φίλτρα αυτά συγκρατούν επίσης την αιωρούμενη οργανική υλη και τις χλωραμίνες (Αυλωνίτης, 2006). Η πρόκληση ζημίας, οφειλόμενη στο χλώριο εξαρτάται και από τη τιμή του pH. Η υποβάθμιση είναι γρηγορότερη σε αλκαλικό νερό, από ότι σε ουδέτερο ή όξινο. Η υψηλές θερμοκρασίες επίσης επιταχύνουν την υποβάθμιση των μεμβρανών μέσω της οξειδωσης (Fritzmann et al., 2007).

- **Ρύθμιση pH**

Στις εφαρμογές αντίστροφης όσμωσης η τιμή του pH μετατοπίζεται σε χαμηλότερες τιμές όπου οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση και οι μεμβράνες οξικής κυτταρίνης δεν υδρολύονται εύκολα. Οξέα, όπως το θειικό οξύ χρησιμοποιούνται συνήθως για τη ρύθμιση του pH (Fritzmann et al., 2007).

- **Προσθήκη αντικαθαλωτικού**

Οι επικαθίσεις αλάτων είναι αποτέλεσμα της συσσώρευσης αλάτων στην επιφάνεια των μεμβρανών. Οι επικαθίσεις μειώνουν τη παραγωγικότητα των μεμβρανών και την ανάκτηση νερού (Fritzmann et al., 2007). Η παρεμπόδιση των επικαθίσεων αλάτων μπορεί να γίνει και με τη προσθήκη ειδικών αντικαθαλωτικών ουσιών. Η δράση τους οφείλεται στο γεγονός ότι προσροφούνται επιφανειακά στο αρχικό στάδιο του σχηματισμού των αλάτων, αποτρέποντας την ανάπτυξη των κρυστάλλων και συνεπώς

το σχηματισμό επικαθίσεων (Αυλωνίτης, 2006). Το εξαμεταφωσφορικό SHMP έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως ως αντικαθαλωτικό, αλλά έχει αντικατασταθεί ευρέως από πολυμερείς ενώσεις εξαιτίας των ευτροφικών ιδιοτήτων του και των σχετιζόμενων προβλημάτων διάθεσης (Fritzmann et al., 2007).

- **Φίλτρο φυσιγγίων**

Για την ολοκλήρωση της προεπεξεργασίας, το νερό τροφοδοσίας διέρχεται από τα φίλτρα φυσιγγίων. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των φυσιγγίων εξαρτάται από τη παροχή της τροφοδοσίας. Γενικά χρησιμοποιούνται φίλτρα από πολυμερές υλικό. Το δοχείο στο οποίο τοποθετούνται τα φυσιγγία θα πρέπει να είναι από ανοξείδωτο υλικό ή κατάλληλο πολυμερές ή χάλυβα επενδυμένο εσωτερικά με κατάλληλη επίστρωση ανθεκτική στη διάβρωση (Αυλωνίτης, 2006).

Ωστόσο, τις περισσότερες φορές η διαδικασία της προεπεξεργασίας δεν είναι απολύτως ικανοποιητική, για το λόγο αυτό απαιτείται η εφαρμογή διαδικασιών καθαρισμού των μεμβρανών. Οι μεμβράνες πρέπει να καθαρίζονται όταν (Avlonitis, et al, 2003):

- Η ροή μειώνεται κατά 10%.
- Η συγκέντρωση αλάτων του παραγόμενου νερού αυξάνεται κατά 10%.
- Η διαφορική πίεση (πίεση νερού τροφοδοσίας – πίεση άλμης) αυξάνει κατά 15% αναφορικά με τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

## 2. Μετεπεξεργασία

Το ανεπεξέργαστο ρεύμα αφαλατωμένου νερού θαλασσινού ή υφάλμυρου, που παράγεται από μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης δεν πληρεί τα πρότυπα ποιότητας πόσιμου νερού. Εξαιτίας των χαμηλών τιμών των ολικών διαλυμένων στερεών το παραγόμενο νερό να είναι άγευστο, διαβρωτικό και ανθυγιεινό. Η μετεπεξεργασία αποτελεί βασικό στάδιο των μονάδων αφαλάτωσης, ώστε το παραγόμενο νερό να συμμορφωθεί με τα απαραίτητα κριτήρια πόσης και άρδευσης (Fritzmann et al., 2007). Το σύστημα μετεπεξεργασία, περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- **Ρύθμιση pH**

Το pH ρυθμίζεται με τη προσθήκη NaOH ή με προσθήκη όξινου ανθρακικού νατρίου. Η δοσολογία ρυθμίζεται ανάλογα με το pH του παραγόμενου νερού και την επιθυμητή τιμή. Για να μειωθούν οι διαβρωτικές ιδιότητες του αφαλατωμένου νερού προστίθεται αντιδιαβρωτικό όπως είναι διάφορες πολυφωσφορικές ενώσεις (Αυλωνίτης, 2006).

- **Ρύθμιση σκληρότητας**

Η ρύθμιση της σκληρότητας του παραγόμενου νερού είναι απαραίτητη προκειμένου να αποτραπεί η διάβρωση των σωληνώσεων του δικτύου διανομής (Fritzmann et al., 2007). Η αύξηση της σκληρότητας μπορεί να γίνει με προσθήκη μέσω δοσομετρικής αντλίας CaCl<sub>2</sub> και MgCl<sub>2</sub> ή διαβίβαση του νερού μέσα από ειδικές στήλες που περιέχουν άλατα μαγνησίου και ασβεστίου. Η δεύτερη λύση κρίνεται πλέον ικανοποιητική διότι με την αύξηση της σκληρότητας δεν αυξάνεται η συγκέντρωση ιόντων χλωρίου (Αυλωνίτης, 2006).

- **Χλωρίωση**

Αν και το παραγόμενο νερό από μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης είναι υψηλής ποιότητας, απαλλαγμένο από βακτηρίδια και ιούς, η απολύμανση είναι απαραίτητη για τη προστασία των καταναλωτών από μια πιθανή μόλυνση κατά τη διάρκεια της διανομής, της περαιτέρω επεξεργασίας ή της αποθήκευσης (Withers, 2005). Συνήθως χλωρίωση γίνεται με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου, σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις για το πόσιμο νερό. Το υπολειπόμενο χλώριο στο πόσιμο νερό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,2 ppm (Αυλωνίτης, 2006).

- **Αφαίρεση βόριου**

Το βόριο εντοπίζεται σε οποιαδήποτε φυσική πηγή νερού. Ωστόσο, το βόριο σε υψηλές συγκεντρώσεις στο πόσιμο νερό θεωρείται υπεύθυνο για τη πρόκληση γενετικών προβλημάτων, εμβρυικών ανωμαλιών και διαταραχών κατά τη διάρκεια της εμβρυικής ανάπτυξης. Επίσης, το βόριο σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να βλάψει τις καλλιέργειες όταν χρησιμοποιείται αφαλατωμένο νερό για αρδευτικούς λόγους. Οι βασικές τεχνικές για την αφαίρεση του βόριου είναι (Fritzmann et al., 2007):

- Εφαρμογή μονής διόδου αντίστροφης όσμωσης με υψηλής απόρριψης βορίου μεμβράνες.
- Εφαρμογή εκλεκτικού ιόντος ανταλλαγής βορίου ρητίνης (Boron Selective Resin, BSR) μετά την αντίστροφη όσμωση θαλασσινού νερού.
- Εφαρμογή υβριδικής διαδικασίας BSR και αντίστροφη όσμωση υφάλμυρου νερού.
- Εφαρμογή αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης μετά την αντίστροφη όσμωση θαλασσινού νερού.

### 2.5.5.5 Χημικές ενώσεις σταδίων επεξεργασίας των μονάδων αφαλάτωσης

Οι χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στις μονάδες αφαλάτωσης διαχωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες:

1. **Βιοκτόνα:** χλώριο ή ενώσεις χλωρίου χρησιμοποιούνται για την απολύμανση των συστημάτων εισαγωγής νερού τροφοδοσίας, με στόχο τη πρόληψη σχηματισμού βιολογικού επιστρώματος μόλυνσης. Στις μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης, το εισαγόμενο στη μονάδα νερό τροφοδοσίας χλωριώνεται, αλλά στη συνέχεια αποχλωριώνεται πριν φτάσει στο σύστημα μεμβρανών, καθώς οι μεμβράνες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στο χλώριο (Morton, 1996; Lattemann and Höpner, 2008).
2. **Αντικαθαλωτικά:** τα αντικαθαλωτικά προστίθενται στο νερό τροφοδοσίας τόσο στις θερμικές όσο και στις μονάδες αντίστροφης όσμωσης ώστε να αποτραπεί ο σχηματισμός επιστρώματος. Τα αντικαθαλωτικά αποτελούν πολυμερείς ουσίες, διαφόρων χημικών δομών, όπως είναι τα πολυκαρβονικά οξέα και φωσφορικά. Η τοξικότητα των αντικαθαλωτικών ενώσεων είναι πολύ χαμηλή για τους υδρόβιους οργανισμούς (Lattemann and Höpner, 2008).
3. **Αντι-αφρώδεις ενώσεις (θερμικές εγκαταστάσεις):** με σκοπό τη μείωση εμφάνισης φαινομένων αφρισμού στις θερμικές εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται αντί-αφρώδεις ενώσεις όπως οι πολυγλυκόλες, οι οποίες προστίθενται στο νερό τροφοδοσίας. Οι πολυγλυκόλες δεν είναι τοξικές ενώσεις, ωστόσο είναι ανθεκτικές στο περιβάλλον καθώς παρουσιάζουν χαμηλή βιοαποδομησιμότητα (Lattemann and Höpner, 2008).

4. **Κροκιδωτικά:** οι κροκιδωτικές ενώσεις προστίθενται στο νερό τροφοδοσίας για τη συσσωμάτωση, διήθηση και απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Τα χημικά αυτά, παρουσιάζουν πολύ χαμηλό δείκτη τοξικότητας. Ωστόσο, η διάθεση τους μπορεί να προκαλέσει έντονο χρωματισμό στο ρεύμα απαλλαγής (κόκκινη άλμη), αυξάνοντας τη θολότητα του υδάτινο αποδέκτη, μειώνοντας την ικανότητα διείσδυσης του φωτός ή ακόμη να δημιουργήσουν ένα στρώμα καλύπτοντας τους βενθικούς οργανισμούς στη τοποθεσία όπου γίνεται η απόρριψη (Lattemann and Hörner, 2008).

### 2.5.6 Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)

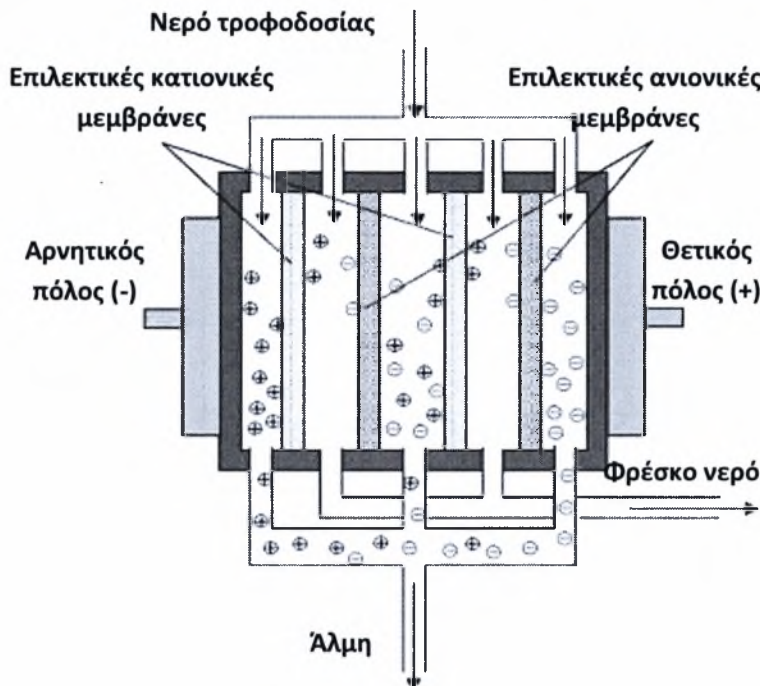
Η ηλεκτροδιάλυση περιγράφηκε αρχικά από τους Mayer και Strauss το 1940 (Fritzmann et al., 2007), ενώ η εμπορική εφαρμογή της μεθόδου ξεκίνησε το 1953. Στην ηλεκτροδιάλυση πραγματοποιείται απομάκρυνση των αλάτων με τη μορφή ιόντων από τη μάζα του νερού τροφοδοσίας μέσω μεμβρανών παράγοντας νερό χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων, δηλαδή πόσιμο.

Σύμφωνα με τον Αυλωνίτης (2006) η διεργασία χρησιμοποιεί ειδικά φορτισμένες επιλεκτικές μεμβράνες, οι οποίες διακρίνονται σε κατιονικές που επιτρέπουν τη διόδο των κατιόντων και σε ανιονικές που επιτρέπουν τη διόδο ανιόντων. Η κινητήρια δύναμη απομάκρυνσης των ιόντων είναι η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο.

Η δομή μιας μονάδας ηλεκτροδιάλυσης απεικονίζεται στο Εικόνα 18. Η μονάδα αποτελείται ηλεκτροδιάλυσης αποτελείται από μια σειρά θαλαμών (compartments), ο αριθμός των οποίων είναι περιττός και πάχους 0,1 cm, μέσω των οποίων διέρχεται το νερό τροφοδοσίας. Οι θάλαμοι διαχωρίζονται μεταξύ τους εναλλάξ από ανιονικές (A) και κατιονικές (K) μεμβράνες, επιτρέποντας τη διόδο μόνο των αρνητικών ή μόνο των θετικών ιόντων, αντίστοιχα. Τα άκρα της δέσμης θαλάμων φέρουν ηλεκτρόδια, στα οποία εφαρμόζεται συνεχές ρεύμα, δημιουργώντας ηλεκτρικό πεδίο (Kalogiourou, 2005; Fritzmann et al., 2007).

Όταν τα ηλεκτρόδια συνδεθούν με μια πηγή συνεχούς ρεύματος, τα ανιόντα κινούνται προς την άνοδο (θετικός πόλος, +), ενώ τα κατιόντα προς τη κάθοδο (αρνητικός πόλος, -). Κατά τη κίνηση τους, οι μεμβράνες επιτρέπουν μόνο σε ένα είδος ιόντων να διέλθουν.



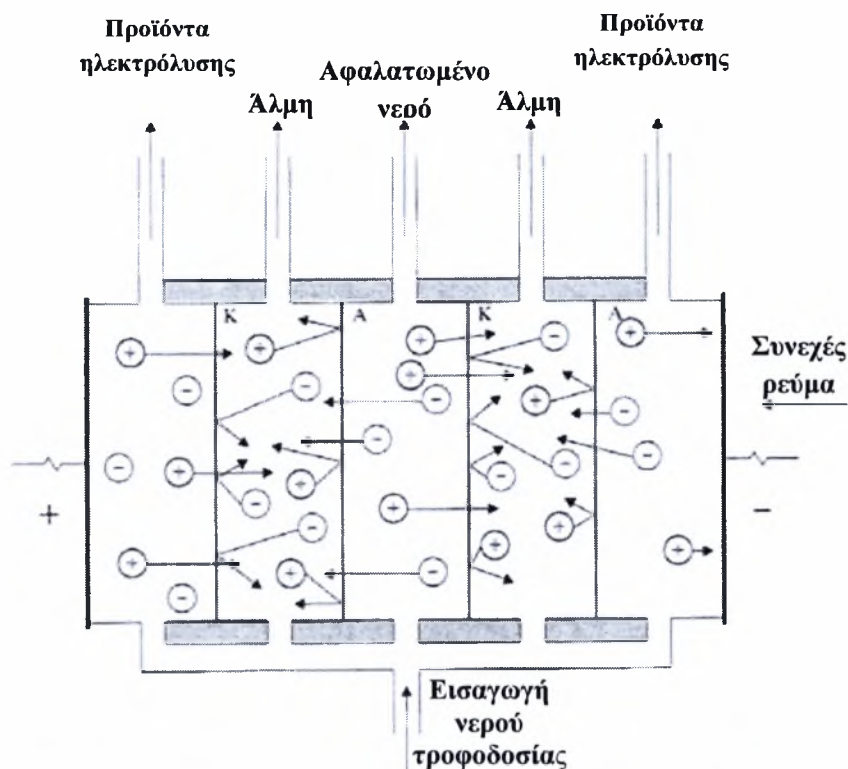


**Εικόνα 18. Σχηματικό διάγραμμα διαδικασίας αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση (Miller, 2003).**

Στην Εικόνα 19 απεικονίζεται η διεργασία διόδου και απόρριψης των ιόντων από τις μεμβράνες. Θεωρώντας το κεντρικό θάλαμο, τα θετικά ιόντα κινούνται από τα δεξιά προς τα αριστερά και τα αρνητικά ιόντα αντίθετα, εγκαταλείποντας το κεντρικό θάλαμο, μειώνοντας με αυτό το τρόπο τη συγκέντρωση αλάτων και παράγοντας αφαλατωμένο νερό. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή εναλλάξ στους θαλάμους αφαλατωμένου νερού και άλμης. Στους δυο ακραίους θαλάμους παράγονται προϊόντα ηλεκτρόλυσης τα οποία επίσης απορρίπτονται (Kalogirou, 2005).

Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης εφαρμόζεται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου και όχι θαλασσινού νερού, εξαιτίας της υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης σε υψηλής συγκέντρωσης νερού τροφοδοσίας (Fritzmann et al., 2007). Η ικανότητα παραγωγής κυμαίνεται μεταξύ μερικών κυβικών μέτρων έως χιλιάδων κυβικών μέτρων νερού ανά ημέρα, χρησιμοποιώντας ως πηγή τροφοδοσίας υφάλμυρο νερό (Αυλωνίτης, 2006). Για την αποφυγή σχηματισμού επιστρώματος και επικαθίσεων αλάτων αντιστρέφεται η πολικότητα της διεργασίας, συνήθως κάθε 20 min (Kalogirou, 2005). Η διαδικασία ονομάζεται αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis reverse, EDR) κατά την οποία οι θάλαμοι άλμης μετατρέπονται σε παραγωγής αφαλατωμένου νερού και το αντίστροφο (Miller, 2003).





Εικόνα 19. Δέσμη ηλεκτροδιάλυσης σε λειτουργία (Αυλωνίτης, 2006).

## 2.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Μια συγκριτική περίληψη των σχετικών πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων όπως παρουσιάζεται από τους Eltawil et al (2009) για τις τεχνολογίες αφαλάτωσης που εφαρμόζονται στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού παρέχεται από το Πίνακα 2. Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όταν συγκρίνονται οι θερμικές και οι τεχνολογίες μεμβρανών και πολλοί παράγοντες είναι ανάγκη να εξετάζονται ανάλογα με το σκοπό και τους στόχους για κάθε διαδικασία αφαλάτωσης. Τα πλεονεκτήματα των διαδικασιών μεμβρανών έναντι των θερμικών διαδικασιών είναι (Eltawil et al., 2009; ASIRC, 2005):

- Χαμηλότερες κύριες δαπάνες και ενεργειακές απαιτήσεις
- Χαμηλότερο (οικολογικό) αποτύπωμα και υψηλότερη αναλογία επιφάνειας/παραγωγής
- Υψηλότερες αναλογίες ανάκτησης

- Περιορισμένη διακοπή της λειτουργίας όταν απαιτείται συντήρηση ή αντικατάσταση των μεμβρανών.
- Λιγότερο τρωτές σε φαινόμενα διάβρωσης και σχηματισμού επιστρώματος λόγω της λειτουργίας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Οι μεμβράνες απορρίπτουν τη μικροβιακή μόλυνση

Πλεονεκτήματα των θερμικών διαδικασιών έναντι των διαδικασιών μεμβρανών, περιλαμβάνουν:

- Αποδεδειγμένη και καθιερωμένη τεχνολογία
- Υψηλότερη ποιότητα παραγόμενου νερού
- Λιγότερο αυστηρός έλεγχος σε σχέση με αυτόν που απαιτείται στις διαδικασίες μεμβρανών
- Λιγότερες επιπτώσεις από τις αλλαγές ποιότητας του νερού τροφοδοσίας
- Καμία δαπάνη αντικατάστασης μεμβρανών

**Πίνακας 2. Πλεονεκτημάτων και μειονεκτήματα των διαδικασιών αφαλάτωσης (Elta wil et al., 2009).**

Διαδικασία	Ανάκτηση και ολικά διαλυμένα στερεά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<b>RO</b>	30-60% δυνατότητα ανάκτησης για μονής διέλευσης (υψηλότερες ανακτήσεις είναι δυνατές για πολλαπλές διελεύσεις ή για ύδατα χαμηλότερης αλατότητας)	Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας	Υψηλές δαπάνες για χημικά και αντικατάσταση μεμβρανών
	<500mg/L TDS για θαλασσινό νερό και <500mg/L TDS για υφάλμυρο νερό	Σχετικά χαμηλότερες δαπάνες επένδυσης  Καμία ροή νερού ψύξης	Τρωτό στις αλλαγές ποιότητας του νερού τροφοδοσίας  Αναγκαία η επαρκής προεπεξεργασία

		Απλή λειτουργία και άμεση έναρξη	Μεμβράνες ευαίσθητες στο σχηματισμό βιο-επιστρώματος
		Υψηλή ικανότητα επιφάνειας/παραγωγής	Πιθανές μηχανικές βλάβες εξαιτίας της υψηλής πίεσης λειτουργίας
		Επίτευξη απομάκρυνσης άλλων μολυσματικών παραγόντων εκτός των αλάτων	Κατάλληλα εκπαιδευμένο και καταρτισμένο προσωπικό
		Η συντήρηση δεν απαιτεί το κλείσιμο ολοκλήρωσης της μονάδας	Ελάχιστος προσδόκιμος χρόνος ζωής των μεμβρανών περίπου 5-7 χρόνια
<b>ED/EDR</b>	85-94% δυνατότητα ανάκτησης	Χρήση ενέργειας ανάλογα με το βαθμό απομάκρυνσης αλάτων και όχι με τον όγκο επεξεργασίας	Κατάλληλο νερό τροφοδοσίας έως 12,000 mg/L TDS
	104-600 mg/L TDS	Υψηλότερη διάρκεια ζωής μεμβρανών 7-10 χρόνια	Περιοδικό καθάρισμα των μεμβρανών
		Λειτουργία σε χαμηλές και μέσες πιέσεις	Πιθανή εμφάνιση διαρροών στις δέσμες μεμβρανών Βακτηριακοί μολυσματικοί παράγοντες δεν αφαιρούνται από το σύστημα και απαιτείται μετεπεξεργασία για πόσιμη χρήση του νερού
<b>MSF</b>	25-50% ανάκτηση σε υψηλής θερμοκρασίας μονάδα MSF	Οδηγεί μεγάλης ικανότητας μονάδες	Απαιτεί μεγάλες επενδύσεις κεφαλαίου
	<50 mg/L TDS	Αποδεδειγμένη, αξιόπιστη τεχνολογία με μεγάλη διάρκεια ζωής λειτουργίας	Ενεργειακά εντατική διαδικασία
		Η εκρηκτική εξάτμιση σε σχέση με το βρασμό μειώνει τις επιπτώσεις του σχηματισμού επιστρώματος	Μεγαλύτερο αποτύπωμα (έδαφος και υλικά)
		Ελάχιστη προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας	Προβλήματα διάβρωσης αν τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλής ποιότητας
	Υψηλής ποιότητας παραγόμενο νερό	Χαμηλά ποσοστά έναρξης	

		Η λειτουργία και οι δαπάνες της μονάδας δεν εξαρτώνται από το επίπεδο αλατότητας	Η συντήρηση απαιτεί το κλείσιμο ολόκληρης της μονάδας  Απαιτείται υψηλό επίπεδο τεχνικών γνώσεων  Χαμηλή αναλογία ανάκτησης
<b>MED</b>	0-65% ανάκτηση	Ελάχιστη προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας	Υψηλή ενεργειακή κατανάλωση
	10 mg/L TDS	Αξιοπίστη διαδικασία με ελάχιστες απαιτήσεις σε λειτουργικό προσωπικό	Υψηλές αρχικές και λειτουργικές δαπάνες
		Ανεκτά επίπεδα διαλυμένων και οργανικών υλικών	Απαιτήση σε υψηλής ποιότητας υλικά καθώς η διαδικασία είναι ευαίσθητη στη διάβρωση
		Πολύ υψηλή ποιότητα παραγόμενου νερού	Το παραγόμενο νερό απαιτεί ψύξη και ανάδευση πριν χρησιμοποιηθεί για πόσιμη χρήση
<b>VCD</b>	~50% ανάκτηση	Διαδικασίες με χαμηλή κατανάλωση χημικών	Η έναρξη απαιτεί μια βοηθητική πηγή θερμότητας για τη παραγωγή ατμού
	<10 mg/L TDS	Οικονομική για υψηλές αλατότητες (>50,000 mg/L TDS)	Περιορίζεται σε μικρής κλίμακας μονάδες
		Σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια	Ο συμπιεστής απαιτεί υψηλά επίπεδα συντήρησης
		Χαμηλότερες αρχικές και λειτουργικές δαπάνες  Χαμηλές απαιτήσεις σε θερμοκρασίες που μειώνουν τη πιθανότητα εμφάνισης επιστρώματος και διαβρώσεων	

## 2.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Σύμφωνα με τον Tsiourtis (2001), κατά την επιλογή της διαδικασίας αφαλάτωσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι:

1. **Ποιότητα ακατέργαστου νερού** – η ποιότητα του ακατέργαστου νερού, όπως το υφάλμυρο ή το θαλασσινό που λαμβάνεται από ένα ανοικτό αγωγό εισαγωγής από τη θάλασσα ή από φρεάτια γεωτρήσεων διαδραματίζουν αποφασιστικό ρόλο στην επιλογή της διαδικασίας αφαλάτωσης. Για υφάλμυρο νερό η διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης (RO) είναι λιγότερο δαπανηρή, ενώ για θαλασσινό νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα απαιτεί περίπλοκη και εξαιρετικά δαπανηρή προεπεξεργασία, που για τη συγκεκριμένη περίπτωση η θερμική διαδικασία μπορεί να είναι περισσότερο κατάλληλη και οικονομική.
2. **Ποιότητα παραγόμενου νερού** - η ποιότητα του παραγόμενου νερού είναι πολύ σημαντική για την επιλογή του τύπου της διαδικασίας αφαλάτωσης. Για πολύ καθαρό νερό με σχεδόν μηδενικές συγκεντρώσεις αλάτων μπορεί να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι απόσταξης ή μεμβρανών double-pass.
3. **Πηγή ενέργειας** - διαθεσιμότητα και μορφή ενέργειας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της διαδικασίας αφαλάτωσης. Εάν είναι διαθέσιμη επαρκή θερμική ενέργεια από ένα υφιστάμενο ή νέο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τότε μια θερμική διαδικασία αφαλάτωσης είναι κατάλληλη.
4. **Θέση των εγκαταστάσεων** – η θέση των εγκαταστάσεων σε συνδυασμό με την πηγή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και το τύπο της ενέργειας που είναι διαθέσιμη στη περιοχή, αποτελούν μια πολύ σημαντική παράμετρο για την επιλογή της διαδικασίας αφαλάτωσης.
5. **Μέγεθος των εγκαταστάσεων** – το μέγεθος των εγκαταστάσεων, δηλαδή την ικανότητα της καθημερινής παραγωγής αφαλατωμένου νερού, είναι πολύ σημαντικό για την επιλογή της διαδικασίας αφαλάτωσης. Μικρές μονάδες κινητού τύπου μπορούν να εφαρμόσουν συστήματα αντίστροφης όσμωσης (RO), ενώ για μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης κατάλληλη επιλογή αποτελεί μια θερμική διαδικασία.

6. **Περιβαλλοντικές απαιτήσεις** - κατά τη διάρκεια των προκαταρκτικών μελετών για την επιλογή της διαδικασίας αφαλάτωσης, οι αρμόδιοι για το σχεδιασμό πρέπει να λάβουν υπόψη τις απαιτήσεις που επιβάλλονται από τις τοπικές αρχές για το περιβάλλον. Τέτοιες απαιτήσεις περιλαμβάνουν τις αέριες εκπομπές στην ατμόσφαιρα, τη συγκέντρωση της απορριπτόμενης άλμης στη θάλασσα ή σε οποιαδήποτε άλλη θέση, τα επίπεδα θορύβου, τα επικίνδυνα χημικά κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και χρήσης, τη δημόσια ασφάλεια κατά τη διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας, την αισθητική της δόμησης, δηλαδή την αρχιτεκτονική των εγκαταστάσεων και τη διαμόρφωση του εξωτερικού χώρου και τον αντίκτυπο στο φυσικό περιβάλλον.
7. **Τεχνογνωσία και ικανότητα** - η τεχνογνωσία και ικανότητα κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας ενός ορισμένου τύπου μονάδας αφαλάτωσης είναι πολύ σημαντικές για μια χώρα, αν και σήμερα με την ελεύθερη διακίνηση των ανθρώπων, υπηρεσιών και των προϊόντων, κάθε χώρα μπορεί να αγοράσει σχεδόν κάθε υπηρεσία και εξοπλισμό και μπορεί να επιλέξει το τύπο της διαδικασίας αφαλάτωσης βάσει των αναγκών της.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 3.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ενέργεια αποτελεί μέγιστο αγαθό του ανθρώπινου πολιτισμού. Δεν παράγεται και δεν καταστρέφεται, σύμφωνα με το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα. Δεν βρίσκεται όμως σε αφθονία και δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμη και διαθέσιμη. Το γεγονός αυτό συνιστά το ενεργειακό πρόβλημα.

Ανανεωσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου σημαίνει ότι η ποσότητα που καταναλώνεται, αναπληρώνεται στο ίδιο χρονικό διάστημα. Με την ανανεωσιμότητα συνδέεται η έννοια της αιεφορίας. Η ανανεωσιμότητα αποτελεί ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η αιεφορία της ορθολογικής διαχείρισης του πόρου.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) πρακτικά είναι ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και τείνουν να είναι απεριόριστες. Η κατηγορία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας περιλαμβάνει την ηλιακή ενέργεια, την αιολική ενέργεια, τη γεωθερμική ενέργεια, την ενέργεια κυμάτων, τη παλιρροιακή ενέργεια, την υδραυλική ενέργεια, τη βιομάζα και το βιοαέριο (Κασάπη, 2009).

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι τα εξής (Κασάπη, 2009):

1. Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.
2. Παρουσιάζουν γεωγραφική διασπορά συμβάλλοντας στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, παρέχοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
3. Παρέχουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη, επιτυγχάνοντας ορθολογικότερη χρήση των ενεργειακών πόρων.
4. Το κόστος τους, δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.

5. Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ διατίθενται σε μικρή κλίμακα με μικρούς χρόνους κατασκευής, επιτρέποντας τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
6. Οι επενδύσεις σε ΑΠΕ δημιουργούν θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
7. Αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών.
8. Τέλος, είναι φιλικές προς το περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου.

Τα κύρια μειονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι τα παρακάτω (Κασάπη, 2009):

1. Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί.
2. Παρουσιάζουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, επομένως απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
3. Παρουσιάζουν συχνά έντονες διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα τους, απαιτώντας την ύπαρξη άλλων εφεδρικών ενεργειακών πηγών ή δαπανηρά συστήματα αποθήκευσης.
4. Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό.

### 3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η αυξανόμενη χρήση της αφαλάτωσης λόγω της δημογραφικής και βιομηχανικής αύξησης καθιστά απαραίτητη μια παράλληλη αύξηση των πηγών ενέργειας. Συστήματα αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα οποία ονομάζονται αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης (Autonomous Desalination Systems, ADS) είναι λιγοστά, και έχουν συνήθως περιορισμένη ικανότητα. Αντιπροσωπεύουν περίπου μόνο 0,02% της συνολικής ικανότητας αφαλάτωσης (Garcia-Rodriguez, 2002). Σύμφωνα με τους Eltawil et al (2009) και Mathioulakis et al (2007), οι κύριοι λόγοι που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν βρει ευρύτερη εφαρμογή είναι:

- **Διαθεσιμότητα.** Η γεωγραφική κατανομή του δυναμικού των ΑΠΕ δεν συμβαδίζει πάντα με την ένταση της έλλειψης νερού σε τοπικό επίπεδο.
- **Δαπάνες.** Οι αρχικές δαπάνες εγκατάστασης και των διαφόρων συστημάτων είναι ακόμα υψηλές.
- **Τεχνολογίες σύνδεσης της ενεργειακής μετατροπής και των συστημάτων αφαλάτωσης.** Μια σημαντική πρόκληση για αυτές τις τεχνολογίες θα ήταν η βελτίωση του τεχνολογικού σχεδιασμού των συνδυαστικών μονάδων οι οποίες θα αυξάνουν την απόδοση καθώς και τον όγκο παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση των δαπανών.
- **Βιωσιμότητα.** Στις περισσότερες περιπτώσεις η ωριμότητα των σχετιζόμενων τεχνολογιών δεν συνάδει με το χαμηλό επίπεδο των υποδομών που χαρακτηρίζει συνήθως τις θέσεις με σημαντικές ελλείψεις σε πόσιμο νερό. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι προσπάθειες ενσωμάτωσης προηγμένων λύσεων για την αφαλάτωση σε απομονωμένες περιοχές αποτυγχάνουν λόγω έλλειψης αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης.

Ωστόσο, σύμφωνα με τον Garcia-Rodriguez (2002), πολλοί λόγοι καθιστούν τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατάλληλη για την αφαλάτωση νερού της θάλασσας:

- **Θέση εγκαταστάσεων.** Πολλές ξηρές περιοχές είναι παραλιακές περιοχές και οι ανανεωμένες πηγές ενέργειας είναι διαθέσιμες.
- **Εποχιακές αλλαγές.** Συχνά η ζήτηση του γλυκού νερού αυξάνεται λόγω του τουρισμού, ο οποίος συγκεντρώνεται κανονικά κατά περιόδους όταν η διαθεσιμότητα της ανανεώσιμης ενέργειας είναι υψηλή, ειδικά στην περίπτωση της ηλιακής ενέργειας.
- **Ενεργειακή διαθεσιμότητα.** Ο ανεφοδιασμός συμβατικής ενέργειας δεν είναι πάντα δυνατός στις απομονωμένες περιοχές ή τα μικρά νησιά, κάτι που οφείλεται αφ' ενός στις δυσκολίες ανεφοδιασμού των ορυκτών καυσίμων, και αφ' ετέρου επειδή το δίκτυο μεταφοράς ενέργειας είναι ανύπαρκτο ή η διαθέσιμη παροχή ενέργειας δεν είναι αρκετή για να θέσει σε λειτουργία μια μονάδα αφαλάτωσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών

ενέργειας επιτρέπει τη βιώσιμη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη με τη χρησιμοποίηση των τοπικών πόρων.

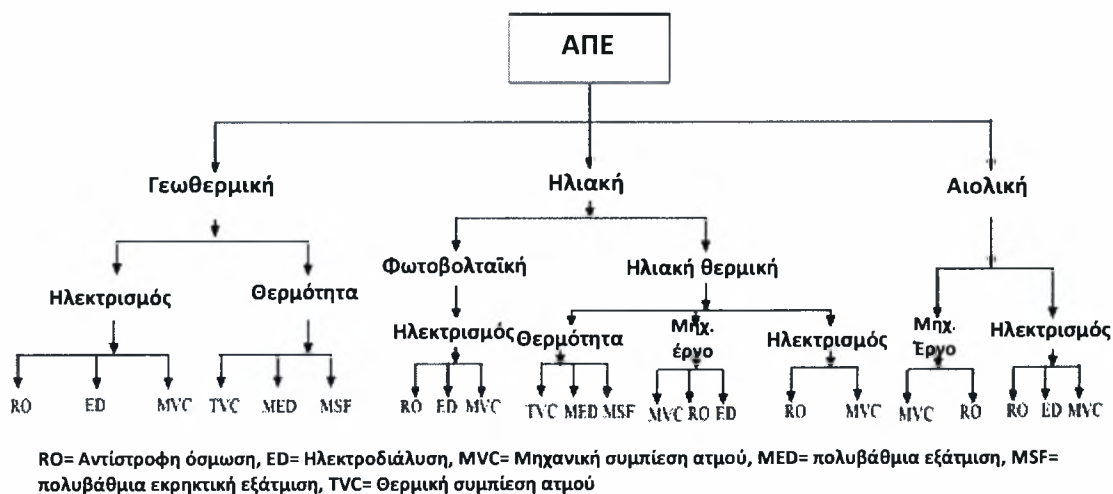
- **Αυτάρκεια.** Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιτρέπουν την ενεργητική διαφοροποίηση και την αποφυγή της εξωτερικής εξάρτησης στον ενεργειακό εφοδιασμό. Αυτές οι πτυχές είναι σημαντικές, ειδικά σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, οι οποίες επιπλέον ελέγχονται από ασταθείς κυβερνήσεις.
- **Τεχνολογία.** Η ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση των συστημάτων αφαλάτωσης που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάνουν πιθανή την εξαγωγή τεχνολογίας και τεχνογνωσίας καθώς και τη συνεργασία μεταξύ των χωρών με χαμηλή ανάπτυξη.
- **Περιβαλλοντική επίδραση.** Οι διαδικασίες αφαλάτωσης νερού της θάλασσας είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρες. Επομένως, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων είναι σημαντικές. Αξιοσημείωτο είναι ότι η συνολική παγκόσμια ικανότητα του αφαλατωμένου νερού είναι περίπου  $23 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ημέρα.
- **Οικονομικά.** Σε διάφορα μεσογειακά νησιά, οι απαιτήσεις σε φρέσκο νερό κάνουν απαραίτητη τη μεταφορά φρέσκου νερού μέσω θαλάσσης (με δεξαμενόπλοια), με υψηλό κόστος και ακατάλληλες συνθήκες υγιεινής.
- **Λειτουργία και συντήρηση.** Η λειτουργία και συντήρηση των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ευκολότερη από τα συμβατικής ενέργειας. Επομένως, είναι κατάλληλα για απομακρυσμένες περιοχές.
- **Ελπιδοφόρες εμπορικές προοπτικές.** Η μείωση του κόστους των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σημαντική κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Επομένως, οι μελλοντικές μειώσεις καθώς επίσης και η άνοδος των τιμών των ορυκτών καυσίμων θα μπορούσαν να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητα της αφαλάτωσης νερού της θάλασσας τροφοδοτούμενη από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Όσον αφορά το συνδυασμό των τεχνολογιών της αφαλάτωσης νερού της θάλασσας με τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη διάφορες πτυχές: θερμοδυναμικές εκτιμήσεις, ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της θέσης του συστήματος και οικονομικές αξιολογήσεις. Εάν το σύστημα αφαλάτωσης πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια απομονωμένη περιοχή, η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας

μπορεί να γίνει σύμφωνα με τα εξής κριτήρια: απλότητα, ευκολία χειρισμού, διαθεσιμότητα, ωριμότητα της τεχνολογίας, εγγύηση της παραγωγής φρέσκου νερού, καταλληλότητα του συστήματος στα χαρακτηριστικά της θέση, δυνατότητα μελλοντικής αύξησης της ικανότητας των συστημάτων και αποδοτικότητα (Garcia-Rodriguez, 2002).

Πολυάριθμες προσπάθειες και πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί σε όλο το κόσμο σε μια προσπάθεια να βρεθεί κατάλληλη σύζευξη των διαδικασιών μεταξύ των μεθόδων αφαλάτωσης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η καταλληλότητα της σύζευξης μιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας με μια συγκεκριμένη διαδικασία αφαλάτωσης εξαρτάται από τις απαιτήσεις και των δυο συστημάτων και του τύπου της ενέργειας που μπορεί να αποκτηθεί από την εξεταζόμενη πηγή. Διαφορετικοί συνδυασμοί μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των τεχνολογιών αφαλάτωσης μπορούν να προβλεφθούν. Η Εικόνα 20 παρουσιάζει τους πιθανούς συνδυασμούς ΑΠΕ και διαδικασιών αφαλάτωσης και η Εικόνα 21 τον αλγόριθμο για το σχεδιασμό της κατάλληλης μονάδας αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ (Eltawil et al., 2009).

Πρόσφατα, υπάρχει μια σημαντική αύξηση στην αποδοτικότητα και μείωση του κόστους λόγω των εντατικών προσπαθειών στην έρευνα και την ανάπτυξη (Research and Development, R&D) και στην αποκτηθείσα εμπειρία λειτουργίας, της προόδου στις συμβατικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, οδηγούμενες από τον ατμό ή ηλεκτρισμό (Eltawil et al., 2009).



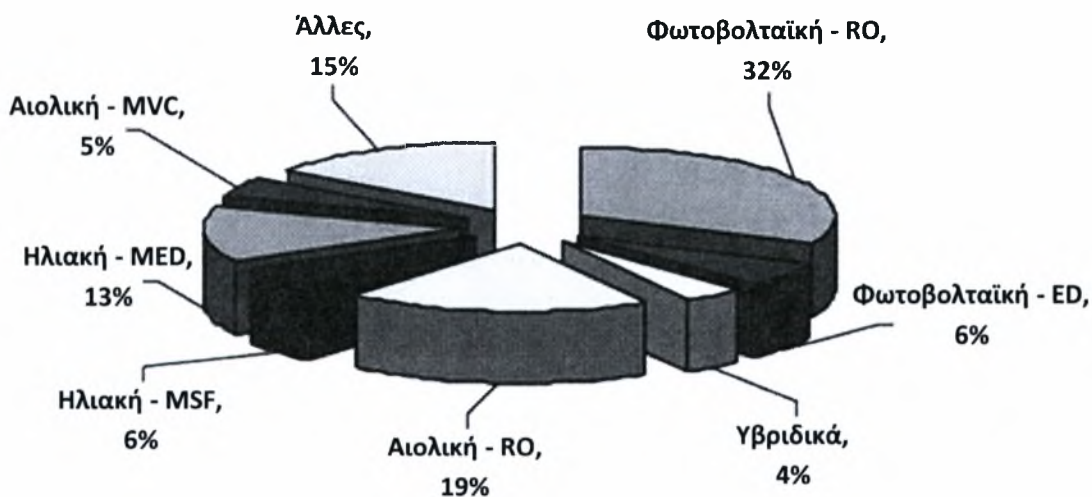
**Εικόνα 20. Συνδυασμοί τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεθόδων αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009).**





Εικόνα 21. Σχεδιασμός κατάλληλης μονάδας ΑΠΕ-αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009; Voivontas et al., 1999).

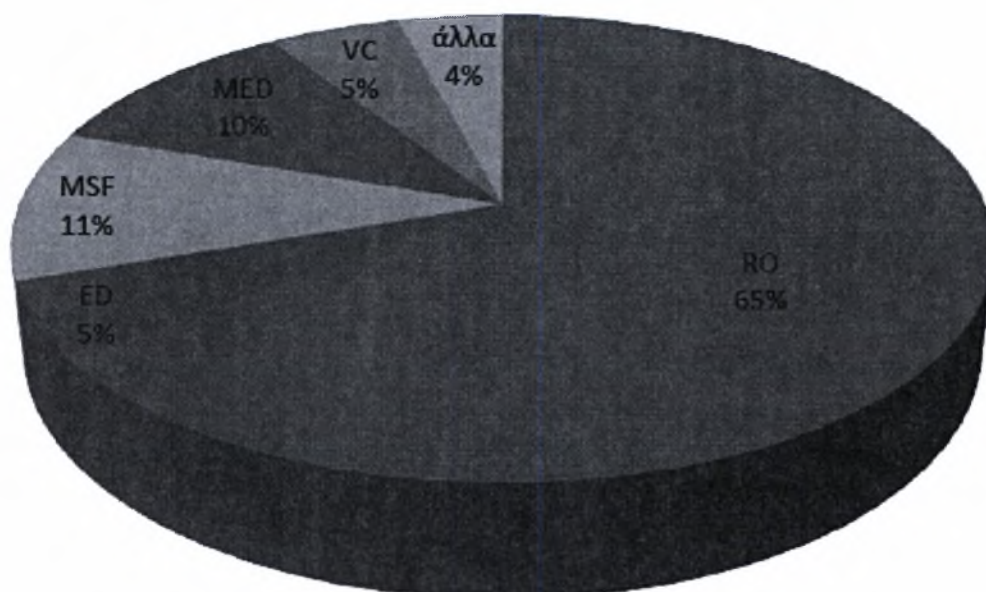
Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλά κριτήρια που καθορίζουν το βέλτιστο συνδυασμό των ΑΠΕ και των τεχνολογιών αφαλάτωσης, υπάρχει μια ευρεία ποικιλία των υφιστάμενων εγκαταστάσεων των μονάδων αφαλάτωσης - ΑΠΕ. Στο Γράφημα 5 παρουσιάζεται η κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που τροφοδοτούν τις τεχνολογίες αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009).



Γράφημα 5. Κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που παρέχουν ενέργεια σε διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009).

Στο Γράφημα 6 παρουσιάζονται οι τεχνολογίες αφαλάτωσης που συνδυάζονται με ΑΠΕ. Παρατηρείται ότι το 65% των συστημάτων αφαλάτωσης που συνδέθηκαν με ΑΠΕ είναι συστήματα αντίστροφης όσμωσης (Tzen, and Morris, 2003).





**Γράφημα 6. Τεχνολογίες αφαλάτωσης που συνδυάζονται με ΑΠΕ (Tzen and Morris, 2003).**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που έχουν μελετηθεί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα αφαλάτωσης περιλαμβάνουν την ηλιακή θερμική ενέργεια, ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια, την αιολική ενέργεια, γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα, ωκεάνια ενέργεια και υδραυλική ενέργεια.

### 3.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

#### 3.3.1 Ηλιακή Ενέργεια (Solar Energy)

Οι διαδικασίες που τροφοδοτούνται από την ηλιακή ενέργεια διαχωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες, σε αυτές που συλλαμβάνουν και χρησιμοποιούν τη θερμική ενέργεια του Ήλιου και σε εκείνες που χρησιμοποιούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια (Eltawil et al., 2009). Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού (Garcia-Rodriguez, 2002).

Τα ηλιακά συστήματα αφαλάτωσης περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, ηλιακές λίμνες και φωτοβολταϊκά συστήματα. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με συστήματα αντίστροφης όσμωσης. Ο συνδυασμός ηλιακών θερμικών συστημάτων και αντίστροφης όσμωσης θεωρείται πολλά υποσχόμενος σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια καθώς τα

συστήματα αντίστροφης όσμωσης χαρακτηρίζονται για τις χαμηλές ενεργειακές τους απαιτήσεις.

Τα συστήματα ηλιακής αφαλάτωσης παρουσιάζουν περιορισμένα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας αλλά απαιτούν μεγάλες περιοχές εγκατάστασης και υψηλές αρχικές επενδύσεις (He and Yan, 2009).

- **Ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια (Solar Photovoltaic Energy, PV)**

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της φωτοβολταϊκής μετατροπής. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούνται συνήθως από πυρίτιο, αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι ημιαγωγοί. Στη βιομηχανική παραγωγή, αποδοτικότητες της τάξης του 13-15% μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση μονοκρυσταλλικών κυττάρων πυριτίου και 10-11% με πολυκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου (Garcia-Rodriguez, 2003). Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα είναι φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά. Υπάρχουν επίσης τα άμορφα κύτταρα πυριτίου τα οποία ανήκουν στη κατηγορία κυττάρων λεπτής στρώσης. Αποδοτικότητες μεταξύ 18-24% έχουν επιτευχθεί με μονοκρυσταλλικές και πολυκρυσταλλικές τεχνολογίες πυριτίου. Στα κύτταρα του GaAs και των κραμάτων του, όπως το GaInP<sub>2</sub>, έχουν επιτευχθεί αποδοτικότητες μεγαλύτερες από 30% (Garcia-Rodriguez, 2002; Satyen, 1998).

Τα βασικά σημεία της έρευνας στο τομέα των φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι η αύξηση της αποδοτικότητας, η μείωση του κόστους παραγωγής και η αναζήτηση νέων υλικών όπως το GaAs, CdS, CdTe και CuInSe<sub>2</sub> (CIS). Το CIS είναι ευαίσθητο στο ερυθρό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος της ακτινοβολίας, που το άμορφο πυρίτιο δεν απορροφά. Επίσης το CIS προσφέρει διάφορες ενδιαφέρουσες δυνατότητες (Garcia-Rodriguez, 2002).

Η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι μια ώριμη τεχνολογία, όμως βασικό πρόβλημα παραμένει το υψηλό της κόστος και η διαθεσιμότητα των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε κυρίως χρησιμοποιώντας αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης. Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών κυττάρων με τις διαδικασίες μεμβρανών ίσως να αποτελεί μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική για τις απομακρυσμένες περιοχές. Ωστόσο, η αντίστροφη όσμωση παρουσιάζει σημαντικές απαιτήσεις σε χημικά, εφεδρικούς χώρους και εξειδικευμένο προσωπικό. Σε απομονωμένες περιοχές, η διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης είναι καταλληλότερη για την αφαλάτωση υφάλμυρων υδάτων διότι είναι περισσότερο ανθεκτική και η λειτουργία και συντήρηση της είναι

απλούστερη σε σχέση με τη περίπτωση της αντίστροφης όσμωσης (García-Rodríguez, 2002).

Το ποσοστό παραγωγής γλυκού νερού ενός συστήματος PV-RO με χρήση θαλασσινού νερού τροφοδοσίας ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια. Αρχικές δοκιμές του συστήματος με διαθέσιμη μέτρια ηλιακή πηγή, παρείχαν περίπου  $1,5 \text{ m}^3$  γλυκού νερού ανά ημέρα. Σε περιοχές κοντά στον Ισημερινό, ένα λογισμικό μοντέλο για μια διάταξη φωτοβολταϊκών συστημάτων με ισχύ  $2,4 \text{ kWp}$ , προβλέπει παραγωγή πόσιμου νερού της τάξης πάνω από  $3 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$  κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους (Eltawil et al., 2009).

- **Ηλιακή θερμική ενέργεια (Thermal Solar Energy)**

Οι ηλιακοί αποστακτήρες χρησιμοποιούνται για να παράγουν τον υδρολογικό κύκλο σε πολύ μικρότερη κλίμακα χρησιμοποιώντας άμεσα την ηλιοφάνεια. Η αρχή κατασκευής και λειτουργίας των ηλιακών αποστακτών είναι απλή (Eltawil et al, 2009).

Ένα σύστημα ηλιακής απόσταξης αποτελείται από δυο ξεχωριστές συσκευές, τον ηλιακό συλλέκτη και τον αποστακτήρα – έμμεση ηλιακή αφαλάτωση – ή από ένα ολοκληρωμένο σύστημα – άμεση ηλιακή αφαλάτωση. Οι θερμικοί συλλέκτες ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνουν τους στάσιμους και τους κινούμενους συλλέκτες (He and Yan, 2009). Μικρά συστήματα παραγωγής όπως οι ηλιακοί αποστακτήρες μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις όπου η απαίτηση σε φρέσκο νερό είναι χαμηλή και η γη είναι φθηνή. Υψηλές απαιτήσεις σε φρέσκο νερό απαιτούν συστήματα βιομηχανικής ικανότητας (García-Rodríguez, 2002).

Πολλά μικρά συστήματα άμεσης ηλιακής αφαλάτωσης και αρκετές πιλοτικές μονάδες έμμεσης ηλιακής αφαλάτωσης έχουν σχεδιαστεί και εγκατασταθεί. Μια μονάδα πολυβάθμιας εξάτμισης (MED) ή πολυβάθμιας εκρηκτικής εξάτμισης (MSF) μπορεί να επιλεγεί για ηλιακή θερμική αφαλάτωση. Η MSF είναι η πιο ώριμη τεχνολογία. Εντούτοις, η MED παρουσιάζει μεγαλύτερη δυναμικότητα από ότι η MSF για σχεδιασμούς με υψηλή αναλογία λειτουργίας και επίσης οι MED διαδικασίες παρουσιάζουν χαμηλότερη ευαισθησία στη διάβρωση και τη δημιουργία επιστρώματος από ότι οι MSF διαδικασίες (García-Rodríguez, 2002).

Η αποδοτικότητα λειτουργίας ηλιακών αποστακτών είναι χαμηλή και οφείλεται κυρίως σε δυο περιορισμούς: στην απώλεια της λανθάνουσας θερμότητας

συμπύκνωσης και στη δυσκολία επίτευξης αύξησης της θερμοκρασίας εξάτμισης και ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης λόγω της θέρμανσης, εξάτμισης και συμπύκνωσης σε ένα δοχείο. Προκειμένου να υπερνικηθούν αυτοί οι δυο περιορισμοί, δυο Κινέζοι ερευνητές ανέπτυξαν μια ηλιακή μονάδα αφαλάτωσης με σύστημα ύγρανσης – αφύγρανσης (Humidification-Dehumidification, HD), όπου το θαλασσινό νερό προστίθεται σε έναν αγωγό αέρα ώστε να αυξηθεί η υγρασία του (He and Yan, 2009).

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιεί τη θερμική ηλιακή ενέργεια είναι η συγκεντρωμένη θερμική ηλιακή τεχνολογία (Concentrating Solar Power, CSP), που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της ενέργειας του Ήλιου σε θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας. Η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται έπειτα για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια (Eltawil et al., 2009).

Η κύρια πρόκληση για τη μηχανική και την ανάπτυξη της ηλιακής θερμικής ενέργειας είναι η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται ηλιο-σύγχρονης τροχιάς κάτοπτρα με βαθμό ανάκλασης περίπου 95% (Eltawil et al., 2009).

Η επιλογή της ικανότητας μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης εξαρτάται από τις ημερήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις στα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας, από τις τιμές αγοράς και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας και από τη σημασία που δίνεται στη αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων (Eltawil et al., 2009).

Η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (CSP) προσφέρει μια βιώσιμη εναλλακτική λύση έναντι των ορυκτών καυσίμων για μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Η συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια μπορεί να βοηθήσει στη λύση του προβλήματος ιδιαίτερα στη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική, αλλά η εισαγωγή της αγοράς πρέπει να ξεκινήσει άμεσα ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη παραγωγή πόσιμου νερού εγκαίρως (He and Yan, 2009).

### 3.3.2 Αιολική Ενέργεια (Wind Power)

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν βάσει της ονομαστικής τους ισχύος (nominal power,  $P_n$ ) ως πολύ χαμηλής ισχύος ( $P_n < 10$  kW), χαμηλής ισχύος ( $P_n < 100$  kW), μεσαίας ισχύος ( $100$  kW  $< P_n < 0,5$  MW) και υψηλής ισχύος ( $P_n > 0,5$  MW). Όλες αποτελούν ώριμες τεχνολογίες και είναι εμπορικά διαθέσιμες εκτός από τα



συστήματα υψηλής ισχύος, τα οποία απαιτούν ακόμα κάποιες τελειοποιήσεις (García-Rodríguez, 2002).

Σε απομονωμένες περιοχές με πιθανούς αιολικούς ενεργειακούς πόρους όπως τα νησιά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αιολικά ενεργειακά συστήματα για την αφαλάτωση θαλασσινού και τη παραγωγή φρέσκου νερού, όπου η δυναμικότητα του ανέμου είναι σχετικά υψηλή και οι επίπεδες επιφάνειες περιορισμένες (He and Yan, 2009). Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι το μειωμένο κόστος παραγωγής νερού σε σχέση με τις δαπάνες που απαιτούνται για τη μεταφορά νερού στα νησιά ή τη χρήση συμβατικών καυσίμων για τη παραγωγή ενέργειας (Eltawil et al., 2009).

Οι περιοχές των ακτογραμμών παρουσιάζουν υψηλή διαθεσιμότητα πηγών αιολικής ενέργειας, με την αιολική ενέργεια να αποτελεί τη πιο ανταγωνιστική τεχνολογία ανανεώσιμων πόρων στη παραγωγή ενέργειας. Σε συνδυασμό με μονάδες αντίστροφης όσμωσης που αποτελούν διαδικασίες αφαλάτωσης με τις χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις, η χρήση αιολικής ενέργειας για την αφαλάτωση αποτελεί μια ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση (He and Yan, 2009).

Τα συμβατικά συστήματα αντίστροφης όσμωσης σχεδιάζονται για τη σύνδεση τους στο δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού. Εναλλακτικά, η ισχύς των στροβίλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση παροχή ενέργειας στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Οι διακυμάνσεις όμως τις αιολικής ενέργειας θα κατέστρεφαν το σύστημα των μονάδων αντίστροφης όσμωσης. Σε αυτή τη περίπτωση, ένα ενδιάμεσο σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης θα ήταν απαραίτητο, αλλά θα μείωνε τη διαθέσιμη ενέργεια και θα αύξανε το σύνολο δαπανών για τη μονάδα. Το κύριο μειονέκτημα των μονάδων αντίστροφης όσμωσης σε απομακρυσμένες περιοχές είναι η περίπλοκη προεπεξεργασία, η απαιτούμενη ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού, τα χημικά και η αντικατάσταση των μεμβρανών. Ωστόσο, τα συστήματα αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από την αιολική ενέργεια αποτελούν τη συχνότερη εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (García-Rodríguez, 2002; García-Rodríguez et al., 2001).

Διαφορετικές προσεγγίσεις για τα συστήματα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας είναι δυνατές. Πρώτον, οι ανεμογεννήτριες καθώς και το σύστημα αφαλάτωσης συνδέονται στο σύστημα του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή τη περίπτωση, τα βέλτιστα μεγέθη του συστήματος ανεμογεννητριών και

αφαλάτωσης, καθώς και η αποφυγή δαπανών για τη χρήση καυσίμων είναι σημαντικά. Η δεύτερη επιλογή βασίζεται λίγο πολύ στην άμεση σύνδεση των ανεμογεννητριών και του συστήματος αφαλάτωσης. Σε αυτή τη περίπτωση το σύστημα αφαλάτωσης επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις και διακοπές που προκαλούνται από τη πηγή ενέργειας (άνεμος). Αυτές οι διακυμάνσεις έχουν δυσμενή επίδραση στη λειτουργία και στη διάρκεια ζωής των στοιχείων που απαρτίζουν τον εξοπλισμό αφαλάτωσης. Η βασική έρευνα στο τομέα αυτό σχετίζεται με την αιολική μονάδα και την απόδοση του γενικού συστήματος καθώς και με την ανάπτυξη των κατάλληλων αλγορίθμων ελέγχου τόσο για τις ανεμογεννήτριες όσο και για το συνολικό σύστημα (Eltawil et al., 2009).

Όσον αφορά τις μεθόδους αφαλάτωσης υπάρχουν διάφορες επιλογές τεχνολογιών, όπως η ηλεκτροδιάλυση ή η συμπίεση ατμού. Συνήθως προτιμάται η τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης εξαιτίας της χαμηλής ειδικής κατανάλωσης ενέργειας (Ackermann and Soder, 2002). Η διαδικασία πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η μόνη ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται είναι για την άντληση του νερού σε μια σχετικά υψηλή πίεση λειτουργίας. Οι λειτουργικές πιέσεις ποικίλλουν μεταξύ 10 και 25 bar για υφάλμυρο νερό και 50-80 bar για θαλασσινό νερό (Eltawil et al., 2009).

Αν και η μηχανική συμπίεση ατμού (Mechanic Vapor Compression) είναι περισσότερο ενεργοβόρα σε σχέση με την αντίστροφη όσμωση, παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα στις περιπτώσεις διακυμάνσεων του ενεργειακού πόρου. Τα συστήματα μηχανικής συμπίεσης ατμού είναι καταλληλότερα για απομακρυσμένες περιοχές καθώς είναι πιο ανθεκτικά, απαιτούν λιγότερο εξειδικευμένο προσωπικό και λιγότερες χημικές ουσίες από ότι τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης. Επιπλέον, δεν απαιτούν αντικατάσταση μεμβρανών και προσφέρουν καλύτερης ποιότητας προϊόν (Garcia-Rodriguez, 2002).

Η διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης είναι ενδιαφέρουσα για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού δεδομένου ότι είναι σε θέση να προσαρμόζεται στις αλλαγές της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας και είναι καταλληλότερη για απομονωμένες περιοχές από την αντίστροφη όσμωση (Eltawil et al., 2009).

### 3.3.3 Γεωθερμική Ενέργεια (Geothermal Energy)

Γεωθερμική ενέργεια είναι όλη η θερμική ενέργεια η οποία είναι αποθηκευμένη, σε θερμοκρασίας υψηλότερη του περιβάλλοντος, στο στέρεο πυρήνα της γης. Υπάρχουν διάφορες ενεργειακές γεωθερμικές πηγές. Μπορούν να ταξινομηθούν βάσει της



μετρούμενης θερμοκρασίας σε χαμηλής, μέσης και υψηλής. Τα αντίστοιχα κατώτατα όρια είναι χαμηλότερα από 100°C, μεταξύ 100°C και 150°C, και άνω των 150°C, αντιστοίχως. Η θερμική κλίση της γης ποικίλλει μεταξύ 15°C και 75°C ανά χιλιόμετρο βάθους. Εντούτοις, η ροή θερμότητας είναι ακαθόριστη εντός διαφορετικών ηπειρωτικών περιοχών. Επιπλέον, υπάρχουν τοπικά κέντρα θερμότητας μεταξύ 6 και 10 χιλιομέτρων βάθους λόγω της διάσπασης των ραδιενεργών στοιχείων (Garcia-Rodriguez, 2002; Garcia-Rodriguez, 2003).

Μια γεωθερμική πηγή υψηλής πίεσης επιτρέπει την άμεση χρήση της μηχανικής ενέργειας για τη τροφοδότηση μια μονάδας αφαλάτωσης, ενώ η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια μονάδων ηλεκτροδιάλυσης ή αντίστροφης όσμωσης (Eltawil et al., 2009).

Αν και η γεωθερμική ενέργεια δεν χρησιμοποιείται σε ευρεία βάση όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια, αποτελεί μια ώριμη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για μια μονάδα αφαλάτωσης με ανταγωνιστικό κόστος. Ακόμα, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών, το κύριο πλεονέκτημα της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι η θερμική αποθήκευση είναι περιττή, δεδομένου ότι είναι συνεχής και προβλέψιμη (Eltawil et al., 2009).

Η χρήση της ενέργειας του μάγματος και της γεωδυναμικής πίεσης είναι υπό μελέτη. Επιπλέον, η γεωθερμική ενέργεια των θερμών πετρωμάτων απαιτεί διάφορες τελειοποιήσεις (Garcia-Rodriguez, 2002).

### 3.3.4 Βιομάζα (Biomass)

Η βιομάζα αποτελείται από οποιοδήποτε τύπο οργανικής ουσίας, προέλευση της οποίας είναι μια βιολογική διαδικασία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα με καύση ή με το μετασχηματισμό της σε βιοκαύσιμο (π.χ. μεθανόλη, αιθανόλη, υδρογόνο). Σήμερα, η άμεση καύση της βιομάζας είναι εμπορικά διαθέσιμη. Η ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων υπολειμμάτων βιομάζας μπορεί να τροφοδοτήσει μια διαδικασία απόσταξης ή άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης χρησιμοποιώντας μεθόδους θερμό-μηχανικής μετατροπής ή παραγωγής ηλεκτρισμού (Garcia-Rodriguez, 2002; Garcia-Rodriguez, 2003).

Ωστόσο, η χρήση της βιομάζας στην αφαλάτωση δεν αποτελεί μια ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση δεδομένου τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι κατά κανόνα

διαθέσιμα σε ξηρές περιοχές και η ανάπτυξη βιομάζας απαιτεί περισσότερο φρέσκο νερό από αυτό που θα μπορούσε να παράγει στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009).

### 3.3.5 Ωκεάνια Ενέργεια (Ocean Energy)

Η ωκεάνια ενέργεια εκφράζεται με πολλούς τρόπους, όπως η ενέργεια κυμάτων, οι παλίρροιες και η θερμική κλίση των υδάτων. Η ονομαστική ισχύ είναι 0,5 MW, 240 MW και 40MW, αντίστοιχα. Σήμερα υπάρχει ένας πολύ περιορισμένος αριθμός εγκαταστάσεων μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων και της παλίρροιας σε ηλεκτρισμό (Garcia-Rodriguez, 2002).

Η χρησιμοποίηση της θερμικής ενέργειας των ωκεανών (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC), είναι μια σχετικά νέα εφαρμογή. Η νέα αυτή πηγή ενέργειας άρχισε να ερευνάται γύρω στο 1980, για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλατωμένου νερού. Η μέθοδος OTEC χρησιμοποιεί τη διαβάθμιση της θερμοκρασίας με το αυξανόμενο βάθος των ωκεανών. Στη τροπική ζώνη των ωκεανών, η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των νερών της επιφάνειας και αυτών που βρίσκονται σε βάθος 500 ή 1.000 m, φθάνει τους 27 °C, διαφορά κατάλληλη για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλατωμένου νερού (Garcia-Rodriguez, 2003). Διάφοροι ερευνητές έχουν παρουσιάσει προτάσεις για τη χρήση της ωκεάνιας θερμικής κλίσης για τη παραγωγή φρέσκου νερού από υφάλμυρα ύδατα. Πειράματα έδειξαν ότι η ποιότητα του παραγόμενου νερού ήταν ικανοποιητική (He and Yan, 2009). Μελέτες για την αφαλάτωση με χρήση της ενέργειας κυμάτων έδειξαν ότι θα ήταν οικονομικά βιώσιμη για ικανότητες της τάξης των  $10^6 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$  (Garcia-Rodriguez, 2002).

Η χρήση της ωκεάνιας ενέργειας για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού δεν είναι αυτή τη περίοδο πρακτικά εφαρμόσιμη, καθώς η τεχνολογία της ενέργειας κυμάτων δεν είναι ακόμα εμπορικά διαθέσιμη, η παλιρροιακή ενέργεια είναι εξαιρετικά δαπανηρή και η ενέργεια της ωκεάνιας θερμικής κλίσης είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο (Garcia-Rodriguez, 2002).

### 3.3.6 Υδρο-Ενέργεια (Hydro-energy)

Η εκμετάλλευση της υδροστατικής πίεσης του νερού της θάλασσας εξετάστηκε από ορισμένους ερευνητές κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60. Από τότε, η ιδέα εξελίχθηκε και υπάρχουν προτάσεις για τη χρήση υποβρύχιων μονάδων αντίστροφης

όσμωσης όπου το σύστημα βρίσκεται βυθισμένο εντός της θάλασσας σε βάθος περίπου 500 μέτρων και το παραγόμενο φρέσκο νερό αντλείται στην επιφάνεια (He and Yan, 2009).

### 3.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ – ΕΦΑΡΜΟΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ διαφόρων ενεργειακών εισαγωγών των κυριότερων πηγών ανανεώσιμης ενέργειας και των κριτηρίων για τις τεχνολογίες αφαλάτωσης.

**Πίνακας 3. Αξιολόγηση των τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας (Eltawil et al., 2009).**

Κριτήριο	Ηλιακή θερμική ενέργεια	Φωτοβολταϊκά	Αιολική ενέργεια	Γεωθερμική ενέργεια
<b>Καταλληλότητα παροχής ενέργειας για μονάδες αφαλάτωσης</b>	Καλός συνδυασμός για μονάδες αφαλάτωσης που απαιτούν θερμική ενέργεια	Καλός συνδυασμός για μονάδες αφαλάτωσης που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια	Καλός συνδυασμός για μονάδες αφαλάτωσης που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια	Καλός συνδυασμός για μονάδες αφαλάτωσης που απαιτούν θερμική ενέργεια
<b>Απαιτήσεις περιοχής και διαθεσιμότητας των πόρων</b>	Τυπικά καλή αντιστοιχία με τις ανάγκες της αφαλάτωσης	Τυπικά καλή αντιστοιχία με τις ανάγκες της αφαλάτωσης	Οι πόροι είναι εξαρτώμενοι από τη τοποθεσία	Οι πόροι περιορίζονται σε μια συγκεκριμένη θέση
<b>Συνοχή της παραγόμενης ενέργειας</b>	Η παραγωγή είναι διαλείπουσα (απαιτείται ενεργειακή αποθήκευση)	Η παραγωγή είναι διαλείπουσα (απαιτείται ενεργειακή αποθήκευση)	Η παραγωγή είναι διαλείπουσα (απαιτείται ενεργειακή αποθήκευση)	Συνεχής παραγωγή ενέργειας
<b>Προβλεψιμότητα της παραγόμενης ενέργειας</b>	Η παραγωγή είναι σχετικά απρόβλεπτη	Η παραγωγή είναι σχετικά απρόβλεπτη	Η παραγωγή είναι απρόβλεπτη - διακυμάνσεις	Η παραγωγή είναι προβλέψιμη

### 3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Σύμφωνα με τους Eltawil et al (2009), ο συνδυασμός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με μονάδες αφαλάτωσης, απαιτεί την εξέταση διαφόρων κρίσιμων παραγόντων. Δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί ΑΠΕ – συστημάτων αφαλάτωσης πρακτικά εφαρμόσιμοι, δεδομένου ότι πολλοί από αυτούς τους πιθανούς συνδυασμούς να μην

είναι βιώσιμοι υπό ορισμένες συνθήκες. Ο βέλτιστος ή τυπικός συνδυασμός μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας πρέπει να μελετηθεί λαμβάνοντας υπόψη διάφορες τοπικές παραμέτρους όπως οι γεωγραφικές συνθήκες, η τοπογραφία της περιοχής, ο τύπος και η ικανότητα της διαθέσιμης ενέργειας σε χαμηλό κόστος, διαθεσιμότητα τοπικών υποδομών (συμπεριλαμβανομένου του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού), το μέγεθος της μονάδας και η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που εξετάζονται για την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας αφαλάτωσης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, όπως (Kalogirou, 1998; Tzen and Morris, 2003):

- i. Η ποσότητα του φρέσκου νερού που απαιτείται σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή σε συνάρτηση με το εύρος της εφαρμοσιμότητας των διαφόρων διαδικασιών αφαλάτωσης.
- ii. Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σε ισορροπία με τη κατανάλωση ενέργειας.
- iii. Η καταλληλότητα της διαδικασίας για εφαρμογές ηλιακής ενέργειας.
- iv. Οι απαιτήσεις επεξεργασίας του θαλασσινού νερού.
- v. Το κύριο κόστος εξοπλισμού και των εισαγόμενων υλικών.
- vi. Η απαιτούμενη έκταση περιοχής για την εγκατάσταση του εξοπλισμού.
- vii. Τα κριτήρια ευρωστίας και απλότητας της λειτουργίας.
- viii. Η περιορισμένη συντήρηση, το συμπαγές μέγεθος και η εύκολη πρόσβαση στη περιοχή.
- ix. Αποδοχή και υποστήριξη από τη τοπική κοινωνία με ελάχιστη επιρροή στη κοινωνική συνοχή.
- x. Οργάνωση σε τοπικό επίπεδο με σχετικά απλή κατάρτιση.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν τη βέλτιστη επιλογή παροχής ενέργειας για αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης, ιδιαίτερα σε ξηρές και παραλιακές περιοχές όπου η συμβατική ενεργειακή παροχή παρουσιάζει έλλειψη. Η επαρκής αυτονόμηση και η τοπική υποστήριξη της ανάπτυξης μπορούν να επιτευχθούν

παράλληλα από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την αφαλάτωση. Η λειτουργία και η συντήρηση των ΑΠΕ σε απομακρυσμένες περιοχές είναι συχνά ευκολότερη από ότι η αντίστοιχη της συμβατικής ενέργειας. Η ανανεώσιμες ενέργειες επιτρέπουν τη διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και βοηθούν στην αποφυγή της εξωτερικής εξάρτησης στη παροχή ενέργειας (Eltawil et al., 2009).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> – ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην αφαλάτωση νερού συνοδεύονται από ένα πλήθος δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι περιβαλλοντικές αυτές επιπτώσεις των μονάδων αφαλάτωσης σύμφωνα με τους Eϊnan et al (2002), κατηγοριοποιούνται σε πέντε τομείς:

- i. **Δυσμενείς επιπτώσεις στις χρήσεις γης.** Η εγκατάσταση εργοστασίων κοντά στην ακτή έχει ως αποτέλεσμα οι ακτές να μετατρέπονται σε βιομηχανικές περιοχές για τις εγκαταστάσεις και τα αντλιοστάσια, παρά για την αναψυχή και τον τουρισμό.
- ii. **Αντίκτυπος στο υδροφόρο στρώμα.** Εάν εγκαταστάσεις αφαλάτωσης είναι κατασκευασμένες σε ηπειρωτικές περιοχές προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο αντίκτυπος στην ακτή, υπάρχει ανάγκη κατασκευής δικτύου αγωγών για τη μεταφορά του θαλασσινού νερού και της άλμης. Η πιθανή διαρροή από το δίκτυο σωλήνων μπορεί να οδηγήσει στη διείσδυση του αλμυρού νερού στο υπόγειο υδροφόρο στρώμα θέτοντας το σε κίνδυνο.
- iii. **Αντίκτυπος στο θαλάσσιο περιβάλλον ως αποτέλεσμα της επιστροφής της άλμης στη θάλασσα.** Αν και η άλμη περιέχει συστατικά, τα οποία παράγονται στη θάλασσα, το υψηλό ειδικό βάρος της και η πιθανή παρουσία πρόσθετων χημικών ουσιών εισαγόμενων κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας και μετεπεξεργασίας μπορεί να βλάψει τους θαλάσσιους οργανισμούς στη περιοχή όπου απαλλάσσεται η άλμη. Η εγκατάσταση του δικτύου αγωγών τροφοδοσίας και απαλλαγής μπορεί να είναι επίσης επιβλαβής, καθώς είναι πιθανή η διαρροή εξαιτίας καθιζήσεων των υποκείμενων εδαφικών στρωμάτων.
- iv. **Αντίκτυπος του θορύβου.** Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού απαιτούν τη χρήση αντλιών υψηλής πίεσης και στροβίλων για την ανάκτηση ενέργειας, τα οποία παράγουν θόρυβο. Πρέπει επομένως να εγκαθίστανται μακριά από κατοικημένες περιοχές ή να εξοπλίζονται με κατάλληλες τεχνολογίες για το περιορισμό της έντασης του θορύβου.



- ν. **Εντατική χρήση ενεργειακών πόρων.** Αυτό ασκεί έμμεση επίδραση στο περιβάλλον λόγω της ανάγκης αύξησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τις γνωστές περιβαλλοντικές συνέπειες.

#### 4.2 ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Η περιβαλλοντική αξία της χρήσης γης διαφοροποιείται από μέρος σε μέρος και εξαρτάται από την πυκνότητα πληθυσμού και την ευαισθητοποίηση των πολιτών (Eīnav et al., 2002). Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης βρίσκονται συνήθως δίπλα σε παραλιακές περιοχές, μακριά από τουριστικές εγκαταστάσεις και κατοικημένες περιοχές. Η περιοχή που απαιτείται για εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού αντίστροφης όσμωσης είναι περίπου 10.000 m<sup>2</sup> για παραγωγή νερού 5.000 ή 10.000 m<sup>3</sup>/ημέρα.

Υπάρχει ένα σημαντικό δυσμενές αποτέλεσμα όσον αφορά την αισθητική του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού των κτηρίων που χρησιμοποιούνται σε αυτό το είδος οικοδόμησης. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η βελτίωση των υποδομών που σχετίζονται με τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στη μονάδα, του δικτύου αγωγών μεταφοράς του εισαγόμενου και παραγόμενου νερού στις εγκαταστάσεις, κ.λπ. (Sadhwanī et al., 2005).

Μια από τις λύσεις για την ελαχιστοποίηση της χρήσης παράκτιων εδαφών για τη κατασκευή εγκαταστάσεων αφαλάτωσης είναι η οικοδόμηση των μονάδων εσωτερικά, μακριά από την ακτογραμμή (inland). Αυτό όμως εισάγει το πρόβλημα της χρήσης αγωγών για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων θαλασσινού νερού και άλμης, με τον κίνδυνο ρύπανσης του υπόγειου υδροφόρου στρώματος από μια πιθανή διαρροή (Eīnav et al., 2002).

#### 4.3 ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΓΕΙΟ ΥΔΡΟΦΟΡΟ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Η τοποθέτηση του δικτύου αγωγών του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό νερό) πάνω από ένα υδροφόρο στρώμα, θέτουν σε κίνδυνο τα υπόγεια νερά καθώς είναι πιθανή η πρόκληση διαρροής. Επομένως, η τοποθέτηση των αγωγών νερού τροφοδοσίας και άλμης θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο και να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες τεχνικές στεγάνωσης και συστήματος ανίχνευσης, έτσι ώστε σε περίπτωση διαρροών ή δυσλειτουργίας να τίθεται εκτός λειτουργίας το σύστημα άντλησης. Είναι λογικό, ότι η προτιμώμενη θέση για μια μονάδα αφαλάτωσης είναι εκείνη η περιοχή όπου η πιθανότητα να επηρεάσει δυσμενώς τον υπόγειο υδροφόρο είναι χαμηλή (Eīnav et al., 2002; Younos, 2008).

#### 4.4 ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι συνέπεια του προσδιορισμού της θέσης των αγωγών τροφοδοσίας και απαλλαγής άλμης. Ο αρχικός αντίκτυπος κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης των αγωγών είναι προσωρινός και περιορισμένος στη θέση των εργασιών, αλλά ακόμα και αυτός μπορεί να είναι σημαντικός, ειδικά στους βραχώδεις βιοτόπους και τους κοραλλιογενείς υφάλους. Η δριμύτητα του αντίκτυπου αποτελεί συνδυαστικό αποτέλεσμα του επιπέδου διαταραχής και της φυσικής ευαισθησίας, η οποία εξαρτάται στη συνέχεια από τη συγκεκριμένη φύση του βιότοπου και από τις συγκεκριμένες βιοκοινότητες (Einav et al., 2002). Απαιτείται προσεκτική επιλογή της διαδρομής των σωληνώσεων και της εγκατάστασης των αγωγών ελαχιστοποιώντας τη πρόκληση διαταραχών στο θαλάσσιο πυθμένα και στο ευρύτερο περιβάλλον καθώς και η αποφυγή χρήσης εκρηκτικών υλών, περιορίζοντας σε μεγαλύτερο βαθμό τις δυσμενείς επιδράσεις (Tsiourtis, 2001).

Ο κύριος αντίκτυπος οφείλεται στην διάθεση της άλμης στη θάλασσα, και το μέγεθός του εξαρτάται από περιβαλλοντικούς και υδρογεωλογικούς παράγοντες χαρακτηριστικοί του θαλάσσιου οικοσυστήματος: βαθυμετρία, κύματα, ρεύματα, βάθος της υδάτινης στήλης κλπ. Αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν την έκταση της μίξης των αλμών και επομένως το γεωγραφικό εύρος του αντίκτυπου (Sadhvani et al., 2005).

Η συμπυκνωμένη άλμη αποτελεί παραπροϊόν της διαδικασίας αφαλάτωσης και παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση ολικών διαλυμένων στερεών, μεγαλύτερη των 36,000mg/l. Κύρια χαρακτηριστικά της άλμης αποτελούν η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών, η θερμοκρασία και η πυκνότητα. Τα χαρακτηριστικά της παραγόμενης άλμης εξαρτώνται από το τύπο της τεχνολογίας αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της άλμης από διάφορους τύπους μονάδων αφαλάτωσης (Meerganz von Medeazza, 2005).

Η ποσότητα της άλμης που παράγεται από μια μονάδα αφαλάτωσης αποτελεί το παράγοντα αναλογίας ανάκτησης της διαδικασίας αφαλάτωσης ( $m^3$  παραγόμενου νερού/  $m^3$  νερού τροφοδοσίας). Γενικά, οι μονάδες που εφαρμόζουν διαδικασίες μεμβρανών παρουσιάζουν υψηλότερη αναλογία ανάκτησης από τις θερμικές διαδικασίες, με αποτέλεσμα η παραγόμενη άλμη να εμφανίζει μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων. Όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4, η συγκέντρωση της παραγόμενης άλμης από μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης

θαλασσινού νερού μπορεί να είναι έως και 2 φορές υψηλότερη από το νερό τροφοδοσίας του συστήματος, σε αντίθεση με μια μονάδα θερμικής απόσταξης όπου η συγκέντρωση της άλμης αυξάνεται κατά 10% του νερού τροφοδοσίας.

**Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά άλμης για διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης (Meerganz von Medeazza, 2005).**

Διαδικασία	RO	RO	MSF/MED
Νερό τροφοδοσίας	Υφάλμυρο	Θαλασσινό	Θαλασσινό
Ανάκτηση	60-80%	30-50%	15-50%
Θερμοκρασία	Περιβάλλοντος	Περιβάλλοντος	9 – 12 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
Μίξη άλμης	Δυνατή, όχι απαραίτητη	Δυνατή, όχι απαραίτητη	Απαραίτητη, με νερό ψύξης
Τελικός παράγοντας συγκέντρωσης	2.5-6.7	1.25-2.0	<1.15

Επίσης, στη περίπτωση των θερμικών διαδικασιών αφαλάτωσης, η παραγόμενη άλμη είναι συνήθως θερμότερη από το τοπικό υδάτινο σώμα από όπου λαμβάνεται το προς αφαλάτωση νερό τροφοδοσίας. Αυτή η θερμική ρύπανση έχει αποδειχθεί πως προκαλεί περαιτέρω περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα σε εύθραυστα οικοσυστήματα όπως είναι οι κοραλλιογενείς ύφαλοι (Meerganz von Medeazza, 2005).

Το ειδικό βάρος ή πυκνότητα της άλμης αποτελεί έναν άλλο κρίσιμο παράγοντα. Σε σύγκριση με το γλυκό νερό, η άλμη παρουσιάζει υψηλότερη πυκνότητα λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης αλάτων. Όταν η άλμη διατίθεται σε ύδατα χαμηλής πυκνότητας, τότε αυτή τείνει να βυθίζεται. Η τάση αυτή, εισάγει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με το θαλάσσιο περιβάλλον και τους οργανισμούς που διαβιούν σε αυτό.

Η αλατότητα και η θερμοκρασία αποτελούν ρυθμιστικούς παράγοντες για τη κατανομή των θαλάσσιων ειδών. Άμεση επίδραση της θερμικής ρύπανσης, σε συνδυασμό με την αυξημένη αλατότητα της άλμης, αποτελεί η μείωση της συνολικής συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου των υδάτων, λειτουργώντας απαγορευτικά για εκείνες τις μορφές ζωής που δεν μπορούν να επιβιώσουν σε χαμηλά επίπεδα οξυγόνου (Morton et al., 1996). Οι περισσότεροι οργανισμοί δύναται να προσαρμοστούν σε πολύ μικρές αποκλίσεις από τις βέλτιστες τιμές αλατότητας και θερμοκρασίας, ακόμα και να ανεχτούν προσωρινά ακραίες τιμές αυτών των παραγόντων, αλλά όχι μια συνεχή έκθεση σε δυσμενείς συνθήκες. Η σταθερή διάθεση άλμης υψηλής αλατότητας και

θερμοκρασίας μπορεί να είναι μη αναστρέψιμη για τη θαλάσσια ζωή και να προκαλέσει μόνιμη αλλαγή στη σύνθεση και την αφθονία των ειδών στη περιοχή απόρριψης (Lattemann and Hörner, 2008).

Σύμφωνα με τους Einav et al (2002), Horner and Windelberg (1996) και Sathwani et al (2005), οι παγκόσμιοι θαλάσσιοι βιότοποι διαιρούνται σε 15 κατηγορίες (Πίνακας 5) σύμφωνα με το βαθμό ευαισθησίας τους στα αποτελέσματα των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης. Σύμφωνα με την ιεραρχία, οι καταλληλότερες περιοχές για τη κατασκευή των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης είναι οι ακτές των ωκεανών (Αριθ. 1), στις περιοχές υψηλής ενέργειας ωκεάνιων ακτών. Οι πιο ευαίσθητες περιοχές (Αριθ. 15) είναι τα μαγγρόβια (Mangal), επίπεδα μαγγροβίων.

**Πίνακας 5. Ευαισθησία θαλάσσιων βιοτόπων στις μονάδες αφαλάτωσης (Sathwani et al., 2005; Horner and Windelberg, 1996; Einav et al., 2002).**

- 1 Υψηλής ενέργειας ωκεάνιες ακτές, βραχώδεις ή αμμώδεις, με ρεύμα παράλληλο της ακτής
- 2 Εκτεθειμένη βραχώδης ακτή
- 3 Ωριμη ακτή (κινητικότητα ιζημάτων)
- 4 Παράκτια ανάδυση
- 5 Υψηλής ενέργειας παλιρροιακή ακτή
- 6 Εκβολές
- 7 Χαμηλής ενέργειας αμμώδη, λασπώδη και βραχώδη επίπεδα ακτών
- 8 Παράκτια ιζήματα sabkhas
- 9 Φιόρδ
- 10 Ρηχοί χαμηλής ενέργειας κόλποι και λιμνοθάλασσες
- 11 Καλύμματα αλγών (κυανοβακτήρια)
- 12 Κόλπος αλγών
- 13 Κοραλλιογενείς ύφαλοι
- 14 Αλμύρα έλη
- 15 Μαγγρόβιο (επίπεδα μαγγροβίων)

#### 4.4.1 Σύσταση άλμης

Σε όλες τις διαδικασίες αφαλάτωσης, που παράγεται άλμη, η συγκέντρωση της οποίας είναι υψηλότερη από αυτή του φυσικού νερού της θάλασσας, επιστρέφεται θάλασσα. Οι συγκεντρώσεις των αλμών είναι συνήθως διπλάσια από αυτές του φυσικού νερού της θάλασσας (Einav et al., 2002). Εκτός από την υψηλή συγκέντρωση των αλάτων, οι

εκροές περιέχουν διάφορες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στο στάδιο της προεπεξεργασίας της αφαλάτωσης, συμπεριλαμβανομένων διάφορων αντιθρομβωτικών υλικών (Sadhvani et al., 2005).

Οι τύποι και οι ποσότητες των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από την επιλεγμένη τεχνολογία και απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού. Χημικές ουσίες που είναι πιθανό να ανιχνευτούν στις άλμες περιλαμβάνουν αντικαθαλωτικές ενώσεις και οξέα που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση του pH. Τα άλατα που επιστρέφονται στη θάλασσα είναι ίδια με αυτά που εντοπίζονται στο νερό τροφοδοσίας, αλλά σε υψηλότερη συγκέντρωση. Στις εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης, η συγκέντρωση των εκροών είναι 30-70% ή 1.3-1.7 φορές μεγαλύτερη από αυτή του νερού τροφοδοσίας. Αυτή η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των μονάδων αφαλάτωσης πολυβάθμιας εκρηκτικής εξάτμισης (MSF), καθώς η αντίστοιχη αναλογία είναι της τάξης του 1.1-1.5 (Einav et al., 2002; Morton et al., 1996; Tsiourtis, 2001).

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην προεπεξεργασία του θαλασσινού νερό είναι κυρίως (Einav et al, 2002):

- Υποχλωριώδες άλας νατρίου ( $\text{NaOCl}$ ) ή ελεύθερο χλώριο, που χρησιμοποιείται για τη χλωρίωση και τη παρεμπόδιση της βιολογικής ανάπτυξης.
- Τρισθενές χλωριούχο σίδηρο ( $\text{FeCl}_3$  ή  $\text{AlCl}_3$ ), που χρησιμοποιείται για την κροκίδωση και αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών από το νερό.
- Θεικό ή υδροχλωρικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  ή  $\text{HCl}$ ), χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση pH.
- Εξαμεταφωσφορικό νάτριο ( $\text{SHMP}$  ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>) και παρόμοια υλικά, αποτρέπουν το σχηματισμό επιστρώματος στους σωλήνες και τις μεμβράνες.
- Όξινο θειώδες νάτριο  $\text{NaHSO}_3$ , που χρησιμοποιείται προκειμένου να εξουδετερωθούν υπολείμματα χλωρίου στο νερό τροφοδοσίας.

Ο καθαρισμός των μεμβρανών στις μονάδες αντίστροφης όσμωσης πραγματοποιείται 3 ή 4 φορές ετησίως, και τα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι τα ασθενή οξέα και τα απορρυπαντικά (κιτρικά οξέα, πολυφωσφορικό άλας νατρίου και αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ, EDTA) και καυστικό αλκάλιο (Einav et al., 2002).



#### 4.4.2 Διάθεση άλμης

Σύμφωνα με τους Eϊnav et al (2002), το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα που συνδέεται με μια μονάδα αφαλάτωσης είναι πώς να απαλλαγούν από το πλεόνασμα των αλμών. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι άλμες δεν μπορούν να παραμείνουν στο έδαφος λόγω του κινδύνου να καταλήξουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και λόγω άλλων πιθανών και δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Μια φυσική περιοχή διάθεσης είναι η θάλασσα, αλλά απαιτείται μια κατάλληλη τεχνολογία προκειμένου να διασφαλιστεί η διασπορά των αλμών και να ελαχιστοποιηθούν τα δυσμενή αποτελέσματα τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Διάφορες εναλλακτικές τεχνικές είναι διαθέσιμες για αυτόν το λόγο, και η επιλογή μεταξύ αυτών εξαρτάται από τις ιδιαίτερες συνθήκες της περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικές, μηχανολογικές και οικονομικές πτυχές. Οι εναλλακτικές τεχνικές είναι:

- απαλλαγή των αλμών με τη χρήση αγωγού στην ανοικτή θάλασσα.
- άμεση απαλλαγή της άλμης στην ακτή.
- απαλλαγή της άλμης μέσω της εξόδου του νερού του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.
- μεταφορά της άλμης σε εγκαταστάσεις παραγωγής άλατος.
- εναλλακτικές τεχνικές διάθεσης

##### 4.4.2.1 Απαλλαγή των αλμών με τη χρήση αγωγού στην ανοικτή θάλασσα

Σύμφωνα με τους Eϊnav et al (2002), οι άλμες, οι οποίες επιστρέφονται συνήθως στη θάλασσα, διαμορφώνουν ένα λοφίο-σχηματισμό ιδιαίτερα αλατούχου θαλασσινού νερού, που συσχετίζεται με τη ποσότητα των αλμών και τις συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος (βάθος, ρεύματα, κλπ). Το λοφίο βυθίζεται στο πυθμένα της θάλασσας και τα αποτελέσματά του εκτείνονται σε απόσταση εκατοντάδων μέτρων.

Δεδομένου ότι αυτό αποτελεί μια συνεχή και συσσωρευτική πηγή ρύπανσης, αυτό θα οδηγούσε σε μια συνεχή ζημία στο σύνολο των οργανισμών μέσα στην εγγύτητα του λοφίου. Είναι επομένως επιθυμητό το σημείο της απαλλαγής άλμης να τοποθετηθεί μακριά από τις ακτές και από βραχώδεις περιοχές που είναι πλούσιες σε οργανισμούς, καθώς επίσης και μακριά από περιοχές όπου πλήθος ανθρώπων συμμετέχουν σε δραστηριότητες όπως η αναψυχή, η αλιεία κλπ.



Η διαδικασία διάλυσης της άλμης είναι ένας συνδυασμός δυο φυσικών διαδικασιών: της αρχικής διάλυσης και της φυσικής διάλυσης. Το ποσοστό της αρχικής διάλυσης εξαρτάται από τη διαφορά των πυκνοτήτων ανάμεσα στην άλμη και του θαλασσινού νερού, καθώς επίσης στην ορμή, τη ροή και τη ταχύτητα στην έξοδο του αγωγού εκροής. Επίσης, επηρεάζεται από τη διάμετρο του αγωγού και το βάθος του πυθμένα της θάλασσας. Η φυσική διάλυση, που αποτελεί τη δεύτερη φάση, είναι αποτέλεσμα των διαδικασιών διάχυσης και μίξης που παράγονται από τα θαλάσσια ρεύματα και κύματα, και ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος (Eīnav et al., 2002).

Για αυτούς τους λόγους, η διάθεση πρέπει να γίνεται (Mauguin and Corsin, 2005):

- i. Σε περιοχές όπου τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά και οι κλιματολογικές συνθήκες επιτρέπουν τη φυσική διάλυση των εκροών.
- ii. Σε ορισμένο βάθος, γενικά 8 ή 10 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.
- iii. Με αγωγό απαλλαγής εκροών πολλαπλών διασκορπιστών τοποθετημένων κατά μήκος του αγωγού, 50-100 μέτρα πριν από το σημείο εξόδου, προκειμένου να επιτευχθεί διάχυση των αλμών σε μια ευρύτερη περιοχή.
- iv. Με εκτοξευτήρες των οποίων η κατεύθυνση προς την επιφάνεια να σχηματίζει γωνία περίπου  $45^\circ$  μοιρών με το πυθμένα της θάλασσας, προκειμένου να αποφευχθεί: η αλλαγή της δομής του θαλάσσιου πυθμένα και η στασιμότητα των εκροών άλμης στην επιφάνεια του πυθμένα, δεδομένου ότι η πυκνότητα των εκροών είναι μεγαλύτερη από αυτή του θαλασσινού νερού.
- v. Με την επίτευξη ταχυτήτων των εκτοξευτήρων μεγαλύτερες από 3,5m/s.

Οι κύριες επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς σχετίζονται με την εγγύτητα τους στον αγωγό απαλλαγής και αφορά την αύξηση στη συγκέντρωση του άλατος. Αυτό θα είχε επιπτώσεις στους βενθικούς οργανισμούς καθώς επίσης και στους πλαγκτονικούς οργανισμούς. Η αλατότητα εκφράζεται σε βάρος των αλάτων ανά 1‰ και στους περισσότερες θάλασσες και ωκεανούς η τιμή της ποικίλλει μεταξύ 32-38‰, το οποίο αποτελεί το εύρος εκείνο στο οποίο οι περισσότεροι θαλάσσιοι οργανισμοί έχουν προσαρμοστεί. Η ανατολική πλευρά της Μεσογείου παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων από ότι το δυτικό μέρος της.

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί υπάρχουν σε μια ωσμωτική ισορροπία με το περιβάλλον τους και μια αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων σε αυτό το περιβάλλον μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αφυδάτωση των κυττάρων και στη συνέχεια το θάνατο.

Στοιχεία από το συστηματικό έλεγχο της διασποράς των αλμών στις θαλάσσιες εξόδους είναι λιγοστές, και οι μόνες πληροφορίες που είναι διαθέσιμες προέρχονται από μονάδες αφαλάτωσης της Κύπρου και των Κανάριων Νήσων.

#### 4.4.2.2 Άμεση απαλλαγή της άλμης στην ακτή

Η εναλλακτική λύση της απαλλαγής συγκεντρωμένων αλάτων άμεσα στην ακτή δεν συστήνεται, αν και υπό ορισμένες προϋποθέσεις (μικρές εγκαταστάσεις, χαμηλής ευαισθησίας ακτές) πρέπει να δοθεί κάποια σημασία λόγω των οικονομικών παραγόντων. Το νερό άλμης, που επιστρέφεται συνεχώς στη θάλασσα, θα διαμορφώσει ένα λοφίο-σχηματισμό υψηλής αλατότητας θαλασσινού νερού, ανάλογα με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της θαλάσσιας περιοχής και άλλους παράγοντες. Η επίδραση θα είναι εμφανής σε αποστάσεις εκατοντάδων μέτρων από την έξοδο (ανάλογα με τη ποσότητα των αλμών). Ακόμα κι αν η άλμη θα αραιώνονταν συνήθως σε μια σύντομη απόσταση από την έξοδο, κατά τη διάρκεια των πολλών ημερών στις οποίες η θάλασσα είναι ήρεμη, η δευτεροβάθμια διάλυση θα ήταν αμελητέα. Εκείνες τις ημέρες η ζημία στους παράκτιους βιότοπους θα ήταν υψηλή. Αυτή η μέθοδος δεν συστήνεται για θαλάσσιους βιότοπους με υψηλή ευαισθησία, ή για μεγάλες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, ή για περιοχές με πληθυσμό υψηλής περιβαλλοντικής ευαισθησίας (Einav et al., 2002; Younos, 2008).

#### 4.4.2.3 Απαλλαγή της άλμης μέσω κοινής εξόδου βιομηχανικών ή αστικών αποβλήτων

Στη περίπτωση που η μονάδα αφαλάτωσης εντοπίζεται κοντά σε κάποιο βιομηχανικό συγκρότημα, όπου χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες νερού για τις ανάγκες ψύξης των διαφόρων συστημάτων, όπως είναι οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση αποτελεί η διάθεση της άλμης και του νερού ψύξης μέσω κοινού αγωγού για τη διάλυση της άλμης (Mauguin and Corsin, 2005). Το βασικό περιβαλλοντικό πλεονέκτημα είναι η επίτευξη υψηλής αναλογίας διάλυσης. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα εντοπίζεται στο σχετικά χαμηλό ειδικό βάρος του ζεστού νερού,

το οποίο αντισταθμίζει μερικώς το μεγάλο ειδικό βάρος της άλμης και επομένως θα μείωνε την τάση της να βυθίζεται στο κατώτατο σημείο (Eϊnav et al., 2002). Εναλλακτική επιλογή αποτελεί η διάθεση της άλμης αναμεμειγμένη με επεξεργασμένα υγρά αστικά λύματα που παράγονται από μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Mauguin and Corsin, 2005; Hoerner and Lattemann, 2002). Το σημαντικότερο μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου διάθεσης είναι η μεταφορά του ρεύματος άλμης στη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, καθώς απαιτείται η κατασκευή ξεχωριστού δικτύου αγωγών μεγάλου μήκους, προσθέτοντας νέα κόστη και αυξάνοντας το σύνολο των δαπανών (Younos, 2008).

#### 4.4.2.4 Κατεύθυνση της άλμης σε εγκαταστάσεις παραγωγής άλατος

Αυτή η επιλογή, με την οποία τα άλατα που άντλησαν από τη θάλασσα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή άλατος παρά να επιστρέφονται στη θάλασσα, παρουσιάζει πολλά περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Αποτελεί μια οικονομική και αποδοτική επιλογή, ιδιαίτερα για τις μονάδες αφαλάτωσης που απέχουν από τις ακτογραμμές. Το μόνο μειονέκτημά της είναι ο μικρός αριθμός εγκαταστάσεων παραγωγής άλατος που βρίσκονται κοντά στις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (Eϊnav et al., 2002; Younos, 2008).

#### 4.4.2.5 Εναλλακτικές τεχνικές διάθεσης

##### i. Μηδενική υγρή διάθεση (Zero Liquid Discharge, ZLD)

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί κάποιου τύπου μηχανικού εξατμιστήρα για να μετατρέψει την υγρή άλμη σε ξηρό στερεό υλικό. Στην ουσία, η τεχνική αυτή αλλάζει τη φυσική κατάσταση του αποβλήτου και μεταθέτει το πρόβλημα της διάθεσης από την υγρή στη στερεή φάση του αποβλήτου. Η Μηδενική Υγρή Διάθεση (ZLD) μπορεί να αποτελεί τη μόνη επιλογή διάθεσης για τις περιοχές εκείνες όπου οι άλλες τεχνικές διάθεσης είναι μη εφικτές ή απαγορευμένες. Το στερεό απόβλητο που προκύπτει από αυτή τη τεχνική διάθεσης μπορεί να μεταφερθεί σε χώρο υγειονομικής ταφής, αλλά υπάρχει πιθανότητα προκλήσεις σοβαρών προβλημάτων στα υπόγεια νερά στη περίπτωση διαρροής και διήθησης, εάν ο χώρος υγειονομικής ταφής δεν είναι κατάλληλα σχεδιασμένος. Η διαδικασία απαιτεί υψηλές ενεργειακές δαπάνες (Younos, 2008).

## ii. Υπόγεια έγχυση μεγάλου βάθους (Deep Well Injection, DWI)

Η τεχνική αυτή αποτελεί πρακτική διάθεσης της συμπυκνωμένης άλμης σε υδροφόρα στρώματα τα οποία δεν χρησιμοποιούνται πλέον για την άντληση πόσιμου νερού. Για την εφαρμογή της τεχνικής συνήθως πραγματοποιούνται γεωτρήσεις, δημιουργώντας φρεάτια έγχυσης των οποίων το βάθος κυμαίνεται μεταξύ 300m έως 2.575m κάτω από την επιφάνεια της γης (Tsiourtis, 2001). Σε πολλές τοποθεσίες η εφαρμογή της τεχνικής δεν είναι εφικτή λόγω των γεωλογικών συνθηκών ή νομοθετικών περιορισμών (Younos, 2008).

Ένα υπόγειο γεωλογικό στρώμα γνωστό με την ονομασία «ζώνη Boulder», όπου τα κοιλώματα διαμορφώνονται από μάζες πετρωμάτων και βράχων, απομονωμένα, από μη διαπερατά υλικά όπως δολομίτη και ασβεστόλιθο, από τα υπόλοιπα υπόγεια υδροφόρα στρώματα που βρίσκονται περιμετρικά, παρέχουν ένα κατάλληλο περιβάλλον για την εφαρμογή της τεχνικής (Younos, 2008).

Για την αποφυγή ρύπανσης πηγών πόσιμου νερού, τα φρεάτια έγχυσης πρέπει να σχεδιάζονται κατάλληλα και να διαχωρίζονται από τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες που χρησιμοποιούνται για τη παροχή πόσιμου νερού. Απαιτείται η εγκατάσταση γεωτρήσεων ελέγχου κοντά στα φρεάτια έγχυσης, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση και ανίχνευση οποιασδήποτε αλλαγής στη ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Επίσης, απαραίτητες θεωρούνται οι δοκιμαστικές έρευνες για τη μηχανική και αντοχή των φρεατίων καθώς και των πιθανών διαρροών που θα μπορούσαν να ρυπάνουν παρακείμενα υδροφόρα στρώματα (Ahmed et al., 2000). Όλες αυτές οι απαιτήσεις αυξάνουν υπερβολικά το συνολικό κόστος της τεχνικής για τη διάθεση της άλμης.

## 4.5 ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο αντίκτυπος του θορύβου δεν επιτρέπει τη λειτουργία μεγάλων εγκαταστάσεων αφαιλάτωσης κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ακουστικής ρύπανσης είναι εγκαταστάσεις αφαιλάτωσης θαλασσινού νερού αντίστροφης όσμωσης. Οι αντλίες υψηλών πιέσεων και τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, όπως οι στρόβιλοι, παράγουν σημαντικά επίπεδα θορύβου που ξεπερνούν τα 90 dB (A) (Fritzmann et al., 2007). Επομένως, πρέπει να χωροθετούνται μακριά από κατοικημένες περιοχές και να είναι εξοπλισμένες με τη κατάλληλη ακουστική τεχνολογία ώστε να μειώνονται τα επίπεδα θορύβου σε ανεκτά επίπεδα. (Sadhvani et

al., 2005). Τα μέσα για τη μείωση του θορύβου περιλαμβάνουν τη κατασκευή θόλων πάνω από τις αντλίες και κατάλληλο ακουστικό σχεδιασμό των εγκαταστάσεων (Eiñav et al., 2002).

#### 4.6 ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η κατανάλωση ενέργειας από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης οδηγεί σε έμμεσες περιβαλλοντικές επιδράσεις, δεδομένου ότι οι ενεργειακές ανάγκες των εγκαταστάσεων αυξάνουν τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρήση των καυσίμων και στη συνέχεια ωθούν τη διαδικασία της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η ενέργεια που απαιτείται για την αφαλάτωση 1m<sup>3</sup> νερού ποικίλλει ανάλογα τη μονάδα και την τεχνολογία που εφαρμόζεται (Eiñav et al., 2002).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΔΑΠΑΝΩΝ

### 5.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Σύμφωνα με τους Eltawil et al (2009), η ανάλυση του κόστους ενός αυτόνομου ή μη συστήματος αφαλάτωσης συνήθως στοχεύει στον υπολογισμό του κόστους ενός λίτρου ή ενός κυβικού μέτρου φρέσκου νερού, και υπολογίζει τη συμβολή του κόστους κάθε στοιχείου στο συνολικό κόστος. Γενικά, οι παράγοντες κόστους που σχετίζονται με την εγκατάσταση μιας μονάδας αφαλάτωσης εξαρτώνται από τη τοποθεσία και από διάφορες μεταβλητές. Οι κύριες μεταβλητές κόστους είναι:

- i. **Η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας**, η χαμηλή συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών στο νερό τροφοδοσίας (υφάλμυρο νερό) απαιτεί λιγότερη ενέργεια για την επεξεργασία σε σύγκριση με το νερό τροφοδοσίας υψηλών συγκεντρώσεων (θαλασσινό νερό).
- ii. **Ικανότητα μονάδας**, επηρεάζει το μέγεθος των μονάδων επεξεργασίας, των αντλιών, της δεξαμενής αποθήκευσης νερού και του συστήματος διανομής του νερού. Οι μεγάλης ικανότητας μονάδες απαιτούν υψηλές αρχικές επενδύσεις κεφαλαίου σε σύγκριση με τις μονάδες μικρής ικανότητας.
- iii. **Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας**, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν το κόστος της παραγωγής νερού, όπως η διαθεσιμότητα και η κατάσταση του εδάφους, η εγγύτητα της θέσης της μονάδας στη πηγή νερού και στο σημείο διάθεσης της άλμης. Το κόστος άντλησης και οι δαπάνες εγκατάστασης των αγωγών μειώνονται ουσιαστικά εάν οι αποστάσεις περιορίζονται στο ελάχιστο.
- iv. **Οι δαπάνες που σχετίζονται με την εισαγωγή του νερού**, τη προεπεξεργασία και τη διάθεση άλμης μπορούν να μειωθούν σημαντικά εάν η μονάδα αποτελεί επέκταση μια υπάρχουσας εγκατάστασης επεξεργασίας νερού αντί της κατασκευής μιας νέας.
- v. **Ρυθμιστικές απαιτήσεις** που σχετίζονται με την επίτευξη των τοπικών, περιφερειακών ή εθνικών κανόνων αδειοδότησης και άλλων νομικών θεμάτων (Younos, 2005).



Οι δαπάνες εγκατάστασης μιας μονάδας αφαλάτωσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως δαπάνες κατασκευής και έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (*Operation & Maintenance, O&M*). Οι δαπάνες κατασκευής περιλαμβάνουν άμεσες και έμμεσες κύριες δαπάνες. Οι άμεσες δαπάνες περιλαμβάνουν την έκταση, υποδομή εισαγωγής νερού, εξοπλισμός διαδικασίας, βοηθητικός εξοπλισμός, κτηριακές εγκαταστάσεις και διάθεση άλμης (τύπος τεχνολογίας αφαλάτωσης, ικανότητα εγκαταστάσεων, θέση διάθεσης και περιβαλλοντικοί κανονισμοί). Το έμμεσο κύριο κόστος υπολογίζεται συνήθως ως ποσοστό του συνολικού άμεσου κόστους. Οι έμμεσες κύριες δαπάνες περιλαμβάνουν την ασφάλεια, τα γενικά έξοδα κατασκευής και τις απρόβλεπτες δαπάνες (Eltawil et al., 2009).

Οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (O&M) αποτελούνται από σταθερά και μεταβλητά έξοδα. Τα σταθερά έξοδα περιλαμβάνουν την ασφάλεια και έξοδα χρεολυσίων. Συνήθως, το ασφαλιστικό κόστος υπολογίζεται ως το 0,5% του συνολικού κύριου κόστους. Τυπικά, ως ποσοστό χρεολυσίας χρησιμοποιείται ένα εύρος από 5 έως 10%. Μερικές από τις σημαντικότερες μεταβλητές δαπάνες αποτελούν το κόστος εργασίας, ενέργειας, χημικών ουσιών και αντιδραστηρίων, και συντήρησης. Για υφάλμυρα νερά χαμηλής συγκέντρωσης ολικών διαλυμένων στερεών, το ποσοστό αντικατάστασης προσδιορίζεται στο 5% ανά έτος. Για υψηλές συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων στερεών θαλασσινού νερού, η αντικατάσταση μπορεί να φτάσει το 20%. Οι δαπάνες συντήρησης και ανταλλακτικών αποτελούν λιγότερο από το 2% των συνολικών κύριων δαπανών σε ετήσια βάση (Younos, 2005).

Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει το κόστος επί τοις εκατό των διαφόρων παραγόντων για την αφαλάτωση υφάλμυρου και θαλασσινού νερού σε μονάδες αντίστροφης όσμωσης. Από αυτά τα στοιχεία, παρατηρείται ότι (Eltawil et al., 2009):

- 1) Οι σταθερές δαπάνες αποτελούν το κυριότερο παράγοντα τόσο για το υφάλμυρο όσο και για το θαλασσινό νερό.
- 2) Η κυριότερη διαφορά στο κόστος, μεταξύ της αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού και θαλασσινού νερού, έγκειται στην ενεργειακή κατανάλωση, ενώ οι υπόλοιποι παράγοντες μειώνονται αναλογικά.
- 3) Οι δαπάνες που σχετίζονται με την αντικατάσταση των μεμβρανών, τη συντήρηση, τα εξαρτήματα και τα αναλώσιμα είναι σχετικά χαμηλές. Αυτές οι

δαπάνες εξαρτώνται από τη τεχνολογία και μπορεί να μειωθούν περαιτέρω καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, αλλά η επίδραση στο συνολικό κόστος της αφαλάτωσης δεν αναμένεται να είναι σημαντική.

**Πίνακας 6. Ποσοστιαία κατανομή παραγόντων των δαπανών (Miller, 2004).**

	Υφάλμυρο νερό (%)	Θαλασσινό νερό (%)
Σταθερές δαπάνες	54	37
Ηλεκτρική ενέργεια	11	44
Εργασία	9	4
Αντικατάσταση μεμβρανών	7	5
Συντήρηση και εξαρτήματα	9	7
Αναλώσιμα (χημικά)	10	3

Οι τεχνολογίες της αντίστροφης όσμωσης με συστήματα ενεργειακής ανάκτησης απαιτούν την ελάχιστη ποσότητα ενέργειας για την επεξεργασία θαλασσινού νερού (4-6 kWh/m<sup>3</sup>) σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες. Στη περίπτωση που υφάλμυρο νερό συμπεριληφθεί στην εισαγωγή, οι ενεργειακές απαιτήσεις της αντίστροφης όσμωσης μειώνονται σημαντικά και γίνονται ανάλογες της χρήσης της ηλεκτροδιάλυσης για την επεξεργασία υφάλμυρου νερού (0,5-2,5 kWh/m<sup>3</sup>) (Eltawil et al., 2009).

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των δαπανών μιας μονάδας αφαλάτωσης και των παραγόντων που καθορίζουν το κόστος του παραγόμενου νερού (Εικόνα 22), σύμφωνα με τον Αυλωνίτης (2006), είναι:

### 1. Είδος μεθόδου αφαλάτωσης

Κάθε μέθοδος έχει διαφορετικό κόστος παραγωγής νερού σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους παράγοντες. Κάθε μέθοδος θα πρέπει να εξετασθεί στο συγκεκριμένο τόπο και για τη συγκεκριμένη δυναμικότητα. Για κάθε μέθοδο λοιπόν θα πρέπει να αξιολογηθούν, ενδεικτικά:

- Το κόστος επένδυσης και η οικονομική διάρκεια ζωής της μονάδας.
- Η δυναμικότητα της μονάδας. Γενικά, η αύξηση της δυναμικότητας, μειώνει το κόστος παραγωγής ανά m<sup>3</sup> παραγόμενου νερού.
- Το κόστος λειτουργίας.

- Η ύπαρξη ανταλλακτικών και κατάλληλου εργατικού δυναμικού.
- Συχνότητα και κόστος συντήρησης.
- Διάρκεια αξιόπιστης λειτουργίας.
- Διάρκεια ζωής.

## **2. Κόστος θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού**

θα πρέπει να αξιολογηθεί η δαπάνη επένδυσης και λειτουργίας του συστήματος τροφοδοσίας και δικτύου αγωγών για την εισαγωγή του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Επίσης, απαιτείται λεπτομερής ανάλυση της ποιότητας του νερού τροφοδοσίας της εγκατάστασης ώστε να σχεδιασθεί κατάλληλα το στάδιο της προεπεξεργασίας.

## **3. Δαπάνες ενέργειας**

Η διατιθέμενη ενέργεια και η τιμή της είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν το τελικό κόστος παραγωγής νερού. Η εγκατάσταση συστήματος ανάκτησης ενέργειας, όπου αυτό είναι δυνατό, θεωρείται απαραίτητο τμήμα του σχεδιασμού για την επίτευξη του στόχου μείωσης των ενεργειακών δαπανών.

## **4. Κόστος λειτουργίας**

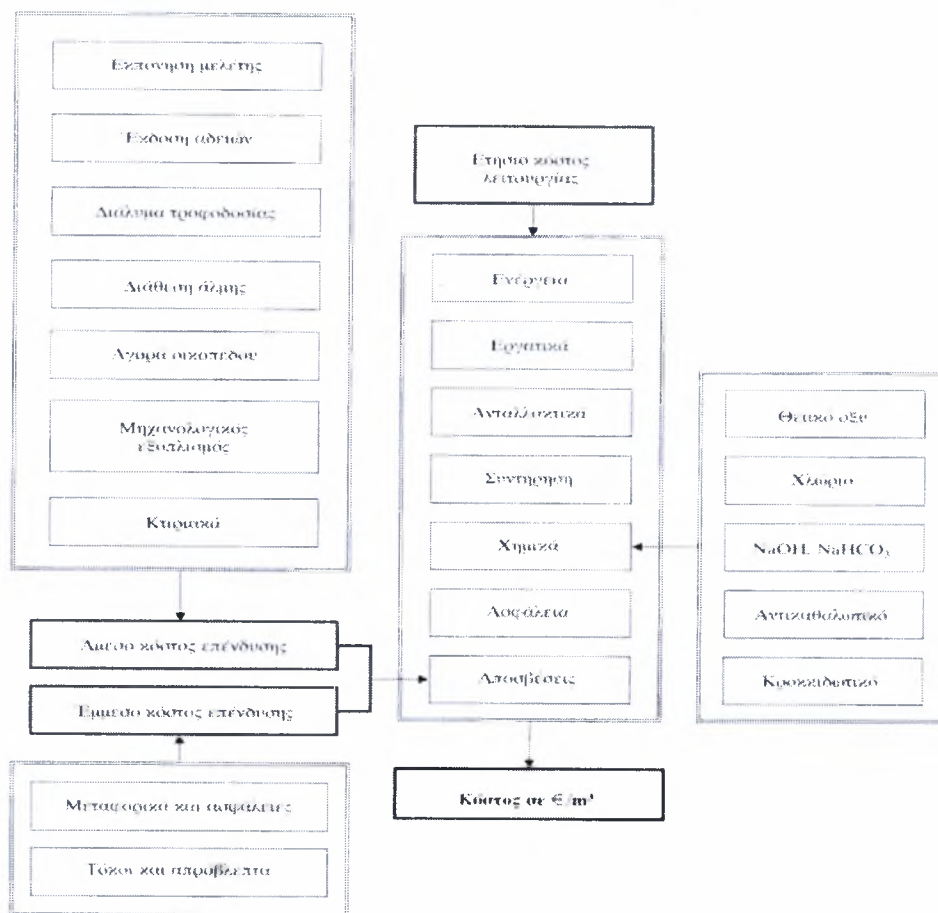
Περιλαμβάνει κάθε δαπάνη για τη λειτουργία της μονάδας, ανθρώπινο δυναμικό, χημικά κλπ. Η αυτοματοποίηση των διεργασιών μπορεί να μειώσει σημαντικά το κόστος λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

## **5. Δυναμικότητα παραγωγής**

Ο όγκος παραγωγής είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες του τελικού κόστους. Γενικά, αναφέρεται ότι όσο αυξάνεται η δυναμικότητα τόσο μειώνεται το κόστος ανά  $m^3$  παραγόμενου νερού.

## **6. Ποιότητα νερού προς αφαλάτωση**

Νερό υψηλής συγκέντρωσης αλάτων, όπως το θαλασσινό, απαιτεί υψηλότερο βαθμό προεπεξεργασίας καθώς και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από τη μονάδα αφαλάτωσης για την επεξεργασία του. Το υφάλμυρο νερό παρουσιάζει μικρότερο κόστος επεξεργασίας σε σχέση με το θαλασσινό.



Εικόνα 22. Στοιχεία κόστους μιας μονάδας αφαλάτωσης (Αυλωνίτης, 2006).

### 5.2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ - ΔΑΠΑΝΩΝ

Σύμφωνα με στοιχεία που πάρθηκαν από τον Younos (2005), προσδιορίστηκαν οι μέσες τιμές του κόστους αφαλάτωσης διαφόρων τεχνολογιών και παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Είναι εμφανές ότι για τις θερμικές τεχνολογίες αφαλάτωσης (πολυβάθμια εξάτμιση MED, πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση MSF και θερμική συμπίεση ατμού TVC) η πολυβάθμια εξάτμιση (MED/MEE) παρουσιάζει το χαμηλότερο κόστος αφαλάτωσης για τη παραγωγή φρέσκου νερού, ενώ για τις τεχνολογίες μεμβρανών (αντίστροφη όσμωση RO, ηλεκτροδιάλυση ED) το χαμηλότερο κόστος εμφανίζεται για την αντίστροφη όσμωση με χρήση υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας.

Πίνακας 7. Κόστος αφαλάτωσης διαφόρων τεχνολογιών αφαλάτωσης (Younos, 2005).

Διαδικασία	MSF	MEE/MED	TVC	RO	RO	ED
Νερό τροφοδοσίας	Θαλασσινό	Θαλασσινό	Θαλασσινό	Θαλασσινό	Υφάλμυρο	Υφάλμυρο
Κόστος (\$/m <sup>3</sup> )	0,70-1,92	0,27-1,49	0,46-1,21	0,45-1,62	0,18-0,70	0,58

Σύμφωνα με τον Πίνακα 8 (Eltawil et al., 2009; Miller, 2003), που παρουσιάζει τις μέσες ενεργειακές απαιτήσεις διαφόρων τύπων διαδικασιών αφαλάτωσης, είναι εμφανές ότι οι θερμικές διαδικασίες αφαλάτωσης απαιτούν περισσότερη συνολική ενέργεια από ότι οι διαδικασίες μεμβρανών ανά μονάδα όγκου επεξεργασμένου νερού.

**Πίνακας 8. Ενεργειακές απαιτήσεις των διαδικασιών αφαλάτωσης (Eltawil et al., 2009; Miller, 2003).**

Διαδικασία	Συνολική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m <sup>3</sup> )
MSF	10,5-13
MED	7,4-9
VC (MVC)	8-27 (9,5-17)
RO (υφάλμυρο νερό)	1,0-2,5
RO (θαλασσινό νερό)	3,1-16,9
ED (υφάλμυρο νερό)	1,1-4

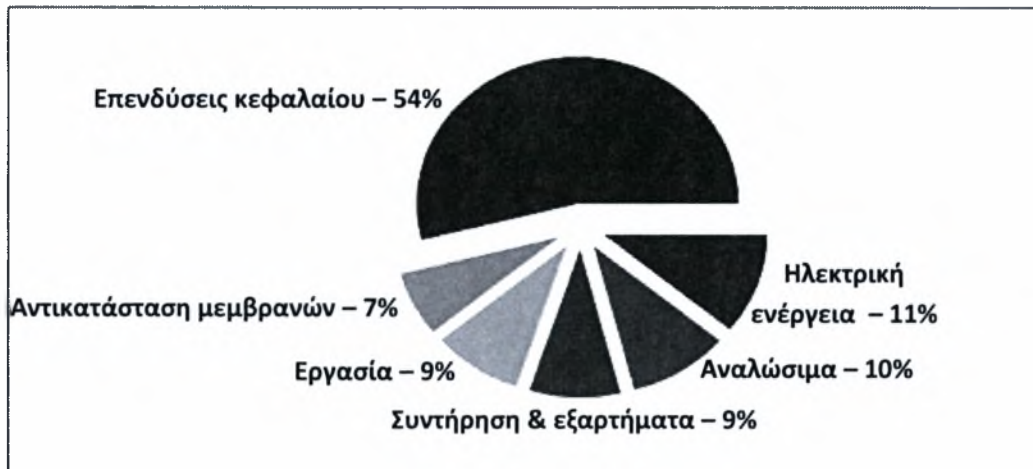
Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι η πολυβάθμια εξάτμιση, από τις θερμικές διαδικασίες, και η αντίστροφη όσμωση, από τις διαδικασίες μεμβρανών, παρουσιάζουν τα ευνοϊκότερα οικονομικά χαρακτηριστικά, τόσο για το κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού όσο και για το εύρος των ενεργειακών τους απαιτήσεων. Προκειμένου όμως, να γίνει κατανοητός ο τρόπος μείωσης του κόστους της αφαλάτωσης, πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε ποιοι είναι οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτό.

### 5.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ (RO)

Το Γράφημα 7 ποσοτικοποιεί τη συμβολή διαφόρων παραγόντων στο συνολικό κόστος αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης (RO). Πάνω από το μισό του συνολικού κόστους είναι άμεσα συνδεδεμένο με τις επενδύσεις κεφαλαίου που απαιτούνται για τη κατασκευή της μονάδας. Τα υπόλοιπα κόστη είναι κατανομημένα μεταξύ των διαφόρων λειτουργικών δαπανών. Η κατανάλωση ενέργειας σε εγκαταστάσεις RO υφάλμυρου νερού είναι πολύ μικρή, αντιστοιχώντας στο 11% του συνολικού κόστους. Η κατηγορία των αναλώσιμων (10%) περιλαμβάνει τις διάφορες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη προεπεξεργασία και μετεπεξεργασία του νερού. Η συντήρηση της μονάδας, συμπεριλαμβανομένου της αντικατάστασης των μεμβρανών περίπου κάθε τρία χρόνια, συμβάλλουν κατά 16% στο κόστος του νερού. Η εργασία καταλαμβάνει το 9%. Ένα συμπέρασμα που μπορεί να προκύψει από αυτή την

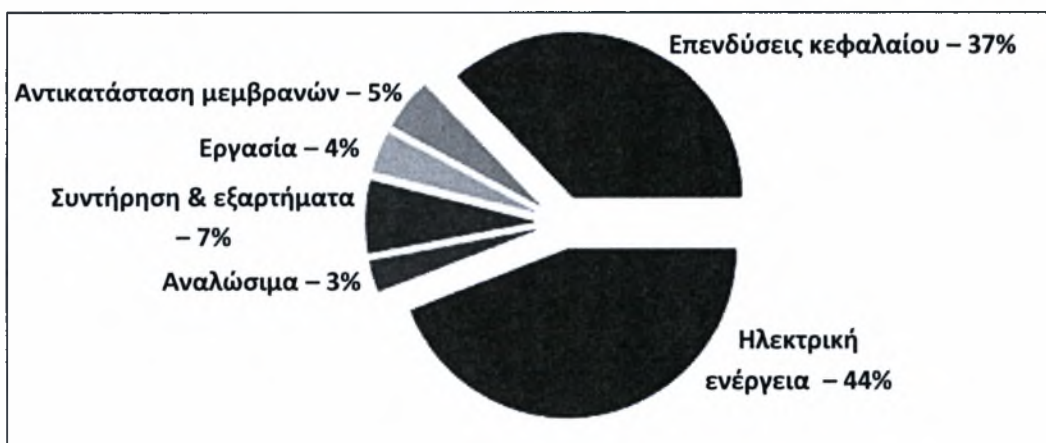


ανάλυση είναι ότι εκτός των σταθερών δαπανών, βελτιώσεις σε οποιοδήποτε τομέα της λειτουργίας των μονάδων θα οδηγούσε σε αυξητική βελτίωση στο συνολικό κόστος των RO μονάδων υφάλμυρου νερού (Miller, 2003; Fritzmann et al., 2007).



**Γράφημα 7. Κατανομή των δαπανών για μονάδα αφαλάτωσης RO υφάλμυρων υδάτων (Miller, 2003).**

Το Γράφημα 8 παρουσιάζει τη κατανομή δαπανών για την RO αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Οι κατηγορίες είναι αντίστοιχες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στο Γράφημα 7, και με μια πρώτη σύγκριση γίνεται φανερό ότι η σημαντικότερη διαφορά είναι η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας (από 11% σε 44%) για την επεξεργασία του θαλασσινού νερού. Οι υπόλοιποι παράγοντες είναι όμοιοι, παρουσιάζοντας, αναλογικά, μικρή μείωση. Κατά συνέπεια, τα σχέδια ενεργειακής ανάκτησης είναι σημαντικά για τις μονάδες RO θαλασσινού νερού, καθώς η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο συνολικό κόστος (Miller, 2003; Fritzmann et al., 2007).

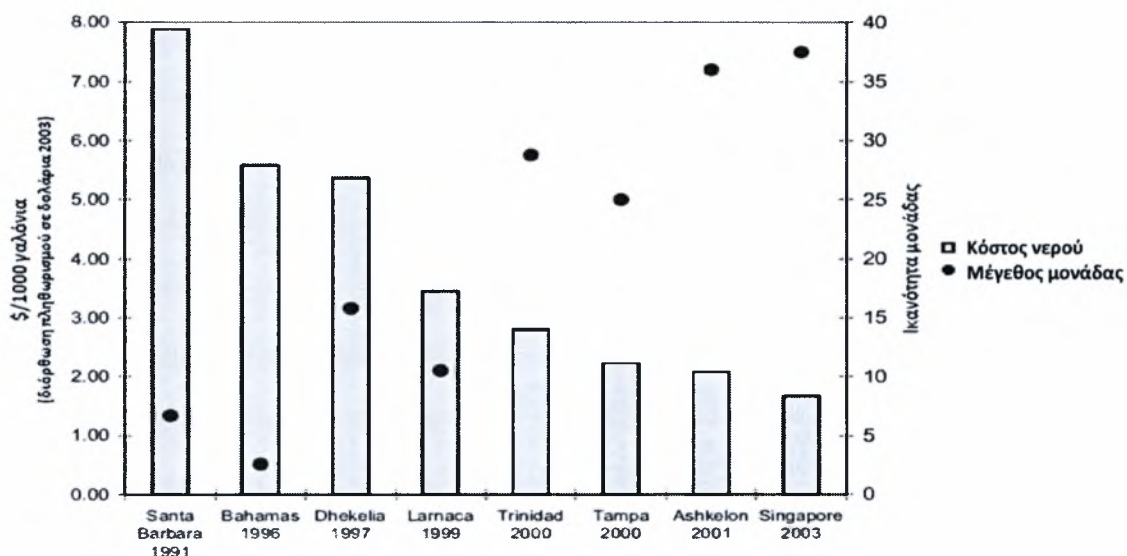


**Γράφημα 8. Κατανομή των δαπανών για μονάδα αφαλάτωσης RO θαλασσινού νερού (Miller, 2003).**



#### 5.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ (RO)

Οι δαπάνες αφαλάτωσης που συνδέονται με τη διαδικασία αντίστροφης όσμωσης έχουν εμφανώς μειωθεί τα τελευταία χρόνια (Γράφημα 9). Αυτές οι μειώσεις δαπανών έχουν εμφανιστεί μέσω των βελτιώσεων στην τεχνολογία μεμβρανών, των συστημάτων ενεργειακής ανάκτησης και των μειώσεων των υλικών δαπανών. Εξετάζοντας τις πρόσφατες βελτιώσεις στην τεχνολογία αφαλάτωσης με τη χρήση μεμβρανών, ουσιαστική περαιτέρω μείωση του κόστους θα μπορούσε να είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Επομένως είναι βασική ανάγκη για μια βαθύτερη και πιο προσεκτική ερευνητική προσπάθεια στοχεύοντας σε πεδία που προσφέρονται για αλλαγές και τροποποιήσεις με στόχο τη περαιτέρω μείωση του κόστους (National Academy of Sciences, 2004).



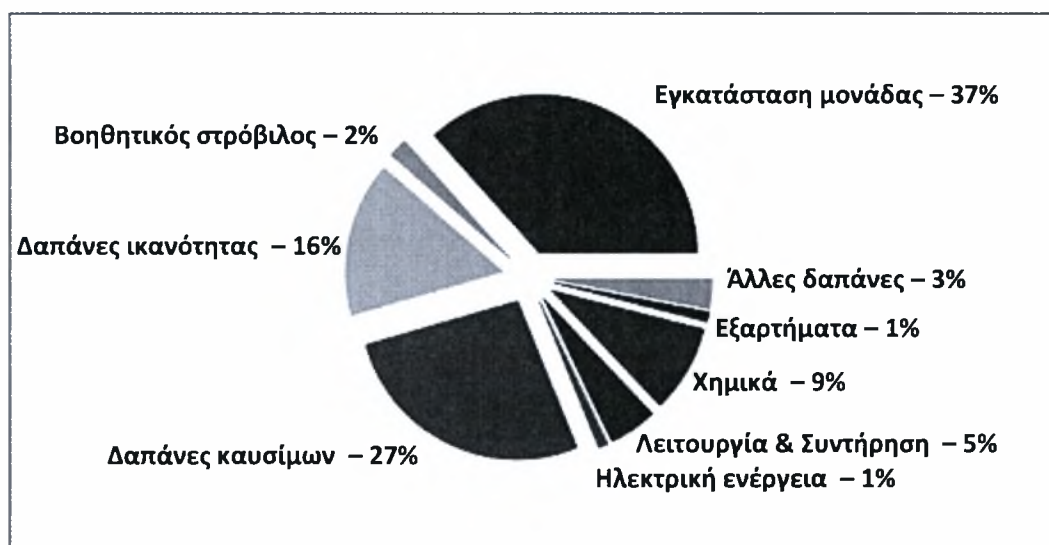
**Γράφημα 9. Πρόσφατες μειώσεις κόστους παραγωγής μονάδων αντίστροφης όσμωσης θαλασσινού νερού. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το κόστος ανά 1000 γαλόνια παραγόμενου νερού (National Academy of Sciences, 2004).**

Συνεχείς βελτιώσεις στα υλικά μεμβρανών, τη διαπερατότητα και των συστημάτων ενεργειακής ανάκτησης θα μπορούσαν να παράγουν συμπληρωματική μείωση του κόστους. Ουσιαστικές μειώσεις θα μπορούσαν επίσης να προκύψουν από βελτιώσεις ή απλοποιήσεις των συστημάτων προεπεξεργασίας για την αφαλάτωση μεμβρανών, καθώς οι κύριες και λειτουργικές δαπάνες για τη προεπεξεργασία της αντίστροφης όσμωσης μπορεί να αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% του συνολικού κόστους ενός συστήματος αντίστροφης όσμωσης (National Academy of Sciences, 2004).

## 5.5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ (ΜΕΕ)

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στο κόστος της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού μέσω της ΜΕΕ παρουσιάζονται στο Γράφημα 10. Οι τιμές λήφθηκαν από ένα σχέδιο κατάστασης – προόδου μιας νέας εγκατάστασης δυναμικότητας 75 εκατομμυρίων γαλονιών ανά ημέρα συνδυασμένη με μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ατμοστρόβιλων στη νότια Καλιφόρνια, παρά από μια ήδη σε λειτουργία μονάδα.

Αν και υπάρχουν μερικές νέες κατηγορίες, η γενική εικόνα είναι παρόμοια με τη περίπτωση της RO για το θαλασσινό νερό. Οι δυο κυριότεροι παράγοντες στο συνολικό κόστος είναι οι επενδύσεις κεφαλαίου (39% για τη μονάδα και τον βοηθητικό στρόβιλο) και οι ενεργειακές δαπάνες (28% για δαπάνες καυσίμου για παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας). Οι δαπάνες ικανότητας είναι το μόνο επιπλέον κόστος με τιμή που ξεπερνά το 10% του συνόλου. Παρομοίως με την RO, οι υπόλοιπες δαπάνες αφορούν χημικά υλικά, λειτουργικά και έξοδα συντήρησης και σχετικές δαπάνες, που συνολικά δεν ξεπερνούν το 20% του συνόλου (Miller, 2003).



Γράφημα 10. Κατανομή δαπανών (κόστη σχεδιασμού) για μονάδα ΜΕΕ αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (Miller, 2003).

## 5.6 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΑΠΑΝΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Η ενεργειακή κατανάλωση αντιπροσωπεύει το 59% των δαπανών για τη παραγωγή νερού από πολύ μεγάλες θερμικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (Γράφημα 11). Το αμέσως μεγαλύτερο κόστος αντιπροσωπεύεται από τις κύριες

δαπάνες (Eltawil et al., 2009). Κατά συνέπεια, οι προσπάθειες μείωσης των δαπανών θα ήταν αποτελεσματικότερες εάν κατευθύνονταν σε αυτές τις περιοχές. Παραδείγματος χάριν, οι ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη λιγότερο δαπανηρών αντιδιαβρωτικών επιφανειών μεταφοράς θερμότητας θα μπορούσαν να μειώσουν και το αρχικό κεφάλαιο και τα ενεργειακά κόστη. Οι σημαντικότερες ευκαιρίες μείωσης δαπανών για τη θερμική αφαλάτωση μπορούν να προκύψουν στον τομέα της διαχείρισης της ενέργειας με τη χρησιμοποίηση των «νέων» πηγών θερμότητας ή ενέργειας για την επίτευξη της εξάτμισης ή μέσω της χρήσης των υπαρχουσών πηγών ενέργειας κατά τη διάρκεια των εκτός αιχμής περιόδων για σκοπούς θερμικής αφαλάτωσης (National Academy of Sciences, 2004).



Γράφημα 11. Κατανομή των τυπικών δαπανών μιας μεγάλης θερμικής μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (National Academy of Sciences, 2004).

## 5.7 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΑΛΛΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ

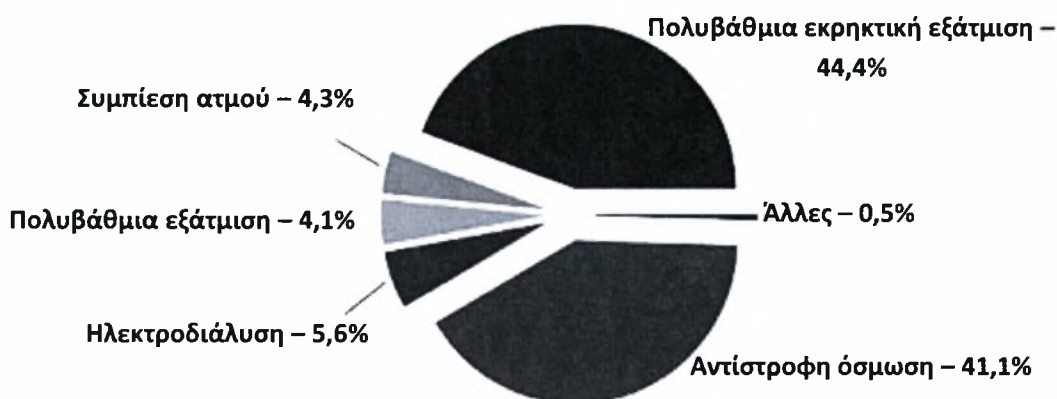
Υπάρχουν διάφοροι πρόσθετοι παράγοντες που μπορεί να συμβάλλουν στις δαπάνες και να επηρεάσουν τη πιθανότητα πραγματοποίησης μια διαδικασίας αφαλάτωσης. Ένας βασικός παράγοντας είναι η προεπεξεργασία. Ο βαθμός που ο αγωγός τροφοδοσίας μπορεί να περιέχει πιθανά θρομβωτικά όπως επικαθίσεις αλάτων, σωματίδια, συστατικά βιολογικής προέλευσης ώστε να ασκήσουν σημαντική επίδραση στο σύνολο των δαπανών. Σε ακραίες περιπτώσεις, με πολύ χαμηλής ποιότητας νερού τροφοδοσίας, η προεπεξεργασία μπορεί να αποτελεί μέχρι και το 30% του συνόλου των λειτουργικών δαπανών των συστημάτων RO. Επομένως, οι βελτιώσεις στο τομέα της

προεπεξεργασίας μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο συνολικό κόστος νερού (Miller, 2003).

Μια δεύτερη εξίσου σημαντική παράμετρος είναι το κόστος και ο αντίκτυπος της διάθεσης της συγκεντρωμένης άλμης. Η διάθεση της άλμης συχνά αναφέρεται ως ένα από τα σοβαρά προβλήματα της αφαλάτωσης και ένας από τους πιθανούς ανασταλτικούς παράγοντες που περιορίζει την αύξηση της βιομηχανίας (NWRI, 2001). Η διάθεση της άλμης αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα για τη αφαλάτωση σε ηπειρωτικές περιοχές. Επίσης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος από τη μη ορθή διάθεση της συγκεντρωμένης άλμης. Οι επιλογές για τη διάθεση της άλμης ποικίλλουν από την επιστροφή της ροής στο περιβάλλον εισαγωγής ή σε παραπόταμο, μέχρι την έγχυση στο γεωλογικό υπόστρωμα σε μεγάλο βάθος, την εξάτμιση και τη ταφή. Για τις παράκτιες μονάδες αφαλάτωσης, η επιστροφή της άλμης στην ανοιχτή θάλασσα αποτελεί δυνατή λύση, αλλά οι περιβαλλοντικές ανησυχίες σχετικά με την εκροή της άλμης μπορεί να αποτρέψει την αδειοδότηση ή να απαιτηθεί η διάθεση της μακριά από την ακτή (Miller, 2003).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> - ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Στο Γράφημα 12 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες εφαρμοζόμενες τεχνολογίες αφαλάτωσης σε όλο το κόσμο, σύμφωνα με μια έρευνα του 1998. Όπως φαίνεται, οι τεχνολογίες της πολυβάθμιας εκρηκτικής εξάτμισης (MSF) και της αντίστροφης όσμωσης (RO) κυριαρχούν, αποτελώντας πάνω από το 85% του συνόλου. Αν και η ικανότητα ήταν ισάξια κατανεμημένη μεταξύ των θερμικών διαδικασιών και διαδικασιών μεμβρανών, οι σύγχρονες τάσεις προτείνουν ότι η τεχνολογία των μεμβρανών θα κυριαρχήσει μελλοντικά στην αγορά (Miller, 2003).



Γράφημα 12. Παγκόσμια κατανομή της εγκατεστημένης ικανότητας αφαλάτωσης ανά κατηγορία τεχνολογίας (Miller, 2003).

Η Μέση Ανατολή και η Βόρεια Αφρική φιλοξενούν το 77% όλων των μονάδων αφαλάτωσης του πλανήτη και ακολουθούν η Ευρώπη με 10%, η Αμερική με 7% και η περιφέρεια της Ασίας – Ειρηνικού με 6% (Lattemann and Hörner, 2008). Η κατανομή της ικανότητας αφαλάτωσης και του ποσοστού που αναλογεί σε κάθε τεχνολογία αφαλάτωσης ανά χώρα δίνεται στον Πίνακα 9. Το 1998, περισσότερο από το 75% της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης παράγονταν από 11 χώρες. Όπως είναι αναμενόμενο, οι 6 από τις 11 χώρες με τη μεγαλύτερη ικανότητα βρίσκονται στη Μέση Ανατολή (Miller, 2003), όπου φιλοξενούνται περίπου τα 2/3 όλων των μονάδων αφαλάτωσης που υπάρχουν στο πλανήτη και συγκεντρώνεται το 60% της παγκόσμιας ικανότητας (Pantell, 1993). Οι θερμικές διαδικασίες είναι κυρίαρχες σε αυτή τη περιοχή του πλανήτη, για δυο λόγους: αφθονία ενεργειακών πόρων και ιστορική εμπιστοσύνη στη τεχνολογία της αφαλάτωσης που προηγείται χρονικά της εμφάνισης των σύγχρονων μεμβρανών αντίστροφης όσμωσης. Οι ΗΠΑ αποτελούν τη δεύτερη κατά



σειρά χώρα μετά τη Σαουδική Αραβία στην ικανότητα αφαλάτωσης. Η αύξηση της ικανότητας αφαλάτωσης στις ΗΠΑ οφείλεται στις τεχνολογικές προόδους στο τομέα των μεμβρανών, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών (Miller, 2003).

**Πίνακας 9. Εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης ανά χώρα (Miller 2003).**

Χώρα	Συνολική ικανότητα (m <sup>3</sup> /ημερα)	Ποσοστό παγκόσμιας παραγωγής (%)	MSF	MEE	MVC	RO	ED
Σαουδική Αραβία	5.253.200	25,9	65,7	0,3	1,2	31	1,8
ΗΠΑ	3.092.500	15,2	1,7	1,8	4,5	78	11,4
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	2.164.500	10,7	89,8	0,4	3,0	6,5	0,2
Κουβέιτ	1.538.400	7,6	95,5	0,7	0,0	3,4	0,3
Ιαπωνία	745.300	3,7	4,7	2,0	0,0	86,4	6,8
Λιβύη	683.300	3,4	67,7	0,9	1,8	19,6	9,8
Κατάρ	566.900	2,8	94,4	0,6	3,3	0,0	0,0
Ισπανία	529.900	2,6	10,6	0,9	8,7	68,9	10,9
Ιταλία	518.700	2,6	43,2	1,9	15,1	20,4	19,2
Μπαχρέϊν	309.200	1,5	52,0	0,0	1,5	41,7	4,5
Ομάν	192.000	0,9	84,1	2,2	0,0	11,7	0,0
<b>Σύνολο</b>	<b>15.594.500</b>	<b>76,9</b>					

Ο Πίνακας 10 παρουσιάζει τον αριθμό εγκαταστάσεων που έχουν τεθεί σε λειτουργία ή είναι υπό κατασκευή, βάσει της λειτουργικής τους ικανότητας, έως τη 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2005. Στο σύνολο, οι εγκαταστάσεις έχουν μια συνδυασμένη ικανότητα που υπερβαίνει τα 55 εκατομμύριο κυβικά μέτρα ανά ημέρα. Ωστόσο, η πραγματική λειτουργική ικανότητα είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή (Πίνακας 11). Υπολογίζεται ότι η πραγματική λειτουργική ικανότητα, περιορίζεται σε 32 εκατομμύριο κυβικά μέτρα ανά ημέρα. Περισσότερο από το 50% της συνολικής ικανότητας αφαλάτωσης, και πάνω από 99% του συνόλου των εγκαταστάσεων, παράγουν λιγότερο από 100.000 κυβικά μέτρα νερού ανά ημέρα. Λιγότερες από 70 εγκαταστάσεις, από ένα σύνολο μεγαλύτερο των 10.000, είναι υπεύθυνες για περισσότερο από το 45% όλης της ικανότητας αφαλάτωσης, αλλά πολλές από τις μεγαλύτερες σε δυναμικότητα εγκαταστάσεις στο

συγκεκριμένο πίνακα δεν είναι σε λειτουργία, ή ακόμα και στο στάδιο της κατασκευής (Pacific Institute, 2009a).

**Πίνακας 10. Αριθμός μονάδων αφαλάτωσης και ικανότητας παγκοσμίως (1/1/2005) (Pacific Institute, 2009a)**

Συνολική ικανότητα: κυβικά μέτρα ανά ημέρα		55.377.299	
Αριθμός μονάδων		10.597	
Εύρος ικανότητας μονάδων (m <sup>3</sup> /ημέρα )	Ικανότητα παραγωγής (m <sup>3</sup> /ημέρα )	Ποσοστό συνολικής ικανότητας	Αριθμός μονάδων
Έως 5.000	8.458.296	15,3	9.411
5.000-10.000	3.538.791	6,4	478
10.000-20.000	4.543.670	8,2	306
20.000-30.000	2.813.661	5,1	112
30.000-40.000	1.807.389	3,3	51
40.000-50.000	2.213.031	4,0	48
50.000-60.000	1.383.728	2,5	25
60.000-70.000	466.750	0,8	7
70.000-80.000	697.300	1,3	9
80.000-90.000	1.095.386	2,0	13
90.000-100.000	2.559.099	4,6	27
100.000-150.000	5.279.903	9,5	43
150.000-200.000	2.431.790	4,4	14
200.000-250.000	3.246.650	5,9	14
250.000-300.000	5.584.897	10,1	20
300.000-350.000	1.004.050	1,8	3
350.000-400.000	1.541.508	2,8	4
400.000-450.000	408.600	0,7	1
450.000-500.000	2.725.800	4,9	6
500.000-550.000	0	0,0	0
550.000-600.000	1.167.000	2,1	2
600.000-650.000	0	0,0	0
650.000-700.000	0	0,0	0
700.000-750.000	730.000	1,3	1
750.000-800.000	800.000	1,4	1
800.000-850.000	0	0,0	0
850.000-900.000	880.000	1,6	1
<b>Σύνολο</b>	<b>55.377.299</b>	<b>100</b>	<b>10.597</b>

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τις ετήσιες αυξήσεις στην εγκατεστημένη παγκόσμια ικανότητα και τη συσσωρευτική ικανότητα σε εκατομμύρια m<sup>3</sup>/ημέρα. Επίσης παρουσιάζεται ο αριθμός των προστιθέμενων εγκαταστάσεων ανά έτος. Περιλαμβάνονται οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν ως νερό τροφοδοσίας θαλασσινό, υφάλμυρο, ποταμών καθώς και άλλες πηγές νερού, και όχι αποκλειστικά εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού της θάλασσας. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη χρήση αυτών των στοιχείων, καθώς μερικές από αυτές τις εγκαταστάσεις μπορεί να κατασκευάστηκαν, να λειτούργησαν, και έπειτα να τέθηκαν εκτός λειτουργίας.

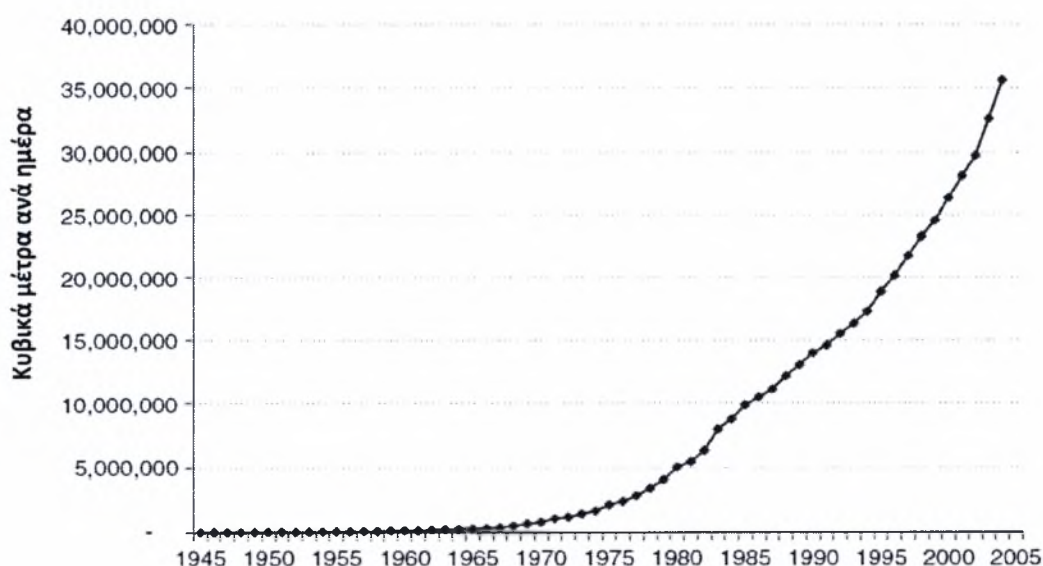
**Πίνακας 11. Εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης ανά έτος, αριθμό μονάδων και συνολικής ικανότητας (Pacific Institute, 2009b)**

Έτος	Αριθμός μονάδων	Εγκατεστημένη Ικανότητα (m <sup>3</sup> /ημέρα )	Συσσωρευτική ικανότητα (m <sup>3</sup> /ημέρα )
1945	1	326	326
1946	0	-	326
1947	5	2.461	2.787
1948	1	114	2.901
1949	4	2.960	5.861
1950	5	3.000	8.861
1951	2	446	9.307
1952	14	7.295	16.602
1953	7	7.096	23.698
1954	13	15.879	39.577
1955	13	7.113	46.690
1956	26	13.310	60.000
1957	18	8.232	68.232
1958	8	5.758	73.990
1959	21	29.315	103.305
1960	23	19.742	123.047
1961	18	10.055	133.102
1962	20	28.314	161.416
1963	24	40.282	201.698
1964	24	21.761	223.459
1965	27	43.842	267.301
1966	37	38.842	306.143
1967	23	53.760	359.903
1968	53	116.887	476.790
1969	37	179.499	656.289
1970	54	115.358	771.647
1971	78	272.358	1.044.005
1972	70	109.729	1.153.734
1973	160	256.816	1.410.550
1974	166	228.701	1.639.251
1975	176	484.941	2.124.192
1976	191	241.856	2.366.048
1977	257	451.860	2.817.908
1978	224	572.873	3.390.781
1979	280	676.744	4.067.525
1980	304	963.998	5.031.523
1981	235	419.997	5.451.520
1982	307	860.906	6.312.426
1983	284	1.636.511	7.948.937
1984	330	815.495	8.764.432
1985	316	1.118.472	9.882.904
1986	341	619.837	10.502.741
1987	295	633.634	11.136.375
1988	304	1.050.311	12.186.686

1989	319	884.050	13.070.736
1990	324	936.610	14.007.346
1991	275	611.609	14.618.955
1992	336	918.189	15.537.144
1993	308	822.755	16.359.899
1994	372	931.244	17.291.143
1995	476	1.580.061	18.871.204
1996	415	1.277.372	20.148.576
1997	384	1.534.241	21.682.817
1998	400	1.535.182	23.217.999
1999	343	1.290.485	24.508.484
2000	457	1.791.110	26.299.594
2001	409	1.796.573	28.096.167
2002	346	1.644.347	29.740.514
2003	266	2.872.564	32.613.078
2004	176	3.014.296	35.627.374
<b>Σύνολο</b>	<b>10.402</b>	<b>35.627.374</b>	

Το Γράφημα 13 παρουσιάζει την αύξηση στην ικανότητα αφαλάτωσης με την πάροδο του χρόνου. Από τα μέσα της δεκαετίας του '40 έως τα τέλη της δεκαετίας του '60, η ικανότητα αφαλάτωσης των εγκατεστημένων μονάδων ήταν περιορισμένη, ακολουθώντας μια στάσιμη, γραμμική πορεία. Είναι εμφανές ότι η σημαντική αύξηση της ικανότητας αφαλάτωσης των μονάδων εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '70, και συνεχίζεται έως σήμερα με εκθετικούς ρυθμούς.

**Συσσωρευτική εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης, 1945-2004**



**Γράφημα 13. Συσσωρευτική ικανότητα των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης, για τη περίοδο 1945 έως 2004 (Pacific Institute, 2009b).**

Τα στοιχεία των Πινάκων 10 και 11, συλλέχθηκαν από ένα ευρύ φάσμα πηγών επομένως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση αυτών των δεδομένων, καθώς περιλαμβάνονται εγκαταστάσεις των οποίων η κατασκευή έχει εγκριθεί αλλά δεν έχουν ολοκληρωθεί, μη λειτουργικές εγκαταστάσεις, λειτουργικές εγκαταστάσεις που τεθήκαν εκτός λειτουργίας, ή μονάδες που λειτουργούν ακόμα.

Ο Πίνακας 10 περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν το νερό της θάλασσας, το υφάλμυρο νερό, νερό ποταμών, και άλλες πηγές νερού και όχι αποκλειστικά εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού της θάλασσας. Οι εγκαταστάσεις με ικανότητες μικρότερες των 500 κυβικών μέτρων ανά ημέρα δεν συμπεριλαμβάνονται (Pacific Institute, 2009a).

Από τον Πίνακα 11 αποκλείονται οι εγκαταστάσεις των οποίων η κατασκευή έχει προγραμματιστεί ή τελούν υπό κατασκευή. Κατά συνέπεια, ο Πίνακας 11 παρέχει μια καλύτερη ένδειξη της παγκόσμιας ικανότητας των μονάδων αφαλάτωσης από το Πίνακα 10, αν και περιλαμβάνει μονάδες που πιθανόν δεν πλέον είναι λειτουργικές (Pacific Institute, 2009b).

Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει την ικανότητα αφαλάτωσης ανά χώρα (σύνολο χωρών: 100), σύμφωνα με μια έρευνα του 1996. Οι πρώτες 50 χώρες παρουσιάζουν συνολική ικανότητα αφαλάτωσης της τάξης των 18.342.379 m<sup>3</sup>/ημέρα, συμβάλλοντας κατά 98,3% στη συνολική ικανότητα αφαλάτωσης. Η Ελλάδα, που βρίσκεται στη 40<sup>η</sup> θέση της λίστας, βάσει της ικανότητας αφαλάτωσης, παρουσιάζει ημερήσια ικανότητα 35.620 m<sup>3</sup>, και αντιστοιχεί μόλις στο 0,19% του συνόλου.

**Πίνακας 12. Ικανότητα αφαλάτωσης ανά χώρα (1/1/1996) (Pacific Institute, 2009c).**

A/A	Χώρα	Συνολική ικανότητα (κυβικά μέτρα/ημέρα)
1	Σαουδική Αραβία (Saudi Arabia)	5.006.194
2	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (United States)	2.799.000
3	Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (United Arab Emirates)	2.134.233
4	Κουβέιτ (Kuwait)	1.284.327
5	Λιβύη (Libya)	638.377
6	Ιαπωνία (Japan)	637.900
7	Κατάρ (Qatar)	560.764
8	Ισπανία (Spain)	492.824
9	Ιταλία (Italy)	483.668
10	Ιράν (Iran)	423.427



11	Ιράκ (Iraq)	324.476
12	Μπαχρέιν (Bahrain)	282.955
13	Κορέα (Korea)	265.957
14	Ολλανδικές Αντίλλες (Netherland Antilles)	210.905
15	Αλγερία (Algeria)	190.837
16	Χονγκ Κονγκ (Hong Kong)	183.079
17	Ομάν (Oman)	180.621
18	Καζακστάν (Kazakhstan)	167.379
19	Μάλτα (Malta)	145.031
20	Σιγκαπούρη (Singapore)	133.695
21	Ρωσία (Russia)	116.140
22	Ινδία (India)	115.509
23	Ολλανδία (Holland)	110.438
24	Μεξικό (Mexico)	105.146
25	Ινδονησία (Indonesia)	103.244
26	Αίγυπτος (Egypt)	102.051
27	Μεγάλη Βρετανία (Great Britain)	101.397
28	Ταϊβάν (Taiwan)	101.180
29	Ισραήλ (Israel)	90.378
30	Χιλή (Chile)	83.509
31	Αυστραλία (Australia)	82.129
32	Νότια Αφρική (South Africa)	79.531
33	Παρθένοι Νήσοι St. Croix (Virgin Islands St. Croix)	71.940
34	Τυνησία (Tunisia)	47.402
35	Παρθένοι Νήσοι St. Thomas (Virgin Islands St. Thomas)	46.807
36	Τουρμενιστάν (Turmenistan)	43.707
37	Μπαχάμες (Bahamas)	37.474
38	Υεμένη (Yemen)	36.996
39	Καναδάς (Canada)	35.629
<b>40</b>	<b>Ελλάδα (Greece)</b>	<b>35.620</b>
41	Παρθένοι Νήσοι Tortola (Virgin Islands Tortola)	31.702
42	Ουζμπεκιστάν (Uzbekistan)	31.200
43	Γαλλία (France)	29.112
44	Αντίγκουα (Antigua)	28.533
45	Περού (Peru)	24.538
46	Ταϊλάνδη (Thailand)	24.075
47	Ουκρανία (Ukraine)	21.000
48	Πολωνία (Poland)	20.564
49	Γιβραλτάρ (Gibralter)	20.079
50	Μαρόκο (Morocco)	19.700
51	Βενεζουέλα (Venezuela)	19.629
52	Κούβα (Cuba)	18.926
53	Λίβανος (Lebanon)	17.083
54	Νησιά Κέιμαν (Cayman Islands)	16.986
55	Μαλδίβες (Maldives)	16.940
56	Αργεντινή (Argentina)	15.960
57	Αυστρία (Austria)	14.540
58	Μαλαισία (Malaysia)	13.699

59	Βερμουδες (Bermudas)	13.171
60	Αζερμπαϊτζάν (Azerbaijan)	12.680
61	Λευκορωσία (Belarus)	12.640
62	Δημοκρατία της Τσεχίας (Czech Republic)	11.085
63	Πράσινο Ακρωτήριο (Cabo Verde)	10.500
64	Γαλλική Αντίγκουα (French Antigua)	10.400
65	Κολομβία (Colombia)	7.165
66	Ιορδανία (Jordan)	7.131
67	Σαχάρα (Sahara)	7.002
68	Κύπρος (Cyprus)	6.275
69	Τζαμάικα (Jamaica)	6.094
70	Νιγηρία (Nigeria)	6.000
71	Δανία (Denmark)	5.960
72	Πορτογαλία (Portugal)	5.920
73	Φιλιππίνες (Philippines)	5.648
74	Συρία (Syria)	5.488
75	Πακιστάν (Pakistan)	4.560
76	Μαυριτανία (Mauritania)	4.440
77	Ισημερινός (Ecuador)	4.433
78	Βέλγιο (Belgium)	3.900
79	Ιρλανδία (Ireland)	2.725
80	Νησιά Μάρσαλ (Marshall Island)	2.650
81	Ελβετία (Switzerland)	2.506
82	Γιουγκοσλαβία (Yugoslavia)	2.204
83	Σουδάν (Sudan)	1.450
84	Νήσος Αναλήψεως (Ascension)	1.362
85	Βουλγαρία (Bulgaria)	1.320
86	Σουηδία (Sweden)	1.300
87	Νορβηγία (Norway)	1.200
88	Ναούρου (Nauru Pacific)	1.136
89	Δομινικανή Δημοκρατία (Dominican Republic)	1.135
90	Ναμίμπια (Namibia)	1.090
91	Βραζιλία (Brazil)	1.079
92	Παραγουάη (Paraguay)	1.000
93	Μπελίζ (Belize)	757
94	Παρθένοι Νήσοι (Virgin Islands Handsome Bay)	681
95	Παρθένοι Νήσοι (Virgin Islands Road Town)	681
96	Ονδούρα (Honduras)	651
97	Νήσοι Τερκς και Κάικος (Turks and Caicos)	640
98	Τουρκία (Turkey)	600
99	Παρθένοι Νήσοι St. John (Virgin Islands St. John)	568
100	Ουγγαρία (Hungary)	500
	<b>Σύνολο</b>	<b>18.653.869</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>0</sup> - ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ – ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

### 7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Ελλάδα θεωρείται χώρα με επαρκείς υδάτινους πόρους, επιφανειακούς και υπόγειους. Είναι γεγονός πως η χώρα περιλαμβάνει αναλογικά με το μέγεθος της σημαντικό αριθμό ποταμών και λιμνών και επίσης οι γεωλογικές τις συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη υπόγειων υδροφορέων. Παρά την αφθονία της χώρας μας σε ανανεώσιμους υδάτινους πόρους (782 m<sup>3</sup> πόσιμου νερού ανά κάτοικο ετησίως, έναντι 584 m<sup>3</sup> της Γαλλίας, 460 m<sup>3</sup> της Γερμανίας, 284 m<sup>3</sup> της Ιρλανδίας και 50 m<sup>3</sup> της Μάλτας) αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα. Αν και τα προβλήματα δεν είναι ανάλογου μεγέθους με άλλες περιοχές του πλανήτη, οι ενδείξεις δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό στο άμεσο μέλλον να αντιμετωπίσει σοβαρό πρόβλημα λειψυδρίας λόγω της γεωγραφικής κατανομής του υδατικού δυναμικού (συγκέντρωση στα δυτικά και βόρεια της χώρας), της ανορθολογικής διαχείρισης και των ανύδρων νησιών της (Δαγκαλίδης, 2009). Οι λόγοι, σύμφωνα με το ΔΙΠΕ (2009), ΥΠΑΝ (2003) και ΥΠΕΧΩΔΕ (2008), είναι οι παρακάτω:

- η γεωμορφολογία της χώρας
- η χωρική και χρονική ανισοκατανομή των υδάτινων πόρων και της ζήτησης, σε αντίθεση με τη κατανομή της προσφοράς
- η εκτεταμένη ακτογραμμή-παράκτιοι υφάλμυροι υδροφόροι ορίζοντες
- η αστυφιλία
- το πλήθος μικρής έκτασης κατοικημένων νησιών, τα οποία συχνά είναι άνυδρα
- η εξάρτηση της Βόρειας Ελλάδας από διασυνοριακά ύδατα
- σημαντική κατανάλωση νερού στο πρωτογενή τομέα
- η μη εφαρμογή σχεδίων αειφορικής διαχείρισης, κατά την οποία θα προβλέπεται τόσο το οικονομικό και τεχνικό κόστος, όσο και το περιβαλλοντικό. Το νερό αποτελεί φυσικό πόρο, κοινωνικό και οικονομικό αγαθό καθώς και περιβαλλοντικό στοιχείο
- η πλημμελής και αποσπασματική αντιμετώπιση της διαχείρισης από την πολιτεία. Η πολυδιάσπαση και η ανταγωνιστικότητα των σχετικών με τους υδάτινους πόρους αρμοδιοτήτων σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, η απουσία προσωπικού και υλικοτεχνικής υποδομής, η έλλειψη σχεδιασμού και

προγραμματισμού έχουν το προφανές αποτέλεσμα μιας περιστασιακής και μη ορθολογικής διαχείρισης.

## 7.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η Ελλάδα θεωρείται χώρα πλούσια σε υδάτινους πόρους, οι οποίοι ωστόσο είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένοι. Αρκετά υδατικά διαμερίσματα της χώρας είναι ελλειμματικά κατά τους θερινούς μήνες, λόγω των αυξημένων αναγκών του γεωργικού και του τουριστικού τομέα αλλά και της μη ορθολογικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων, σε συνδυασμό με την ελάχιστη προσφορά νερού, λόγω των κλιματικών συνθηκών της χώρας.

Στο Πίνακα 13 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η κατάσταση που επικρατεί σχετικά με την επάρκεια νερού σε εθνικό επίπεδο ανά υδατικό διαμέρισμα, δίνοντας το ισοζύγιο προσφοράς – ζήτησης σε κάθε ένα από αυτά, λαμβάνοντας ως δείκτη τη τιμή του μήνα Ιουλίου, του δυσμενέστερου από άποψη ισοζυγίου (ΥΠΑΝ, 2003; ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008).

**Πίνακας 13. Σύγκριση Προσφοράς – Ζήτησης ανά Υδατικό Διαμέρισμα (ΥΠΑΝ, 2003; ΥΠΕΧΩΔΕ, 2008).**

Υδατικά διαμερίσματα	Πρόσφορα hm <sup>3</sup>	Ζήτηση hm <sup>3</sup>	Παρατηρήσεις (ισοζύγιο)
1. Δυτικής Πελοποννήσου	73	55	Πλεονασματικό
2. Βόρειας Πελοποννήσου	122	104	Πλεονασματικό
3. Ανατολικής Πελοποννήσου	56	67	Ελλειμματικό
4. Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	415	82	Ισχυρά Πλεονασματικό
5. Ηπείρου	193	33	Ισχυρά Πλεονασματικό
6. Αττικής	56	54	Οριακά Πλεονασματικό
7. Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας	128	187	Ελλειμματικό
8. Θεσσαλίας	210	335	Ελλειμματικό
9. Δυτικής Μακεδονίας	159	136	Πλεονασματικό
10. Κεντρικής Μακεδονίας	137	130	Οριακά Πλεονασματικό
11. Ανατολικής Μακεδονίας	354	132	Πλεονασματικό
12. Θράκης	424	253	Πλεονασματικό
13. Κρήτης	130	133	Οριακά Ελλειμματικό
14. Νήσων Αιγαίου	7	25	Ελλειμματικό

Κάθε υδατικό διαμέρισμα της χώρας χαρακτηρίστηκε με έναν από τους ακόλουθους προσδιορισμούς:

- *Πλεονασματικό*: εφόσον η προσφορά υπερβαίνει το 110% της ζήτησης.
- *Οριακά πλεονασματικό*: εφόσον η προσφορά κυμαίνεται από το 100% ως το 110% της ζήτησης.

- *Οριακά ελλειμματικό*: εφόσον η προσφορά κυμαίνεται από το 90% ως το 100% της ζήτησης.
- *Ελλειμματικό*: εφόσον η προσφορά υπολείπεται του 90% της ζήτησης.

Σε 4 από τα 14 υδατικά διαμερίσματα το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο, με τη ζήτηση να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τη διαθέσιμη ποσότητα (Χάρτης 1). Το πρόβλημα είναι εντονότερο στα νησιά του Αιγαίου, στη Θεσσαλία, την Ανατολική Πελοπόννησο και τη Στερεά Ελλάδα (Δαγκαλίδης, 2009; ΥΠΑΝ, 2003).



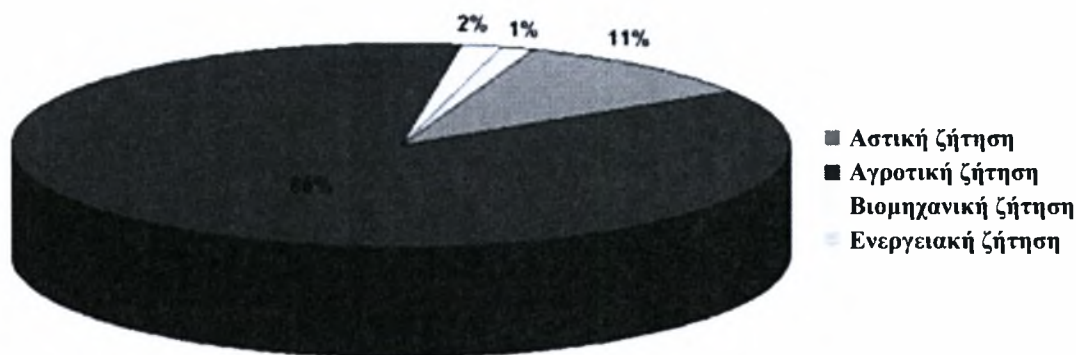
**Χάρτης 1. Διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων (Μανωλάκος, 2009).**

Στο βόρειο, βορειοανατολικό και βορειοδυτικό τμήμα της χώρας, οι λεκάνες απορροής παρουσιάζουν ως επί το πλείστον πλεονασματικό υδατικό ισοζύγιο. Στο κεντρικό τμήμα της χώρας, όπου συναντάται η Θεσσαλία και η Στερεά Ελλάδα, η ζήτηση νερού βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και φαίνεται να διατηρεί αυτόν τον αυξητικό ρυθμό. Το ισοζύγιο τείνει να είναι ελλειμματικό. Στο νότιο τμήμα της χώρας, εντοπίζεται το σοβαρότερο έλλειμμα υδάτινων πόρων. Όσον αφορά τη περιοχή της Πελοποννήσου, διακρίνεται σε τρία τμήματα. Το βόρειο και δυτικό τμήμα με πλεόνασμα υδάτων, και το ανατολικό τμήμα που παρουσιάζει έλλειμμα υδάτινων πόρων. Στο Υδατικό Διαμέρισμα



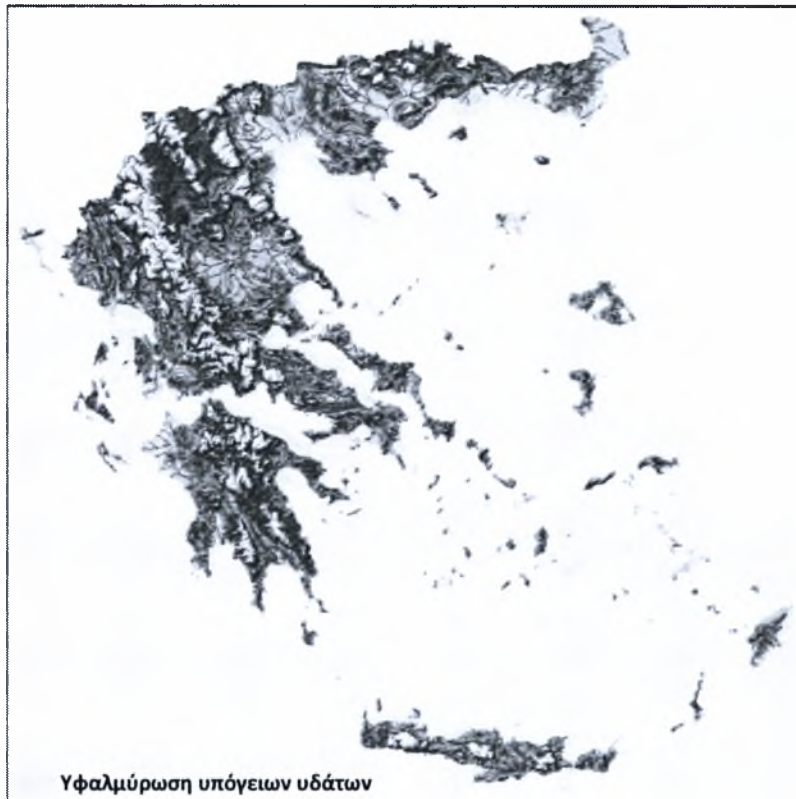
των Νήσων Αιγαίου, η προσφορά είναι κατά πολύ μικρότερη από τη ζήτηση. Οπότε εύκολα εννοείται ότι η ζήτηση είτε δεν καλύπτεται είτε καλύπτεται από εισαγόμενες ποσότητες υδάτων. Από τη στιγμή που οι προσφερόμενες ποσότητες νερού δεν καλύπτουν τις ανάγκες, το ισοζύγιο είναι ελλειμματικό.

Γενικά, στη χώρα μας, όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 14, το 86% των συνολικών υδάτινων πόρων χρησιμοποιείται για άρδευση (έναντι του 24% στην Ε.Ε.), ενώ τα ποσοστά αυτά είναι υψηλότερα στις περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα εξάντλησης-υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων (Θεσσαλία, Ανατ. Πελοπόννησος, Ανατ. Στερεά) (Δαγκαλίδης, 2009; ΔΙΠΕ, 2010).



Γράφημα 14. Συνολική κατανομή της ζήτησης νερού στην Ελλάδα (ΔΙΠΕ, 2010).

Σύμφωνα με εκτιμήσεις λειτουργούν στη χώρα μας περίπου 300.000 γεωτρήσεις (35-40% εκ των οποίων παράνομες) αριθμός υπερβολικός για τις δυνατότητες των υπόγειων υδροφορέων (κατά 31% για το σύνολο της χώρας, +320% στη Θεσσαλία, +260% στην Αττική, +200% στην Πελοπόννησο και τα νησιά του Αιγαίου, +20% στην Κεντρική και +30% στη Δυτική Μακεδονία). Η υπερβολική χρήση άριστης ποιότητας πόσιμου νερού προερχόμενου από γεωτρήσεις, για άρδευση αποτελεί κατασπατάληση και υπερεκμετάλλευση πολύτιμων και δύσκολα ανανεώσιμων πόρων. Η ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση έχει σαν συνέπεια τη μείωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και κυρίως την υφαλμύρωση τεράστιων παραθαλάσσιων εκτάσεων σε επικίνδυνα επίπεδα (Χάρτης 2). Εκτιμάται ότι η υφαλμύρωση υπερβαίνει τα 2.000.000 στρέμματα γεωργικής γης με οξυμμένα προβλήματα σε πολλές παράκτιες περιοχές του Αιγαίου (Δαγκαλίδης, 2009).



Χάρτης 2. Περιοχές που εμφανίζουν πρόβλημα υφαλμύρωσης του υδροφόρου ορίζοντα (Μανωλάκος, 2009).

### 7.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ

Έλλειμμα υδάτινων πόρων παρουσιάζουν ήδη πολλά νησιά της χώρας μας, τα οποία ή είναι άνυδρα ή αντιμετωπίζουν περιόδους λειψυδρίας, κυρίως στις Νότιες Κυκλάδες, στα μικρής έκτασης απομακρυσμένα νησιά των Δωδεκανήσων και στην Κρήτη. Σημαντική επιρροή σε αυτές τις περιοχές έχει τόσο η κλιματική αλλαγή, όσο και η τουριστική δραστηριότητα ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο που έχουμε αύξηση της ζήτησης (Πίνακας 14). Αποτελέσματα αυτής της κατάστασης είναι η ύφεση της εξέλιξης της ζωής σε αυτά τα νησιά, η μείωση του μόνιμου πληθυσμού τους, αλλά και η μείωση του τουρισμού που επηρεάζει τόσο την οικονομία των νησιών όσο και ολόκληρης της χώρας.

Στο Αιγαίο, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια από την ηπειρωτική Ελλάδα ή από γειτονικά νησιά όπου υπάρχουν υδάτινα αποθέματα (π.χ. Ρόδος). Η λύση αυτή είναι εξαιρετικά δαπανηρή αφού το κόστος της μεταφοράς είναι αρκετά υψηλό, ξεπερνώντας πολλές φορές τα 7€/m<sup>3</sup>. Ο Χάρτης 3 παρουσιάζει τα νησιά του Αιγαίου που εισάγουν νερό και τις σχετικές ετήσιες ποσότητες νερού, για το έτος 2007 (Gikas and Angelakis, 2009).



Χάρτης 3. Ο όγκος πόσιμου νερού ( $m^3$ ) που μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια στα νησιά του Αιγαίου, για το έτος 2007 (Gikas and Angelakis, 2009).

Πίνακας 14. Μηνιαίος όγκος εισαγόμενου νερού στα νησιά των Κυκλάδων και Δωδεκανήσων (Gikas and Angelakis, 2009).

Μήνες	Όγκος νερού ( $m^3$ / μήνα)	
	Κυκλάδες	Δωδεκάνησα
Ιανουάριος	25.900	50.600
Φεβρουάριος	23.600	38.500
Μάρτιος	29.600	61.700
Απρίλιος	44.300	73.400
Μάιος	51.200	90.900
Ιούνιος	64.300	112.400
Ιούλιος	70.000	111.300
Αύγουστος	78.300	119.200
Σεπτέμβριος	72.100	107.000
Οκτώβριος	52.600	99.200
Νοέμβριος	31.300	81.500
Δεκέμβριος	27.700	63.800
<b>Σύνολο</b>	<b>~570.000</b>	<b>~1.000.000</b>

Η λύση φαίνεται να έρχεται από τη θάλασσα. Η θάλασσα αποτελεί ίσως τη μόνη πλούσια πηγή αποθεμάτων νερού που μπορεί να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση. Αυτό το έχουν διαπιστώσει και οι αρμόδιες αρχές και έχουν στραφεί στην εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στα νησιά του Αιγαίου.

#### 7.4 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

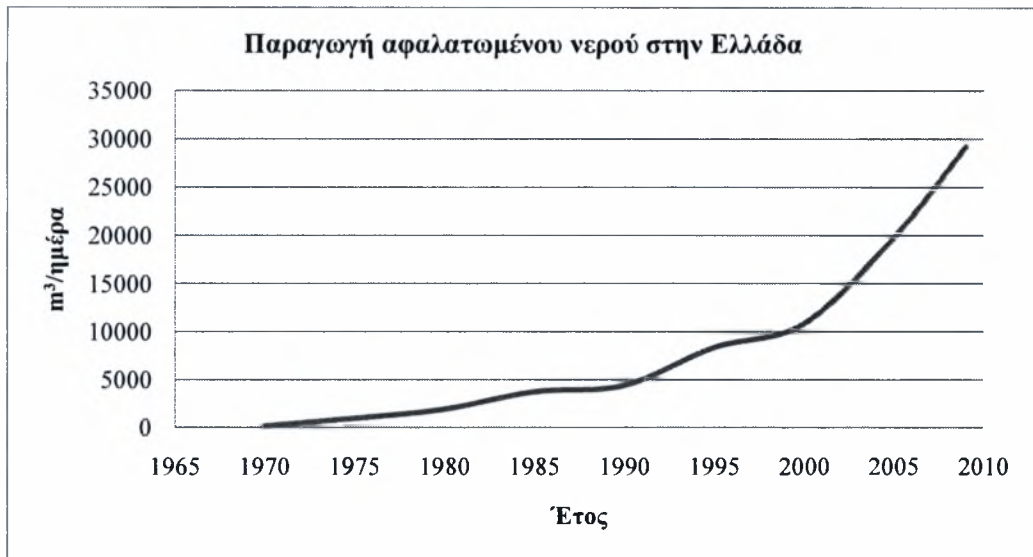
Στην Ελλάδα οι πρώτες προσπάθειες στο τομέα της αφαλάτωσης έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του '60 και αφορούσαν μικρές πειραματικές μονάδες ηλιακής απόσταξης. Τα επόμενα χρόνια δημιουργήθηκαν εγκαταστάσεις ηλιακής απόσταξης για ύδρευση στα νησιά Νίσυρο, Κίμωλο, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Πάτμο, Καστελόριζο, Σύμη και Αίγινα, αλλά οι περισσότερες εγκαταλείφθηκαν κυρίως λόγω προβλημάτων συντήρησης ή λειτουργίας. Μετά το 1980 η ανάπτυξη εφαρμογών αφαλάτωσης για τη παραγωγή πόσιμου νερού στηρίχτηκε σχεδόν αποκλειστικά στην τεχνολογία αντίστροφης όσμωσης η οποία κατέστη αποδοτικότερη και πλέον συμφέρουσα για τις ελληνικές συνθήκες. Αξιόλογη πρόοδος όμως σημειώνεται μετά το 1990 (Γράφημα 15), λόγω κυρίως της αύξησης των αναγκών ύδρευσης στα άνυδρα νησιά που προκλήθηκε από την αυξημένη τουριστική δραστηριότητα (Δαγκαλίδης, 2009).

Το 2008 η συνολική κατανάλωση των νησιών του Αιγαίου ήταν περίπου 166 εκατομμύρια  $m^3$  ετησίως που καλύπτονταν κατά 82,6% με υπόγεια ύδατα, κατά 4,4% με ταμειυτήρες, κατά 4,1% με αφαλάτωση και κατά 1,4% με μεταφορά νερού από άλλες περιοχές, ενώ το συνολικό ετήσιο έλλειμμα ήταν περίπου 20 εκατομμύρια  $m^3$  (Δαγκαλίδης, 2009).

Το 2009 το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας Αιγαίου και Νησιώτικης Πολιτικής ανακοίνωσε πρόγραμμα για τη δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης σε 13 νησιά, των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου (Αμοργός, Δονούσα, Κουφονήσια, Ηράκλεια, Θηρασιά, Σίκινος, Φολέγανδρος, Μεγίστη, Χάλκη, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκιοί και Ψέριμος), ενώ άλλα πέντε μικρά νησιά θα τροφοδοτούνται με νερό από τα μεγαλύτερα πλησιέστερα σε αυτά νησιά (Δαγκαλίδης, 2009).

Σήμερα, λειτουργούν στη χώρα μας περίπου 50 μονάδες αφαλάτωσης που εξυπηρετούν την ύδρευση δήμων και κοινοτήτων με συνολική εγκατεστημένη ικανότητα αφαλάτωσης περίπου 30.000  $m^3$ /ημέρα (Γράφημα 15), ενώ υπάρχουν και αρκετές εκατοντάδες μικρότερες μονάδες ιδιωτικής χρήσης (Δαγκαλίδης, 2009).





**Γράφημα 15. Παραγωγή αφαλατωμένου νερού στην Ελλάδα για τη περίοδο 1970-2009 (Δαγκαλίδης, 2009).**

Στο Πίνακα 15 δίνεται μια λίστα με τις εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης σε νησιά του Αιγαίου καθώς και κάποια σχετικά στοιχεία (έτος εγκατάστασης, ικανότητα παραγωγής, τύπος και κατάσταση).

**Πίνακας 15. Μονάδες αφαλάτωσης στις Ελλάδα (Laspidou et al., 2010; Δαγκαλίδης, 2009).**

Μονάδα Αφαλάτωσης	Έτος κατασκευής	Τύπος	Ικανότητα	Κατάσταση
Σύρος 1 <sup>η</sup> (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800	Λειτουργική
Σύρος 2 <sup>η</sup> (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800	Λειτουργική
Σύρος 3 <sup>η</sup> (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	2x250	Λειτουργική
Σύρος 4 <sup>η</sup> (Ανω Σύρος)	2000	RO (SW)	250	Λειτουργική
Σύρος 5 <sup>η</sup> (Ανω Σύρος)	2002	RO (SW)	500	Λειτουργική
Σύρος 6 <sup>η</sup> (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	2000	Λειτουργική
Σύρος 7 <sup>η</sup> (Ανω Σύρος)	2005	RO (SW)	1000	Υπό κατασκευή
Σύρος 8 <sup>η</sup> (Ποσειδωνία x2)	2002	RO (SW)	2x250	Λειτουργική
Σύρος 9 <sup>η</sup> (Ποσειδωνία x2)	2005	RO (SW)	2x500	Υπό κατασκευή
Σχοινούσα	2004	RO (SW)	100	Υπό κατασκευή
Μύκονος (Κόρφου – παλαιά)	1981	RO (SW)	500	Λειτουργική
Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	RO (SW)	2000	Λειτουργική
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO (SW)	1200	Λειτουργική
Τήνος (παλαιά)	2001	RO (SW)	500	Λειτουργική
Τήνος (νέα)	2005	RO (SW)	500	Λειτουργική
Σαντορίνη 1 <sup>η</sup> (Οίας)	1994	RO	220	Λειτουργική
Σαντορίνη 2 <sup>η</sup> (Οίας)	2000	RO	320	Λειτουργική
Σαντορίνη 3 <sup>η</sup> (Οίας)	2002	RO	160	Λειτουργική
Σαντορίνη (Θήρας)	2009	RO	1000	-
Θηρασιά	1997	RO	48	-
Σίφνος	2002	RO (BW)	500	Λειτουργική
Χίος 1 <sup>η</sup> (Ομηρούπολης)	2000	RO (BW)	600	Λειτουργική



Χίος 2 <sup>η</sup> (Ομηρούπολης)	2005	RO	500	Υπό κατασκευή
Χίος 3 <sup>η</sup> (Ομηρούπολης x2)	2005	RO	2x1000	Υπό κατασκευή
Νίσυρος (Παλαιά)	1991	RO	300	Μη λειτουργική
Νίσυρος (Νέα)	2002	RO	350	Λειτουργική
Κεφαλονιάς 1 <sup>η</sup> , Ιθάκη	1981	RO	620	Λειτουργική
Κεφαλονιάς 2 <sup>η</sup> , Ιθάκη	2003	RO	520	Λειτουργική
Μήλου	2008	RO (Α/Γ)	2000	-
Κέρκυρα (Κασσωπαίων)	2001	RO	500	Λειτουργική
Κέρκυρα (Αγίου Γεωργίου)	2002	RO	500	Λειτουργική
Παξών 1 <sup>η</sup>	2005	RO	330	Λειτουργική
Παξών 2 <sup>η</sup>	2005	RO	150	Λειτουργική
Παξών 3 <sup>η</sup>	2007	RO (SW)	250	-
Δυστίων	2006	RO (BW)	400	-
Σίφνος	2007	RO (SW)	250	-
Ίος	2003	RO (SW)	1000	-
Ιθάκη	2005	RO (SW)	200	-
Οινουσών	2005	RO (SW)	500	-
Ηράκλειο (Γαζίου, Αλμυρός ποταμός)	2008	RO (BW)	1000	-
Ηρακλειά (πλωτή μονάδα Υδριάδα)	2008	RO (Α/Γ)	70	-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

### 8.1 ΓΕΝΙΚΑ - ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Από το 1889, όταν πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά ο φωτισμός του ιστορικού κέντρου της Αθήνας, διάφορες μικρές επιχειρήσεις ενέργειας δημιουργήθηκαν προκειμένου να παρέχουν σε απομονωμένες περιοχές της χώρας ηλεκτρική ενέργεια. Το 1950, στο πλαίσιο των διατάξεων του Νόμου 1458/1950, το κράτος ένωσε όλες αυτές τις μικρές επιχειρήσεις και δημιούργησε τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία κατείχε τα αποκλειστικά δικαιώματα και προνόμια όσον αφορά τη κατασκευή, λειτουργία και εκμετάλλευση των υδροηλεκτρικών και θερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, καθώς επίσης και των δικτύων μετάδοσης και διανομής (Iliadou, 2009; Kanouridis, 2008). Από το 1950, έτος ίδρυσης της ΔΕΗ, έως το 2000 λειτουργούσε πλήρως ως κρατική, ενώ το 2001 μετατράπηκε σε ανώνυμη εταιρία, με την Ελληνική Δημοκρατία να κατέχει το 51,12% του μεριδίου του μετοχικού κεφαλαίου της εταιρίας (Kanouridis, 2008).

Το ελληνικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαιρείται σε δύο βασικούς τομείς, στο Διασυνδεδεμένο Ηπειρωτικό Δίκτυο ηλεκτρικής παραγωγής και στο αντίστοιχο Μη Διασυνδεδεμένο Δίκτυο των Νησιών του Αιγαίου Πελάγους (Kaldellis et al., 2009).

#### 8.1.1 Διασυνδεδεμένο Ηπειρωτικό Σύστημα

Μεταξύ του 1995 και του 2007, η συνολική ονομαστική εγκατεστημένη ικανότητα του διασυνδεδεμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας αυξήθηκε από 9.198 σε 12.229 MW (Πίνακας 16). Ωστόσο, λόγω της υψηλής αύξησης της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, η Ελλάδα στερείται αυτή τη περίοδο ικανοποιητικής ενεργειακής ικανότητας και επάρκειας (Iliadou, 2009).

Η κύρια ενεργειακή μορφή που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα είναι ο εγχώριος λιγνίτης που εξορύσσεται, κύρια από τη ΔΕΗ, από επιφανειακά ορυχεία που βρίσκονται κυρίως στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας (Πτολεμαΐδα - Κοζάνη) και δευτερευόντως στη Πελοπόννησο (Μεγαλόπολη) (Iliadou, 2009).

**Πίνακας 16. Εγκατεστημένη ικανότητα διασυνδεδεμένου συστήματος, για το 2007 (Ιλιάδου, 2009).**

Τύπος	Εγκατεστημένη ικανότητα (MW)	Ποσοστό (%)
Λιγνίτης	5.288	43
Φυσικό αέριο	2.523	21
Πετρέλαιο	750	6
Υδροηλεκτρική ενέργεια >10MW	3.057	25
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	611	5
<b>Σύνολο</b>	<b>12.229</b>	<b>100</b>

Το φυσικό αέριο εισήχθη στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα μετά το 1996. Από τότε, το μερίδιο του φυσικού αερίου στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, νέες μονάδες φυσικού αερίου ηλεκτροπαραγωγής εγκαταστάθηκαν και παλαιές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο το πετρέλαιο μετασηματίστηκαν σε καύσης φυσικού αερίου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, το μερίδιο του φυσικού αερίου στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να αυξηθεί σημαντικά, από 5,1% το 1999 σε 21% το 2007. Συγχρόνως, το μερίδιο των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένων στο πετρέλαιο, παρουσιάζουν σημαντική μείωση, από 18,8% σε 6%. Οι πετρελαϊκές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που είναι εγκατεστημένες στο ηπειρωτικό σύστημα είναι ελάχιστες και παλιές, και λειτουργούν κυρίως για τη παροχή βοηθητικών υπηρεσιών (Ιλιάδου, 2009).

Το ηλεκτρικό δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας στηρίζεται κυρίως σε 14 βασικούς θερμικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Thermal Power Stations, TPSs) που εκτιμώνται στα 8.200 MW, με 12 από τους οποίους να διοικούνται από τη ΔΕΗ. Οι υπάρχουσες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται κυρίως στα τοπικά αποθέματα λιγνίτη - οκτώ σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατεστημένη ικανότητα 5.300 MW - ενώ το αντίστοιχο μερίδιο ικανότητας για το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο μαζί με τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου (συνολικά τέσσερις σταθμοί) είναι της τάξης των 2.900 MW (Kaldellis et al., 2009). Ο Πίνακας 17 παρουσιάζει τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς και τα κύρια χαρακτηριστικά τους, που τελούν υπό το ιδιοκτησιακό καθεστώς της ΔΕΗ. Ο Χάρτης 4 απεικονίζει το σύνολο των λειτουργικών σταθμών της χώρας.

**Πίνακας 17. Αριθμός των θερμοηλεκτρικών σταθμών διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού δικτύου (Kaldellis et al., 2009; Koukouzas et al., 2004; ΔΕΗ, 2010).**

A/A	ΘΗΣ*	Περιοχή	Αριθμός μονάδων	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Βαθμός απόδοσης (%)
1	Άγιος Δημήτριος	Δ. Μακεδονία	5	1.587	33,5
2	Αμύνταιο	Δ. Μακεδονία	2	600	32,4
3	Καρδία	Δ. Μακεδονία	4	1200	31,8
4	ΛΙΠΤΟΛ	Δ. Μακεδονία	2	43	24,7
5	Μελίτη-Φλώρινα	Δ. Μακεδονία	1	330	~60
6	Πτολεμαΐδα	Δ. Μακεδονία	4	620	28,2
7	Μεγαλόπολη Α	Πελοπόννησος	4	850	30,3
8	Μεγαλόπολη Β	Πελοπόννησος	4	850	30,3
9	Αλιβέρι	Εύβοια	4	380	57,5
10	Λαύριο	Αττική	4	1.197	42,5
11	Άγιος Γεώργιος	Αττική	2	360	-
12	Κομοτηνή	Δ. Θράκη	-	-	52,5

\* Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

<sup>1-8</sup> Λιγνιτικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

<sup>9</sup> Πετρελαϊκός θερμοηλεκτρικός σταθμός

<sup>10,11</sup> Φυσικού αερίου θερμοηλεκτρικοί σταθμοί

<sup>12</sup> Συνδυασμένου κύκλου θερμοηλεκτρικός σταθμός



**Χάρτης 4. Οι κυριότεροι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί (Kaldellis et al., 2009).**

Επίσης, στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό σύστημα ανήκουν και δεκαπέντε (15) μεγάλοι σταθμοί υδροηλεκτρικής ενέργειας (Large Hydropower Plants, LHP) καθώς και άλλοι μικρότεροι σταθμοί (Small Hydropower Plants, SHP) με συνολική ικανότητα 3.100 MW (Kaldellis, 2008). Εκτός από τις μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας, η πρόσθετη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) που αποδίδεται στο ηπειρωτικό δίκτυο της χώρας προέρχεται είτε από τη παραγωγή αιολικής ενέργειας είτε από τη βιομάζα, παρέχοντας περίπου 580MW και 25MW της εγκατεστημένης ισχύος, αντίστοιχα (Kaldellis et al., 2009).

### 8.1.2 Μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό Σύστημα Αιγαίου Πελάγους

Τα περισσότερα από τα ελληνικά νησιά του Αιγαίου Πελάγους δεν είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της ηπειρωτικής χώρας και διαθέτουν τοπικά και αυτόνομα συστήματα παραγωγής. Τα μεγαλύτερα αυτόνομα συστήματα είναι αυτά των νησιών της Ρόδου και της Κρήτης (Iliadou, 2009).

Το πετρέλαιο αποτελεί κατά αποκλειστικότητα τη κύρια ενεργειακή μορφή που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Οι θερμικοί πετρελαϊκοί σταθμοί καλύπτουν το 99% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ακόμα πολύ χαμηλό. Ο Πίνακας 18 παρουσιάζει, για το έτος 2007, την εγκατεστημένη ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (Iliadou, 2009).

**Πίνακας 18. Εγκατεστημένη ικανότητα μη διασυνδεδεμένου συστήματος (Iliadou, 2009).**

Περιφέρεια	Ικανότητα ορυκτών καυσίμων (MW)	ΑΠΕ (συν. Υδροηλεκτρικής ενέργειας) (MW)	Σύνολο (MW)	% ΑΠΕ
Κρήτη	730	18	748	2,4
Ρόδος	206	0	206	0
Υπόλοιπα μη διασυνδεδεμένα νησιά	581	13	594	2,2
<b>Σύνολο</b>	<b>1.517</b>	<b>31</b>		<b>4,6</b>

Στη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους, περίπου 250 θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας συμπεριλαμβανομένου 13 αυτόνομων και 19 τοπικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και το αυτόνομο δίκτυο παραγωγής ενέργειας της Κρήτης



(Kaldellis and Zafirakis, 2007), όλοι λειτουργούν βάσει των εισαγόμενων ποσοτήτων πετρελαίου (diesel) και βαρύ πετρελαίου (μαζούτ, mazut).

Το μη διασυνδεδεμένο φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας των νησιών αντιπροσωπεύει περίπου το 8% της συνολικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, η παραγωγή ενέργειας σε αυτά τα νησιά εξαιτίας του ότι είναι βασισμένη στο πετρέλαιο, παραμένει εξαιρετικά δαπανηρή (Iliadou, 2009).

## 8.2 ΚΑΛΥΨΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ελληνική ηπειρωτική χώρα διαθέτει ένα καλά ανεπτυγμένο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο είναι διασυνδεδεμένο με τα συστήματα μετάδοσης των γειτονικών χωρών. Οι διεθνείς διασυνδέσεις του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς περιλαμβάνουν τις συνδέσεις με τα συστήματα Μεταφοράς της Αλβανίας, της Βουλγαρίας, της Πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας (ΠΓΔΜ), της Ιταλίας και της Τουρκίας. Η διασύνδεση με τη Βουλγαρία αποτελείται από μία γραμμή των 400 kV, η διασύνδεση με την ΠΓΔΜ γίνεται με δύο γραμμές των 400 kV, η διασύνδεση με την Αλβανία αποτελείται από μία γραμμή των 150 kV και μία των 400 kV. Η συνολική ονομαστική δυναμικότητα αυτών των διασυνδέσεων είναι περίπου 4.400 MW. Η διασύνδεση με την Ιταλία αποτελείται από υποβρύχιο καλώδιο συνεχούς ρεύματος (HVDC) ισχύος 500 MW. Η διασύνδεση με την Τουρκία ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2008 με την κατασκευή γραμμής μεταφοράς 400 kV. Από τον Οκτώβριο του 2004, το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς επανασυνδέθηκε και λειτουργεί σύγχρονα και παράλληλα με το Διασυνδεδεμένο Ευρωπαϊκό Σύστημα της UCTE (Union for Coordination of Transmission of Electricity) (Iliadou, 2009).

Το διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς αποτελείται από τις Γραμμές Υψηλής Τάσης (HV) 149-400 kV, συμπεριλαμβανομένων των διασυνδέσεων με τις γείτονες χώρες, και των υποβρύχιων συνδέσεων 66 kV και 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα Επτάνησα (Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά, Ζάκυνθο) (Iliadou, 2009). Το μήκος του διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς, σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία (31/12/2008), είναι συνολικά περίπου 11.373 km, όπως φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 19 (ΔΕΗ, 2009b). Το (διασυνδεδεμένο) Σύστημα Διανομής (Πίνακας 20) αποτελείται από τις γραμμές μέσης (MV) και χαμηλής (LV) τάσης, διαθέτει 7 εκατομμύρια σημεία και μήκος περίπου 207.300 km, καλύπτοντας ολόκληρο το πληθυσμό (Iliadou, 2009).

**Πίνακας 19. Γραμμές μεταφοράς διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς (km) (ΔΕΗ, 2009b).**

	400 kV/DC	400 kV/AC	150 kV	66 kV	Σύνολο
Εναέρσιες	107	2.535	8.325	39	11.006
Υποβρύχιες	160		140	15	315
Υπόγειες		4	48		52
Σύνολο	267	2.539	8.513	54	11.373

**Πίνακας 20. Σύστημα διανομής (MV & LV) (Πιαδου, 2009).**

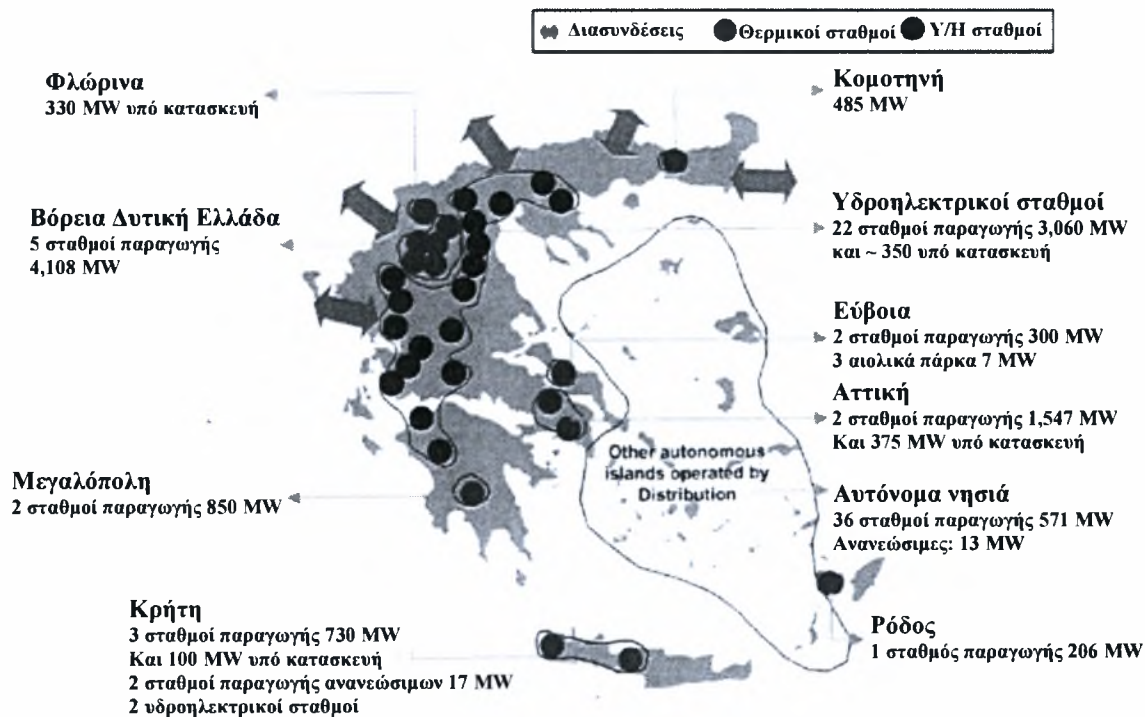
Έτος	1955	1960	1970	1980	1990	2000	2005
km	1.480	9.300	58.450	109.566	151.548	190.211	207.299

Ωστόσο, η ηλεκτρική σταθερότητα του ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι τρωτή λόγω της υψηλής συγκέντρωσης των μονάδων παραγωγής στο βορειοδυτικό μέρος της χώρας και της μεγάλης απόστασης από το νότο όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου. Επίσης, οι διασυνδέσεις σύγχρονης και υψηλής ικανότητας με άλλες χώρες βρίσκονται επίσης στα βόρεια σύνορα (Πιαδου, 2009).

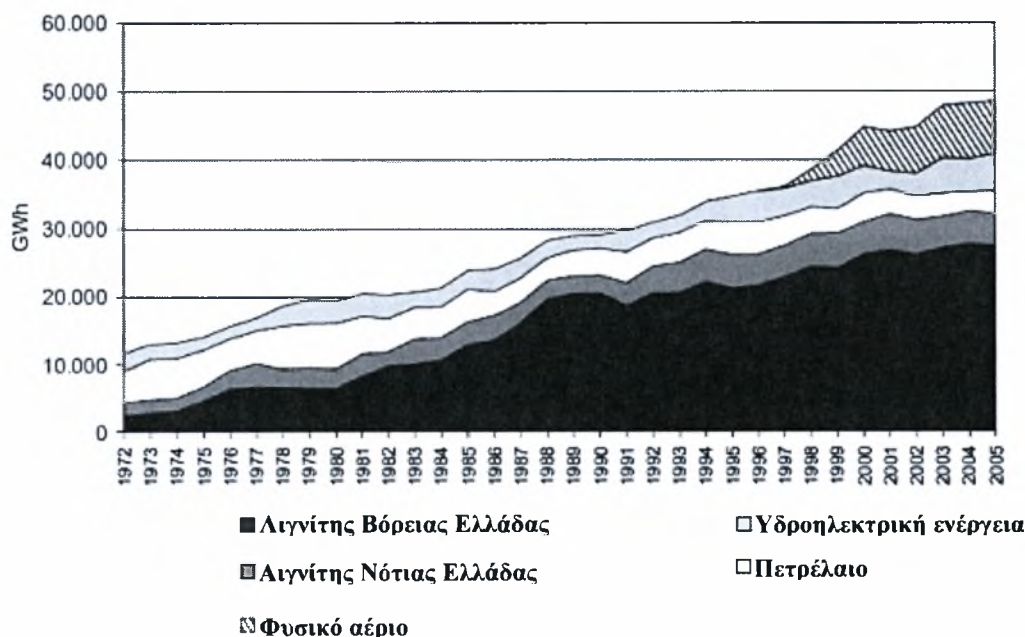
### 8.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ - ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Αυτή τη περίοδο, η συνολική ικανότητα παραγωγής της Ελλάδας υπολογίζεται σε 12.695 MW, από την οποία 5.288 MW αποτελούν τη λιγνιτική ικανότητα παραγωγής. Η ικανότητα παραγωγής της ΔΕΗ αποτελεί το 92% της συνολικής ικανότητας παραγωγής στην Ελλάδα. Στο Χάρτη 5 παρουσιάζονται οι θέσεις των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ και των διασυνδέσεων με τις γειτονικές χώρες (Βουλγαρία, Αλβανία, ΠΓΔΜ, Ιταλία και Τουρκία). Το 2005 η συνολική παραγωγή ανήλθε σε 52,9 TWh, από την οποία το 60,5% βασίστηκε στο λιγνίτη (Kavouridis, 2008).

Το Γράφημα 16 παρουσιάζει την εξέλιξη της ενεργειακής παραγωγής καθώς και την αποφασιστική συμβολή του λιγνίτη στην Ελλάδα από το 1972 έως σήμερα. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών η συμβολή του λιγνίτη στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε σταθερά. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, εκτός από την εγκατάσταση νέων θερμικών και υδροηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας, η ελληνική βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει στραφεί στην ανάπτυξη εναλλακτικών μορφών ενέργειας (Kavouridis, 2008).

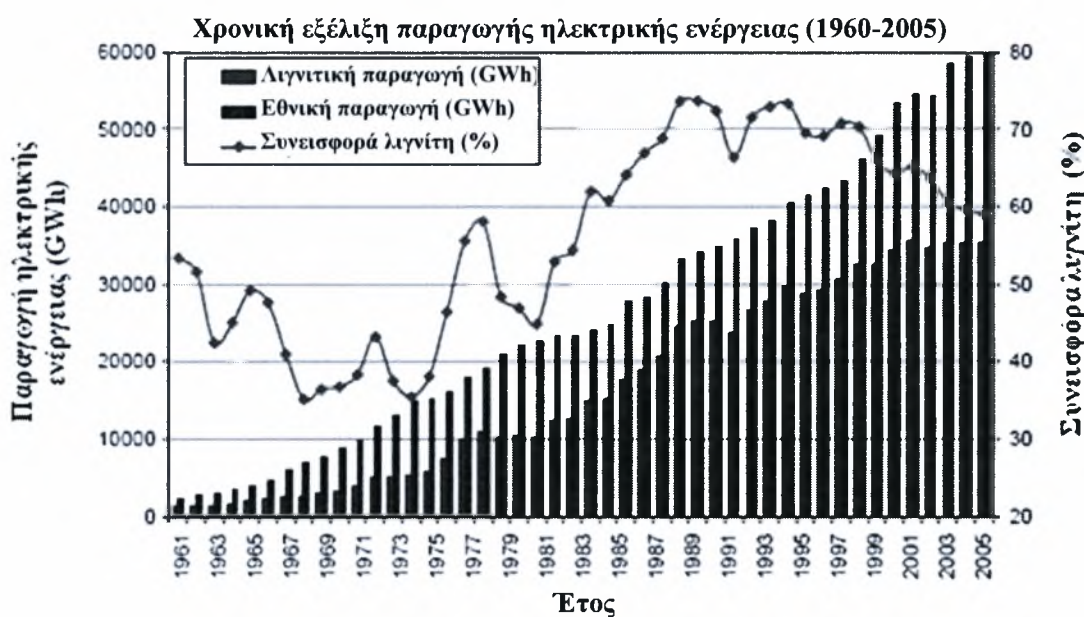


Χάρτης 5. Τοποθεσία μονάδων παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ (στοιχεία 2005) (Κανουρίδης, 2008).

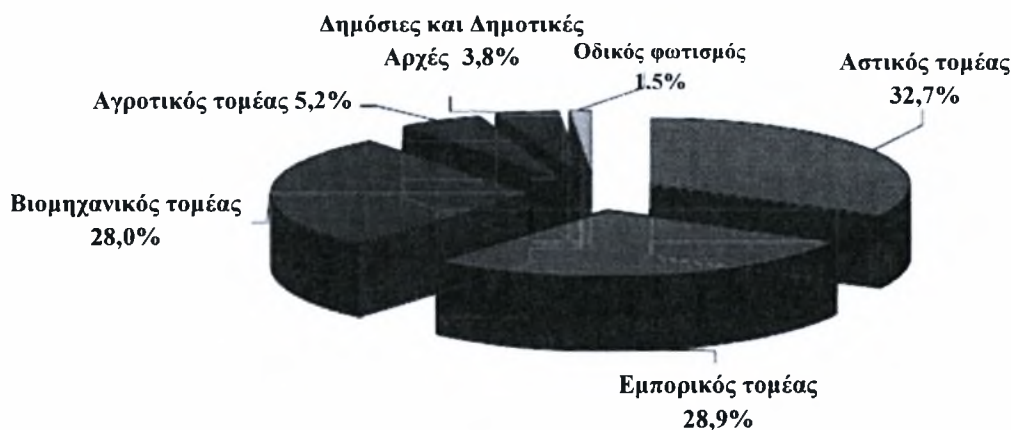


Γράφημα 16. Εξέλιξη της ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία καυσίμου, από το 1972 (Κανουρίδης, 2008).

Όσον αφορά τη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε εθνικό επίπεδο κατά τη διάρκεια των τελευταίων 45 ετών, απεικονίζεται στο Γράφημα 17, όπου παρουσιάζεται το αυξανόμενο ποσοστό της ζήτησης για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η χρονική εξέλιξη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζει ένα ετήσιο ποσοστιαίο μέσο όρο αύξησης της τάξης του 4%, ειδικότερα κατά τα τελευταία 25 έτη. Το αντίστοιχο ποσοστό για την ερχόμενη δεκαετία υπολογίζεται ότι θα παρουσιάσει μια ετήσια αύξηση 2-3,5%. Αυτή η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατανέμεται σχεδόν ισοδύναμα μεταξύ του αστικού (32,7%), του βιομηχανικού (28,0%) και του εμπορικού τομέα (28,9%), (Γράφημα 18) (Kaldellis et al., 2009).



Γράφημα 17. Χρονική εξέλιξη της ελληνικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Kaldellis et al., 2009).



Γράφημα 18. Ανάλυση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τομέα (ΕΣΥΕ, 2010b).



Πρέπει να σημειωθεί ότι η τρέχουσα ηλεκτρική παραγωγή που βασίζεται στο λιγνίτη και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύει σχεδόν το 65% της συνολικής εθνικής κατανάλωσης. Η συνεισφορά των εισαγόμενων καυσίμων πετρελαίου και φυσικού αερίου είναι περίπου 30%, ενώ οι καθарές εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας από τις γειτονικές χώρες ποικίλλουν μεταξύ 3% και 5% (Kaldellis et al., 2009).

## **8.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

### **8.4.1 Γενικά - Λιγνίτης**

Στην Ελλάδα, ο λιγνίτης αποτελεί τη κύρια πρωτογενή πηγή ενέργειας για τη παραγωγή ηλεκτρισμού, αποτελώντας κατά προσέγγιση τα 2/3 της συνολικής παραγωγής. Συγκεκριμένα ο λιγνίτης παρέχει περίπου το 80% της εγχώριας ενεργειακής παραγωγής και το 70% της παροχής ηλεκτρισμού. Επίσης, αποτελεί τη μοναδική αποδεδειγμένη μακροπρόθεσμη πηγή ενέργειας για την Ελλάδα, καθώς η εγχώρια παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου έχει μειωθεί σημαντικά. Κατά τη διάρκεια των δυο τελευταίων δεκαετιών η κατανάλωση λιγνίτη έχει αυξηθεί κατά ένα μέσο ετήσιο ποσοστό της τάξης του 6%. Η στρατηγική απόφαση να βασιστεί το ελληνικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού στο λιγνίτη, λήφθηκε μετά τη κρίση πετρελαίου το 1973, προκειμένου να μειωθούν οι δαπάνες καυσίμων για τους πετρελαιοκίνητους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (Georgakellos, 2010). Η πολιτική που ακολουθείται έως σήμερα από τη ΔΕΗ έχει οδηγήσει σταθερά σε σημαντική αύξηση στη παραγωγή λιγνίτη και στις δραστηριότητες μεταλλείας. Το 2005 η παραγωγή λιγνίτη ήταν 10 φορές υψηλότερη από ότι το 1970 (Galetakis and Pavloudakis, 2009).

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 6 ετών, η παραγωγή λιγνίτη είναι σχεδόν σταθερή και περίπου ίση με 70 Mt το χρόνο (Vamvuka and Galetakis, 2010). Η Ελλάδα είναι ταξινομημένη ως η δεύτερη μεγαλύτερη λιγνιτοπαραγωγός χώρα στην Ευρώπη μετά τη Γερμανία και η τέταρτη στο κόσμο, και το 2005 κατέλαβε τη 10<sup>η</sup> θέση στη κλίμακα των χωρών με το μεγαλύτερο μερίδιο συμβολής του λιγνίτη στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Galetakis and Pavloudakis, 2009; Galetakis et al., 2009; Kaldellis et al., 2009).

Ο λιγνίτης αποτελεί βασικό στρατηγικό καύσιμο για τη ΔΕΗ και την Ελλάδα διότι παρέχει (Kavouridis, 2008; Vamvuka and Galetakis, 2010):



- Ασφάλεια ανεφοδιασμού του ενεργειακού τομέα.
- Χαμηλό κόστος εξαγωγής εξαιτίας της υπαίθριας μεταλλείας και των γενικών συνθηκών εξόρυξης.
- Σταθερό κόστος έναντι του κόστους αγοράς άλλων πηγών καυσίμου, ιδιαίτερα φυσικού αερίου και πετρελαίου.
- Χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, που τον καθιστά λιγότερο επιβλαβή περιβαλλοντικά.
- Υψηλό ποσοστό απασχόλησης.

#### 8.4.1.1 Συμβολή του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή

Ο λιγνίτης χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι θερμολιγνιτικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας έχουν συνολική εγκατεστημένη ικανότητα 5.288 MW, αντιπροσωπεύοντας το 42% της συνολικής εγκατεστημένης ικανότητας στην Ελλάδα. Το 2007, οι λιγνιτικές μονάδες παραγωγής ενέργειας συνέβαλλαν περίπου κατά 56% στη συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και κατά 66,5% στη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του διασυνδεδεμένου δικτύου (Galetakis and Pavloudakis, 2009).

Ο Πίνακας 21 παρουσιάζει, για τη περίοδο 1997-2002, τη ποσοστιαία συμβολή των διαφόρων τύπων καυσίμων στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λιγνίτης καλύπτει κατά μέσο όρο το 70% των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας (Papanicolaou et al., 2004). Η συμβολή του πετρελαίου και της υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν πτωτική τάση, ενώ η χρήση του φυσικού αερίου εμφανίζει σημαντική αύξηση.

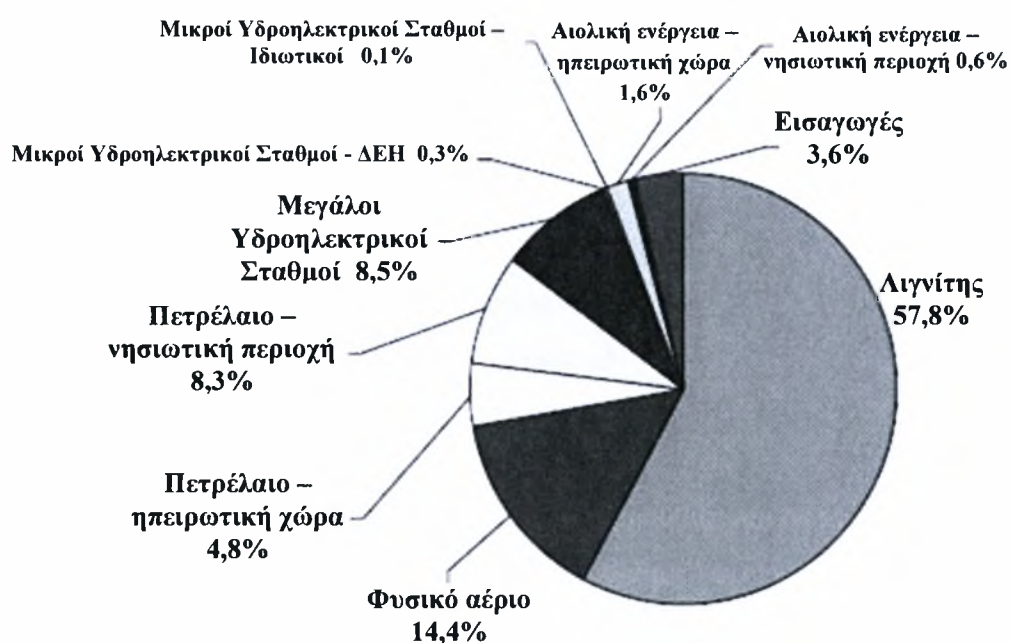
**Πίνακας 21. Ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, ανά τύπο καυσίμου (Papanicolaou et al., 2004).**

Έτος	Λιγνίτης		Πετρέλαιο		Φυσικό αέριο		Υδρ/κή ενέργεια		Σύνολο	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
1997	27.751	76,7	4.976	11,3	285 <sup>1</sup>	0,8	4.048	11,2	36.160	100,0
1998	29.231	75,8	3.852	10,0	1.616	4,2	3.841	10,0	38.540	100,0
1999	29.276	70,9	3.528	8,5	3.700	9,0	4.781	11,6	41.285	100,0
2000	31.058	69,2	4.141	9,2	5.596	12,5	4.062	9,1	44.856	100,0
2001	32.106	72,4	3.551	8,0	5.801	13,1	2.668	6,0	44.373	99,5 <sup>2</sup>
2002	31.242	69,8	3.391	7,6	6.730	15,0	3.381	7,6	44.744	100,0

<sup>1</sup> Εισαγωγή από Γιουγκοσλαβία

<sup>2</sup> Αιολική ενέργεια 0,5%

Το Γράφημα 19 παρουσιάζει μια ανάλυση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας για το έτος 2004. Πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο, φυσικό αέριο, η υδροηλεκτρική και η αιολική ενέργεια, συμμετέχουν σε μικρότερο βαθμό στην ενεργειακή παραγωγή της Ελλάδας, ενώ η γεωθερμική και πυρηνική ενέργεια είναι απύσες. Ο λιγνίτης διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό τομέα της Ελλάδας, δεδομένου ότι ικανοποιεί πάνω από 57% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το υπόλοιπο, καλύπτεται από το πετρέλαιο (14%), υδροηλεκτρική ενέργεια (8,8%), ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (2,2%), φυσικό αέριο (14,4%) και τις εισαγόμενες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας (3,6%) (Koukouzas et al., 2004).

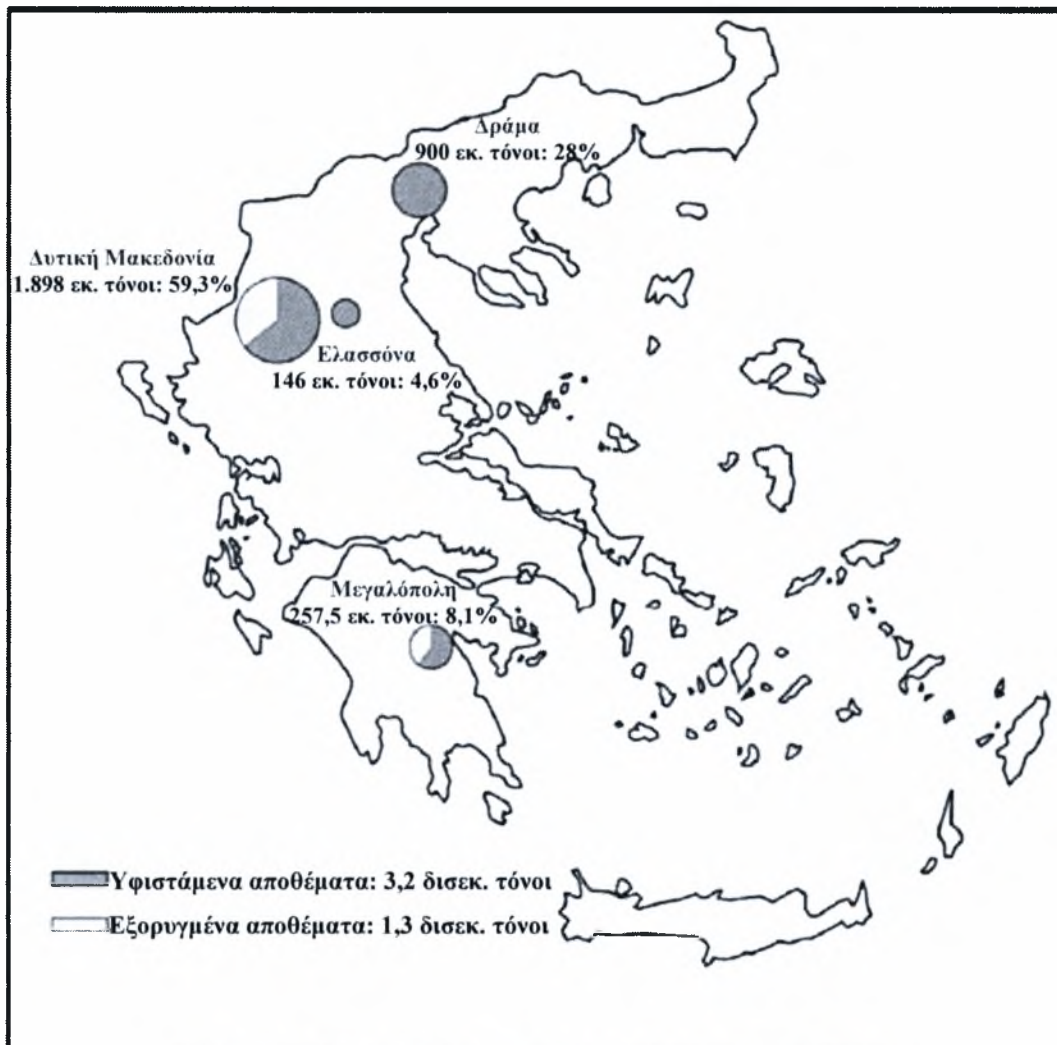


Γράφημα 19. Ανάλυση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 2004 (Kaldellis, 2006).

#### 8.4.1.2 Αποθέματα λιγνίτη

Τα ελληνικά αποθέματα λιγνίτη αποτελούν μια άφθονη εγχώρια πηγή ενέργειας. Συνολικά 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι λιγνίτη έχουν ήδη εξορυχθεί (Galetakis and Pavloudakis, 2009). Τα αποδεδειγμένα εθνικά αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται περίπου σε 5,8 δισεκατομμύρια τόνους που βρίσκονται σε κοιτάσματα σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια. Σήμερα, 3,1 τόνοι από αυτά είναι εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα κατάλληλα για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Kavouridis, 2008; Galetakis and Pavloudakis, 2009; Kaldellis et al., 2009).

Τα κύρια αποθέματα (Χάρτης 6) εντοπίζονται στις περιοχές Πτολεμαΐδα, Αμύνταιο και Φλώρινα (Δυτική Μακεδονία) με σύνολο αποθεμάτων 1,9 δισεκατομμύρια τόνους, και τα αποθέματα Δράμας και Ελασσόνας, 900 και 170 εκατομμυρίων τόνων, αντίστοιχα. Επιπλέον, στη περιοχή της Μεγαλόπολης Πελοποννήσου, η ποσότητα του λιγνίτη ανέρχεται στα 240 εκατομμύρια τόνους (Kaldellis et al., 2009).



Χάρτης 6. Εθνικά αποθέματα λιγνίτη (Kaldellis et al., 2009).

Στη ΔΕΗ έχει χορηγηθεί με Υπουργική Απόφαση το δικαίωμα εκμετάλλευσης περίπου του 60,5% των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη που εντοπίζονται στις περιοχές Πτολεμαΐδα, Αμύνταιο, Φλώρινα και Μεγαλόπολη. Για τα εναπομείναντα αποθέματα, θα ακολουθηθεί μια διαδικασία ανοιχτής προσφοράς προκειμένου να χορηγηθούν άδειες εκμετάλλευσης (Κανουρίδης, 2008).

### 8.4.1.3 Ορυχεία σε λειτουργία σήμερα

Αυτή τη στιγμή, η ΔΕΗ λειτουργεί πέντε υπαίθρια ορυχεία λιγνίτη στη περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας και στη περιοχή της Πελοποννήσου (Μεγαλόπολη) παράγοντας μαζί περίπου 70 Mt λιγνίτη κάθε έτος. Εκτός από τα ορυχεία της ΔΕΗ, μια άλλη εταιρία λειτουργεί ένα μικρό ορυχείο λιγνίτη στη λεκάνη της Φλώρινας με ετήσια παραγωγή της τάξης των 1,8 Mt. Τα τέσσερα ορυχεία (Κύριος Τομέας, Νότιος Τομέας, Τομέας Καρδίας και ο Τομέας Αμύνταιο - Φλώρινα) αποτελούν το Λιγνιτικό Κέντρο της Δυτικής Μακεδονίας με ετήσια παραγωγή 55-57 Mt, ενώ το συγκρότημα ορυχείων στη περιοχή της Πελοποννήσου αποτελεί το Κέντρο Λιγνίτη Μεγαλόπολης με παραγωγή περίπου 14 Mt ανά έτος (Πίνακας 22) (Κανουρίδης, 2008).

**Πίνακας 22. Λιγνιτικά κέντρα της Ελλάδας, στοιχεία του 2004 (Καβουρίδης κά., 2005).**

Στοιχεία Εκμεταλλεύσεων Λιγνίτη		Στοιχεία ΑΗΣ*	
Ορυχεία	Παραγωγή 2004 (εκ. τόνους)	ΑΗΣ	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)
<b>Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας</b>			
Ορυχείο Κύριου Τομέα	8,0	ΛΙΠΤΟΛ Πτολεμαΐδας	43 620
Ορυχείο Τομέα Καρδίας	21,7	Καρδίας	1.200
Ορυχείο Νότιου Τομέα	16,4	Αγίου Δημητρίου	1.585
Ορυχείο Τομέα Αμύνταιου	8,5	Αμυνταίου - Φλώτα	600
Ορυχείο Τομέα Φλώρινας	0,9	Μελίτη – Αχλάδα	330
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>55,5</b>		<b>4.378</b>
<b>Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης</b>			
Χωρέμι, Μαραθούσα, Κυπαρίσσια	14,4	Μεγαλόπολη (Α & Β)	850
<b>Γενικό Σύνολο Ορυχείων ΔΕΗ</b>	<b>69,9</b>		<b>5.228</b>

\*Ατμοηλεκτρικός Σταθμός

Δεδομένου ότι η μεταφορά λιγνίτη είναι δαπανηρή σε σχέση με το κόστος εξαγωγής και τη θερμική αξία του, ο λιγνίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οικονομικά αποδοτικό τρόπο μόνο εντός σχετικά κοντινών αποστάσεων από τα ορυχεία από όπου και εξάγεται. Για το λόγο αυτό, όλες οι λιγνιτικές μονάδες παραγωγής ενέργειας εντοπίζονται κοντά στα ορυχεία, επιτρέποντας έτσι την άμεση μεταφορά του λιγνίτη

από τα ορυχεία στους σταθμούς παραγωγής, κυρίως μέσω ιμάντων μεταφοράς (Kavouridis, 2008; Georgakellos, 2010).

#### 8.4.1.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά του λιγνίτη

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εγχώριου λιγνίτη, η θερμική του αξία χαρακτηρίζεται χαμηλή και κυμαίνεται από 3.750-4.580 KJ/kg (900-1.100 kcal/kg) για τα αποθέματα Μεγαλόπολης, Αμύνταιο και Δράμας, σε 7.500-9.580 KJ/kg (1.800-2.300 kcal/kg) για τα αποθέματα Φλώρινας και Ελασσόνας και 5.200-5.625 KJ/kg (1.250-1.350 kcal/kg) για τα αποθέματα λιγνίτη της Πτολεμαΐδας (Kaldellis et al., 2009; Rapanicolaou et al., 2004).

Ένας άλλος παράγοντας που περιγράφει τη ποιότητα των αποθεμάτων είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία. Οι τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία παρουσιάζουν ευρεία διακύμανση ανάλογα με τη περιοχή εξαγωγής (Kaldellis et al., 2009). Η ποιότητα του λιγνίτη είναι χαμηλή, δεδομένου ότι αυτή τη περίοδο ο χρησιμοποιούμενος λιγνίτης παρουσιάζει περιεκτικότητα σε υγρασία της τάξης του 55-60% και περιεκτικότητα σε τέφρα περίπου 15-18% (Georgakellos, 2010).

Ο Πίνακας 23 παρουσιάζει τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη, τη θερμική αξία, τη μέση περιεκτικότητα τέφρας, την υγρασία και την αναλογία ανάκτησης (όγκος του απόβλητου υλικού που αφαιρείται ώστε να παραχθεί 1 τόνος λιγνίτη, m<sup>3</sup>/ton) των κυριότερων αποθεμάτων λιγνίτη (Koukouzas et al., 2004; Kavouridis, 2008).

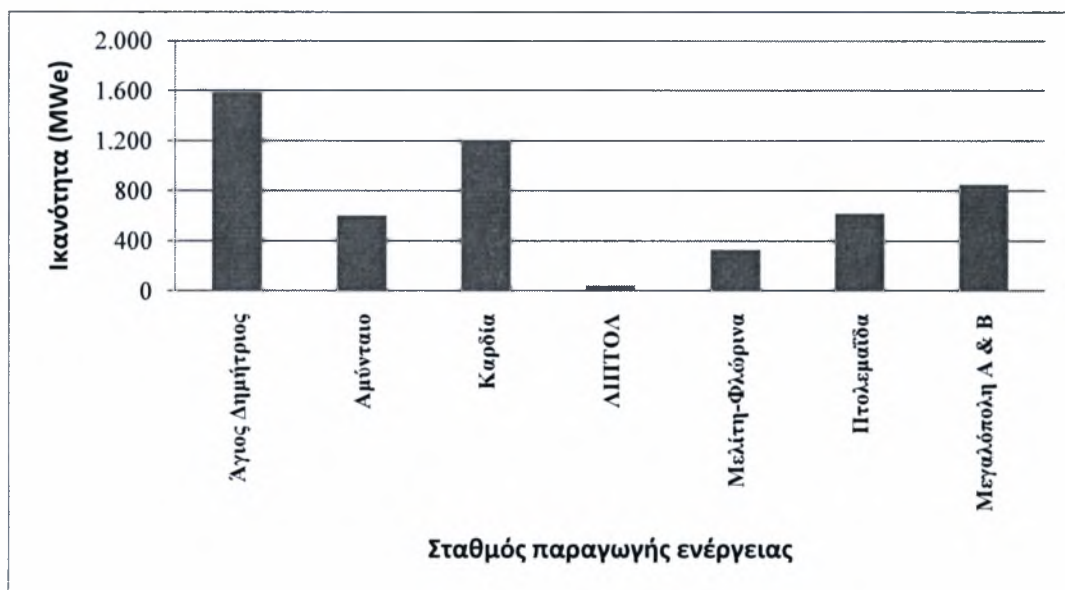
**Πίνακας 23. Κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά του ελληνικού λιγνίτη (Koukouzas et al., 2004; Kavouridis, 2008).**

Κοιτάσματα	Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα (Mt)	Θερμική αξία (KJ/kg)	Περιεκτικότητα τέφρας (%)	Υγρασία (%)	Αναλογία ανάκτησης (m <sup>3</sup> /ton)
Πτολεμαΐδα	1595	5.452	15,1	52,6	5,3
Αμύνταιο		4.828	16,4	54,7	
Μεγαλόπολη	237	4.400	15,5	57,9	2,3
Φλώρινα	325	7.960	17,0	42,0	7,8
Δράμα	900	4.315	16,0	59,0	6,0
Ελασσόνα	169	8.590	19,0	41,0	5,0



#### 8.4.1.5 Θερμικές λιγνιτικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας

Οι ελληνικές λιγνιτικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από 8 θερμικούς σταθμούς με συνολική ικανότητα περίπου 5.300 MW (Γράφημα 20) (Koukouzas et al., 2004). Πιο συγκεκριμένα, οι λιγνιτικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν τους σταθμούς: Αγίου Δημήτριου (5 μονάδες) 1.600 MW, Αμύνταιου (2 μονάδες) 600 MW, Καρδίας (4 μονάδες) 1.200 MW, Λιπτολ (2 μονάδες) 43 MW, Φλώρινας (1 μονάδα) 330 MW, Πτολεμαΐδας (4 μονάδες) 850 και Μεγαλόπολης A & B (4 μονάδες) 850MW (Kaldellis et al., 2009). Ο Πίνακας 24, παρουσιάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των 22 μονάδων, των 8 λιγνιτικών θερμικών σταθμών (Koukouzas et al., 2004).



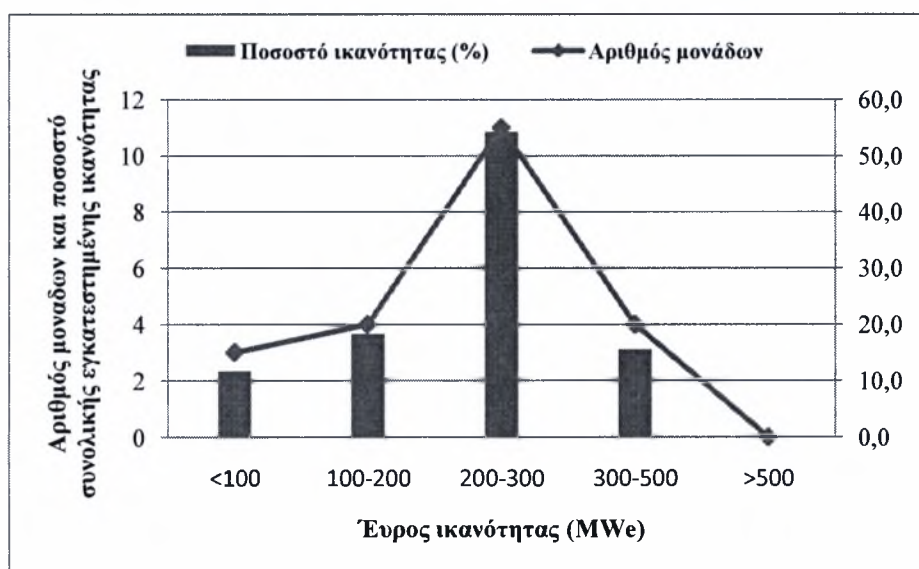
Γράφημα 20. Εγκατεστημένη ικανότητα (MWe) των λιγνιτικών θερμικών σταθμών (Koukouzas et al., 2004).

Πίνακας 24. Θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους (Koukouzas et al., 2004).

A/A	Σταθμός παραγωγής	Μονάδες	Ικανότητα (MW <sub>e</sub> )	Λειτουργία (ώρες/έτος)	Διαθεσιμότητα (%)	Συνολική απόδοση (%)
1	Άγιος Δημήτριος	1	300	8427	96,2	33,4
2	Άγιος Δημήτριος	2	300	5845	66,7	33,7
3	Άγιος Δημήτριος	3	310	8143	93,0	31,9
4	Άγιος Δημήτριος	4	310	7689	87,8	32,4
5	Άγιος Δημήτριος	5	365	-	-	36,0
6	Αμύνταιο	1	300	7227	82,5	31,9
7	Αμύνταιο	2	300	8094	92,4	32,8
8	Καρδία	1	300	8457	96,5	31,7
9	Καρδία	2	300	7929	90,5	31,2
10	Καρδία	3	300	7268	83,0	32,7

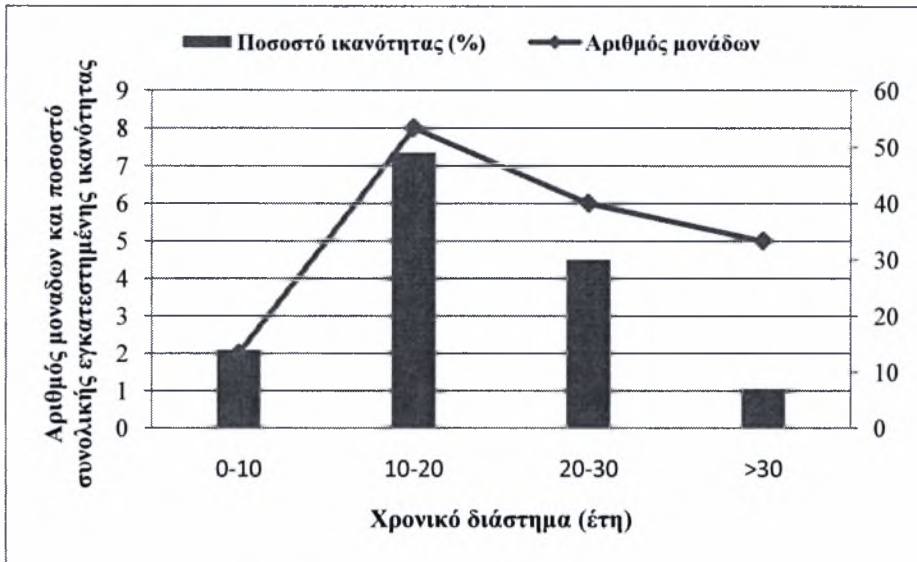
11	Καρδιά	4	300	6990	79,8	31,5
12	ΛΗΠΤΟΛ	1	10	1458	16,6	24,7
13	ΛΗΠΤΟΛ	2	33	2807	32,0	24,7
14	Μεγαλόπολη	1	125	7057	80,6	30,7
15	Μεγαλόπολη	2	125	8065	92,1	30,7
16	Μεγαλόπολη	3	300	7057	80,6	29,5
17	Μεγαλόπολη	4	300	7783	88,8	30,4
18	Πτολεμαΐδα	1	70	8202	93,6	26,1
19	Πτολεμαΐδα	2	125	4843	55,3	26,1
20	Πτολεμαΐδα	3	125	8161	93,2	30,3
21	Πτολεμαΐδα	4	300	6742	77,0	30,4
22	Φλώρινα	1	330	-	-	~60

Η εγκατεστημένη ικανότητα των λιγνιτικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να ταξινομηθεί σε πέντε κατηγορίες βάσει του μεγέθους των θερμοηλεκτρικών μονάδων. Η κατανομή αυτή της ικανότητας τους, δείχνει ότι η πλειοψηφία των ελληνικών θερμικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 200 - 300 MW, που αντιστοιχεί στο 54,3% της συνολικής εγκατεστημένης ικανότητας (Γράφημα 21) (Koukouzas et al., 2004).



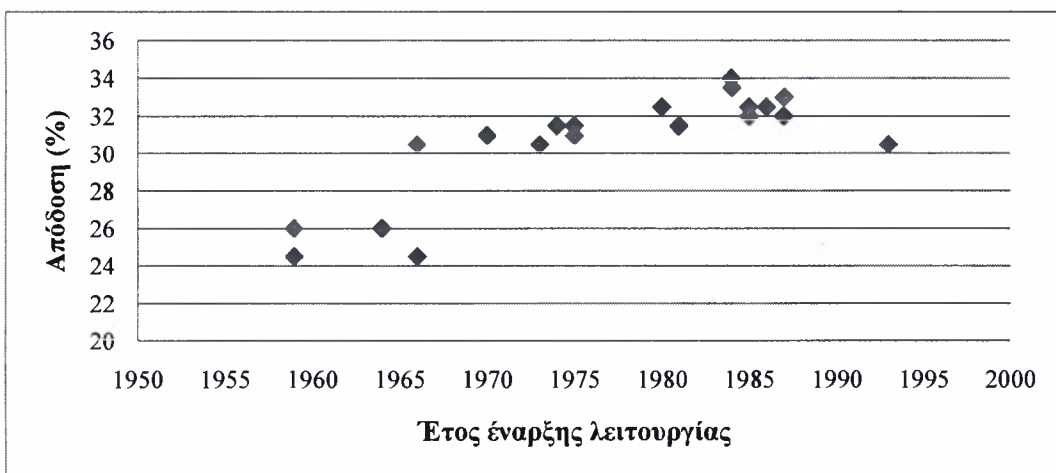
**Γράφημα 21. Κατανομή της ικανότητας των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πέντε κλίμακες (Koukouzas et al., 2004).**

Λιγότερο από το 10% της εγκατεστημένης ισχύς που παράγεται από τις θερμικές μονάδες, κατασκευάστηκαν πριν από το 1970, ενώ το 30% αντιστοιχεί σε μονάδες ηλικίας 20 έως 30 ετών (Γράφημα 22, μη συμπεριλαμβανομένου του σταθμού Φλώρινας.). Ωστόσο, οι ελληνικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας είναι σχετικά νέες σε σύγκριση με το μέσο όρο των ευρωπαϊκών μονάδων, των οποίων το περίπου 50% των ικανοτήτων τους ανήκει σε μονάδες ηλικίας 13 έως 20 ετών (CSFTA, 2000).



**Γράφημα 22. Κατανομή των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βάσει της λειτουργικής διάρκειας ζωής τους (Koukouzas et al., 2004).**

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας και από το έτος έναρξης της λειτουργίας τους (Γράφημα 23). Οι μέγιστες τιμές επιτεύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '70 και μετά. Αν και η αποδοτικότητα όλων των μονάδων παραγωγής ενέργειας που κατασκευάστηκαν μετά το 1980 κυμαίνεται μεταξύ του 30% και 34%, η οποία θεωρείται ικανοποιητική έναντι των αποδόσεων παρόμοιων μονάδων σε όλο το κόσμο, η απόδοση των παλαιών και χαμηλής ικανότητας μονάδων κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα της τάξης του 25% (Kakaras et al., 2001).



**Γράφημα 23. Συσχέτιση της απόδοσης και του έτους έναρξης της λειτουργίας των θερμοηλεκτρικών μονάδων παραγωγής ενέργειας (Koukouzas et al., 2004).**

#### 8.4.1.6 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>

Το μερίδιο εκπομπών του ενεργειακού τομέα, για τα περίοδο 2005-2007, αντιστοιχεί στο 73% (156 Mt CO<sub>2</sub>) ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για την ΕΕ είναι 55%. Το σύνολο των 156 Mt CO<sub>2</sub> κατανέμεται σε τρεις κατηγορίες μονάδων παραγωγής ενέργειας σε σχέση με το τύπο καυσίμου (Κανουρίδης, 2008):

• Λιγνιτικές θερμικές μονάδες:	128,3 Mt CO <sub>2</sub> (82,3%)	Συμβολή στη παραγωγή ενέργειας: 64%
• Φυσικού αερίου θερμικές μονάδες:	14,3 Mt CO <sub>2</sub> (9,2%)	Συμβολή στη παραγωγή ενέργειας: 20%
• Πετρελαϊκές θερμικές μονάδες:	13,3 Mt CO <sub>2</sub> (8,5%)	Συμβολή στη παραγωγή ενέργειας: 16%

Ο Πίνακας 25 παρουσιάζει το συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub> (ton CO<sub>2</sub>/MWh) για κάθε τύπο ορυκτού καυσίμου, αναφερόμενο στο ελληνικό σύστημα παραγωγής (Κανουρίδης, 2008).

Πίνακας 25. Εκπομπές CO <sub>2</sub> ορυκτών καυσίμων (Κανουρίδης, 2008).			
Ορυκτά καύσιμα	Συντελεστής εκπομπών (ton CO <sub>2</sub> /MWh)	Θερμική αξία (MJ/ton)	Απόδοση μονάδων (%)
Λιγνίτης Μεγαλόπολης	1,49	4350	32
Λιγνίτης Πτολεμαΐδας – Αμόνταιο	1,31	5650	32
Λιγνίτης Φλώρινας	0,94	8180	40
Πετρέλαιο	0,75	43500	34
Φυσικό αέριο	0,44	38000 (MJ/m <sup>3</sup> )	50

#### 8.4.1.7 Μελλοντικές τάσεις στο τομέα του άνθρακα

Διάφορα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα έχουν ερευνηθεί και προταθεί, όπως (Κουκουζας et al., 2004):

- Αύξηση του μεριδίου του φυσικού αερίου στο μείγμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ολοκλήρωση των έργων ανάπτυξης της υδροηλεκτρικής ενέργειας.
- Εισαγωγή των εγκαταστάσεων που θα μπορούσαν να εφαρμόσουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

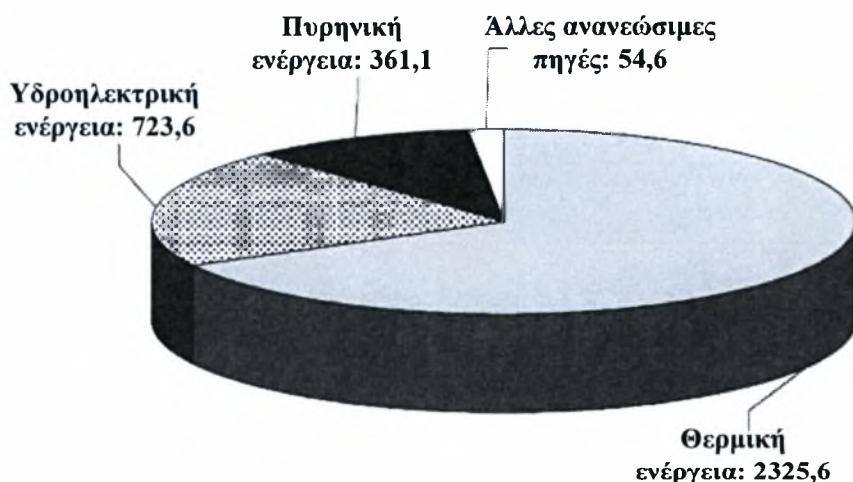
- Βελτίωση της αποδοτικότητας των λιγνιτικών θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ενέργειας.
- Συμμετοχή σε προγράμματα για την ορθολογική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.

## 8.4.2 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

### 8.4.2.1 Γενικά

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ανανεώσιμη μορφή, καθώς αποκτά ουσιαστικά την ενέργεια της από τον ήλιο και τον υδρολογικό κύκλο. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια αποδεδειγμένη τεχνολογία για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, που συμβάλλει σχεδόν κατά 20% στη παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (Γράφημα 24), αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 90% του συνόλου της παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας.

Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ (GW<sub>e</sub>) στο πλανήτη (2003)



Γράφημα 24. Η συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στη παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Kaldellis, 2008).

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα (Kaldellis, 2008):

- Οι πόροι της εξαπλώνονται ευρέως σε όλο το πλανήτη.
- Αποτελεί αποδεδειγμένη και προηγμένη τεχνολογία, με πάνω από ένα αιώνα εμπειρίας, με τις σύγχρονες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας να παρέχουν

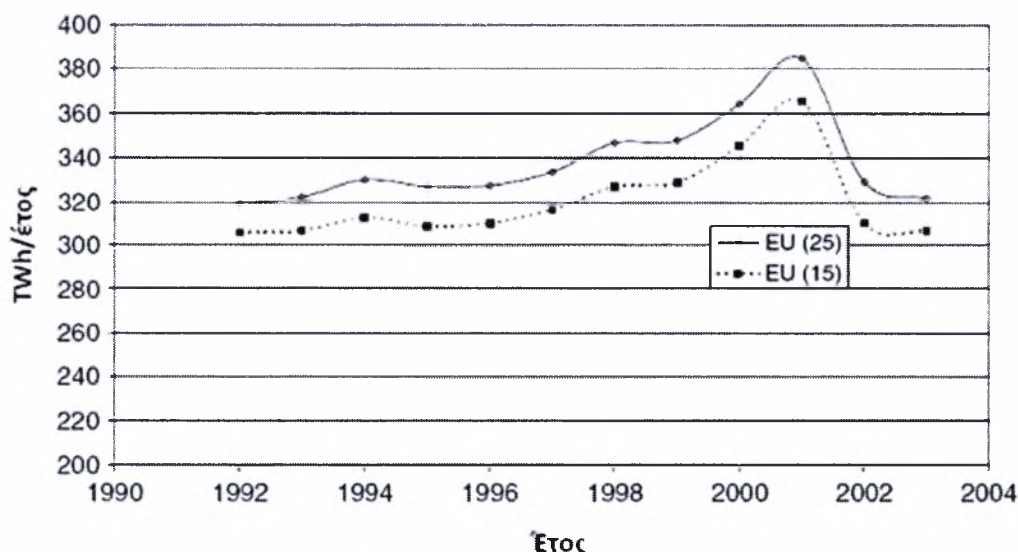


την αποδοτικότερη διαδικασία ενεργειακής μετατροπής (>90%), που έχει αναπτύξει η ανθρωπότητα μέχρι σήμερα.

- Η παραγωγή ενεργειακών φορτίων αιχμής από την υδροηλεκτρική ενέργεια επιτρέπει τη καλύτερη αξιοποίηση των ενεργειακών φορτίων βάσης από άλλες λιγότερο εύκαμπτες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας.
- Παρουσιάζει τις χαμηλότερες ενεργειακές δαπάνες και τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων, σε σχέση με άλλες επιλογές μεγάλης κλίμακας παραγωγής.
- Τα καύσιμα (νερό) είναι ανανεώσιμα και δεν υποβάλλονται σε διακυμάνσεις της αγοράς.

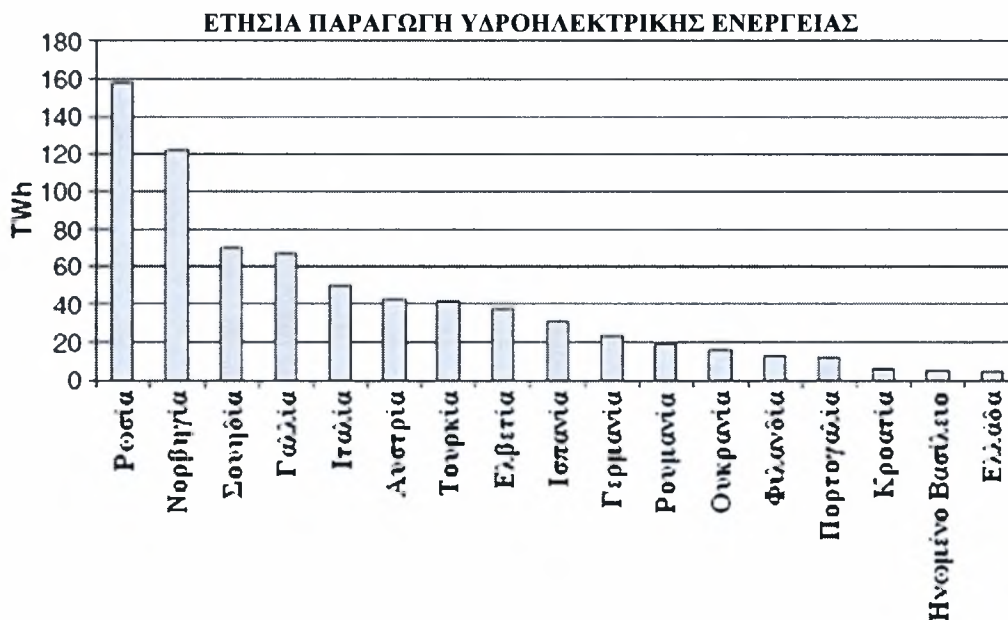
Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από θερμικούς πόρους, οι οποίοι έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιδράσεις, η υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί να συμβάλλει σε ένα καθαρότερο περιβάλλον (Kaldellis, 2008).

Η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από σταθμούς υδροηλεκτρικής ενέργειας για την ΕΕ-15 και ΕΕ-25 κρατών μελών παρουσιάζεται στην Γράφημα 25. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την ΕΕ-15 κυμαίνεται μεταξύ 310 και 365 TWh από το 1992, ενώ άλλα 15 TWh είναι η πρόσθετη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας των 10 νέων κρατών μελών της ΕΕ, κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου (Kaldellis, 2008).



**Γραφημα 25. Ενεργειακή παραγωγή των υδροηλεκτρικών σταθμών της Ερωπαϊκής Ένωσης, περίοδος 1990-2004 (Kaldellis, 2008).**

Μια πιο προσεκτική προσέγγιση της κατανομής των ευρωπαϊκών σταθμών παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (Γράφημα 26) καθιστά σαφές ότι οι περισσότεροι σταθμοί εντοπίζονται στη Δυτική Ευρώπη (Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία) και στη Σκανδιναβική Χερσόνησο (Kaldellis, 2008).

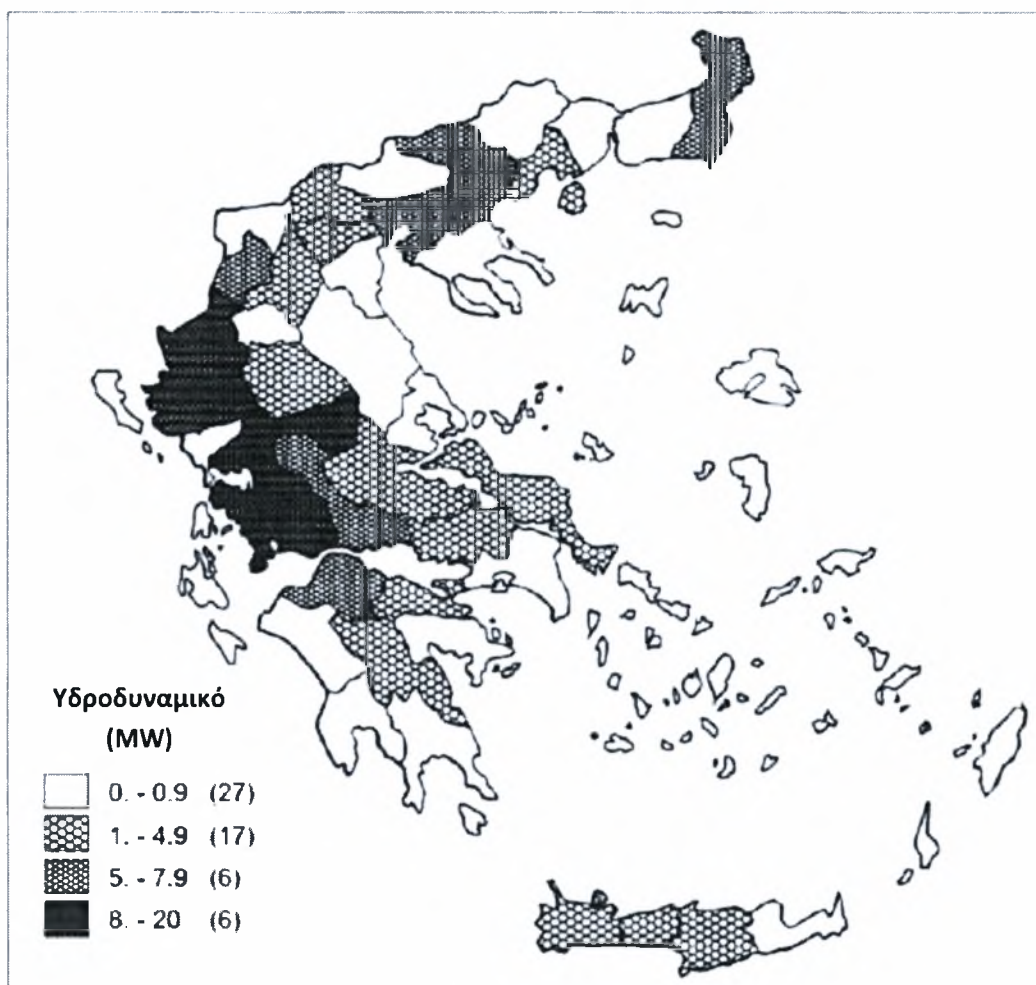


Γράφημα 26. Συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην εθνική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη (Kaldellis, 2008).

#### 8.4.2.2 Λειτουργικοί υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Ελλάδα

Η Ελλάδα και συγκεκριμένα το δυτικό και βόρειο τμήμα της ηπειρωτικής χώρας κατέχει σημαντικό υδροδυναμικό, το οποίο μέχρι και σήμερα εκμεταλλεύεται μερικώς. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η εδαφική διαμόρφωση (τοπογραφία) σε συνδυασμό με τη σχετικά υψηλή βροχόπτωση, διευκολύνει τη κατασκευή σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Χάρτης 7 παρουσιάζει τις σημαντικότερες περιοχές της χώρας με υψηλό υδροδυναμικό (Kaldellis, 2008).

Συνολικά στην Ελλάδα, υπάρχουν περίπου 65 υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες βάσει της ονομαστικής ισχύς τους: 15 μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Large Hydropower Plants, LHP) και 50 μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Small Hydropower Plants, SHP), με εγκατεστημένη ισχύ, 2.950 MW και 93 MW, αντίστοιχα.



Χάρτης 7. Εύρος τιμών του ελληνικού υδροδυναμικού (Kaldellis, 2008).

#### 8.4.2.2.1 Μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Large Hydropower Plants, LHP)

Στην Ελλάδα, μέχρι το 2007, λειτουργούσαν 15 μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (LHP) συνολικής ικανότητα 2.950MW. Ο πρώτος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που τέθηκε σε λειτουργία το 1954, ήταν ο υδροηλεκτρικός σταθμός Άγρας (I, II) (Πίνακας 26). Από εκείνη τη περίοδο, κατασκευάστηκαν διάφοροι και μεγαλύτεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, όπως αυτός στα Κρεμαστά (44 MW), στο Πουρνάρι I (300 MW) και στο Καστράκι (320 MW) στη Δυτική Κεντρική Ελλάδα, όπως και αυτός στο Πολύφυτο (375 MW) στη Κεντρική Μακεδονία (Kaldellis, 2008). Αυτοί οι πέντε σταθμοί δημιουργήθηκαν πριν από περίπου 35 χρόνια και αντιπροσωπεύουν πάνω από το 50% της εθνικής εγκατεστημένης υδροδυναμικής.

**Πίνακας 26. Κύρια χαρακτηριστικά των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών (LHP) (Kaldellis, 2008).**

	Τοποθεσία	Έτος έναρξης λειτουργίας	Ισχύς MW	Αριθμός τουρμπίνων
1	Άγρας	1954	50	2
2	Ασωμάτων	1985	108	2
3	Πήγες Αώου	1990	210	2
4	Εδεσσαίος	1969	19	1
5	Θησαυρός	1997	300	3
6	Καστράκι	1969	320	4
7	Κρεμαστά	1966	437,2	4
8	Λάδωνας	1955	70	2
9	Πλαστήρας	1960	129,9	3
10	Πλατανόβρυση	1999	100	2
11	Πολύφυτο	1974	375	3
12	Πουρνάρι I	1981	300	6
13	Πουρνάρι II	1985	36,5	2
14	Στράτος I	1989	150	2
15	Σφηκιά	1985	315	3

Στο Χάρτη 8 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των υφιστάμενων μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών (LHP). Οι μεγαλύτεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί εντοπίζονται στη Δυτική Ελλάδα και τη Κεντρική Μακεδονία. Οι δυο νεώτεροι σταθμοί του Θησαυρού και της Πλατανόβρυσης βρίσκονται στη Βόρεια Ελλάδα, ενώ μόνο ο παλιός σταθμός του Λάδωνα εντοπίζεται στη Νότια Ελλάδα (Πελοπόννησο) (Kaldellis, 2008).

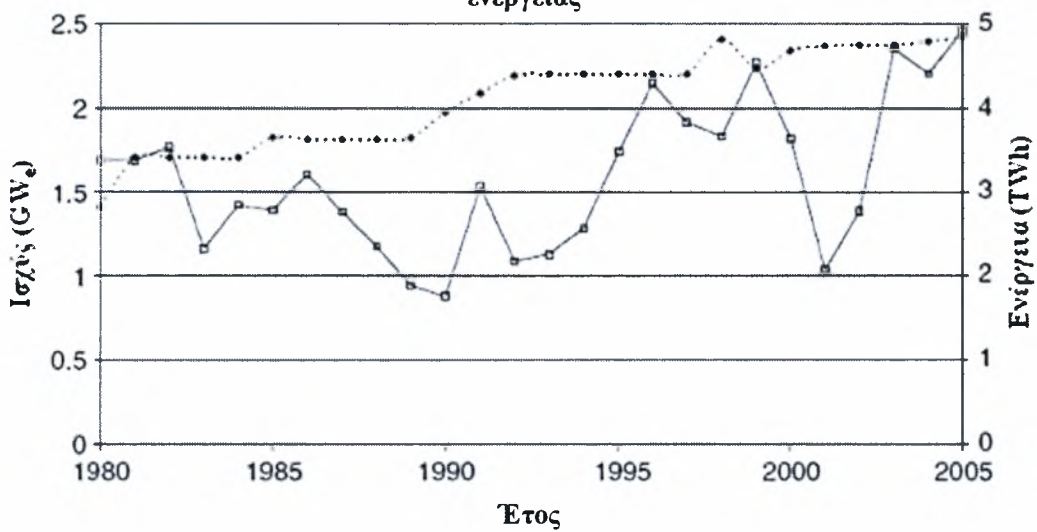
Το Γράφημα 27 παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη της εγκατεστημένης υδροηλεκτρικής ικανότητας στην Ελλάδα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών (μη συμπεριλαμβανομένου των σταθμών Σφηκιά και Θησαυρός). Είναι προφανές, ότι μια αξιοσημείωτη προσθήκη υδροηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζεται μεταξύ του 1980 και 1992, με την εγκατεστημένη ικανότητα να ανέρχεται σε 2.200 MW. Επίσης, η Εικόνα 10 παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη χρονική διακύμανση της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους υφιστάμενους σταθμούς (LHP). Η παραγωγή ενέργειας για το έτος 1990 ήταν 1,9 TWh και το 2005 πλησίασε τα 5 TWh. Δυστυχώς, η συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στη συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ήταν αρκετά περιορισμένη, με μια μέση συμβολή της τάξης του 9,5% (Kaldellis, 2008).





Χάρτη 8. Γεωγραφική κατανομή των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών (Kaldellis, 2008).

Εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Γράφημα 27. Εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύς και ετήσια παραγωγή ενέργειας (Kaldellis, 2008).

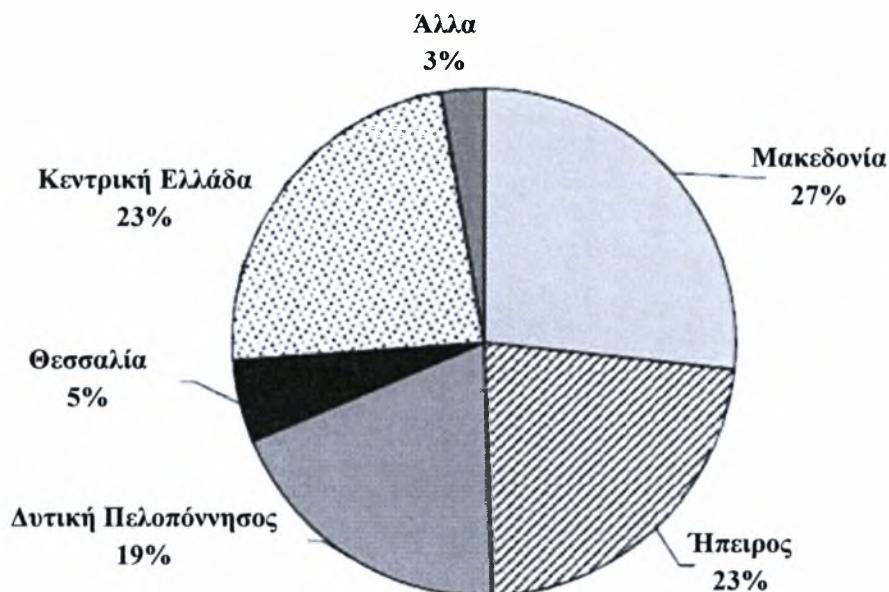


#### 8.4.2.2 Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Small Hydropower Plants, SHP)

Ως μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαρακτηρίζονται αυτές που η εκτιμώμενη ισχύς τους είναι μικρότερη από 10 MW. Ο πρώτος μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός λειτούργησε στην Ελλάδα το 1927, στη περιοχή Γλαύκος της Βόρειας Πελοποννήσου (Papantonis, 2001) και το 1929 τέθηκε σε λειτουργία ο σταθμός στο Βέρμιο της Κεντρικής Μακεδονίας. Μέχρι το 1994, υπήρχαν μόνο 8 σταθμοί, υπό το ιδιοκτησιακό καθεστώς της ΔΕΗ, με συνολική εκτιμώμενη ισχύ ίση με 42,8 MW (Kaldellis, 2008). Μετά την εφαρμογή Νόμου 2244/94, που επέτρεπε την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που να βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από ιδιώτες, παρατηρήθηκε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη δημιουργία μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών σε όλη την Ελλάδα. Ένας αξιοσημείωτος αριθμός μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών εγκαταστάθηκαν μετά το 2000, με σχεδόν 40 νέα μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών μεταξύ του 2000 – 2005 και αύξηση της αντίστοιχης ισχύς κατά 120% (Kaldellis, 2006).

Στην Ελλάδα, μέχρι το 2007, λειτουργούσαν περίπου 50 σταθμοί με εκτιμώμενη ισχύ της τάξης των 93,3 MW. Αυτοί οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας παρουσιάζουν μια σχεδόν ομοιόμορφη χωρική κατανομή στη Μακεδονία, την Ήπειρο, τη Κεντρική Ελλάδα και τη Δυτική Πελοπόννησο όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 28 (Kaldellis, 2006).

Σύμφωνα με τον Kaldellis (2007), υπάρχουν 21 μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Πίνακας 27) με εκτιμώμενη ισχύ μεταξύ 1 και 10 MW, αντιπροσωπεύοντας το 82% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος (75,5 MW). Επίσης, υπάρχουν 29 μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, με ισχύ μικρότερη από 1 MW, (Πίνακας 28), με συνολική ικανότητα 16,75 MW (RAE, 2006). Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι 9 από τις 50 εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ανήκουν στην ιδιοκτησία της ΔΕΗ και αντιπροσωπεύουν το 45,7% της εγκατεστημένης ισχύς, 4 ανήκουν στους τοπικούς Δήμους, ενώ οι υπόλοιπες αποτελούν ιδιωτικές επενδύσεις. Στους Χάρτες 9 και 10 απεικονίζεται η γεωγραφική κατανομή των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών ισχύος 1 έως 10 MW και <1 MW, αντίστοιχα.



Γράφημα 28. Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών, έτος 2006 (Kaldellis, 2006).

Πίνακας 27. Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, ισχύος 1-10 MW (Kaldellis, 2006)

	Τοποθεσία/ονομασία	Ιδιοκτησιακό καθεστώς	Ισχύς (MW)
1	Βέρμιο Ι	ΔΕΗ	1,8
2	Γκιώνα, Φωκίδα	ΔΕΗ	8,5
3	Πάτρα, Γλαύκος	ΔΕΗ	3,6
4	Στράτος ΙΙ	ΔΕΗ	6
5	Τσιβλού, Ακράτας	Ιδιωτικό	2,82
6	Αγία Μαρίνα, Λακωνία	Ιδιωτικό	1,0
7	Κλειτορία, Αχαΐα	Ιδιωτικό	1,3
8	Μακροχωρι, Βέροια	ΔΕΗ	10,8
9	Λούρος	ΔΕΗ	10,3
10	Κερυνίτη, Αχαΐα	Ιδιωτικό	2,6
11	Λάμπεια, Ηλία	Ιδιωτικό	1,47
12	Καταρράκτης, Άρτα	Ιδιωτικό	2,4
13	Άνω Γκούρα, Άρτα	Ιδιωτικό	3,9
14	Νερόβρυση, Ιωάννινα	Ιδιωτικό	1,94
15	Καστανιώτικο, Τρίκαλα	Ιδιωτικό	1,95
16	Μερλίκια Γαρεφείου, Πέλλα	Ιδιωτικό	1,83
17	Ρουφράκτης, Σέρρες	Ιδιωτικό	3,0
18	Μονή Παναγιάς, Σέρρες	Ιδιωτικό	1,2
19	Ίναχος, Φθιώτιδα	Ιδιωτικό	4,5
20	Θερμόρεμα, Φθιώτιδα	Ιδιωτικό	3,5
21	Αγιορανίτικο, Φωκίδα	Ιδιωτικό	1,9



Χάρτης 9. Γεωγραφική κατανομή μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών ισχύος 1-10 MW (Kaldellis, 2006).

Πίνακας 28. Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, ισχύος <1 MW (Kaldellis, 2006).

	Τοποθεσία/ονομασία	Ιδιοκτησιακό καθεστώς	Ισχύς (kW)
1	Ξεριάς Καβάλα	Δημοτικό	938
2	Πηγές Γκούρα, Ιωάννινα	Ιδιωτικό	930
3	Γκούρα – Ανατολική,	Ιδιωτικό	700
4	Γκούρα – Μικρό Περιστερί,	Ιδιωτικό	990
5	Πηγές Κλίφκη, Ιωάννινα	Δημοτικό	100
6	Βατσουσιά-2, Καρδίτσα	Ιδιωτικό	600
7	Ρέμα Γόννων, Λάρισα	Ιδιωτικό	650
8	Ρέμα Προδρόμου, Λάρισα	Ιδιωτικό	995
9	Σαρακήνος, Βόλος	Δημοτικό	750
10	Αραπίτσα, Ημαθία	Ιδιωτικό	625
11	Σαραντόβρυσες, Ημαθία	Ιδιωτικό	570
12	Άγιος Ιωάννης, Ημαθία	ΔΕΗ	700
13	Λίμνη Παναγίτσας-1, Πέλλα	Ιδιωτικό	500
14	Λίμνη Παναγίτσας-2, Πέλλα	Ιδιωτικό	60
15	Λίμνη Παναγίτσας-3, Πέλλα	Ιδιωτικό	150
16	Αρκουδόρεμα, Πέλλα	Ιδιωτικό	350
17	Τεχνητή Λίμνη, Πέλλα	Ιδιωτικό	560

18	Μπίστριτσα, Πέλλα	Ιδιωτικό	220
19	Τόπλιτσα, Πέλλα	Ιδιωτικό	830
20	Πάντιτα, Πέλλα	Ιδιωτικό	560
21	Κρασοχωρίτικο, Σέρρες	Ιδιωτικό	650
22	Άγκιστρο, Σέρρες	Δημοτικό	500
23	Κίρφη, Βοιωτία		760
24	Ελικώνας, Βοιωτία	Ιδιωτικό	650
25	Μοναστηράκι, Ευρυτανία	Ιδιωτικό	980
26	Πουγκάκια, Φθιώτιδα	Ιδιωτικό	850
27	Γοργοπόταμος, Φθιώτιδα	Ιδιωτικό	155
28	Αγιά, Κρήτη	ΔΕΗ	300
29	Αλμυρός, Κρήτη	ΔΕΗ	300



Χάρτης 10. Γεωγραφική κατανομή μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών ισχύος <1MW (Kaldellis, 2006).

Τέλος, υπό κατασκευή τελούν πέντε ακόμη μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί, με την ολοκλήρωση των οποίων θα προστεθούν ακόμα 15,1 MW στο συνολικό δυναμικό της ΔΕΗ (Πίνακας 29).



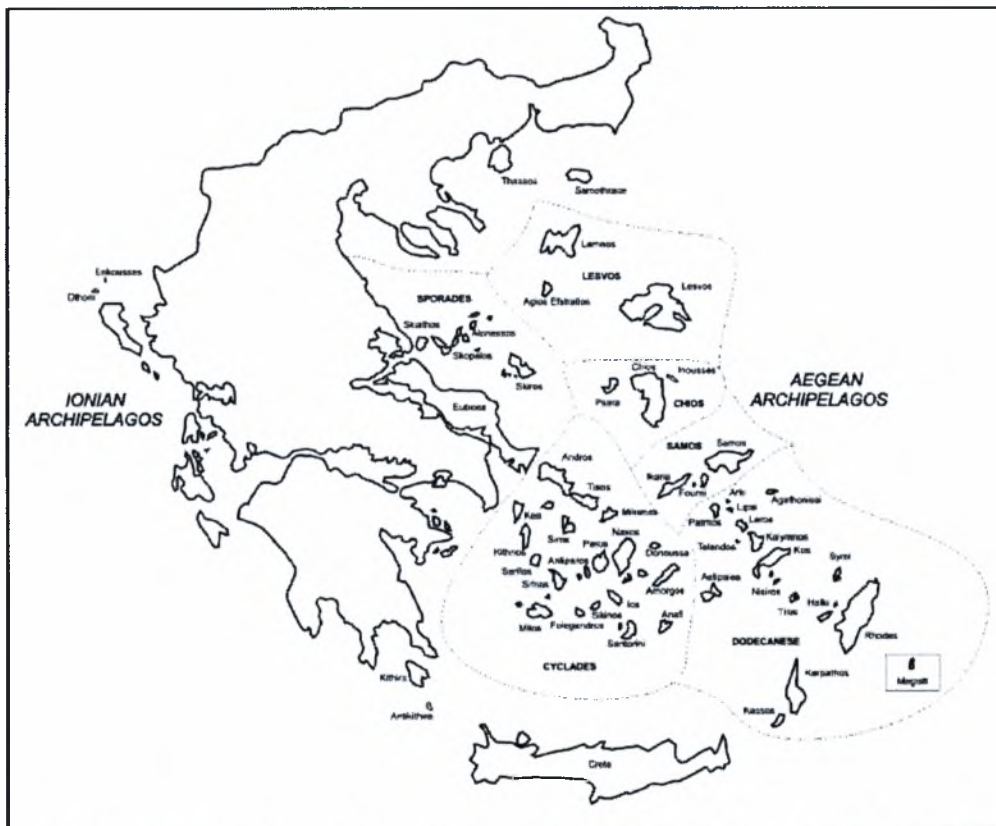
**Πίνακας 29. Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί υπό κατασκευή (ΔΕΗ 2009α).**

Σταθμοί	Περιοχή	Ισχύς (MW)
Παπαδιάς	Φλώρινα	0,5
Ιλαρίωνα	Κοζάνη	4,2
Μεσοχώρας	Τρίκαλα	1,6
Ικαρίας	Ικαρία	6,5
Αλατόπετρας	Γρεβενά	2,3
<b>Σύνολο</b>		<b>15,1</b>

## 8.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

### 8.5.1 Γενικά – Νησιωτική Περιοχή Αιγαίου Πελάγους

Το Αιγαίο Πέλαγος αποτελεί μια απομονωμένη ελληνική περιοχή, που περιλαμβάνει εκατοντάδες διασπαρμένα νησιά, διαφόρων μεγεθών, όπως φαίνεται στο Χάρτη 11.



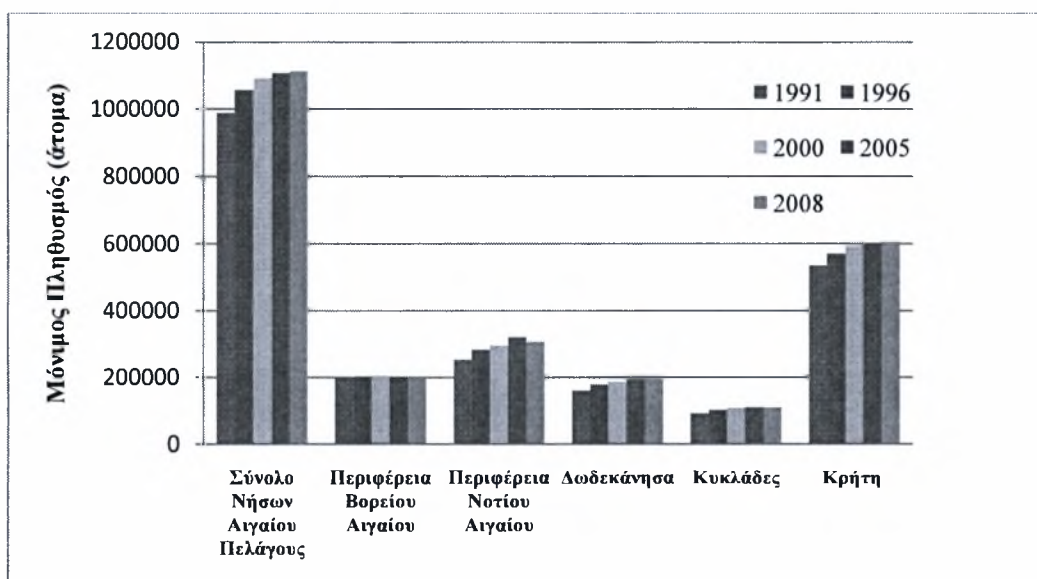
**Χάρτης 11. Νησιωτικό σύμπλεγμα Αιγαίου Πελάγους (Kaldellis and Zafirakis, 2007).**

Η διοικητική διαίρεση του Αιγαίου Πελάγους αποτελείται από τη Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου, τη Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου και τη Περιφέρεια Κρήτης. Η Περιφέρεια



Βορείου Αιγαίου περιλαμβάνει τη Νομαρχία Λέσβου, Χίου και Σάμου, η Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου περιλαμβάνει τις Νομαρχίες Κυκλάδων και Δωδεκανήσων και η Περιφέρεια Κρήτης τη Νομαρχία Κρήτης. Βόρεια των Κυκλάδων εντοπίζεται το νησιωτικό σύμπλεγμα των Σποράδων, στο βορειοδυτικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους και ανήκει στη Νομαρχία Μαγνησίας (εξαιρουμένου της νήσου Σκύρος, η οποία ανήκει διοικητικά στη Νομαρχία Εύβοιας). Στο βορειοανατολικό Αιγαίο Πέλαγος εντοπίζονται τα νησιά Σαμοθράκη και Θάσος, τα οποία ανήκουν στις Νομαρχίες Έβρου και Καβάλας, αντίστοιχα. Τέλος, στα νοτιοανατολικά της Πελοποννήσου υπάρχουν τα μικρά νησιά Κύθηρα και Αντικύθηρα.

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία (ΕΣΥΕ, 2010α), ο μόνιμος πληθυσμός της περιοχής παρουσιάζει μια μάλλον διαιρεμένη εικόνα. Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 29, αύξηση του πληθυσμού παρατηρείται στη περιοχή του Νότιου Αιγαίου και της Κρήτης κατά τη διάρκεια των τελευταίων 18 ετών, ενώ στη περίπτωση της περιοχής του Βόρειου Αιγαίου, ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων παραμένει σταθερός, με ελαφρώς πτωτική τάση.



Γράφημα 29. Εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού στη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους (1991-2008) (ΕΣΥΕ, 2010α).

### 8.5.2 Υπάρχον σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των νησιών

Η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους καλύπτεται μέχρι σήμερα από τους υπάρχοντες 32 αυτόνομους σταθμούς παραγωγής (ΑΣΠ) ηλεκτρικής

ενέργειας τεχνολογίας εσωτερικής καύσης και αμοστροβίλων (Πίνακας 30). Σε ορισμένες περιπτώσεις όπως στη περίπτωση της Θάσου, Σαμοθράκης, Σποράδων (εκτός της Σκύρου) και Τήνου, τα νησιά είναι συνδεδεμένα με το πλησιέστερο διαθέσιμο ηπειρωτικό δίκτυο ηλεκτρισμού. Η υπάρχουσα συνολική εγκατεστημένη ικανότητα ΑΣΠ είναι περίπου ίση με 1.300 MW, ενώ η αντίστοιχη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2006 ήταν 2.200 GWh (ΡΑΕ, 2006).

Σύμφωνα με τις διαθέσιμες πληροφορίες, περίπου 220 θερμικές μονάδες παραγωγής λειτουργούν στο Αιγαίο Πέλαγος, και οι περισσότερες από αυτές λειτουργούν για πάνω από 20 χρόνια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα διάφορες μονάδες να παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα και η πραγματική παραγωγή τους να είναι κατά 15% χαμηλότερη από την εκτιμώμενη ισχύ τους, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών (Kaldellis and Zafirakis, 2007).

**Πίνακας 30. Αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής του μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού δικτύου (ΔΕΗ, 2010).**

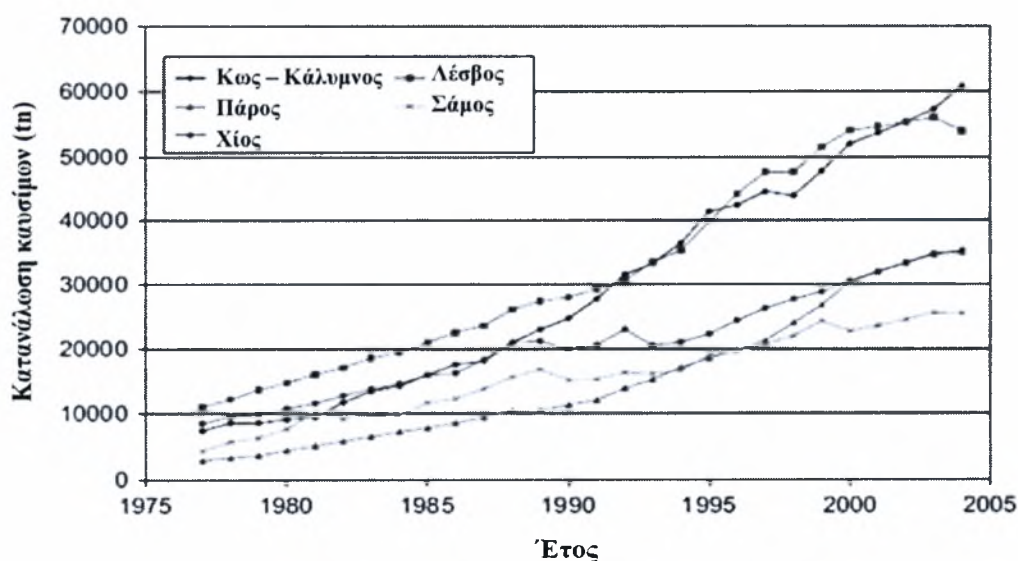
A/A	Αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής	Τροφοδοτούμενα νησιά	Εγκατεστημένη ισχύς (kW)
1	Λινοπεράματα	Κρήτη	192.800
	Αθρινόλακκος		195.200
	Χανιά		328.400
	<b>Σύνολο</b>		<b>716.400</b>
2	Σορώνη	Ρόδος	206.000
3	Αγαθονήσι	Αγαθονήσι	240
4	Αγ. Ευστράτιος	Αγ. Ευστράτιος	360
5	Αμοργός	Αμοργός	2.650
6	Ανάφη	Ανάφη	355
7	Αντικύθηρα	Αντικύθηρα	140
8	Αστυπάλαια	Αστυπάλαια	1.600
9	Δονούσα	Δονούσα	210
10	Ερεϊκούσα	Ερεϊκούσα	270
11	Ικαρία	Ικαρία	6.900
12	Κύθνος	Κύθνος	2.300
13	Λέσβος	Λέσβος	49.500
14	Λήμνος	Λήμνος	8.900
15	Μεγίστη	Μεγίστη	390
16	Μύκονος	Μύκονος	21.200
17	Οθωνοί	Οθωνοί	270
18	Πάτμος	Πάτμος	4.380
19	Σαμοθράκη	Σαμοθράκη	2.200
20	Σέριφος	Σέριφος	2.000
21	Σίφνος	Σίφνος	4.300
22	Σκύρος	Σκύρος	4.500
23	Σύμη	Σύμη	4.350
24	Σύρος	Σύρος	20.000
25	Σάμος	Σάμος-Φούρνοι	46.080
26	Χίος	Χίος-Ψαρά	38.780
	Ψαρρά*		345
27	Άνδρος	Άνδρος-Τήνος	9.400

28	Θήρα	Θήρα-Θηρασία	22.200
29	Ίος-Σίκινος- Φολέγανδρος	Ίος-Σίκινος- Φολέγανδρος	3.740
30	Κάλυμνος-Κως Κως***	Κάλυμνος-Λέρος- Λειψοί-Τέλενδος- Ψέριμος- Κως- Νίσυρος-Τήλος- Γυαλί	69.600 60.500
31	Νίσυρος*		-
32	Κάρπαθος-Κάσος	Κάρπαθος-Κάσος	9.000
33	Μήλος	Μήλος-Κίμωλος	7.600
34	Πάρος	Πάρος-Νάξος- Αντίπαρος-Ηρακλειά -Σχοινούσα- Κουφονήσια	43.250

\*σταθμός εκτός λειτουργίας – παραμονή σε εφεδρεία  
\*\*\*παράλληλη λειτουργία με ΑΣΠ Καλύμνου

### 8.5.3 Κατανάλωση καυσίμων

Όλα τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής που λειτουργούν στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο (diesel) και το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ, mazut). Συγκεκριμένα, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου diesel (συμπεριλαμβανομένης της Ρόδου) προσεγγίζει τους 100.000 τόνους πετρελαίου και σχεδόν 400.000 τόνους μαζούτ. Το Γράφημα 30 παρουσιάζει τη χρονική εξέλιξη, για τη περίοδο 1975-2005, της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμων για τους μεγαλύτερους αυτόνομους σταθμούς παραγωγής του Αιγαίου Πελάγους, μη συμπεριλαμβανομένου των σταθμών της Κρήτης και Ρόδου (Kaldellis and Zafirakis, 2007).



Γράφημα 30. Χρονική εξέλιξη της κατανάλωσης καυσίμων σε επιλεγμένα νησιά του Αιγαίου Πελάγους (Kaldellis and Zafirakis, 2007).

## 8.6 ΔΕΗ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 8.6.1 Ηλιακή Ενέργεια

Για μια χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια όπως η Ελλάδα, η ηλιακή ενέργεια αποτελεί ανεξάντλητο ενεργειακό πόρο. Σύμφωνα με τη Περιβαλλοντική Έκθεση της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ, 2009α), η ΔΕΗ αξιοποιεί την ενέργεια του ήλιου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των 2 Φωτοβολταϊκών Πάρκων (Φ/Π) που βρίσκονται σε λειτουργία σε 2 νησιώτικες περιοχές της χώρας, στη Σίφνο και στην Κύθνο. Μάλιστα, το Φ/Π της Κύθνου, το οποίο δημιουργήθηκε το 1983, ήταν το πρώτο έργο του είδους που λειτούργησε στην Ευρώπη (Πίνακας 31). Από το πρώτο έτος λειτουργίας του έως σήμερα υπολογίζεται ότι έχουν παραχθεί 3.380 MWh, που αντιστοιχούν σε μείωση 2.332,2 τόνων CO<sub>2</sub>, 35,4 τόνων SO<sub>2</sub> και 6,8 τόνων NO<sub>x</sub>.

**Πίνακας 31. Φωτοβολταϊκά πάρκα σε λειτουργία (ΔΕΗ, 2009α).**

Φ/Π	Ισχύς (kW)
Κύθνος	100
Σίφνος	60
<b>Σύνολο</b>	<b>160</b>

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των Φ/Π της ΔΕΗ είναι 180 KW. Σήμερα η εταιρεία προχωρά στην ανάπτυξη ενός από τα μεγαλύτερα Φ/Π στον κόσμο, στην περιοχή της Μεγαλόπολης. Το πάρκο θα έχει συνολική ισχύ 50 MW και υπολογίζεται ότι η ενεργειακή παραγωγή του θα καλύπτει το 42% των ενεργειακών αναγκών του Ν. Αρκαδίας, ποσοστό το οποίο αντιστοιχεί σε 28.000 νοικοκυριά. Η συμβολή του έργου στην προστασία του περιβάλλοντος πρόκειται να είναι ανεκτίμητη, καθώς από τη λειτουργία του θα παράγονται περίπου 65.000 MWh/έτος και θα αποφεύγεται η εκπομπή 65.000 τόνων CO<sub>2</sub>, 680 τόνων SO<sub>2</sub> και 131 τόνων NO<sub>x</sub> ετησίως. Παράλληλα, το έργο αποτελεί το πρώτο βήμα για την ανάδειξη της περιοχής σε ενεργειακό κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της χώρας μας (ΔΕΗ, 2009α).

### 8.6.2 Αιολική Ενέργεια

Η ΔΕΗ αξιοποιεί τη δύναμη του ανέμου, δημιουργώντας Αιολικά Πάρκα (ΑΠ) σε νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας. Πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη που απορρέουν από τη συγκεκριμένη δραστηριότητα, ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι η

δημιουργία ΑΠ σε νησιωτικές περιοχές όπως η Κρήτη, η Λέρος, η Κάρπαθος και η Σαμοθράκη συμβάλλει σε μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή αυτονομία τους. Ενδεικτικό είναι ότι η λειτουργία ενός ΑΠ ισχύος 10 MW προσφέρει ετησίως την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται 7.250 νοικοκυριά και συμβάλλει στην εξοικονόμηση περίπου 7.000 τόνων πετρελαίου.

Συνολικά, η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠ της ΔΕΗ ανέρχεται περίπου σε 44 MW. Κατά το 2008 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε σε 92.000 MWh και κατά συνέπεια μέσω της λειτουργία των ΑΠ αποφεύχθηκε η εκπομπή 63.652 τόνων CO<sub>2</sub>, καλύπτοντας τις ανάγκες σε ενέργεια 20.500 ελληνικών νοικοκυριών (ΔΕΗ, 2009α).

**Πίνακας 32. Αιολικά πάρκα σε λειτουργία (ΔΕΗ, 2009α).**

Αιολικό πάρκο	Περιοχή	Ισχύς (MW)
Κύθνος	Κουκουβάγιας	0,5
Κύθνος	Χώρα – Μύλοι	0,17
Λήμνος	Βουνάρου	0,44
Σαμοθράκη	Ακρωτήρι	0,22
Κάρπαθος	Αγ. Ιωάννης	0,28
Λήμνος	Βίγλα	0,7
Ικαρία	Περδίκι	0,39
Εύβοια	Μαρμάρι	5,1
Σάμος	Πυθαγόρειο	2,03
Λέσβος	Σίγρι	1,80
Σάμος	Μαραθόκαμπος	0,9
Χίος	Μελανιός	2,48
Χίος	Ποταμιά	1,0
Ψαρά	Προφ. Ηλίας	2,03
Κρήτη	Ξηρολίμνη	4,8
Κρήτη	Ξηρολίμνη	5,4
Κρήτη	Ξηρολίμνη	3,0
Κρήτη	Μονή Τοπλού	6,6
Κως – Λέρος	-	4,12
Άνδρος	Καλυβάρι	1,58
<b>Σύνολο</b>		<b>43,54</b>

Τέλος, η ΔΕΗ δρομολογεί την ανάπτυξη νέων έργων συνολικής ισχύος περίπου 49 MW. Ανάμεσα σε αυτά τα έργα είναι και η κατασκευή 9 ΑΠ σε Ρόδο, Πάρο, Λέσβο, Σίφνο, Κρήτη, Λήμνο και Σάμο, τα οποία θα ολοκληρωθούν εντός του 2010, σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα των έργων. Ο Πίνακας 33, παρουσιάζει τα ΑΠ που τελούν υπό κατασκευή.



**Πίνακας 33. Αιολικά πάρκα υπό κατασκευή (ΔΕΗ, 2009α).**

<b>Αιολικό πάρκο</b>	<b>Περιοχή</b>	<b>Ισχύς (MW)</b>
Πάρος	Καμάρες	3,0
Ρόδος	Καταβία	5,25
Λέσβος	Σκαλοχώρι	2,7
Σίφνος	Τραγουδιστή	1,2
Ρέθυμνο	Ακούμια	7,2
Ρέθυμνο	Κοπρινό	9,9
Λήμνος	Αγ. Σώζων	1,3
Σάμος	Πυθαγόρειο	0,6
Σάμος	Μαραθόκαμπος	1,2
Βοιωτία	Κάστρο	17,7
<b>Σύνολο</b>		<b>48,85</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ

### 9.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Σχεδόν κάθε ενεργειακό σύστημα, εκτός από τα οφέλη που παρέχει στη κοινωνία, προκαλεί και ανεπιθύμητα αποτελέσματα, όπως είναι η περιβαλλοντική υποβάθμιση. Συγκεκριμένα, οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να επηρεάσουν ένα ευρύ σύνολο θέσεων συμπεριλαμβανομένου του εδάφους, του θορύβου, της ορατότητας, του παγκόσμιου κλίματος, την ανθρώπινη υγεία και την οπτική θελκτικότητα. Στο τομέα της ενέργειας κυρίαρχο ρόλο κατέχει η χρήση ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, λιγνίτη, φυσικό αέριο, μαζούτ, πετρέλαιο), η καύση των οποίων οδηγεί στην απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων αερίων καύσης, προκαλώντας ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης, της ατμοσφαιρικής (Chaaban et al., 2004).

Συγκεκριμένα, το κυριότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα έγκειται στα επιβλαβή συστατικά των αερίων καύσης όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, οξείδια του θείου, οξείδια αζώτου, χλωροφθοράνθρακες, όζον και αιωρούμενα σωματίδια. Τα αέρια αυτά, καλούνται αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου (greenhouse gases, GHGs), καθώς συμβάλλουν σε αυτό, αυξάνοντας τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία και επιτείνοντας τις κλιματικές αλλαγές σε ολόκληρο το πλανήτη (Lora and Salomon, 2005).

Υπάρχει σαφής επιστημονική ένδειξη ότι η αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και στην αλλαγή των κλιματολογικών προτύπων. Η δραστική αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, που προκλήθηκε από τη καύση των ορυκτών καυσίμων, έχει προσδιοριστεί ως ο κυριότερος λόγος για τη μεταβολή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας (Malla, 2009).

Αξίζει να σημειωθεί ότι περισσότερο από το 80% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης προέρχεται αυτή τη περίοδο από τον άνθρακα, το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Θεωρείται αδύνατο να βρεθούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας οι οποίες θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα βραχυπρόθεσμα ή μεσοπρόθεσμα, καθώς η

ενεργειακή ζήτηση είναι πάρα πολύ υψηλή. Ένα άλλο θέμα, που ανησυχεί τη διεθνή κοινότητα, αποτελεί ο μη ανανεώσιμος χαρακτήρας των ορυκτών καυσίμων, καθώς απαιτήθηκαν εκατομμύρια χρόνια για να παραχθούν αυτοί οι πόροι, αν και η ανθρωπότητα έχει καταφέρει να καταναλώσει το μεγαλύτερο μέρος αυτών μέσα σε διάστημα, βιομηχανικής άνθισης, 200 ετών (Time for Change, 2010a).

## 9.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (GREENHOUSE EFFECT)

Η αύξηση της ανθρωπογενούς έκλυσης αερίων του θερμοκηπίου είναι η αιτία για τη παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου, και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα, είναι συνδεδεμένη με το λεγόμενο φαινόμενο του θερμοκηπίου (greenhouse effect).

### 9.2.1 Περιγραφή του Φαινομένου του Θερμοκηπίου

Ο ήλιος μέσω της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας θερμαίνει τον πλανήτη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά τη νύχτα η γη αποβάλλει ένα ποσοστό αυτής της ενέργειας, υπό μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό της ατμόσφαιρας (υδρατμοί), καθώς και άλλα τριατομικά αέρια, έχουν την ιδιότητα να απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία. Έτσι, η ενέργεια παγιδεύεται στη γη και σταδιακά με την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται και η μέση θερμοκρασία του πλανήτη (Εικόνα 23). Το πρόβλημα εντοπίζεται στην αύξηση της ποσότητας του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα και στην επακόλουθη αύξηση της απορρόφησης που προκαλείται από αυτή. Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα τριατομικά ή πολυατομικά αέρια δύναται να συμβάλλουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου (Κούγκολος, 2007; Cline, 1992).

Το κύριο αέριο του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (η ποσοστιαία συμβολή στη παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι περίπου 61% για το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), 15% για το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), 12% για τους χλωροφθοράνθρακες (CFCs), 4% για το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και 8% για όλους του άλλους ρύπους) (Georgakellos, 2010). Ο Πίνακας 34 παρουσιάζει τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου, το μέσο χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, το ποσοστό συμβολής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και το συντελεστή δυναμικού παγκόσμιας υπερθέρμανσης.

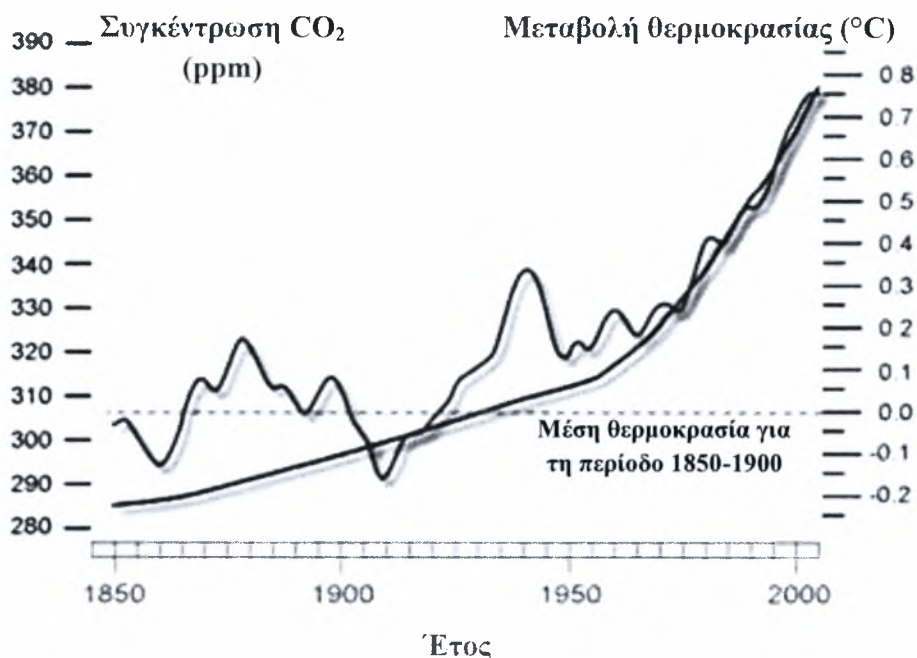


Εικόνα 23. Απλουστευμένη απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Time for Change, 2010).

Πίνακας 34. Κυριότερα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου (Κούγκολος, 2007; EC, 2007; IPCC, 2007; Blasing, 2010).

Κυριότερα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου		Μέσος χρόνος ζωής (έτη)	Συμμετοχή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (%)		Δυναμικό Παγκόσμιας Υπερθέρμανσης (GWP <sub>100</sub> )
Χημικός τύπος	Ονομασία		1988	2010	
CO <sub>2</sub>	Διοξείδιο του άνθρακα	200	48	61	1
CH <sub>4</sub>	Μεθάνιο	11	17	15	25
N <sub>2</sub> O	Υποξείδιο του αζώτου	120	6	4	298
CFC-11	Χλωροφθοράνθρακες	65	18	12	4.750
CFC-12		110			

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης αποδίδεται στην αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, λόγω της καύσης των ορυκτών καυσίμων. Το Γράφημα 31, απεικονίζει την άμεση σύνδεση της αυξανόμενης συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα που παρατηρείται στην ατμόσφαιρα τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και της μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, για τη περίοδο 1850-2000. Στις αρχές του 2000, η μέση συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> ήταν περίπου 370 ppm, αυξάνοντας τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία περίπου κατά 0,7°C.



**Γράφημα 31. Συσχέτιση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και της μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη (EPA, 2010a).**

Εξαιτίας της καύσης των ορυκτών καυσίμων και της αποδάσωσης, το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της γης έχει αυξηθεί κατά 35% σε σχέση με τα επίπεδα της προβιομηχανικής εποχής (Vamvuka and Galetakis, 2010). Οι επιστήμονες προβλέπουν ότι οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα θα αυξήσουν τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη, περίπου κατά 1,5 έως 4 °C κατά τη διάρκεια των επόμενων 30 – 40 ετών (Quadrelli and Peterson, 2007).

### 9.2.2 Παγκόσμια Αύξηση της Θερμοκρασίας και Συνέπειες

Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι καταστροφικές αλλαγές στο περιβάλλον θα προκληθούν εάν η παγκόσμια θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από 2°C. Μια αύξηση κατά 2°C αντιστοιχεί σε συγκέντρωση διοξειδίου στην ατμόσφαιρα περίπου 450 ppm. Στις αρχές του 2007, η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα ήταν 380 ppm. Με ρυθμό αύξησης κατά μέσο όρο 2-3 ppm ανά έτος, υπολογίζεται ότι η κρίσιμη τιμή αναφορικά με τη παγκόσμια θερμοκρασία θα επιτευχθεί σε περίπου 20-30 χρόνια από σήμερα (Time for Change, 2010b). Υπολογιστικά μοντέλα προβλέπουν ότι η παγκόσμια θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί κατά 3 έως 5°C μέχρι το 2100. Τα κυριότερα αποτελέσματα μιας τέτοιας αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης, θα είναι (Κούγκολος, 2007; ΕΚΠΑΑ, 2008):



- η άνοδος της στάθμης της θάλασσας τουλάχιστον κατά 1,5m (υπάρχουν αναφορές ακόμα και κατά 25m) μέχρι το 2100, εξαιτίας της θερμικής διαστολής των ωκεανών και της τήξης των πολικών πάγων.
- Αλλαγή των ποσοτήτων και των προτύπων βροχόπτωσης, οδηγώντας στη μετατόπιση και διεύρυνση των κλιματολογικών γεωγραφικών ζωνών, εντείνοντας τα φαινόμενα ξηρασίας στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη.
- Αύξηση της συχνότητας, διάρκειας και έντασης άλλων ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι πλημμύρες, ξηρασίες, καύσωνες και οι ανεμοστρόβιλοι, εξαιτίας των αλλαγών των προτύπων θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Η συνολική ετήσια ισχύς, η μέση ένταση και διάρκεια των τυφώνων έχει αυξηθεί σημαντικά ήδη από το 1975.

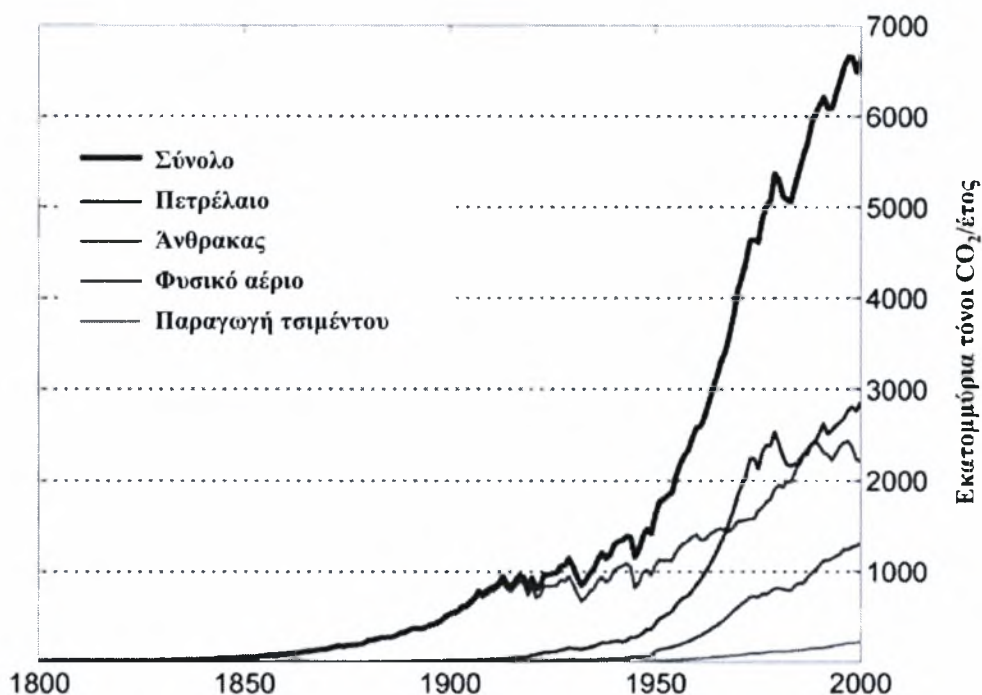
Άλλα αποτελέσματα της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν τις διακυμάνσεις στη γεωργική παραγωγή, υποχώρηση των παγετώνων, μειωμένες ροές κατά τη θερινή περίοδο, εξαφανίσεις ειδών, επανεμφάνιση ασθeneιών (ελονοσία).

### 9.3 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

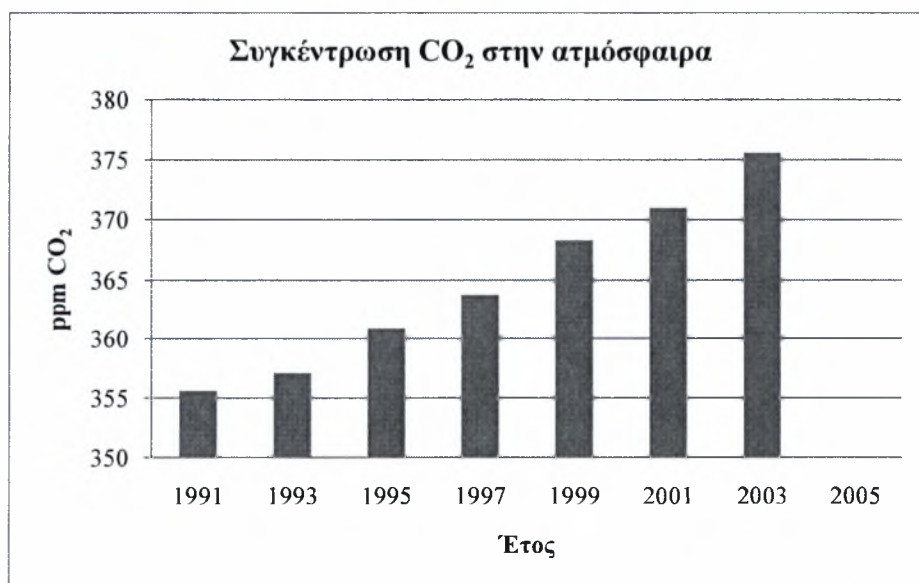
#### 9.3.1 Εκπομπές CO<sub>2</sub>

Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου προκαλείται από την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου. Όπως προκύπτει, οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα είναι η σημαντικότερη αιτία της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας. Ο τομέας της παραγωγής ενέργειας είναι μια από τις σημαντικότερες πηγές εκπομπών CO<sub>2</sub> μέσω της καύσης των ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακα. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι το μερίδιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, στο σύνολο των εκπομπών CO<sub>2</sub> έχει αυξηθεί από 36% (8.8 Gt CO<sub>2</sub>) το 1990 σε 41% (11.0 Gt CO<sub>2</sub>) το 2005, και αν οι σύγχρονες τάσεις συνεχιστούν με τους ίδιους ρυθμούς, αναμένεται να αυξηθεί σε 45% (18.7 Gt CO<sub>2</sub>) το 2030 (Malla, 2009; Shrestha et al., 2009). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί εντυπωσιακά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 60 ετών. Η ετήσια ποσοστιαία αύξηση είναι της τάξης περίπου του 3% (Γράφημα 32). Την ίδια αυξητική τάση ακολουθεί και η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 33, περιλαμβάνοντας

το σύνολο των πηγών που ευθύνονται για την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.



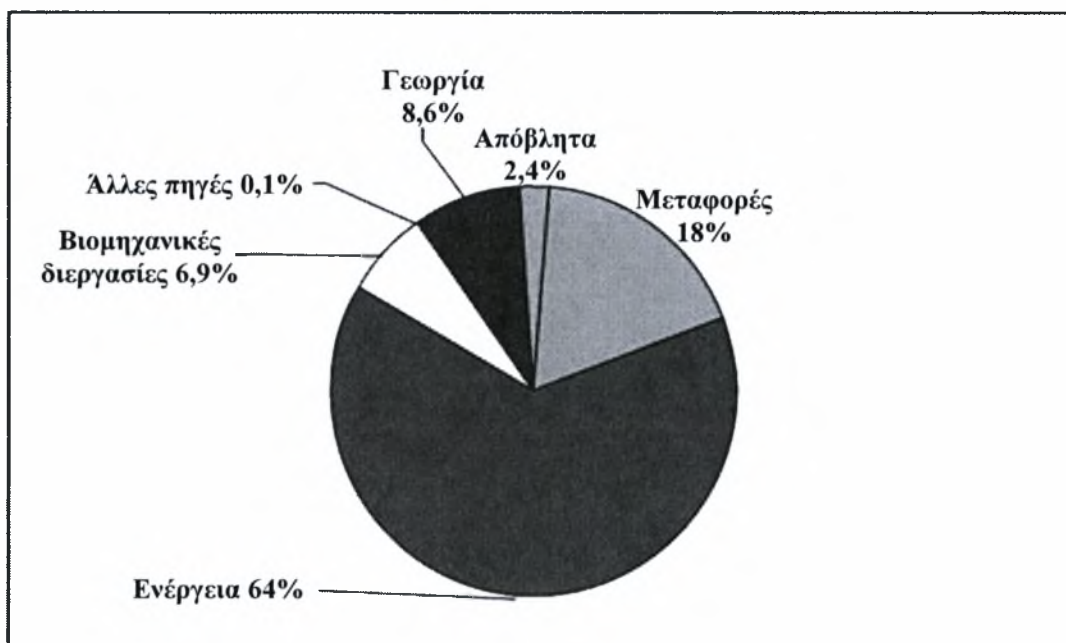
Γράφημα 32. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε εκατομμύρια τόνους ανά έτος, για τα τελευταία 200 χρόνια (IEA, 2009).



Γράφημα 33. Συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (ppm) στην ατμόσφαιρα (EPA, 2010b).

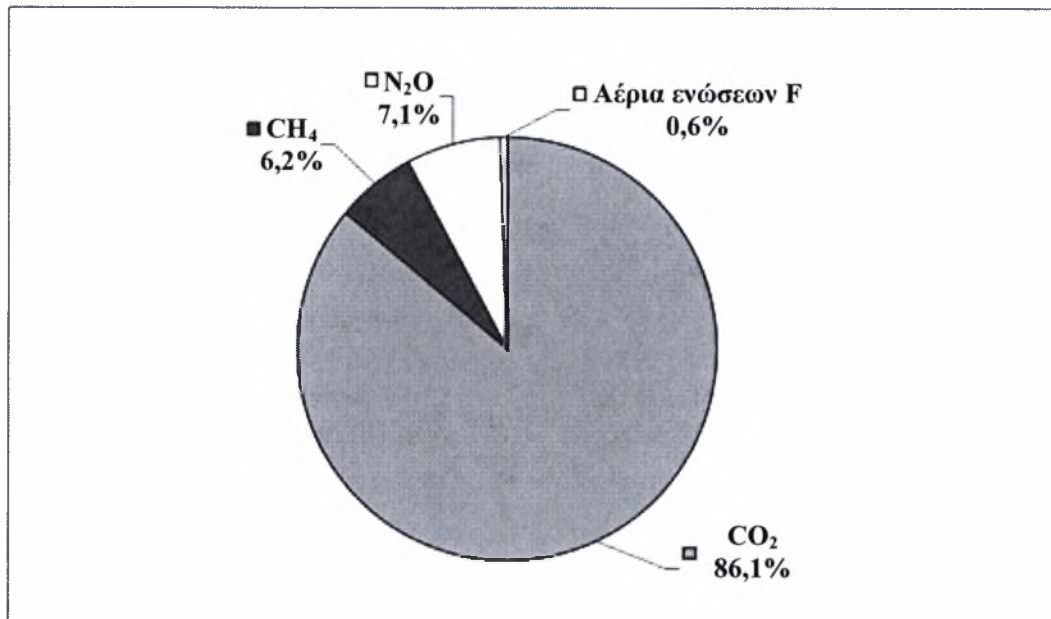
### 9.3.2 Ελλάδα: Εκπομπές CO<sub>2</sub> και Παραγωγή Ενέργειας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί (Κεφάλαιο 8, Παράγραφος 8.4.1.6), για τη περίπτωση της Ελλάδας, ο κύριος υπεύθυνος για το μεγαλύτερο μερίδιο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι ο ενεργειακός τομέας και συγκεκριμένα το ελληνικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με στοιχεία του Εθνικού Κέντρου Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (Dimitrouloroulou, 2000a), ο τομέας παραγωγής ενέργειας συμβάλλει κατά 64% στο σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ακολουθούν οι μεταφορές με ποσοστό συμβολής 18%, οι βιομηχανικές δραστηριότητες με 6,9% και τέλος ο γεωργικός τομέας, η διαχείριση και επεξεργασία αποβλήτων καθώς και ένα σύνολο άλλων πηγών συμβάλλουν κατά 11,1% (Γράφημα 34).



Γράφημα 34. Κατανομή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά τομέα στην Ελλάδα, 2007 (Dimitrouloroulou et al., 2000a).

Από το σύνολο των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου, όπως είναι αναμενόμενο, τη μερίδα του λέοντος κατέχει το διοξείδιο του άνθρακα, αποτελώντας το 86,1%. Το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και οι πτητικές ενώσεις φθορίου καταλαμβάνουν το 13,9% (Γράφημα 35).

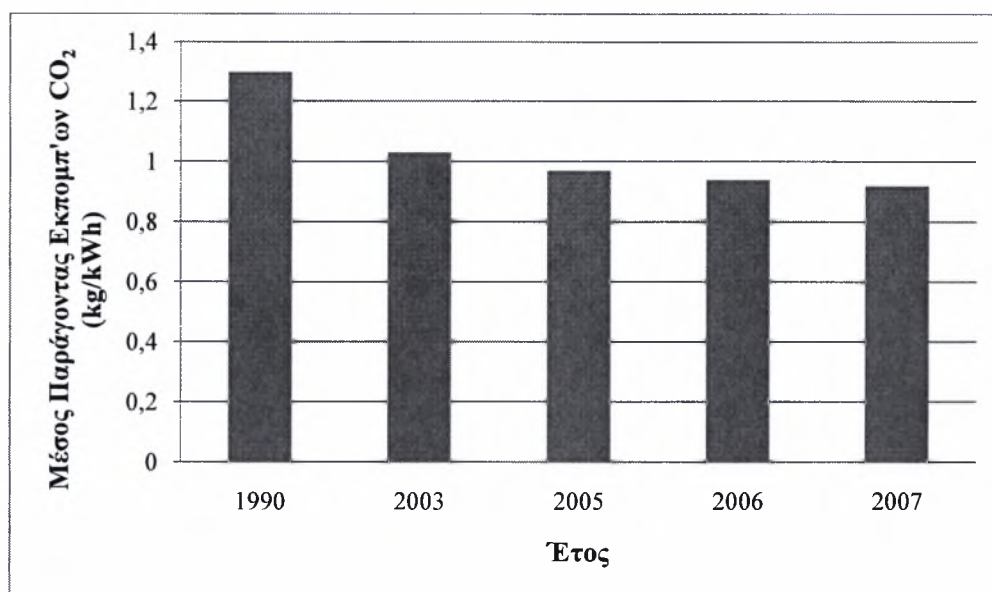


**Γράφημα 35. Κατανομή εκπομπών ανά αέριο του θερμοκηπίου, 2007 (Dimitroulopoulou et al., 2000b).**

Στο Πίνακα 35 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των εκπομπών CO<sub>2</sub> του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας ως έτος βάσης το 1990. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παρουσίασαν αύξηση κατά 98% και 40%, αντίστοιχα, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 για το έτος 2007. Ο παράγοντας εκπομπών (Emission Factor, EF), που ορίζεται ως η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα (kg CO<sub>2</sub>) που απελευθερώνεται ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh), παρουσίασε αξιόλογη μείωση, που έφτασε το 41% (Γράφημα 36). Η μείωση αυτή οφείλεται στη συμβολή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο της παραγωγής, στη χρήση ορυκτών καυσίμων υψηλής ποιότητας με χαμηλό παράγοντα εκπομπών και στην αποδοτικότερη λειτουργία των σταθμών.

**Πίνακας 35. Διαχρονική εξέλιξη εκπομπών CO<sub>2</sub> (Καβουρίδης κ.ά., 2005b).**

Έτος	Εκπομπές CO <sub>2</sub> (kt)	Ποσοστό αύξησης εκπομπών CO <sub>2</sub> με βάση το έτος 1990 (%)	Καθαρή παραγωγή (GWh)	Ποσοστό αύξησης καθαρής παραγωγής με βάση το έτος 1990 (%)	Παράγοντας εκπομπών (kg/kWh)
1990	40.776		31.284		1,30
2003	53.658	31,59	52.219	66,92	1,03
2005	54.561	33,81	56.131	79,42	0,97
2006	56.533	38,64	60.064	92,00	0,94
2007	57.162	40,19	62.060	98,38	0,92



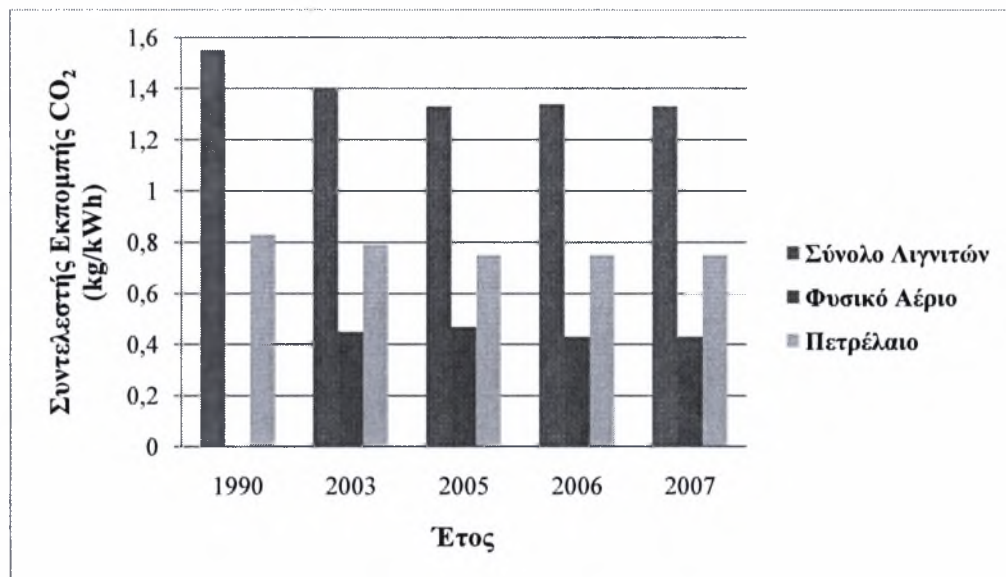
Γράφημα 36. Διαχρονική εξέλιξη του μέσου παράγοντα εκπομπών (Καβουρίδης κ.ά., 2005b).

Ο Πίνακας 36 παρουσιάζει τη διαχρονική εξέλιξη του παράγοντα εκπομπών CO<sub>2</sub> (kg/kWh) ανά είδος καυσίμου. Παρατηρείται γενικά ότι τα αποθέματα λιγνίτη του Βορρά εμφανίζουν χαμηλότερο παράγοντα εκπομπών σε σύγκριση με αυτά του Νότου. Ωστόσο, σε κανένα από τα δυο δεν εμφανίζεται σημαντική μείωση του παράγοντα διαχρονικά. Η μείωση που παρατηρείται στο σύνολο των λιγνιτών οφείλεται είτε στις χαμηλές τιμές του λιγνίτη των βορείων αποθεμάτων είτε στη βελτιωμένη απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο εμφανίζουν μείωση του παράγοντα εκπομπών κατά 4,4% (σε σχέση με το 2003) και 9,6% (σε σχέση με το 1990), αντίστοιχα. Η μείωση σχετίζεται άμεσα με την υψηλή θερμική αξία των καυσίμων και τη συνολικά υψηλότερη απόδοση των πετρελαϊκών και των φυσικού αερίου μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Γράφημα 37).

Πίνακας 36. Συντελεστές Εκπομπών CO<sub>2</sub> (kg/kWh) ανά είδος καυσίμου (Καβουρίδης κ.ά., 2005b).

Έτος	Λιγνίτης Βορρά	Λιγνίτης Νότου	Σύνολο Λιγνιτών	Φυσικό Αέριο	Πετρέλαιο
1990	-	-	1,55	-	0,83
2003	-	-	1,40	0,45	0,79
2005	1,30	1,48	1,33	0,47	0,75
2006	1,31	1,49	1,34	0,43	0,75
2007	1,31	1,49	1,33	0,43	0,75





Γραφημα 37. Διαχρονική εξέλιξη των παραγόντων εκπομπής CO<sub>2</sub> (kg/kWh) ανά είδος καυσίμου (Καβουρίδης κ.ά., 2005b).

### 9.3.3 Στόχοι Περιορισμού των Εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα

#### 9.3.3.1 Επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης

Γενικά, υπάρχει μια τάση των ανεπτυγμένων χωρών στη προσπάθεια μείωσης των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, ώστε η παγκόσμια θερμοκρασία να μην υπερβεί του 2°C. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευτεί για αυτό το κατώτατο όριο ήδη από το 2005. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, οι ετήσιες παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να μειωθούν από περίπου 28 Gt (2006) σε 20 Gt μέχρι το 2050 και σε 10 Gt μέχρι το 2100, σύμφωνα με τη IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός αναμένεται να αυξηθεί από 6,4 δισεκατομμύρια (2007) σε περίπου 9,5 δισεκατομμύρια το 2050. Συγχρόνως, όλο και περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες προχωρούν στην εκβιομηχάνιση τους και κατά συνέπεια αντιγράφουν το δυτικό πρότυπο ανάπτυξης και τρόπο ζωής, προκαλώντας περαιτέρω αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι απαιτείται ο περιορισμός των εκπομπών στα βιομηχανοποιημένα έθνη καθώς και αλλαγή του τρόπου ζωής ώστε να καταστεί περισσότερο βιώσιμος (Time for Change, 2010a).

### 9.3.3.2 Επίπεδο Ελλάδας – Δράσεις ΔΕΗ

Για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η ΔΕΗ υλοποιεί τα τελευταία χρόνια μια σειρά μέτρων με θεαματικά αποτελέσματα. Την περίοδο 1990-2008, ο μέσος παράγοντας εκπομπών CO<sub>2</sub> του συνολικού συστήματος παραγωγής της ΔΕΗ από 1,30 kg/kWh το 1990, μειώθηκε σε 1,00 kg/kWh το 2008, σημειώνοντας μείωση ίση με 23,1%.

Συγκεκριμένα, η υποχρέωση της ΔΕΗ για την παρακολούθηση και αναφορά των εκπομπών CO<sub>2</sub> αφορά 31 εγκαταστάσεις της Επιχείρησης, περιλαμβάνοντας 8 λιγνιτικούς σταθμούς, 2 φυσικού αερίου, 1 φυσικού αερίου και μαζούτ και 5 πετρελαϊκούς σταθμούς στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και στην Κρήτη-Ρόδο, και 15 πετρελαϊκούς αυτόνομους σταθμούς παραγωγής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Οι παραπάνω σταθμοί αποτελούν την Ομάδα των Σταθμών Ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ, που υπόκεινται στο συστηματικό έλεγχο των εκπομπών. Την κεντρική επιμέλεια της παρακολούθησης και καταγραφής των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για την Ομάδα των Σταθμών Ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ έχει η Διεύθυνση Περιβάλλοντος Παραγωγής της Γενικής Διεύθυνσης Παραγωγής (ΔΕΗ, 2009a).

## 9.4 ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ (CARBON FOOTPRINT, CF)

### 9.4.1 Γενικά

Ο όρος αποτύπωμα άνθρακα χρησιμοποιείται ευρέως ως έννοια στη διεθνή κοινότητα και σχετίζεται με τις προσπάθειες αναφορικά με τη μείωση της απειλής έναντι της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος.

Παρά τη γενικευμένη εμφάνιση του όρου δεν φαίνεται να υπάρχει ένας σαφής ορισμός του και επικρατεί σύγχυση ακόμα και για το τι πραγματικά σημαίνει και μετρά και ποια μονάδα μέτρησης πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Ενώ ο όρος προέρχεται από την έννοια του Οικολογικού Αποτυπώματος (Ecological Footprint, EF) (Wackernagel, 1996), η μόνη κοινή βασική γραμμή είναι ότι το αποτύπωμα άνθρακα αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη ποσότητα εκπομπών αερίων που σχετίζεται με τη κλιματική αλλαγή και συνδέεται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες παραγωγής και κατανάλωσης. Το φάσμα των ορισμών ποικίλλει, περιλαμβάνοντας από τις άμεσες εκπομπές CO<sub>2</sub> έως το συνολικό κύκλο ζωής των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος «αποτύπωμα» παραπέμπει στη χρήση μονάδων μέτρησης

βασισμένες σε μονάδες επιφάνειας, όπως το οικολογικό αποτύπωμα το οποίο εκφράζεται σε εκτάρια ή παγκόσμια εκτάρια (global hectares, gha). Ωστόσο ακόμα και οι μονάδες μέτρησης του αποτυπώματος άνθρακα δεν είναι σαφώς καθορισμένες (Wiedmann and Minx, 2007).

#### 9.4.2 Συνοπτική Επισκόπηση Ορισμών

Στο σύνολο της διεθνούς βιβλιογραφίας, ο όρος αποτύπωμα άνθρακα χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η ποσότητα των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που αποδίδεται σε ένα συγκεκριμένο προϊόν, υπηρεσία, επιχείρηση ή οργάνωση. Ωστόσο, δεν παρέχεται κανένας σαφής ορισμός του όρου ή μεθοδολογική προσέγγιση. Στις περισσότερες περιπτώσεις το αποτύπωμα άνθρακα χρησιμοποιείται γενικά ως συνώνυμο για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ή των αερίων του θερμοκηπίου εκφρασμένες σε ισοδύναμες μονάδες CO<sub>2</sub> (carbon dioxide equivalent, CDE ή CO<sub>2</sub>e) (Fuglestvedt et al., 2003).

Το Παγκόσμιο Δίκτυο Αποτυπώματος (Global Footprint Network, GFN), που συντάσσει σε ετήσια βάση τους υπολογισμούς των Εθνικών Αποτυπωμάτων, θεωρεί το αποτύπωμα άνθρακα ως τμήμα του οικολογικού αποτυπώματος. Το αποτύπωμα άνθρακα ερμηνεύεται ως συνώνυμο του *αποτυπώματος ορυκτών καυσίμων (fossil fuel footprint)* (GFN, 2007). Ο Πίνακας 37 παρουσιάζει ορισμένους ορισμούς που έχουν προταθεί από επιχειρήσεις, Μη Κυβερνητικές Οργανώσεις (ΜΚΟ), οργανισμούς και κυβερνήσεις σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα.

**Πίνακας 37. Ορισμοί του αποτυπώματος άνθρακα.**

Πηγή	Ορισμός
BP (2007)	«Το αποτύπωμα άνθρακα είναι η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται εξαιτίας των καθημερινών σας δραστηριοτήτων»
ETAP (2007)	«Το αποτύπωμα άνθρακα είναι ένα μέτρο του αντίκτυπου των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον σε ποσοτικούς όρους των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου, εκφρασμένων σε τόνους διοξειδίου του άνθρακα»
Wiedmann and Minx (2007)	«Το αποτύπωμα άνθρακα είναι ένα μέτρο της ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται κατά τη καύση των ορυκτών καυσίμων» (Grub & Ellis, 2007)
Parliamentary Office of Science and Technology (POST, 2006)	«Το αποτύπωμα άνθρακα είναι η συνολική ποσότητα CO <sub>2</sub> και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, που εκπέμπονται καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας διαδικασίας ή ενός προϊόντος. Εκφράζεται σε ισοδύναμα γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλοβατώρα παραγωγής (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)»

### 9.4.3 Ορισμός Αποτυπώματος Άνθρακα

Οι Wiedmann and Minx (2007) προτείνουν τον ακόλουθο ορισμό για τον όρο του αποτυπώματος άνθρακα:

*«το αποτύπωμα άνθρακα είναι ένα μέτρο αποκλειστικά της συνολικής ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται άμεσα και έμμεσα από μια δραστηριότητα ή συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια των σταδίων ζωής ενός προϊόντος».*

Ο παραπάνω ορισμός περιλαμβάνει δραστηριότητες ατόμων, πληθυσμών, κυβερνήσεων, επιχειρήσεων, οργανώσεων, διαδικασιών, τομείς βιομηχανίας, κα. Η ανάλυση περιλαμβάνει μόνο το CO<sub>2</sub>, γνωρίζοντας ότι υπάρχουν και άλλες ουσίες με δυναμικό του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ωστόσο, πολλές από αυτές είτε δεν βασίζονται στον άνθρακα ή παρουσιάζουν δυσκολίες στη ποσοτικοποίηση τους λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας των δεδομένων. Στη περίπτωση του αποτυπώματος άνθρακα επιλέχθηκε για λόγους πρακτικότητας και σαφήνειας να συμπεριληφθεί μόνο το CO<sub>2</sub>.

### 9.4.4 Αποτύπωμα Άνθρακα Μονάδων Αφαλάτωσης

Σύμφωνα με τον Voutchkov (2008), το αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης είναι η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που θα απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα από τις πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα παρείχαν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των μονάδων. Συνήθως, το αποτύπωμα άνθρακα υπολογίζεται σε τόνους ή λίβρες εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος. Το ολικό αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων εξαρτάται από δυο βασικούς παράγοντες:

1. Ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τις μονάδες αφαλάτωσης.
2. Το είδος της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από τις μονάδες αφαλάτωσης.

Και οι δυο παράγοντες μπορούν να μεταβάλλονται με τη πάροδο του χρόνου.

Προκειμένου να μετατραπεί η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αφαλάτωσης σε αποτύπωμα άνθρακα (Carbon Footprint, CF), πολλαπλασιάζεται η κατανάλωση ενέργειας της μονάδας με το παράγοντα εκπομπών του ηλεκτρικού

δικτύου (Emission Factor, EF), ο οποίος αποτελεί τη ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια της παραγωγής ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας:

$$\begin{aligned} & \text{Αποτύπωμα Άνθρακα (tn CO}_2\text{/έτος)} \\ & = \text{Ετήσια Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας της Μονάδας (MWh/έτος)} \\ & \times \text{Παράγοντας Εκπομπών (tn CO}_2\text{/MWh)} \end{aligned}$$

Η πραγματική τιμή του παράγοντα εκπομπών είναι συγκεκριμένη για το προμηθευτή της ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τιμή του παράγοντα εκπομπών μειώνεται με την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τον εκάστοτε προμηθευτή.

Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις που ανακύπτουν από τις ενεργειακές απαιτήσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη παροχή της απαραίτητης ισχύος. Υπό το πρίσμα αυτό, το σημαντικότερο μειονέκτημα της τεχνολογίας αφαλάτωσης είναι ότι, προς το παρόν, το μεγαλύτερο μέρος της απαιτούμενης ενέργειας προέρχεται από τη χρήση και καύση ορυκτών καυσίμων. Η θερμοηλεκτρική παραγωγή ενέργειας εκπέμπει στην ατμόσφαιρα αέρια του θερμοκηπίου, επιδεινώνοντας περαιτέρω το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Meerganz von Medeazza, 2005).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup> – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 10.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

#### 10.1.1 Χαρακτηριστικά Ερωτηματολογίου

Το ερωτηματολόγιο αποτελεί ένα έντυπο που περιλαμβάνει συνήθως τυποποιημένες ερωτήσεις για συλλογή στοιχείων. Βέβαια η χρήση του είναι συνυφασμένη με τη διενέργεια δημοσκοπήσεων. Παρόλα αυτά, ερωτηματολόγια χρησιμοποιούνται και σε πειραματικές μελέτες και έρευνες. Η σύνταξη ενός ερωτηματολογίου είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των στοιχείων που θα συλλεχτούν. Αν και σημαντική πρόοδος έχει επιτευχθεί όσον αφορά τις βασικές αρχές που πρέπει να διέπουν το σχεδιασμό ενός ερωτηματολογίου, εν τούτοις σε μεγάλο βαθμό ακόμη και η σύνταξη ενός ερωτηματολογίου είναι τέχνη και όχι επιστήμη.

Η διαδικασία σχεδιασμού ενός «καλού» ερωτηματολογίου έχει διακριθεί σε διάφορα στάδια από πολλούς ερευνητές. Μια γενικώς παραδεκτή διάκριση θεωρεί ότι η σύνταξη ενός ερωτηματολογίου διακρίνεται σε επτά στάδια ανάλογα με τις αποφάσεις που λαμβάνονται σε κάθε στάδιο (Σταθακόπουλος, 2005):

- Στο στάδιο που λαμβάνουμε τις προκαταρκτικές αποφάσεις.
- Στο στάδιο που λαμβάνουμε αποφάσεις σχετικά με το περιεχόμενο της κάθε ερώτησης.
- Στο στάδιο που λαμβάνουμε αποφάσεις για τον τρόπο διατύπωσης των ερωτήσεων.
- Στο στάδιο που λαμβάνουμε αποφάσεις για τον τύπο των ερωτήσεων που θα χρησιμοποιηθούν.
- Στο στάδιο που λαμβάνουμε αποφάσεις για τη σειρά των ερωτήσεων.
- Στο στάδιο που λαμβάνουμε αποφάσεις για τη φυσική διάταξη και εμφάνιση του ερωτηματολογίου.
- Στο στάδιο που λαμβάνουμε αποφάσεις για τον προέλεγχο και την αναθεώρηση του ερωτηματολογίου.

### 10.1.2 Δειγματοληπτική Μονάδα – Δειγματοληπτικό Πλαίσιο

Κατά το σχεδιασμό της δειγματοληψίας είναι απαραίτητος ο ορισμός του συνόλου των μονάδων που αποτελούν τον ερευνώμενο πληθυσμό, οι οποίες ονομάζονται δειγματοληπτικές μονάδες. Η δειγματοληπτική μονάδα πρέπει να ορίζεται με σαφήνεια, ώστε να είναι δυνατή η γενίκευση των συμπεράσματα που προκύπτουν από το δείγμα στο σύνολο του ερευνώμενου πληθυσμού.

Το σύνολο των δειγματοληπτικών μονάδων του ερευνώμενου πληθυσμού, το οποίο είναι καταχωρημένο σε έναν κατάλογο ή παρουσιάζεται υπό μορφή χαρτογραφικών διαγραμμάτων, αποτελεί το δειγματοληπτικό πλαίσιο.

Το δειγματοληπτικό πλαίσιο αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχία μιας δειγματοληπτικής έρευνας, δεδομένου ότι πρέπει να περιέχει όλο το δειγματοληπτούμενο πληθυσμό, ώστε να ικανοποιεί την υπόθεση «ότι κάθε δειγματοληπτική μονάδα έχει την ίδια ευκαιρία επιλογής κατά τη δειγματοληψία», δηλαδή δεν υπάρχουν παραλείψεις δειγματοληπτικών μονάδων και διπλές καταχωρήσεις στο δειγματοληπτικό πλαίσιο. Σε περίπτωση που υπάρχουν παραλείψεις ή διπλές καταχωρήσεις στο πλαίσιο, το δείγμα που θα επιλεγεί, δεν θα είναι αντιπροσωπευτικό και κατά συνέπεια τα στατιστικά συμπεράσματα που θα γενικευτούν επαγωγικά στο σύνολο του ερευνώμενου πληθυσμού δεν θα είναι αξιόπιστα (Μακράκης, 1997).

### 10.1.3 Επεξεργασία Στατιστικών Στοιχείων

Μετά τη συγκέντρωση των στατιστικών στοιχείων τα οποία βρίσκονται σε πρωτογενή μορφή, δηλαδή ερωτηματολόγια στα οποία έχουν δοθεί σχετικές απαντήσεις από τους ερευνώμενους, ακολουθεί το στάδιο της επεξεργασίας. Κατά το στάδιο αυτό εκτελούνται οι εξής εργασίες (Μακράκης, 1997):

- Έλεγχος ερωτηματολογίων
- Κωδικογράφηση ερωτηματολογίων
- Εισαγωγή στοιχείων σε μαγνητικά μέσα
- Αυτόματοι έλεγχοι λαθών
- Διαλογή χαρακτηριστικών

## 10.2 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 10.2.1 Ερωτηματολόγιο Έρευνας

Στην παρούσα έρευνα δημιουργήθηκαν δυο ανεξάρτητα μεταξύ τους ερωτηματολόγια απευθυνόμενα σε δυο διαφορετικούς φορείς, στις μονάδες αφαλάτωσης των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) των νησιών του Ιονίου και Αιγαίου Πελάγους και στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Το ερωτηματολόγιο, απευθυνόμενο προς τις μονάδες αφαλάτωσης περιελάμβανε τις εξής κατηγορίες ερωτήσεων:

- i. Βασικά στοιχεία μονάδων αφαλάτωσης (θέση εγκατάστασης, έκταση, λειτουργικότητα)
- ii. Σύντομο ιστορικό και στοιχεία κόστους (έτος έναρξης κατασκευής και λειτουργίας, αρμόδια υπηρεσία/φορέας υπεύθυνη για τη κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση της μονάδας)
- iii. Ικανότητα παραγωγής και χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης (τεχνολογία συστήματος αφαλάτωσης, είδος νερού τροφοδοσίας, κατάσταση του συστήματος-μεμβρανών, ικανότητα παραγωγής πόσιμου νερού, εποχιακή διακύμανση παραγωγής, ποσοστιαία κάλυψη υδρευτικών αναγκών, παραγωγή άλμης, θέση διάθεσης άλμης)
- iv. Ενεργειακά χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης (κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές ή ανανεώσιμες πηγές, κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου νερού)

Το ερωτηματολόγιο απευθυνόμενο στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) περιελάμβανε ένα πίνακα συμπλήρωσης στοιχείων σχετικά με τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το σύνολο της επικράτειας, όπως το όνομα του σταθμού, την ισχύ, το έτος κατασκευής, το είδος καυσίμου και το συντελεστή εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Η συμπλήρωση και των δυο ερωτηματολογίων απαιτούσε περιγραφικά και αριθμητικά δεδομένα. Στο μεν πρώτο, σκοπός ήταν να αποκτήσουμε τόσο μια συνολική εικόνα όσο και ειδικά λειτουργικά χαρακτηριστικά των μονάδων αφαλάτωσης. Το δε δεύτερο

ερωτηματολόγιο ήταν σύντομο και περιεκτικό και αφορούσε τα βασικά χαρακτηριστικά των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

### 10.2.2 Πληθυσμός – Δειγματοληψία

Όπως έχει ήδη επανειλημμένα προαναφερθεί, η τεχνολογία της αφαλάτωσης αποτελεί τη μοναδική λύση σε προβλήματα έλλειψης πόσιμου νερού, καθώς έχει τη δυνατότητα να παρέχει άμεσα καθαρό πόσιμο νερό στους κατοίκους των περιοχών όπου τα φαινόμενα λειψυδρίας είναι έντονα, σε αντίθεση με διαχειριστικά σχέδια και πρακτικές των οποίων τα αποτελέσματα γίνονται αντιληπτά σε βάθος χρόνου και η αποδοτικότητα τους είναι αβέβαιη. Ωστόσο, η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση των μονάδων αφαλάτωσης αποτελεί το κύριο περιοριστικό παράγοντα της συγκεκριμένης τεχνολογίας, καθώς η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας απαιτεί τη καύση μεγαλύτερων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων (μιας και το παγκόσμιο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής βασίζεται σε αυτά) με αποτέλεσμα την έκλυση σημαντικών ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, επιδεινώνοντας περαιτέρω την ήδη δραματική κατάσταση στην οποία έχει περιέλθει ο πλανήτης εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου. Για το λόγο αυτό, κεντρικό θέμα των δύο ερωτηματολογίων ήταν αφενός η κατανάλωση ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης για τη παραγωγή νερού, και αφετέρου οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{kg CO}_2$ ) ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας ( $\text{kWh}$ ) του εθνικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής.

Συνεπώς ο πληθυσμός που επιλέχθηκε στο μεν πρώτο ερωτηματολόγιο ήταν το σύνολο των λειτουργικών μονάδων αφαλάτωσης των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) που υπάγονταν στους αντίστοιχους Δήμους ή Κοινότητες των νησιών του Ιονίου και Αιγαίου Πελάγους, το δε δεύτερο ερωτηματολόγιο απευθυνόταν συστημένο σε στελέχη της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) και συγκεκριμένα της Διεύθυνσης Περιβάλλοντος Παραγωγής και Διεύθυνσης Παραγωγής Νήσων που υπάγονται στη Γενική Διεύθυνση Παραγωγής (ΓΔ/Π), και της Διεύθυνσης Περιφέρειας Νήσων και Διεύθυνσης Περιφέρειας Πελοποννήσου - Ηπείρου που υπάγονται στη Γενική Διεύθυνση Διανομής (ΓΔ/Δ).

Δειγματοληπτική μονάδα αποτέλεσε κάθε ενεργή μονάδα αφαλάτωσης των Δήμων των νησιών του Ιονίου και Αιγαίου Πελάγους καθώς και το εξειδικευμένο και καταρτισμένο

προσωπικό των προαναφερόμενων Διευθύνσεων της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

### 10.2.3 Συμπλήρωση Ερωτηματολογίων

Στόχος, και στις δυο κατηγορίες φορέων, της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) και των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ), ήταν τα ερωτηματολόγια να κατευθύνονται σε άτομα που κατέχουν καίρια θέση στον εργασιακό χώρο απασχόλησης τους, υπεύθυνα, αρμόδια και κατάλληλα να συμπληρώσουν τα έντυπα. Γι' αυτό το λόγο, η τηλεφωνική επικοινωνία προηγούνταν της αποστολής των ερωτηματολογίων, ώστε να επιβεβαιωθεί το «ποιόν» του συνομιλητή, να καταστεί σαφές το αντικείμενο και ο σκοπός της έρευνας και να αναπτυχθεί μια αμοιβαία σχέση εμπιστοσύνης και σεβασμού προκειμένου να διαλυθεί η όποια αμφιβολία, δυσπιστία του ερωτώμενου σχετικά με τη συμπλήρωση του εντύπου.

Στη συνέχεια ακολούθησε η αποστολή των ερωτηματολογίων σε όσους ήταν δεκτικοί εξ αρχής να λάβουν μέρος στην έρευνα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μέσα ανάλογα με τις δυνατότητες επικοινωνίας που είχε στη διάθεση του ο ερωτώμενος, όπως συμβατικό ή ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και τηλεομοίτυπο (fax).

Χρονικά, η αποστολή των ερωτηματολογίων ξεκίνησε στα τέλη Μαΐου (2010) και ολοκληρώθηκε τέλη Ιουνίου (2010). Ωστόσο η διαδικασία συλλογής των απαντημένων εντύπων, η οποία ολοκληρώθηκε τέλη Αυγούστου (2010), αποτέλεσε μια επίπονη και εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία, όπου η επίδειξη ψυχικού σθένους ήταν απαραίτητη.

Μια ποικιλία προβλημάτων παρουσιάστηκε κατά τη συλλογή των ερωτηματολογίων, όπως η άρνηση των υπευθύνων να συμπληρώσουν το έντυπο επικαλούμενοι μεγάλο φόρτο εργασίας, αδυναμία επικοινωνίας με αρμόδιες υπηρεσίες ή με τους υπευθύνους αυτών, η «νεκρή» περίοδος των θερινών αδειών και τέλος η άνευ λόγου και αιτίας αδυναμίας συμπλήρωσης ή αποστολής των εντύπων.

Συνολικά, στάλθηκαν 24 ερωτηματολόγια σε αντίστοιχες Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης και Αποχέτευσης στις οποίες λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης, αλλά μόνο 11 από αυτά απαντήθηκαν, από τα οποία τελικά μόνο τα 8 θα παρουσιαστούν στη παρούσα έρευνα. Η αιτία περιορισμού των ερωτηματολογίων είναι αδυναμία επεξεργασίας και εξαγωγής συμπερασμάτων εξαιτίας της κακής συγγραφής και της



ποιότητας και της ποσότητας των δοσμένων απαντήσεων. Όσον αφορά τη συλλογή στοιχείων από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού και των υπαγόμενων σε αυτή Διευθύνσεων, στάλθηκαν συνολικά τρία ερωτηματολόγια. Ωστόσο, δεν συμπληρώθηκε κανένα από αυτά, καθώς τα στοιχεία που έπρεπε να συμπληρωθούν υπήρχαν ήδη σε ηλεκτρονική μορφή στο αρχειακό υλικό των αντίστοιχων Διευθύνσεων και για λόγους ευκολίας και ταχύτερης απόκτησης των δεδομένων, προτιμήθηκε η άμεση αποστολή αυτών μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Σημαντικές πληροφορίες επίσης αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια των προσωπικών τηλεφωνικών συνδιάλεξαν-συνεντεύξεων.

#### **10.2.4 Ανάλυση Ερωτηματολογίων**

Η γραφική επεξεργασία των απαντήσεων στα ερωτηματολόγια έγινε με τη χρήση Η/Υ και με τη βοήθεια του προγράμματος Excel της Microsoft. Στη συνέχεια, επακολούθησε η εξαγωγή γραφημάτων ανά ερωτηματολόγιο, συσχετισμός γραφημάτων των δυο ερωτηματολογίων, συγκρίσεις αυτών και σχολιασμός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11<sup>ο</sup> – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 11.1 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

#### 11.1.1 Παρουσίαση Μονάδων Αφαλάτωσης

Παρακάτω ακολουθεί η παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών των μονάδων αφαλάτωσης για τις οποίες αποκτήσαμε στοιχεία. Τα δεδομένα που παρουσιάζονται προέρχονται από τις κατηγορίες ερωτήσεων: i) βασικά στοιχεία, ii) σύντομο ιστορικό και στοιχεία κόστους, και iii) δυναμικό και χαρακτηριστικά.

##### 11.1.1.1 Μονάδα Αφαλάτωσης Ερμούπολης Σύρου

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι εγκατεστημένη στη περιοχή του Αγίου Δημητρίου Ερμούπολης και καταλαμβάνει έκταση 4.658 m<sup>2</sup>. Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων του Δήμου Ερμούπολης.

Η πρώτη σειρά παραγωγής αφαλατωμένου νερού εγκαταστάθηκε και λειτουργεί από το 1989. Μετέπειτα, εγκαταστάθηκαν και άλλες σειρές παραγωγής, συγκεκριμένα δυο δυναμικότητας 800 m<sup>3</sup>/ημέρα, τέσσερις δυναμικότητας 500 m<sup>3</sup>/ημέρα, δυο δυναμικότητας 250 m<sup>3</sup>/ημέρα και μια δυναμικότητας 740 m<sup>3</sup>/ημέρα. Συνολική δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης είναι 4.840 m<sup>3</sup>/ημέρα. Η συντήρηση και λειτουργία της μονάδας υπάγεται στη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ερμούπολης (ΔΕΥΑ Ερμούπολης). Στοιχεία αναφορικά με την επίβλεψη και τη χρηματοδότηση του έργου, το κόστος κατασκευής και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας δεν δόθηκαν.

Η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί με σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) και επεξεργάζεται θαλασσινό νερό. Οι μεμβράνες του συστήματος αντικαταστάθηκαν το 2007 και η συντήρηση τους πραγματοποιείται δυο φορές το χρόνο. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η συνολική μέγιστη ημερήσια παροχή του εργοστασίου αφαλάτωσης, όλων των σειρών παραγωγής, είναι 3840 m<sup>3</sup>. Ωστόσο, η μονάδα δεν λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της, αλλά παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση, με τη παραγωγή να μεγιστοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν η τουριστική δραστηριότητα είναι σε έξαρση. Η μονάδα αφαλάτωσης καλύπτει το 99% των αναγκών ύδρευσης της περιοχής. Στοιχεία σχετικά με τη ποσότητα της παραγόμενης άλμης κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης δεν δοθήκαν. Η άλμη απορρίπτεται στη θάλασσα με

διάτρητο σωλήνα σε απόσταση 30 m από την ακτή (περιοχή Αμπελάκι Αγίου Δημητρίου).

#### 11.1.1.2 Μονάδα Αφαλάτωσης Τήνου (1)

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι εγκατεστημένη στη περιοχή Άγιος Φωκάς της Τήνου και καταλαμβάνει έκταση 5.200 m<sup>2</sup>. Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες των κοινοτήτων Αγίας Βαρβάρας, Αγίου Σώστη, Λαούτη – Σκυλαντάρ και Αγίου Ιωάννη Πόρτο του Δήμου Τήνου.

Η κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης ξεκίνησε το Μάρτιο του 2009 και τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 2010. Η επίβλεψη της κατασκευής του έργου ανατέθηκε στη Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου Τήνου. Το έργο χρηματοδοτήθηκε με πόρους από το Υπουργείο Εσωτερικών, Αποκέντρωσης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης υπό το πρόγραμμα 2001ΣΕ05500002 «εκτέλεση εργασιών από τους ΟΤΑ της χώρας για την αντιμετώπιση του φαινομένου της λειψυδρίας». Η συντήρηση και λειτουργία της μονάδας υπάγεται στο Δήμο Τήνου. Το κόστος κατασκευής ανήλθε σε 1.267.925,57 €.

Η μονάδα αφαλάτωσης χρησιμοποιεί σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) για την επεξεργασία υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας. Οι μεμβράνες του συστήματος είναι καινούργιες, καθώς μόλις τον Ιούνιο του 2010 η μονάδα τέθηκε σε λειτουργία. Η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας αντιστοιχεί σε 1.000 m<sup>3</sup>/ημέρα ή 42,4 m<sup>3</sup>/ώρα. Λόγω της πρόσφατης κατασκευής και λειτουργίας της μονάδας, στοιχεία σχετικά με τη μηνιαία παραγωγή νερού και μηνιαία ποσοστιαία κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της περιοχής, δεν υπάρχουν. Ωστόσο, συνολικά η μονάδα αφαλάτωσης δύναται να καλύψει τις ανάγκες ύδρευσης της περιοχής κατά 30%.

Κατά τη διεργασία της αφαλάτωσης παράγεται 1,379 m<sup>3</sup> άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού. Η άλμη που παράγεται εκβάλλει μέσω αγωγού πολυαιθυλενίου στη θάλασσα, σε απόσταση 150 m από την ακτή.

#### 11.1.1.3 Μονάδα Αφαλάτωσης Τήνου (2)

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι εγκατεστημένη στη περιοχή Αγκάλης της Τήνου και καταλαμβάνει έκταση 500 m<sup>2</sup>. Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες των κοινοτήτων Αγίας Βαρβάρας, Αγίου Σώστη, Λαούτη – Σκυλαντάρ και Αγίου Ιωάννη Πόρτο του Δήμου Τήνου.

Η κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης ξεκίνησε το Μάιο του 2001 και τέθηκε σε λειτουργία τον Νοέμβριο του 2001. Η επίβλεψη της κατασκευής του έργου ανατέθηκε στη Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου Τήνου. Το έργο χρηματοδοτήθηκε με πόρους του Δήμου Τήνου, οποίος είναι υπεύθυνος για τη συντήρηση και λειτουργία της μονάδας. Το κόστος κατασκευής ανήλθε σε 490.799,71 €, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας ανέρχεται περίπου σε 30.000 € ετησίως.

Η μονάδα αφαλάτωσης χρησιμοποιεί σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) για την επεξεργασία υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας. Οι μεμβράνες του συστήματος αντικαταστάθηκαν τελευταία φορά το 2008. Η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας αντιστοιχεί σε 520 m<sup>3</sup>/ημέρα ή 21,7 m<sup>3</sup>/ώρα. Δεν υπάρχει εποχιακή διακύμανση καθώς η μονάδα λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της. Η μονάδα αφαλάτωσης καλύπτει τις ανάγκες ύδρευσης της περιοχής κατά 15%.

Κατά τη διεργασία της αφαλάτωσης παράγεται 1,608 m<sup>3</sup> άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού. Η άλμη που παράγεται εκβάλλει μέσω αγωγού πολυαιθυλενίου στη θάλασσα, σε απόσταση 150 m από την ακτή.

#### 11.1.1.4 Μονάδα Αφαλάτωσης Τήνου (3)

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι εγκατεστημένη στη περιοχή Αγίου Φωκά της Τήνου και καταλαμβάνει έκταση 5.200 m<sup>2</sup> (η μονάδα αφαλάτωσης της Τήνου 1 και 3 είναι συστεγάζονται). Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες των κοινοτήτων Αγίας Βαρβάρας, Αγίου Σώστη, Λαούτη – Σκυλαντάρ και Αγίου Ιωάννη Πόρτο του Δήμου Τήνου.

Η κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης ξεκίνησε το Ιούνιο του 2003 και τέθηκε σε λειτουργία το Μάιο του 2004. Η επίβλεψη της κατασκευής του έργου ανατέθηκε στη Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου Τήνου. Το έργο χρηματοδοτήθηκε με πόρους του Δήμου Τήνου, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη συντήρηση και λειτουργία της μονάδας. Το κόστος κατασκευής ανήλθε σε 600.000 €, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας ανέρχεται περίπου σε 30.000 € ετησίως.

Η μονάδα αφαλάτωσης χρησιμοποιεί σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) για την επεξεργασία υφάλμυρου νερού τροφοδοσίας. Οι μεμβράνες του συστήματος αντικαταστάθηκαν τελευταία φορά το 2009. Η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας αντιστοιχεί σε 520 m<sup>3</sup>/ημέρα ή 21,7 m<sup>3</sup>/ώρα. Δεν υπάρχει εποχιακή διακύμανση καθώς

η μονάδα λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της. Η μονάδα αφαλάτωσης καλύπτει τις ανάγκες ύδρευσης της περιοχής κατά 15%.

Κατά τη διεργασία της αφαλάτωσης παράγεται 1,608 m<sup>3</sup> άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού. Η άλμη που παράγεται εκβάλλει μέσω αγωγού πολυαιθυλενίου στη θάλασσα, σε απόσταση 150 m από την ακτή.

#### 11.1.1.5 Μονάδα Αφαλάτωσης Οίας Σαντορίνης

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι εγκατεστημένη στη κοινότητα Οίας της Σαντορίνης και καταλαμβάνει επιφάνεια 600 m<sup>2</sup>. Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και καλύπτει πλήρως τις υδρευτικές ανάγκες της κοινότητας Οίας πλην του οικισμού των Μπαξέδων. Μελλοντικά, σχεδιάζεται η επέκταση του δικτύου και στη περιοχή των Μπαξέδων, ώστε να καλυφθεί πλήρως η κοινότητα Οίας.

Συνολικά, λειτουργούν τέσσερις σειρές παραγωγής. Η πρώτη κατασκευάστηκε το 1994, η δεύτερη το 1999, η τρίτη το 2001 και η τέταρτη το 2009. Όλες οι μονάδες τέθηκαν σε λειτουργία το ίδιο έτος, με το έτος κατασκευής. Η επίβλεψη της κατασκευής των έργων ήταν ευθύνη της Κοινοτικής Επιχείρησης Ύδρευσης και Αποχέτευσης Οίας (ΚΕΥΑ Οίας). Το 1994 εγκαταστάθηκε η πρώτη σειρά παραγωγής, η οποία ήταν δωρεά του κ. Αριστείδη Αλαφούζου, όπως και η δεύτερη (1999) και τρίτη (2001) σειρά παραγωγής και η τέταρτη σειρά παραγωγής κατασκευάστηκε από το προσωπικό της ΚΕΥΑ Οίας, από τους ίδιους πάλι πόρους. Η συντήρηση και λειτουργία της μονάδας υπάγεται στη Κοινοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Οίας. Σε πλήρη λειτουργία, και οι τέσσερις σειρές παραγωγής παρουσιάζουν δυναμικότητα της τάξης των 1.100 m<sup>3</sup>/ημέρα. Όσον αφορά το κόστος κατασκευής της μονάδας, οι υπεύθυνοι, παρείχαν προσεγγιστικά δεδομένα της τάξης των 660.000 €, αναφέροντας ότι για μια μονάδα δυναμικότητας 200 m<sup>3</sup>/ημέρα το κόστος είναι περίπου 120.000 ευρώ. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανέρχεται περίπου σε 1,3 – 1,5 ευρώ €/m<sup>3</sup>.

Το σύστημα αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται στη μονάδα είναι αντίστροφης όσμωσης (RO) και το νερό τροφοδοσίας είναι θαλασσινό. Σύμφωνα με τους υπεύθυνους, οι μεμβράνες διατηρούνται σε πολύ καλή κατάσταση, καθώς το επίπεδο συντήρησης είναι υψηλό και αναφέρουν χαρακτηριστικά το γεγονός ότι υπάρχουν μεμβράνες ηλικίας άνω των 10 ετών που λειτουργούν με απόδοση πάνω από 80%.



Η μονάδα δεν λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση. Η παραγωγή μεγιστοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες της τουριστικής περιόδου. Η μονάδα καλύπτει το 99% των αναγκών ύδρευσης της περιοχής, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης παράγονται 2 m<sup>3</sup> άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου πόσιμου νερού. Η άλμη κατευθύνεται με αγωγό ελεύθερου άκρου στην ακτή της καλντέρας δυτικά του εργοστασίου αφαλάτωσης.

#### 11.1.1.6 Μονάδα Αφαλάτωσης Νάουσας Πάρου

Η μονάδα είναι εγκατεστημένη στη Νάουσα της Πάρου και καταλαμβάνει έκταση περίπου 500 m<sup>3</sup>. Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και καλύπτει τις ανάγκες των κατοίκων της Νάουσας. Σύμφωνα με τους ιθύνοντες, η υπάρχουσα μονάδα δεν αναμένεται να εξυπηρετήσει μελλοντικά κάποια άλλη περιοχή.

Η κατασκευή της μονάδας ξεκίνησε το Σεπτέμβρη του 2001 και τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 2002. Ο Δήμος Πάρου είχε την ευθύνη της επίβλεψης του έργου κατά τη κατασκευή του. Το έργο χρηματοδοτήθηκε με πόρους του ΥΠ.Ε.Δ.Δ.Α (Υπουργείο Εσωτερικών Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης). Η συντήρηση και λειτουργία της μονάδας υπάγεται στη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πάρου (ΔΕΥΑ Πάρου). Το κόστος κατασκευής της μονάδας ανήλθε σε 439.882 ευρώ (150.000.000 δραχμές) και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας ανέρχεται σε 0,5 €/m<sup>3</sup>.

Η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί με σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) και επεξεργάζεται υφάλμυρο νερό. Οι μεμβράνες του συστήματος δεν έχουν αντικατασταθεί από το 2002, όταν τέθηκε σε λειτουργία η μονάδα. Η μέγιστη παροχή της μονάδας ανέρχεται σε 1.200 m<sup>3</sup>/ημέρα. Η μονάδα δεν λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της, αλλά παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση. Η παραγωγή μεγιστοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι η μονάδα καλύπτει το μέγιστο των αναγκών ύδρευσης της περιοχής, κατά 70%, τη περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου, ενώ μειώνεται σημαντικά τη καλοκαιρινή περίοδο, που αντιστοιχεί στη τουριστική περίοδο (Μάιος - Σεπτέμβριος), με το ποσοστό κάλυψης να κυμαίνεται μεταξύ 40 – 60%.

Κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης παράγονται  $0,6 \text{ m}^3$  άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού. Η άλμη κατευθύνεται σε κοντινό ποτάμι και στη συνέχεια εκβάλλει στη θάλασσα.

#### **11.1.1.7 Μονάδα Αφαλάτωσης Γαζίου – Ηρακλείου Κρήτης**

Η μονάδα είναι εγκατεστημένη στη περιοχή του Γαζίου Ηρακλείου και καταλαμβάνει έκταση περίπου  $1.000 \text{ m}^2$ . Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και εξυπηρετεί τις υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων του Δήμου Γαζίου. Μελλοντικά, αναμένεται η εξυπηρέτηση και των κατοίκων του Δήμου Ηρακλείου.

Η κατασκευή και η λειτουργία της μονάδας ξεκίνησε τον Αύγουστο του 2008. Η εταιρία ΑΛΜΥΡΟΣ ΑΕ είχε την ευθύνη της επίβλεψης του έργου κατά τη κατασκευή του. Το έργο αυτοχρηματοδοτήθηκε με πόρους της ανάδοχου εταιρίας ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ ΑΕ, η οποία είναι υπεύθυνη για τη συντήρηση και λειτουργία της μονάδας.

Η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί με σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) και επεξεργάζεται υφάλμυρο νερό. Οι μεμβράνες του συστήματος αντικαταστάθηκαν το 2009 και η μέγιστη ικανότητα παραγωγής του εργοστασίου αφαλάτωσης είναι  $1.000 \text{ m}^3$ . Η μονάδα δεν παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση, καθώς λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της.

Κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης παράγονται  $0,45 \text{ m}^3$  άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού. Η άλμη απορρίπτεται στο ποταμό Αλμυρό, μέσω του καναλιού του εργοστάσιου της ΔΕΗ στα Λινοπεράματα, με επιφανειακό διάτρητο αγωγό.

#### **11.1.1.8 Μονάδα Αφαλάτωσης Νισύρου**

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι εγκατεστημένη στον οικισμό Λουτρά του Δημοτικού Διαμερίσματος Μανδρακίου και καταλαμβάνει επιφάνεια περίπου  $2.000 \text{ m}^2$ . Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες του Δήμου Νισύρου.

Η κατασκευή της μονάδας ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2001 και τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούλιο του 2001. Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Νισύρου και Κω είχε την ευθύνη της επίβλεψης του έργου κατά τη κατασκευή του. Το έργο χρηματοδοτήθηκε με πόρους του Δήμου. Η συντήρηση και λειτουργία της μονάδας υπάγεται στη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Νισύρου (ΔΕΥΑ

Νισύρου). Το κόστος κατασκευής της μονάδας ανήλθε σε 230.000 €. Στοιχεία για το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδας δεν ήταν διαθέσιμα.

Το σύστημα αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται στη μονάδα είναι αντίστροφης όσμωσης (RO) και το νερό τροφοδοσίας είναι θαλασσινό. Οι μεμβράνες αντικαταστάθηκαν σταδιακά, το 2008 και 2009. Η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας είναι 330 m<sup>3</sup>/ημέρα. Η μονάδα καλύπτει το 100% των αναγκών ύδρευσης της περιοχής τη χειμερινή περίοδο και το 70% κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης παράγονται περίπου 2,85 m<sup>3</sup> άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου πόσιμου νερού, η οποία κατευθύνεται προς τη θάλασσα.

#### 11.1.1.9 Μονάδα Αφαλάτωσης Ίου

Η μονάδα είναι εγκατεστημένη στη περιοχή Μυλοπότας Ίου και καταλαμβάνει επιφάνεια περίπου 200 m<sup>2</sup>. Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και καλύπτει τις υδρευτικές ανάγκες των κατοίκων του Δήμου Ιητών.

Η κατασκευή της μονάδας ξεκίνησε το Σεπτέμβρη του 2001 και τέθηκε σε λειτουργία το Μάιο του 2002. Η επίβλεψη για τη πορεία και την ολοκλήρωση του έργου ανήκε στο Δήμο Ιητών, στον οποίο υπάγεται τόσο η συντήρηση όσο και η λειτουργία της μονάδας. Το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Εσωτερικών και κόστισε περίπου 570.970 € (194.000.000 δραχμές). Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης υπολογίζεται περίπου 60.000 €/έτος (συμπεριλαμβανομένου του ενεργειακού κόστους).

Η μονάδα αφαλάτωση λειτουργεί με σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) και χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό ως διάλυμα τροφοδοσίας. Οι μεμβράνες αντικαταστάθηκαν το 2009. Η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας είναι 1.000 m<sup>3</sup>/ημέρα, ωστόσο δεν λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της, αλλά παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση, παραμένοντας ενεργά λειτουργική τους καλοκαιρινούς μήνες της τουριστικής περιόδου (Μάιος – Σεπτέμβριος), ενώ κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους, η μονάδα αδρανοποιείται. Η μονάδα αφαλάτωσης συνολικά καλύπτει το 35% των αναγκών ύδρευσης της περιοχής. Κατά τη διαδικασία αφαλάτωσης παράγονται 2,5 m<sup>3</sup> άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού. Η άλμη κατευθύνεται στη θάλασσα, σε βραχώδη, μη προσβάσιμη περιοχή, σε απόσταση 500 m από την ακτή των λουόμενων.

#### 11.1.1.10 Μονάδα Αφαλάτωσης Αγίου Γεωργίου Κέρκυρας

Η μονάδα είναι εγκατεστημένη στο δημοτικό διαμέρισμα Αγίου Αθανασίου του Δήμου Αγίου Γεωργίου Κέρκυρας και καταλαμβάνει έκταση περίπου 150 m<sup>2</sup>. Η μονάδα είναι πλήρως λειτουργική και λειτουργεί συμπληρωματικά για την υδροδότηση των δημοτικών διαμερισμάτων Αγρού και Μεσαριάς. Σύμφωνα με τους ιθύνοντες, η υπάρχουσα μονάδα δεν αναμένεται να εξυπηρετήσει μελλοντικά κάποια άλλη περιοχή.

Η κατασκευή της μονάδας ξεκίνησε το 2002 και τέθηκε σε λειτουργία το 2003. Η Τεχνική Υπηρεσία Δήμων και Κοινοτήτων Κέρκυρας (ΤΥΔΚ Κέρκυρας) είχε την ευθύνη της επίβλεψης του έργου κατά τη κατασκευή του. Το έργο χρηματοδοτήθηκε με έκτακτη χρηματοδότηση του Υπουργείου Οικονομικών. Η συντήρηση και λειτουργία της μονάδας υπάγεται στη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Αγίου Γεωργίου (ΔΕΥΑ Αγίου Γεωργίου). Το κόστος κατασκευής της μονάδας ανήλθε σε 290.000 € και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας ανέρχεται περίπου σε 1 €/m<sup>3</sup> (μη συμπεριλαμβανομένων των δαπανών κατανάλωσης ενέργειας - ΔΕΗ).

Η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί με σύστημα αντίστροφης όσμωσης (RO) και επεξεργάζεται υφάλμυρο νερό. Οι μεμβράνες του συστήματος αντικαταστάθηκαν τελευταία φορά το 2007. Η μέγιστη παροχή της μονάδας ανέρχεται σε 500 m<sup>3</sup>/ημέρα. Η μονάδα δεν λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων της, αλλά παρουσιάζει εποχιακή διακύμανση, με τη παραγωγή μειωτοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η μονάδα καλύπτει το 30% των αναγκών ύδρευσης της περιοχής, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης παράγονται 0,2 m<sup>3</sup> άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου πόσιμου νερού. Η άλμη κατευθύνεται σε χαντάκι απορροής όμβριων υδάτων.

#### 11.1.1.11 Επισκόπηση βασικών χαρακτηριστικών μονάδων αφαλάτωσης

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί και να τονισθεί ότι λόγω της πρόσφατης λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης Τήνου 1, η επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή των συμπερασμάτων έγιναν υπό τη παραδοχή ότι η μονάδα θα λειτουργεί στο μέγιστο των δυνατοτήτων όπως και οι υπόλοιπες μονάδες τις Τήνου (2 και 3). Ακολουθεί ο Πίνακας 38 που παρουσιάζει συγκεντρωμένα τα κυριότερα χαρακτηριστικά των παραπάνω μονάδων αφαλάτωσης.

Πίνακας 38. Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων των μονάδων αφαλάτωσης.

Μονάδα αφαλάτωσης	Έκταση (m <sup>2</sup> )	Λειτουργικότητα	Έναρξη κατασκευής	Έναρξη λειτουργίας	Σύστημα αφαλάτωσης	Νερό τροφοδοσίας	Αντικατάσταση μεμβρανών	Δυναμικότητα (m <sup>3</sup> /ημέρα)	Παραγωγή άλμης (m <sup>3</sup> άλμης/m <sup>3</sup> νερού)
Τήνος 1	5200*	Πλήρως λειτουργική	03/2009	06/2010	RO	Υφάλμυρο	2010	1000	1,379
Τήνος 2	500	Πλήρως λειτουργική	05/2001	11/2001	RO	Υφάλμυρο	2008	520	1,608
Τήνος 3	5200*	Πλήρως λειτουργική	06/2003	05/2004	RO	Υφάλμυρο	2009	520	1,608
Σύρος	4658	Πλήρως λειτουργική	-	1989	RO	Θαλασσινό	2007	4840	-
Σαντορίνη	600	Πλήρως λειτουργική	1994	1994	RO	Θαλασσινό	**	1100	2
			1999	1999					
			2001	2001					
			2009	2009					
Πάρος	500	Πλήρως λειτουργική	09/2001	06/2002	RO	Υφάλμυρο	2002	1200	0,6
Τος	200	Πλήρως λειτουργική	09/2001	05/2002	RO	Θαλασσινό	2009	1000	2,5
Κέρκυρα (Άγιος Γεώργιος)	150	Πλήρως λειτουργική	2002	2003	RO	Υφάλμυρο	2007	500	0,2
Κρήτη	1000	Πλήρως λειτουργική	08/2008	08/2008	RO	Υφάλμυρο	2009	1000	0,45
Νίσυρος	2000	Πλήρως λειτουργική	6/2001	7/2001	RO	Θαλασσινό	2008-2009	330	2,85

\*Οι μονάδες αφαλάτωσης Τήνος 1 &amp; 3 συστεγάζονται.

\*\*Σταδιακή αντικατάσταση μεμβρανών. Μεμβράνες εν λειτουργία ηλικίας άνω των 10 ετών, με απόδοση &gt;80%, λόγω της εξαιρετικής συντήρησής τους.



### 11.1.2 Βασικά Στοιχεία Μονάδων Αφαλάτωσης

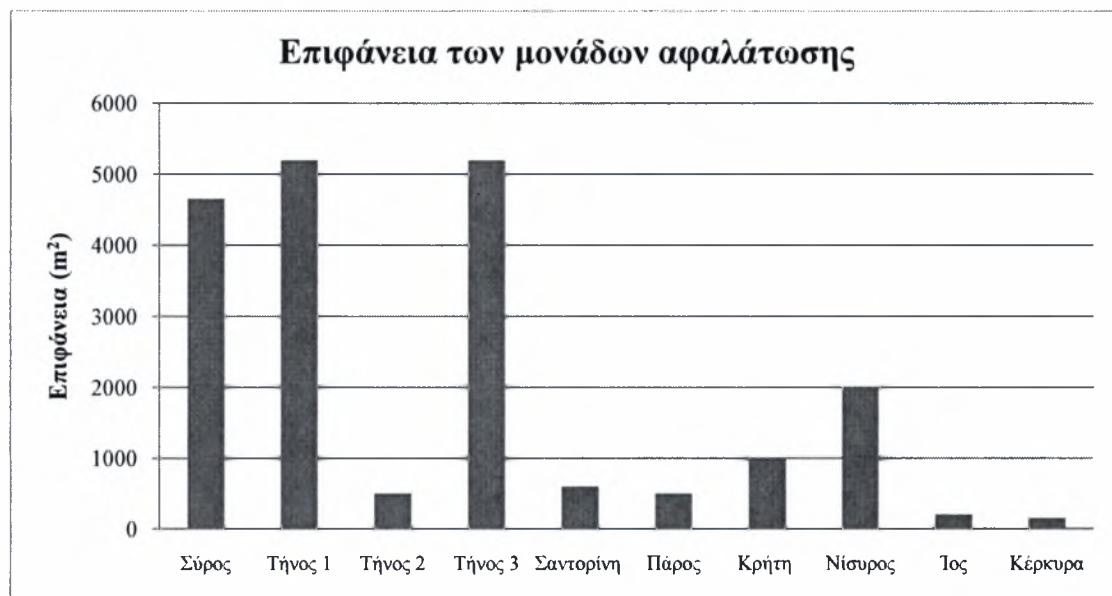
Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, όλες οι μονάδες αφαλάτωσης είναι πλήρως λειτουργικές και χρησιμοποιούν το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης για τη παραγωγή αφαλατωμένου πόσιμου νερού. Στο Πίνακα 38 που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα βασικά στοιχεία των μονάδων αφαλάτωσης, όπως η περιοχή όπου είναι εγκατεστημένες, την έκταση-επιφάνεια που καταλαμβάνουν, τις περιοχές που υδρεύουν και τέλος ποια τα μελλοντικά σχέδια επέκτασης τους. Αναφορικά με τα σχέδια μελλοντικής επέκτασης των μονάδων, μόνο για δυο εξ αυτών προγραμματίζεται η κάλυψη και άλλων περιοχών.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>), μια από τις κυριότερες περιβαλλοντικές επιδράσεις των μονάδων αφαλάτωσης αποτελεί η χρήση γης, η επιφάνεια εδάφους δηλαδή που καταλαμβάνεται από το σύνολο των εγκαταστάσεων της μονάδας. Καθώς το σύνολο των μονάδων εντοπίζεται σε νησιωτικές περιοχές, εισάγεται το πρόβλημα της θέσης της μονάδας, μιας και η περιορισμένη επιφάνεια των νησιών δεν επιτρέπει πλήθος εναλλακτικών επιλογών για το προσδιορισμό της. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι η κατασκευή των μονάδων πραγματοποιείται κοντά σε παραλιακές περιοχές ή σε μικρή απόσταση από αυτές, καταλαμβάνοντας παράκτια εδάφη των οποίων τόσο η περιβαλλοντική όσο και η τουριστική αξία είναι ιδιαίτερος σημαντική. Εξαιτίας όμως των λειτουργικών πλεονεκτημάτων που ανακύπτουν προς όφελος της μονάδας αφαλάτωσης, η εγκατάστασή τους σε αυτές περιοχές καθίσταται αναγκαία.

**Πίνακας 39. Βασικά στοιχεία των μονάδων αφαλάτωσης.**

Όνομα μονάδας	Περιοχή	Έκταση	Περιοχή ύδρευσης	Μελλοντική επέκταση
Σύρος	Άγιος Δημήτριος	4658	Δήμος Ερμούπολης	-
Τήνος 1	Άγιος Φωκάς	5200	Αγία Βαρβάρα, Άγιος Σώστη, Άγιος Ιωάννης Πόρτο	-
Τήνος 2	Αγκάλη	500	Αγία Βάρβαρα, Άγιος Σώστη, Άγιος Ιωάννης Πόρτο	-
Τήνος 3	Άγιος Φωκάς	5200	Αγία Βαρβάρα, Άγιος Σώστη, Άγιος Ιωάννης Πόρτο	-
Σαντορίνη	Οίας	600	Κοινότητα Οίας	Περιοχή Μπαξέδων
Πάρος	Νάουσα	500	Νάουσας	-
Κρήτη	Γαζί	1000	Γαζίου	Δήμος Ηρακλείου
Νίσυρος	Λουτρά Μανδρακίου	2000	Δήμος Νισύρου	-
Ίος	Μυλοπότας	200	Δήμος Ιητών	-
Κέρκυρα	Αγίου Αθανασίου	150	Μεσαριάς, Αγρού	-

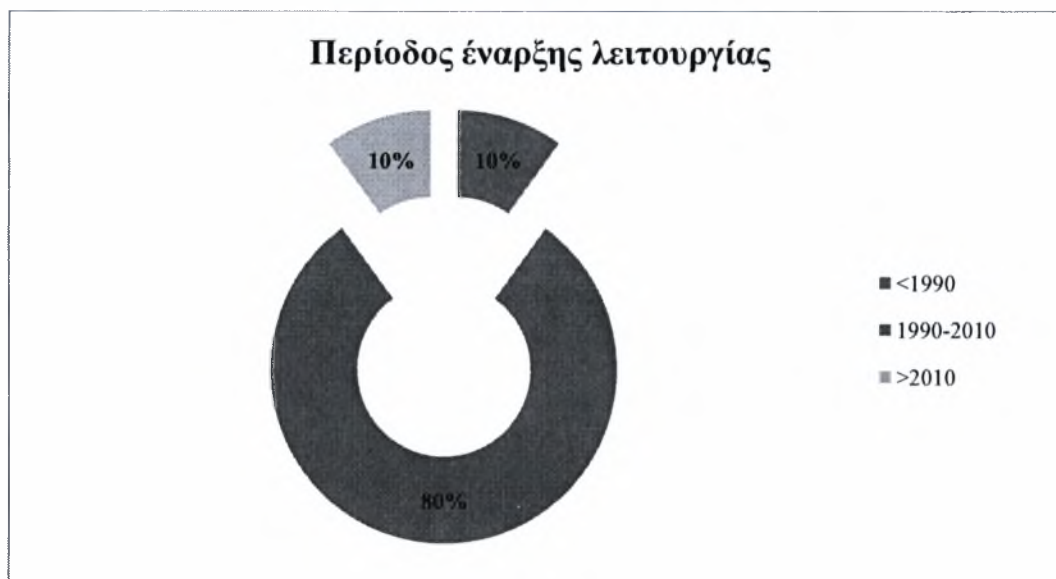
Ένας τρόπος για να ελαχιστοποιήσουμε τον αντίκτυπο στις χρήσεις γης, είναι ο περιορισμός κατά το μέγιστο δυνατό της έκτασης που καταλαμβάνουν. Το Γράφημα 38, παρουσιάζει την επιφάνεια που καλύπτουν οι εγκαταστάσεις των μονάδων αφαλάτωσης.



Γράφημα 38. Επιφάνεια κάλυψης εγκαταστάσεων των μονάδων αφαλάτωσης.

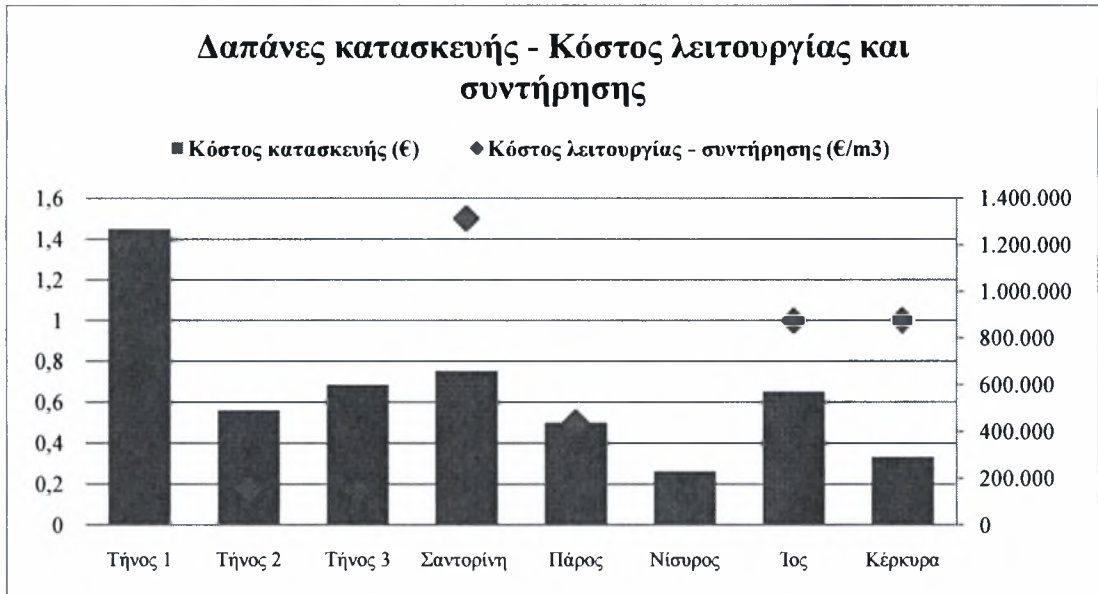
### 11.1.3 Σύντομο Ιστορικό και Στοιχεία Κόστους Μονάδων Αφαλάτωσης

Σύμφωνα με τις πληροφορίες σχετικά με το ιστορικό των μονάδων αφαλάτωσης, το 80% αυτών τεθήκαν σε λειτουργία κατά τη περίοδο 1990-2010. Μια μονάδα είναι ηλικίας άνω των 20 ετών, ενώ η πιο πρόσφατη τέθηκε σε λειτουργία εντός του 2010 (Γράφημα 39).



Γράφημα 39. Περίοδος έναρξης λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης.

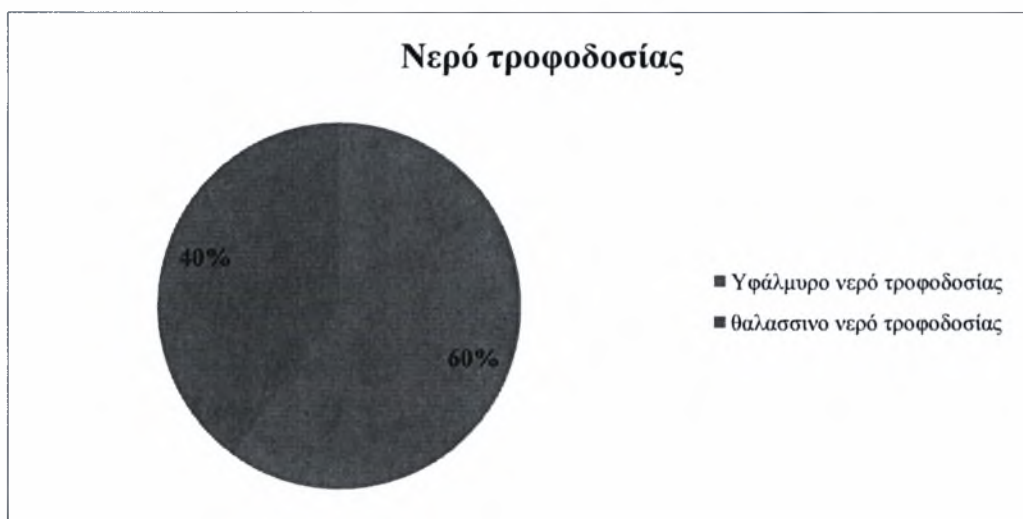
Το Γράφημα 40 παρουσιάζει το κόστος κατασκευής των μονάδων αφαλάτωσης και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανά μονάδα παραγόμενου νερού. Για τις μονάδες αφαλάτωσης Σύρου και Κρήτης δεν ήταν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τις δαπάνες κατασκευής και κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Ενώ για τις μονάδες αφαλάτωσης Τήνος 1 και Νίσυρος αποκτήσαμε δεδομένα μόνο για το κόστος κατασκευής τους. Στοιχεία κόστους λειτουργίας και συντήρησης για τη μονάδα αφαλάτωσης Τήνος 1 είναι περιορισμένα καθώς τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 2010. Η πιο πολυδάπανη μονάδα αφαλάτωσης όσον αφορά τη κατασκευή της είναι αυτή της Τήνου 1, ενώ αναφορικά με τις λειτουργικές δαπάνες ιδιαίτερα αυξημένες εμφανίζονται στη μονάδα της Σαντορίνης. Στον αντίποδα, οι μονάδες αφαλάτωσης της Νισύρου και της Τήνου 2 και 3, παρουσιάζουν ελάχιστο κόστος κατασκευής και ελάχιστες λειτουργικές δαπάνες και έξοδα συντήρησης, αντίστοιχα.



**Γράφημα 40. Δαπάνες κατασκευής και κόστος λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων αφαλάτωσης.**

### 11.1.4 Δυναμικότητα και Χαρακτηριστικά Μονάδων Αφαλάτωσης

Το νερό τροφοδοσίας των μονάδων δύναται να είναι είτε θαλασσινό ή υφάλμυρο. Οι 6 στις 10 μονάδες αφαλάτωσης που εξετάζουμε, επεξεργάζονται υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας (Γράφημα 41). Η χρήση υφάλμυρου νερού ως πηγή για τη παραγωγή πόσιμου νερού παρουσιάζει μια ποικιλία πλεονεκτημάτων όπως η κατανάλωση λιγότερων χημικών στα διάφορα στάδια επεξεργασίας που συνεπάγεται περιορισμό των δαπανών, ελαχιστοποίηση των φαινομένων υποβάθμισης των μεμβρανών, λόγω των μειωμένων σε σχέση με το θαλασσινό νερό ολικών διαλυμένων στερεών, αυξάνοντας το λειτουργικό χρόνο ζωής τους και σημαντική μείωση των ενεργειακών δαπανών λόγω των χαμηλότερων λειτουργικών πιέσεων του συστήματος.



**Γράφημα 41. Περίοδος έναρξης λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης.**

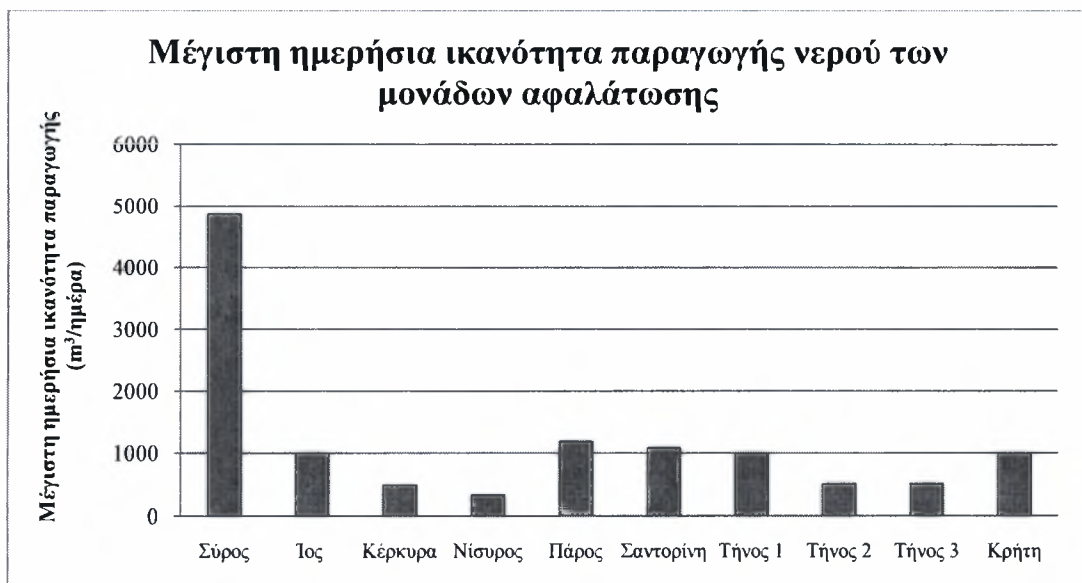
Οι μεμβράνες των μονάδων αφαλάτωσης αποτελούν ουσιαστικά τη «καρδιά» του συστήματος της αντίστροφης όσμωσης. Ο προγραμματισμένος καθαρισμός και η συντήρηση τους αυξάνουν τη διάρκεια του λειτουργικού χρόνου ζωής. Ωστόσο, απαιτείται η αντικατάστασή τους, όταν μειώνεται η απόδοση της μονάδας στο σύνολο της και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου νερού δεν ανταποκρίνονται στα πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού. Συνήθως η αντικατάσταση των μεμβρανών πραγματοποιείται κάθε 5 ή 7 χρόνια, ανάλογα με το επίπεδο της κατάστασής τους και το βαθμό έντασης της λειτουργίας τους. Σύμφωνα με το Γράφημα 42, το ½ των εν λόγω μονάδων αφαλάτωσης αντικατέστησαν τις μεμβράνες τους τη τελευταία διετία. Από τη συγκεκριμένη ανάλυση απουσιάζει η μονάδα αφαλάτωσης της Σαντορίνης, καθώς δεν ήταν διαθέσιμα χρονικά στοιχεία σχετικά με την αντικατάσταση των μεμβρανών.





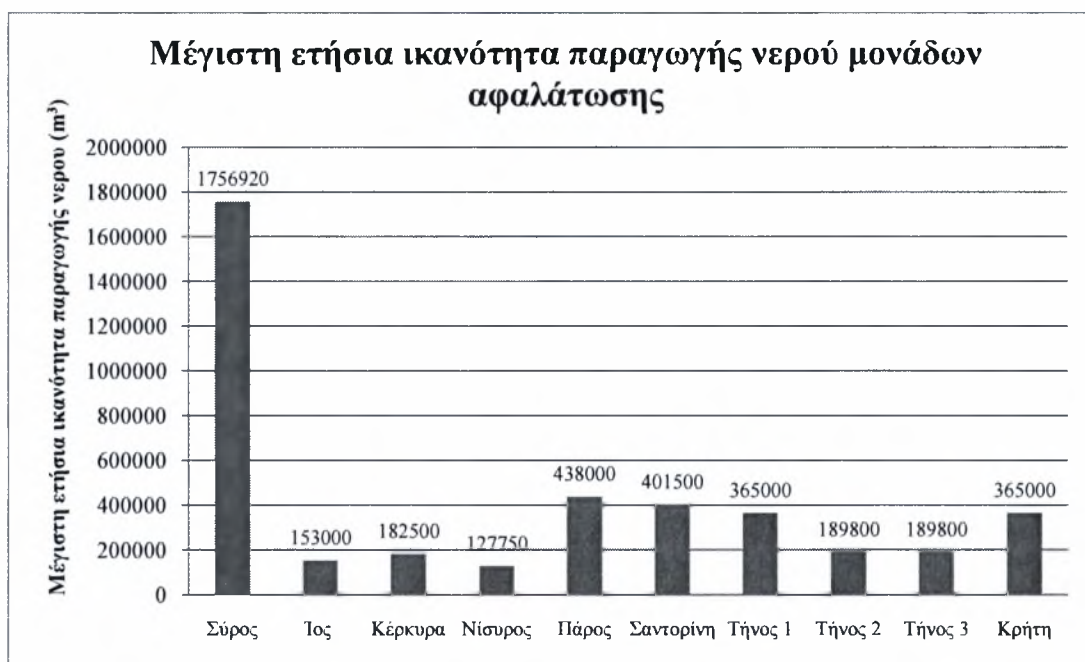
**Γράφημα 42. Περίοδος αντικατάστασης των μεμβρανών των μονάδων αφαλάτωσης.**

Η λειτουργία μιας μονάδας αφαλάτωσης έχει σκοπό να παρέχει καθαρό, πόσιμο νερό στην ευρύτερη περιοχή όπου είναι εγκατεστημένη καλύπτοντας τις ανάγκες των κατοίκων. Η ικανότητα παραγωγής νερού μιας μονάδας αφαλάτωσης αποτελεί συνήθως την ονομαστική δυναμικότητα της, δηλαδή το μέγιστο όριο των παραγωγικών της δυνατοτήτων. Το Γράφημα 43 παρουσιάζει τη μέγιστη ικανότητα παραγωγής των μονάδων αφαλάτωσης ανά ημέρα ( $\text{m}^3/\text{ημέρα}$ ). Οι σημαντικότερες από άποψη δυναμικότητας παραγωγής μονάδες αφαλάτωσης είναι αυτές της Σύρου, Πάρου και Σαντορίνης.



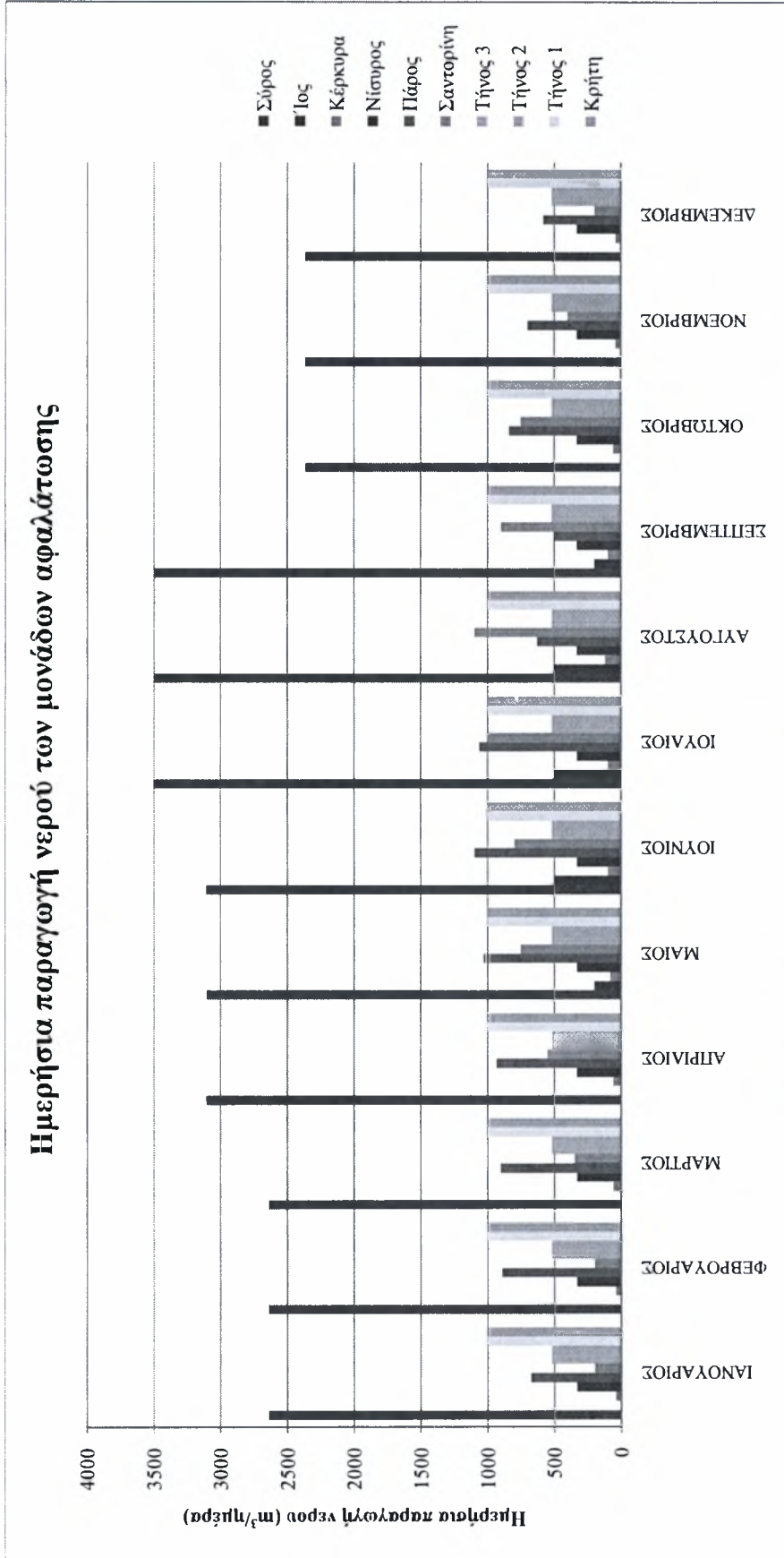
**Γράφημα 43. Μέγιστη ημερήσια ικανότητα παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης.**

Η μέγιστη ετήσια ικανότητα παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης παρουσιάζεται στο Γράφημα 44. Η μονάδα αφαλάτωσης της Σύρου δύναται να παράγει σχεδόν 1.800.000 m<sup>3</sup> αφαλατωμένου νερού σε ετήσια βάση. Η μέγιστη ετήσια ικανότητα παραγωγής νερού των υπολοίπων μονάδων αφαλάτωσης κυμαίνεται από 127.000 έως 440.000 m<sup>3</sup>, με σημαντικότερες από άποψη δυναμικότητας των μονάδων της Πάρου και της Σαντορίνης.



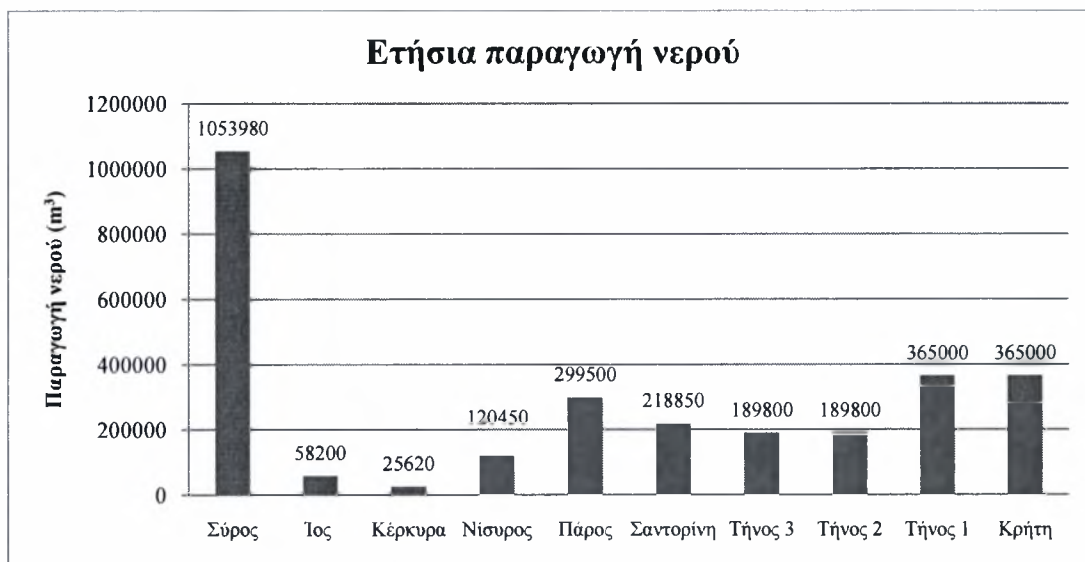
**Γράφημα 44. Μέγιστη ετήσια ικανότητα παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης.**

Το Γράφημα 45 παρουσιάζει την ημερήσια παραγωγή νερού ανά μήνα για κάθε μια από τις μονάδες αφαλάτωσης. Διακυμάνσεις στη παραγωγή εμφανίζουν οι μονάδες αφαλάτωσης της Σύρου, Ίου, Κέρκυρας, Πάρου και Σαντορίνης. Οι υπόλοιπες μονάδες (Τήνος 1, Τήνος 2, Τήνος 3, Κρήτη, Νίσυρος) εμφανίζουν σταθερή ημερήσια παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Να σημειωθεί ότι για τη περίπτωση της μονάδας αφαλάτωσης Τήνος 1 έγινε παραδοχή ότι λειτουργεί σε πλήρη δυναμικότητα.



Γράφημα 45. Μέγιστη ετήσια ικανότητα παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης.

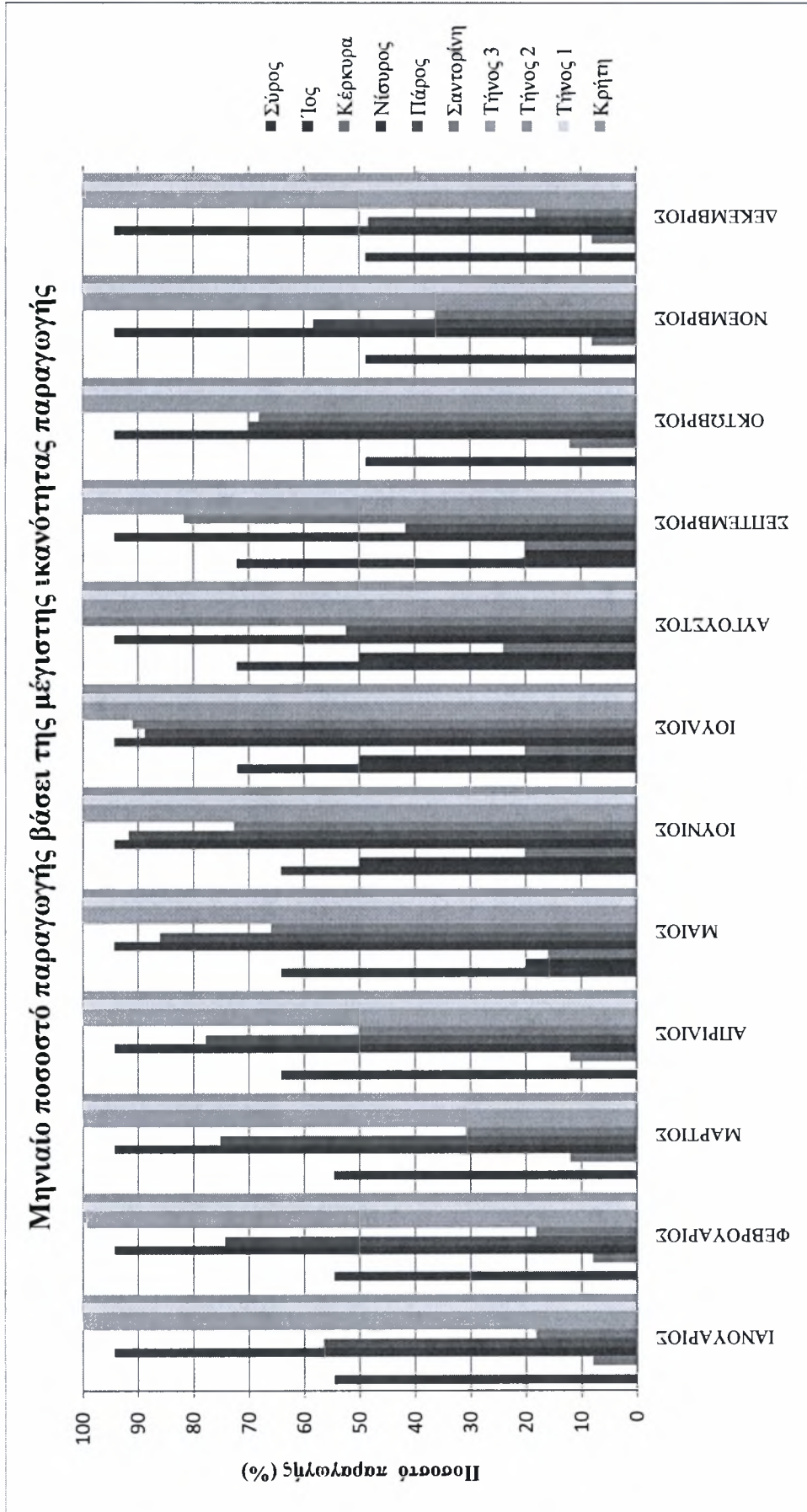
Στο Γράφημα 46 παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή νερού των μονάδων αφαλάτωσης. Η Σύρος εμφανίζει τη μέγιστη ετήσια παραγωγή, με 1.053.980 m<sup>3</sup> και ακολουθεί η Τήνος Ι και η Κρήτη με 365.000 m<sup>3</sup>.



**Γράφημα 46. Ετήσια παραγωγή νερού των μονάδων αφαλάτωσης.**

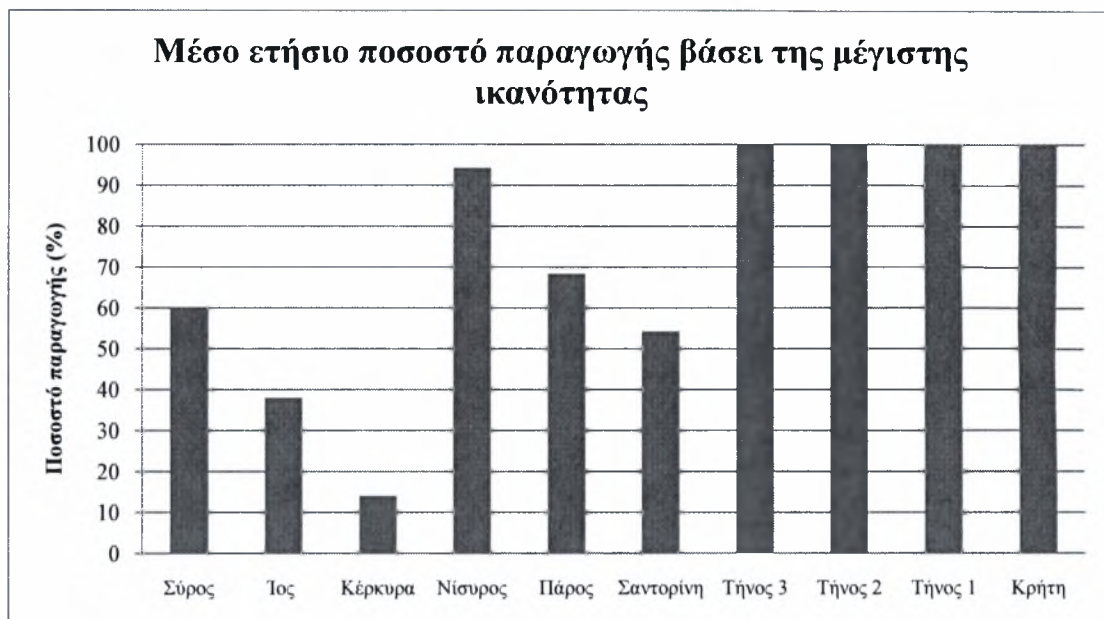
Συνήθως οι μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν στο 70-90% της ονομαστικής τους ικανότητας. Στα Γραφήματα 47 και 48 που ακολουθούν, παρουσιάζονται το μηνιαίο και το μέσο ετήσιο ποσοστό παραγωγής των μονάδων αφαλάτωσης βάσει της μέγιστης ικανότητας παραγωγής νερού, αντίστοιχα. Οι μονάδες αφαλάτωσης της Τήνου και Κρήτης λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στο 100% της ονομαστικής τους ικανότητας. Η μονάδα της Νισύρου, λειτουργεί σταθερά στο 94,3%. Οι υπόλοιπες μονάδες αφαλάτωσης, παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις στη παραγωγή κατά τη διάρκεια του έτους, με ποσοστιαίο μέσο όρο της μέγιστης ικανότητας 68,4% για τη Πάρο, 60% για τη Σύρο, 54,3% για τη Σαντορίνη και 38% και 14%, για την Ίο και τη Κέρκυρα, αντίστοιχα.

Οι διακυμάνσεις στη παραγωγή βάσει της μέγιστης δυναμικότητας, συνήθως ακολουθούν το κύκλο προσφοράς και ζήτησης, δηλαδή των αναγκών σε πόσιμο νερό που καλούνται να καλύψουν οι μονάδες αφαλάτωσης. Ωστόσο, αποτελούν και ένα δείκτη της βέλτιστης ή μη λειτουργίας των μονάδων και της αξιοποίησης σε πλήρη έκταση της δυναμικότητας τους.



Γράφημα 47. Μηνιαίο ποσοστό παραγωγής βάσει της μέγιστης ικανότητας παραγωγής των μονάδων αφαλάτωσης.

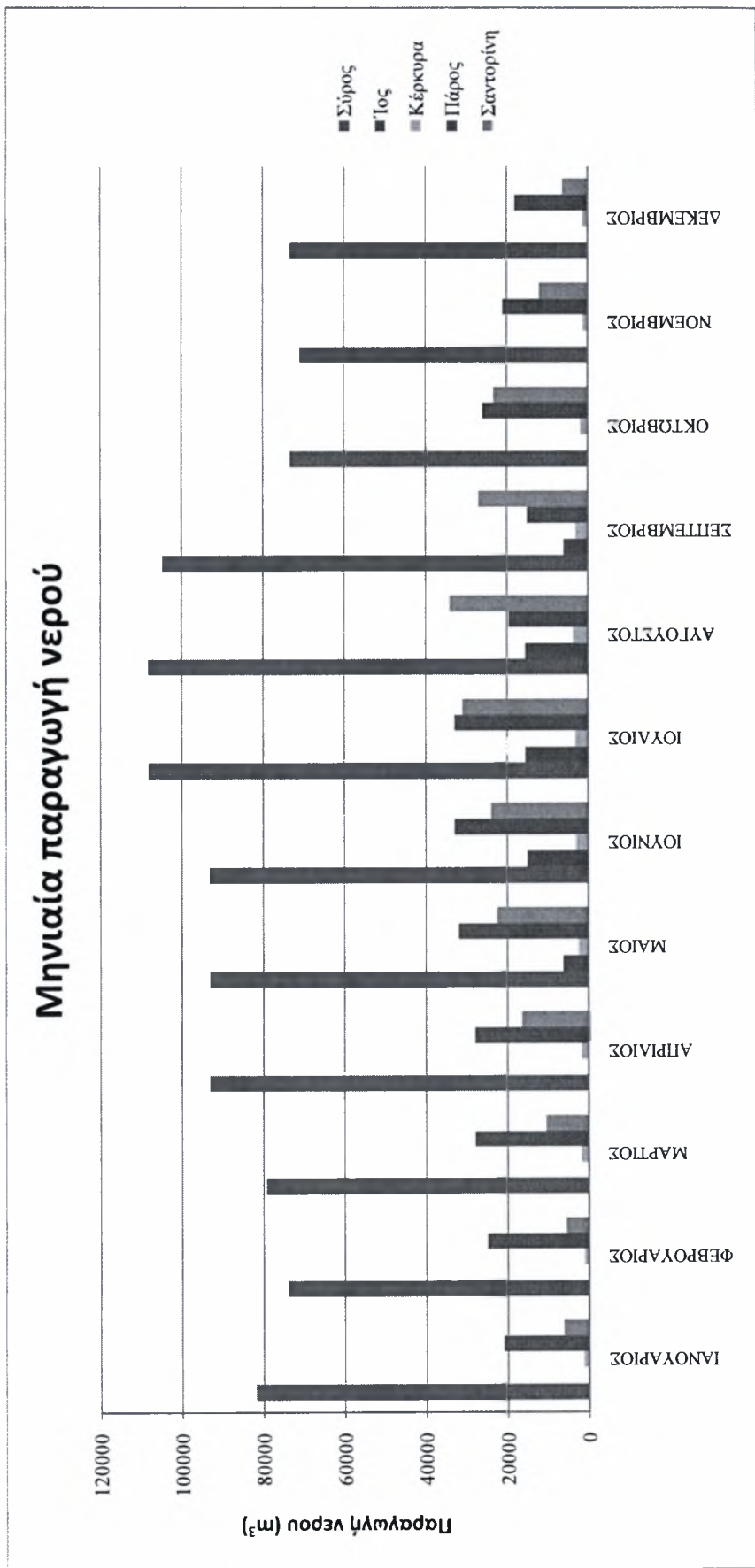




**Γράφημα 48. Μέσο ετήσιο ποσοστό παραγωγής.**

Από το σύνολο των μονάδων αφαλάτωσης, μόνο αυτές της Σύρου, Ίου, Πάρου, Σαντορίνης και Κέρκυρας, παρουσιάζουν μηνιαία εποχιακή διακύμανση της παραγωγής νερού. Στο Γράφημα 49 που ακολουθεί απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή νερού για μια χρονική περίοδο 12 μηνών (Ιανουάριο - Δεκέμβριο), των παραπάνω μονάδων. Η μέγιστη παραγωγή νερού εμφανίζεται κατά τη περίοδο Μάιου – Σεπτεμβρίου, που αποτελεί θερινή τουριστική περίοδο των νησιών, τόσο του Αιγαίου όσο και του Ιονίου Πελάγους. Η αυξημένη επισκεψιμότητα των νησιών εξαιτίας της τουριστικής δραστηριότητας που αναπτύσσεται σε αυτά, οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ζήτησης σε πόσιμο νερό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εποχιακή διακύμανση της Σαντορίνης, Κέρκυρας και Ίου (λειτουργεί μόνο κατά τη θερινή περίοδο) παρουσιάζει μια πιο ομαλοποιημένη – κανονική κατανομή των τιμών της παραγωγής νερού, δηλώνοντας με σαφή τρόπο τη συσχέτιση της θερινής τουριστικής περιόδου και της δυναμικότητας του τουριστικού προορισμού. Σε αντίθεση με τις τιμές της Σύρου και της Πάρου, όπου η επισκεψιμότητα τους δεν περιορίζεται και δεν αυξάνεται μόνον κατά τη θερινή περίοδο.



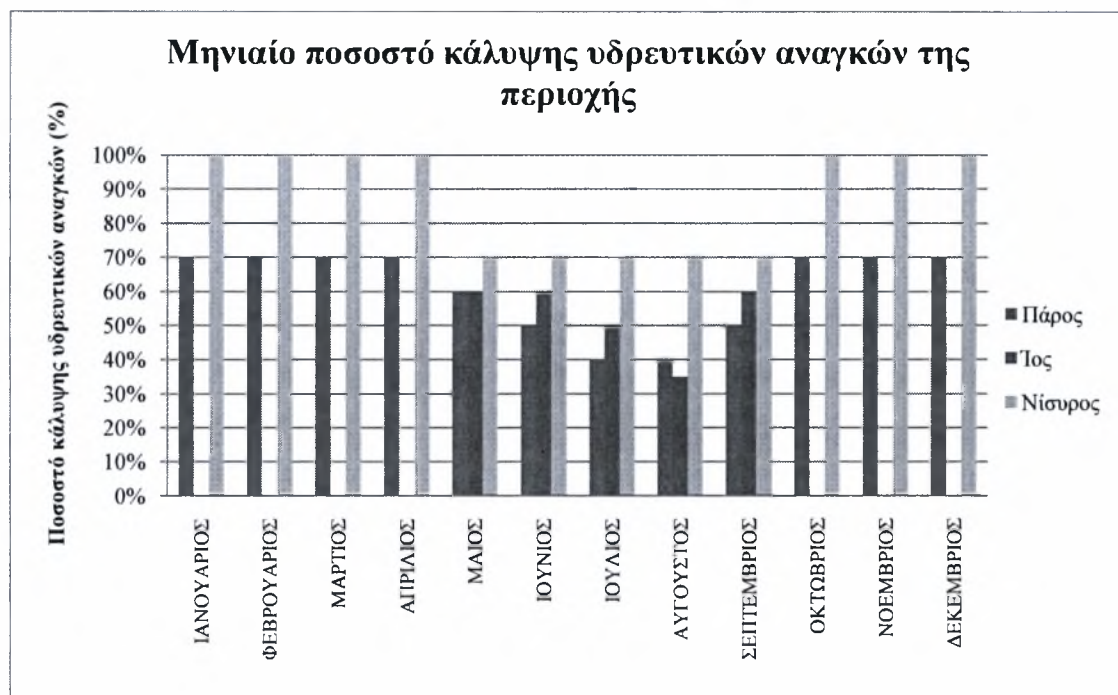
Γράφημα 49. Εποχιακή διακύμανση της παραγωγής νερού των μονάδων αφαλάτωσης.

Όσον αφορά τα ποσοστά κάλυψης των υδρευτικών αναγκών της περιοχής, η οποία τροφοδοτείται από τη μονάδα αφαλάτωσης, παρουσιάζονται στο Γράφημα 50 και 51. Στοιχεία για τη ποσοστιαία κάλυψη των υδρευτικών αναγκών της περιοχής για τη μονάδα της Κρήτης, δεν ήταν διαθέσιμα. Στο Γράφημα 50, απεικονίζονται τα ποσοστά κάλυψης των μονάδων αφαλάτωσης που παρουσιάζουν σταθερή κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της περιοχής κατά τη διάρκεια ενός έτους. Οι μονάδες αφαλάτωσης της Σύρου και Σαντορίνης καλύπτουν σχεδόν κατά 100% τις ανάγκες ύδρευσης των περιοχών που υδροδοτούν. Η μονάδα της Κέρκυρας καλύπτει σχεδόν το 1/3 των αναγκών, ενώ αθροιστικά για τη περίπτωση των μονάδων αφαλάτωσης της Τήνου, καλύπτουν σχεδόν το 60%.



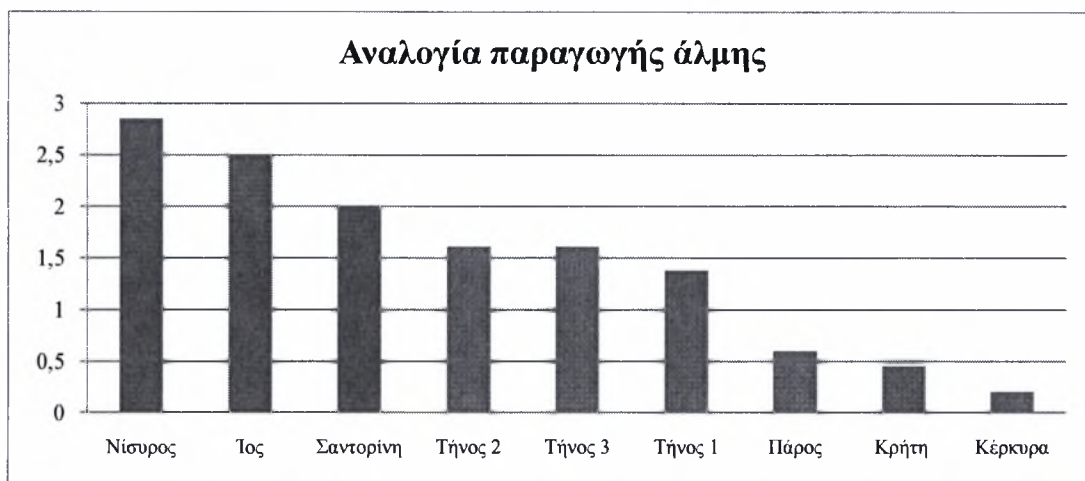
**Γράφημα 50. Ποσοστό κάλυψης των υδρευτικών αναγκών της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένες οι μονάδες αφαλάτωσης.**

Στο Γράφημα 51, παρουσιάζονται τα ποσοστά κάλυψης των μονάδων αφαλάτωσης που εμφανίζουν εποχιακή διακύμανση. Αν και οι περισσότερες μονάδες αφαλάτωσης μεγιστοποιούν τη παραγωγικότητα τους κατά τους θερινούς μήνες, ώστε να ανταποκριθούν στα αυξημένα επίπεδα ζήτησης πόσιμου νερού, τα ποσοστά κάλυψης των αναγκών ύδρευσης, μειώνονται κατά τη θερινή περίοδο, εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης σε πόσιμο νερό, μιας και ο πληθυσμός αυξάνεται σημαντικά λόγω της προσέλευσης τουριστών.



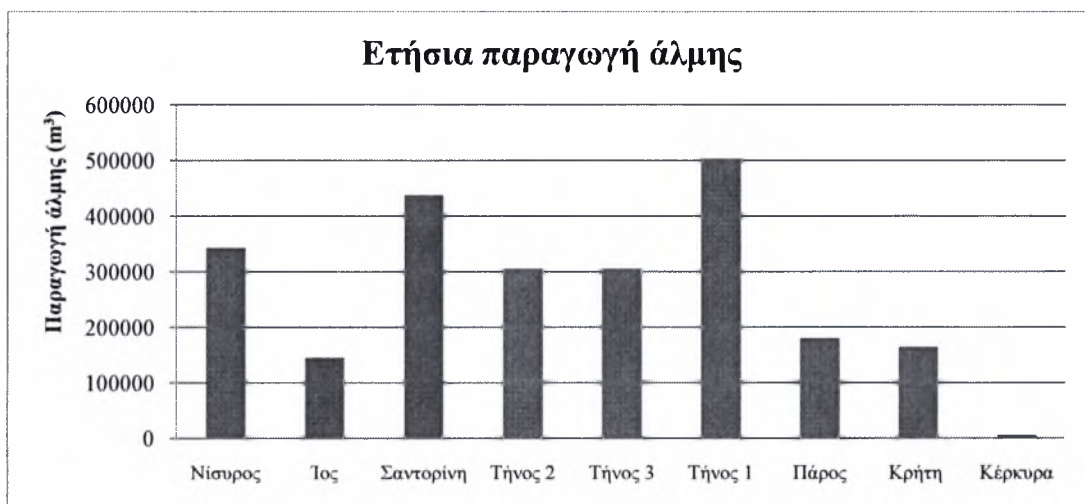
**Γράφημα 51. Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης των υδρευτικών αναγκών της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένες οι μονάδες αφαλάτωσης.**

Κατά την επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό ή υφάλμυρο) για τη παραγωγή πόσιμου νερού, παράγεται άλμη. Στο Γράφημα 52 που ακολουθεί παρουσιάζεται η παραγωγή άλμης ( $m^3$  ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού). Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται μονάδες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας ενώ με μπλε αυτές που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό. Η παραγωγή άλμης κυμαίνεται μεταξύ  $2 - 2,85 m^3$  και  $0,2 - 1,6 m^3$ , για τις μονάδες που τροφοδοτούνται με θαλασσινό και υφάλμυρο νερό, αντίστοιχα. Δεδομένου ότι η παραγωγή και διάθεση της άλμης συνδέεται ευθέως με τη ρύπανση του ευρύτερου περιβάλλοντος όπου αυτή απαλλάσσεται, γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, εμφανίζουν υψηλότερο όγκο ρυπαντικού φορτίου ανά μονάδα παραγόμενου νερού. Η μονάδα της Νισύρου παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αναλογία παραγωγής άλμης ανά μονάδα παραγόμενου νερού για τη κατηγορία των μονάδων που τροφοδοτούνται με θαλασσινό νερό, ενώ για τη κατηγορία των υφάλμυρων μονάδων, αυξημένη αναλογία εμφανίζουν οι μονάδες Τήνος 2 και Τήνος 3.



**Γράφημα 52. Αναλογία παραγωγής άλμης ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού των μονάδων αφαλάτωσης.**

Ωστόσο, η πραγματική παραγωγή άλμης εξαρτάται από το σύνολο της παραγωγής αφαλατωμένου νερού. Στο Γράφημα 53 δίνεται η συνολική ετήσια παραγωγή άλμης ανά μονάδα αφαλάτωσης. Η μονάδα της Τήνου 1 εμφανίζεται να παράγει περίπου 500.000 m<sup>3</sup> άλμης ετησίως.



**Γράφημα 53. Ποσοστό κάλυψης των υδρευτικών αναγκών της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένες οι μονάδες αφαλάτωσης.**

Επίσης, δεν πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι ο αντίκτυπος της άλμης στο περιβάλλον δεν σχετίζεται αποκλειστικά και μόνο με το παραγόμενο όγκο της άλμης, αλλά και με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά αυτής, όπως η πυκνότητα της που είναι ευθέως ανάλογη της συγκέντρωσης του νερού τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται, τα χημικά που περιέχει ως αποτέλεσμα των σταδίων προεπεξεργασίας και



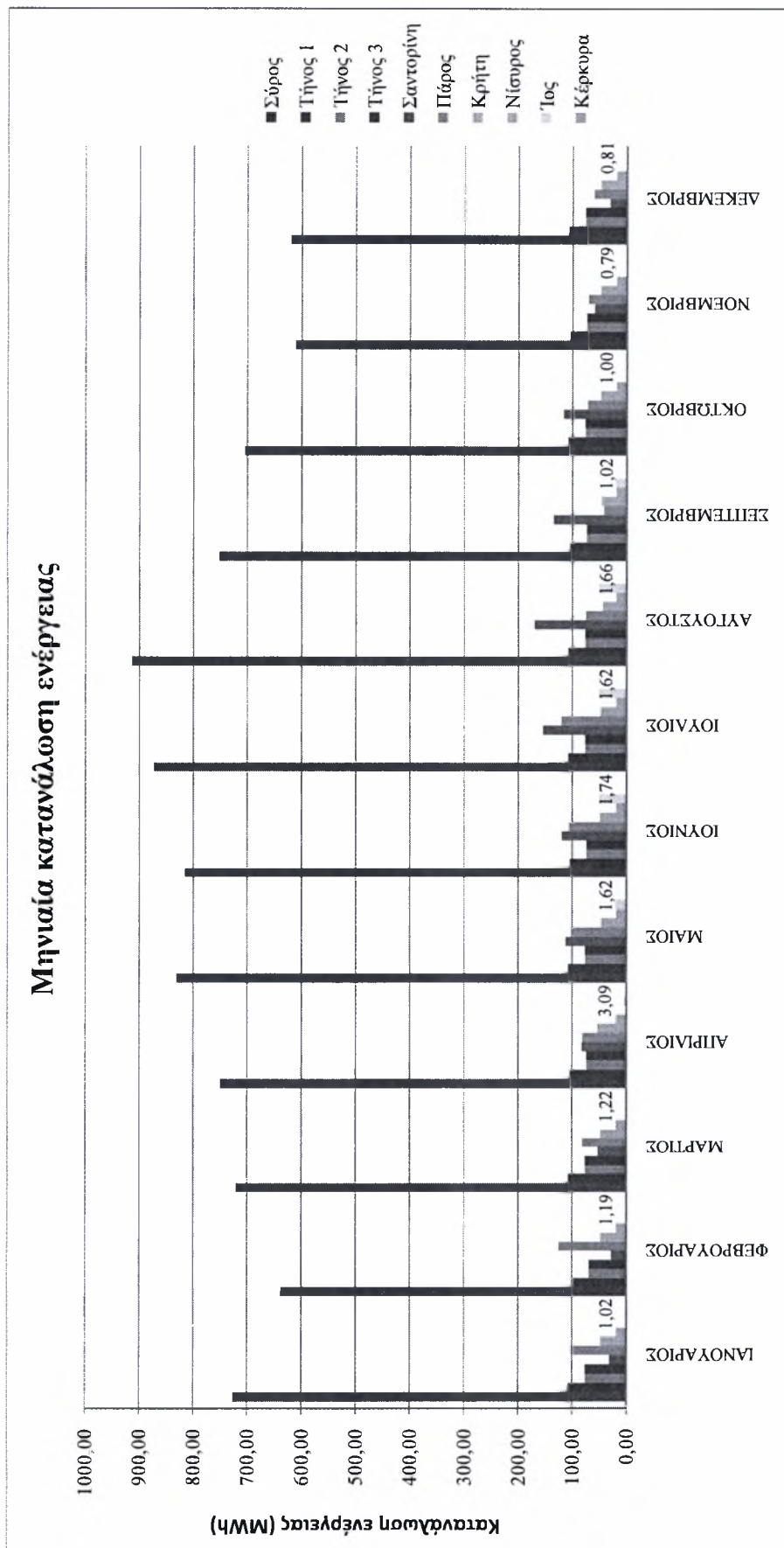
μετεπεξεργασίας, κ.α. Ο Πίνακας 40, περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον και το τρόπο διάθεσης της παραγόμενης άλμης των μονάδων αφαλάτωσης.

**Πίνακας 40. Πληροφορίες σχετικά με τη διάθεση της άλμης.**

Μονάδα αφαλάτωσης	Περιβάλλον διάθεσης άλμης	Τρόπος διάθεσης άλμης
Σύρος	Θαλάσσιο	Διάτρητο σωλήνα, 30m από την ακτή
Τήνος 1	Θαλάσσιο	Αγωγός πολυαιθυλενίου, 150 m από την ακτή
Τήνος 2	Θαλάσσιο	Αγωγός πολυαιθυλενίου, 150 m από την ακτή
Τήνος 3	Θαλάσσιο	Αγωγός πολυαιθυλενίου, 150 m από την ακτή
Σαντορίνη	Θαλάσσιο	Αγωγός ελεύθερου άκρου
Πάρος	Ποτάμιο	Απόρριψη σε ποταμό, που εκβάλλει στη θάλασσα
Κρήτη	Ποτάμιο	Επιφανειακό διάτρητο αγωγό (κοινή έξοδος σταθμού ηλεκτροπαραγωγής)
Νίσυρος	Θαλάσσιο	-
Ίος	Θαλάσσιο (βραχώδη, μη προσβάσιμη περιοχή σε απόσταση 500 m από την ακτή των λουόμενων)	-
Κέρκυρα	Θαλάσσιο	Κανάλι απορροής όμβριων υδάτων

### 11.1.5 Ενεργειακά Χαρακτηριστικά Μονάδων Αφαλάτωσης

Όλες οι μονάδες αφαλάτωσης καταναλώσουν ενέργεια από το εθνικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δυστυχώς, καμιά μονάδα δεν συνδυάζεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το εθνικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι, αν και οι μονάδες αφαλάτωσης είναι εγκατεστημένες σε περιοχές όπου το αιολικό και ηλιακό δυναμικό είναι ιδιαίτερα υψηλό, δεν αξιοποιείται μέσω της εφαρμογής τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συνδυασμού αυτών με τις μονάδες αφαλάτωσης για τη κάλυψη εξ' ολοκλήρου ή μέρους των ενεργειακών τους αναγκών. Το Γράφημα 54 απεικονίζει τη μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης. Οι τιμές εντός του γραφήματος αντιπροσωπεύουν τη κατανάλωση ενέργειας της μονάδας αφαλάτωσης της Κέρκυρας.

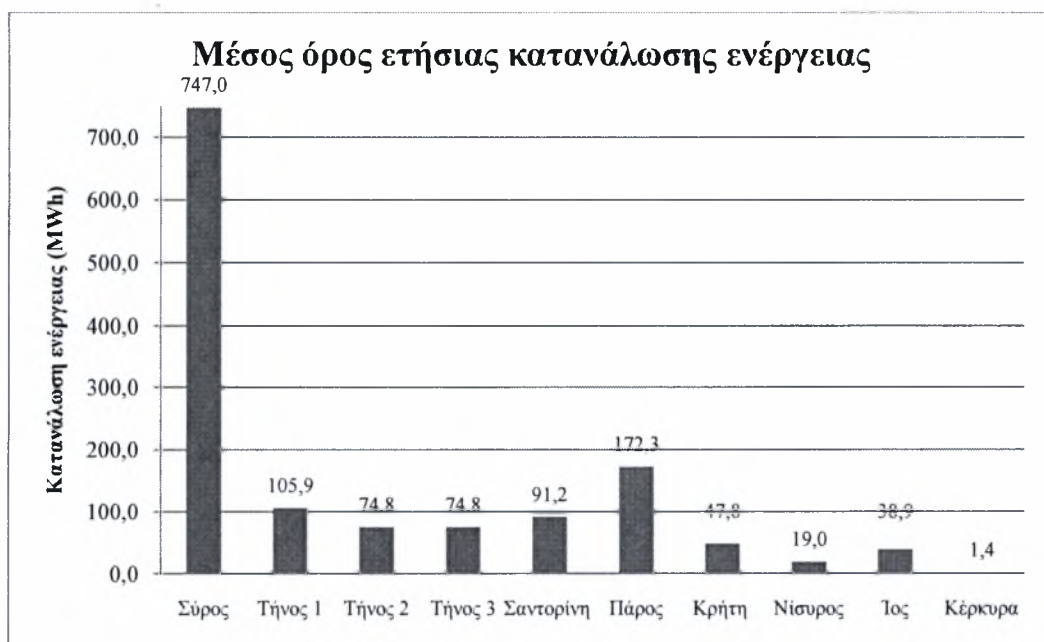


Γράφημα 54. Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης.

Παρακάτω, τα Γραφήματα 55 και 56, απεικονίζουν την ετήσια κατανάλωση και το μέσο όρο της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης.



Γράφημα 55. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης.



Γράφημα 56. Μέσος όρος ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης.

## 11.2 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, το ελληνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής βασίζεται κυρίως στο λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιούν οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί του διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος. Το μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό σύστημα, που τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους αποτελείται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, τοπικούς και αυτονόμους, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο και το μαζούτ. Παρακάτω παρατίθεται ο Πίνακας 41, με το σύνολο των θερμικών σταθμών του ηπειρωτικού συστήματος, σύμφωνα με τα δεδομένα που αποκτήσαμε από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

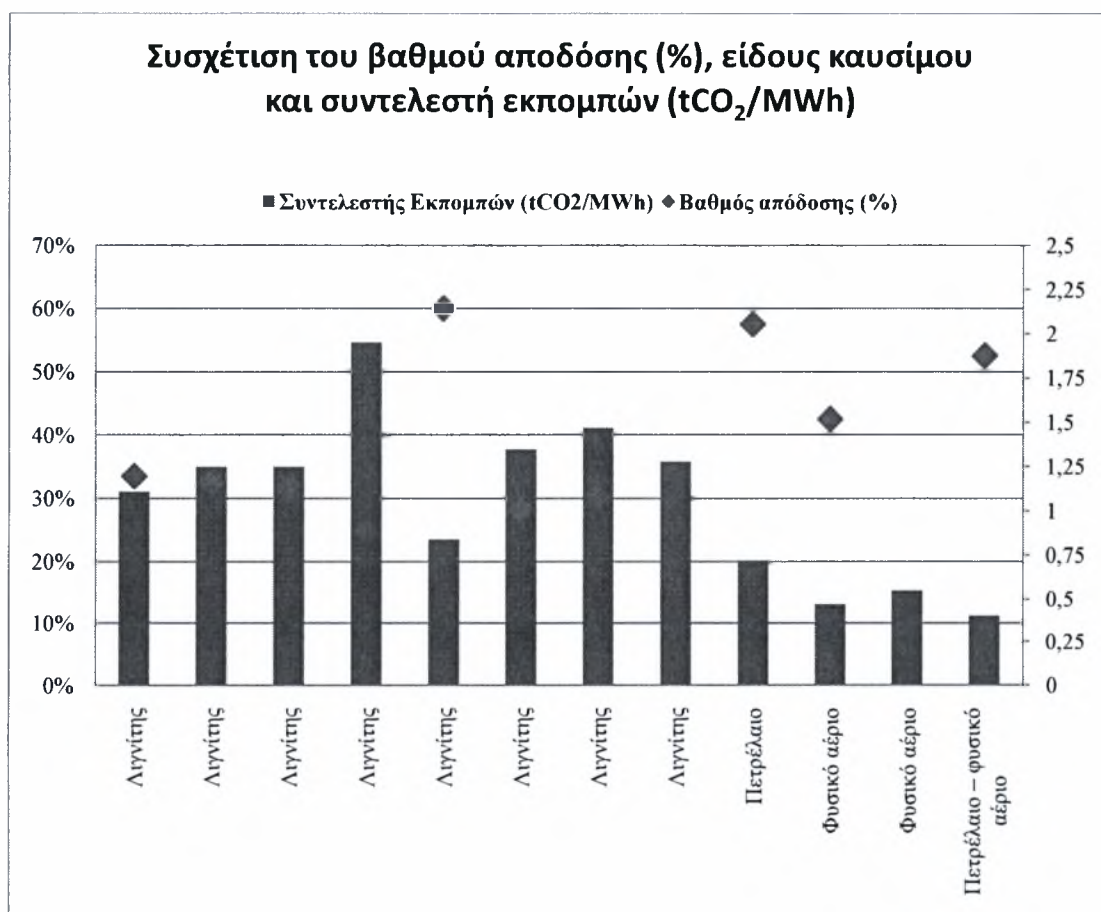
**Πίνακας 41. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος.**

	Θερμοηλεκτρικός σταθμός	Θέση	Είδος καυσίμου	Ισχύς (MW)	Βαθμός απόδοσης (%)	Συντελεστής Εκπομπών (tCO <sub>2</sub> /MWh)
1	Άγιος Δημήτριος	Κοζάνη	Λιγνίτης	1587	33,5	1,11
2	Αμύνταιο	Αμύνταιο	Λιγνίτης	600	32,4	1,25
3	Καρδία	Πτολεμαΐδα-Κοζάνη	Λιγνίτης	1200	31,8	1,25
4	Λιπτολ	Πτολεμαΐδα	Λιγνίτης	43	24,7	1,95
5	Μελίτη	Φλώρινα	Λιγνίτης	330	60	0,84
6	Πτολεμαΐδα	Πτολεμαΐδα	Λιγνίτης	620	28,2	1,35
7	Μεγαλόπολη Α	Μεγαλόπολη	Λιγνίτης	850	30,3	1,47
8	Μεγαλόπολη Β	Μεγαλόπολη	Λιγνίτης			1,28
9	Αλιβέρι	Εύβοια	Πετρέλαιο	380	57,5	0,72
10	Λαύριο	Αττική	Φυσικό αέριο	1197	42,5	0,47
11	Άγιος Γεώργιος	Αττική	Φυσικό αέριο	360	-	0,55
12	Κομοτηνή	Κομοτηνή	Πετρέλαιο – φυσικό αέριο	-	52,5	0,40

Οι σταθμοί που καταναλώνουν λιγνίτη για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης, που κυμαίνεται από 24,7% έως 33,5%, ενώ οι πετρελαϊκοί και φυσικού αερίου σταθμοί εμφανίζουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης της τάξης του 42,5% - 57,5%, με συνολικό μέσο όρο απόδοσης των σταθμών περίπου 39%. Αντιστρόφως ανάλογη είναι η σχέση του συντελεστή εκπομπών, τόσο με το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν οι σταθμοί όσο και με το βαθμό απόδοσης τους. Όσο πιο ρυπογόνο είναι το καύσιμο και χαμηλότερης αποδοτικότητας ο σταθμός, τόσο αυξάνεται ο συντελεστής εκπομπών. Χαρακτηριστικά, ο συντελεστής εκπομπών



για τους λιγνιτικούς θερμικούς σταθμούς με απόδοση 60% κυμαίνεται από 0,84 έως 1,95, για αποδόσεις της τάξης του 24,7%. Οι σταθμοί που χρησιμοποιούν ως καύσιμο πετρέλαιο ή φυσικό αέριο εμφανίζουν συντελεστές εκπομπών που κυμαίνονται μεταξύ του 0,40 έως 0,72. Η σχέση αυτή, παρουσιάζεται στο Γράφημα 57. Η μείωση του συντελεστή εκπομπών, και συνεπώς ο περιορισμός των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, θα μπορούσε να επιτευχθεί με το περιορισμό της κατανάλωσης λιγνίτη για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων με χαμηλότερο συντελεστή εκπομπών και την αύξηση του μεριδίου τους στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή (πετρέλαιο, φυσικό αέριο), το μετασχηματισμό των υφιστάμενων σταθμών ώστε να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν άλλες πηγές καυσίμων, τον εκσυγχρονισμό των θερμικών σταθμών με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας τους και τέλος την ουσιαστική αξιοποίηση των φιλικών προς το περιβάλλον ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



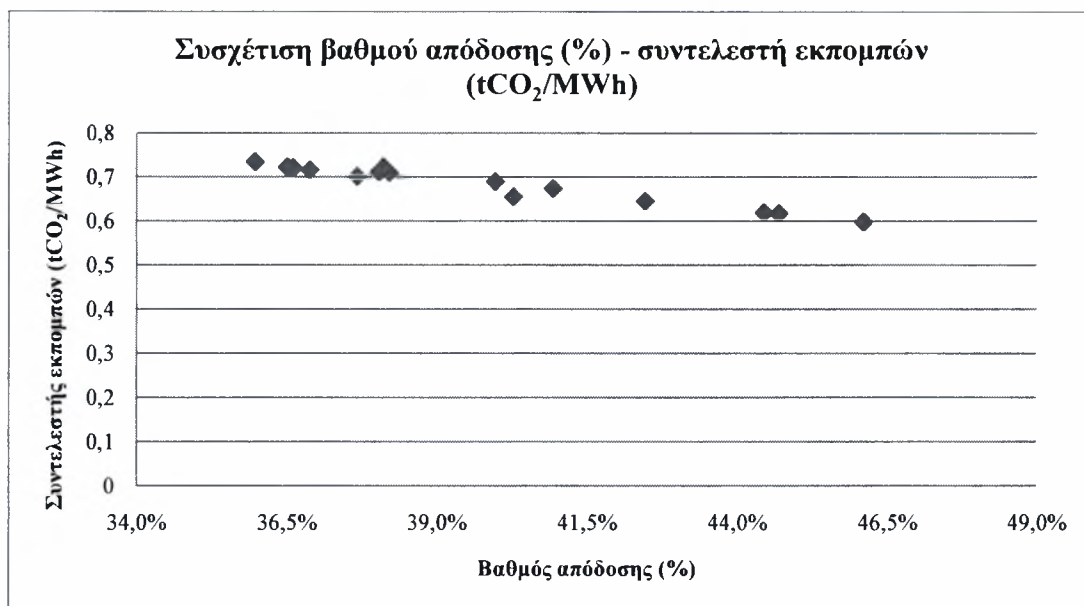
**Γράφημα 57. Συσχέτιση του βαθμού απόδοσης, είδους καυσίμου και συντελεστή εκπομπών.**

Ο Πίνακας 42 που ακολουθεί, παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των τοπικών και αυτόνομων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που τροφοδοτούν τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους. Όλοι οι σταθμοί του μη διασυνδεδεμένου συστήματος χρησιμοποιούν αποκλειστικά ως καύσιμο το πετρέλαιο και μαζούτ, σε διαφορετικές αναλογίες ανά σταθμό. Ο βαθμός απόδοσης των σταθμών κυμαίνεται από 0,35% έως 0,46%, με μέσο όρο περίπου 0,39%, ανάλογος του μέσου όρου του διασυνδεδεμένου συστήματος.

**Πίνακας 42. Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού συστήματος.**

Α/Α	ΑΣΠ / ΤΣΠ	Είδος καυσίμου		Βαθμός απόδοσης (%)	Συντελεστής Εκπομπών (tCO <sub>2</sub> /MWh)
		% μαζούτ	% πετρέλαιο		
1	Λέσβου	62,66%	37,34%	0,3821	0,710
2	Σάμου	83,65%	16,35%	0,4248	0,645
3	Χίου	97,43%	2,57%	0,4445	0,620
4	Λήμνου	97,45%	2,55%	0,3998	0,689
5	Κω	98,93%	1,07%	0,4611	0,598
6	Καλύμνου	95,95%	4,05%	0,3811	0,722
7	Σύρου	58,52%	41,48%	0,3804	0,712
8	Μυκόνου	0,00%	100,00%	0,3661	0,721
9	Θήρας	97,49%	2,51%	0,4094	0,673
10	Πάρου	98,68%	1,32%	0,4470	0,616
11	Καρπάθου	0,00%	100,00%	0,4028	0,655
12	Μήλου	0,00%	100,00%	0,3598	0,734
13	Ικαρίας	1,26%	98,74%	0,3768	0,701
14	Σίφνου	0,00%	100,00%	0,3651	0,723
15	Πάτμου	0,00%	100,00%	0,3689	0,716
16	Κρήτης	64,68%	35,32%	-	0,660

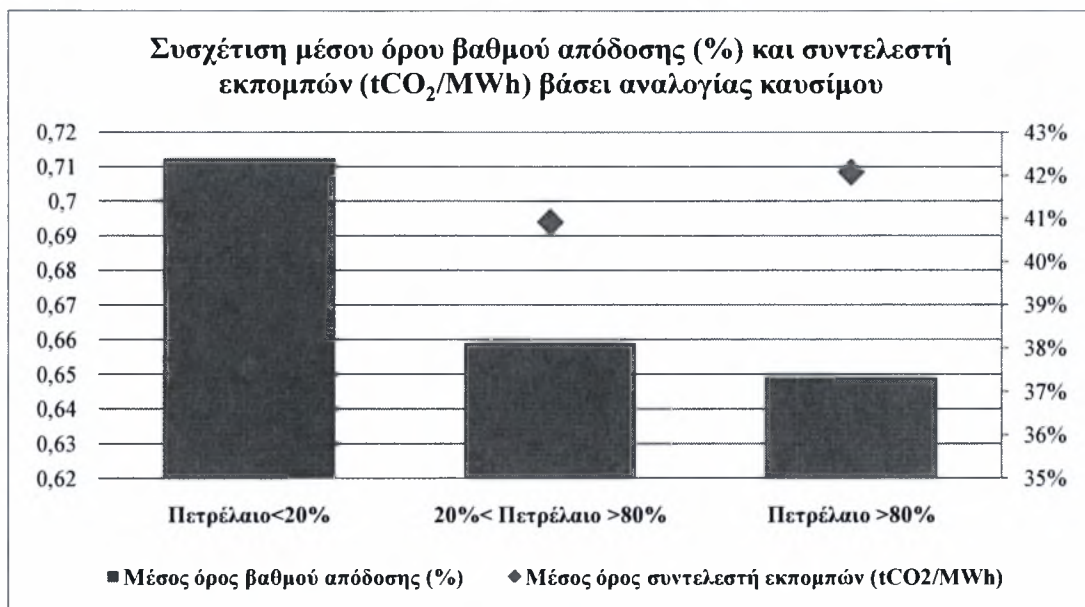
Ωστόσο, συγκρίνοντας του συντελεστές εκπομπών των δυο συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής, παρατηρούμε μια σημαντική μείωση, η οποία οφείλεται τόσο στην απόδοση των σταθμών, όσο και στο τύπο καυσίμου που καταναλώνουν. Στο Γράφημα 58, απεικονίζεται η συσχέτιση της απόδοσης των σταθμών και του συντελεστή εκπομπών. Είναι εμφανές, ότι όσο υψηλότερη είναι η απόδοση της λειτουργίας του σταθμού, τόσο μειώνονται οι εκπομπές ανά παραγόμενη μονάδα ενέργειας (MWh).



**Γράφημα 58. Συσχέτιση του βαθμού απόδοσης και συντελεστή εκπομπών.**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι σταθμοί χρησιμοποιούν, κατά περίπτωση, διαφορετικές αναλογίες καυσίμου, πετρελαίου και μαζούτ. Η διαφοροποίηση ανάμεσα στο πετρέλαιο και το μαζούτ, μας παρέχει τη δυνατότητα για περαιτέρω ανάλυση της συμβολής του είδους του καυσίμου στη διαμόρφωση της τιμής του συντελεστή εκπομπών.

Το Γράφημα 59, απεικονίζει τη συσχέτιση του μέσου όρου του βαθμού απόδοσης και του μέσου όρου του συντελεστή εκπομπών των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής βάσει της αναλογίας των καυσίμων που χρησιμοποιούν. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί που καταναλώνουν λιγότερο από 20% πετρέλαιο και το υπόλοιπο καλύπτεται με ποσότητες μαζούτ παρουσιάζουν χαμηλότερο συντελεστή εκπομπών σε σχέση με τους σταθμούς των οποίων η παραγωγή ενέργειας βασίζεται στο πετρέλαιο σε ποσοστό πάνω από το 80%. Αξίζει δε να σημειωθεί, ότι η πρώτη κατηγορία σταθμών εμφανίζει και τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης, περίπου 42%.

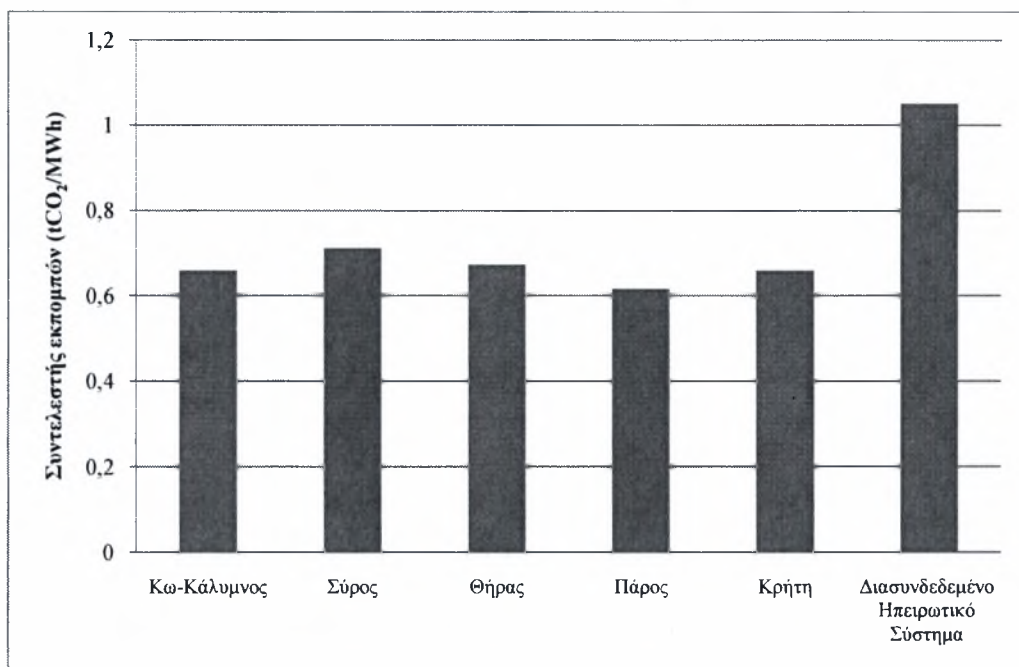


Γράφημα 59. Συσχέτιση του μέσου όρου βαθμού απόδοσης και του συντελεστή εκπομπών βάσει αναλογίας καυσίμου.

Ο Πίνακας 43 παρουσιάζει τις διασυνδέσεις των σταθμών παραγωγής ενέργειας του μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού συστήματος με τα αντίστοιχα νησιά που τροφοδοτούν. Ο πίνακας περιλαμβάνει μόνο εκείνα τα νησιά που φιλοξενούν τις μονάδες αφαλάτωσης της παρούσας μελέτης.

Τροφοδοτούμενα νησιά	Σταθμός ηλεκτροπαραγωγής
Σύρος	Σύρου
Πάρος	Πάρου
Σαντορίνη	Θήρας
Τήνος	Διασυνδεδεμένο Ηπειρωτικό Σύστημα
Νίσυρος	Κω-Καλύμνου
Κέρκυρα	Διασυνδεδεμένο Ηπειρωτικό Σύστημα
Ίος	Πάρου
Κρήτη	Κρήτης

Το Γράφημα 60 απεικονίζει το γενικό συντελεστή εκπομπών του διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος και μεμονωμένα για τους σταθμούς παραγωγής του Πίνακα 42. Τέλος, επισημαίνεται για μια ακόμη φορά, η αυξημένη τιμή του συντελεστή εκπομπών του διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος, έναντι του αντίστοιχου μη διασυνδεδεμένου νησιωτικού συστήματος.

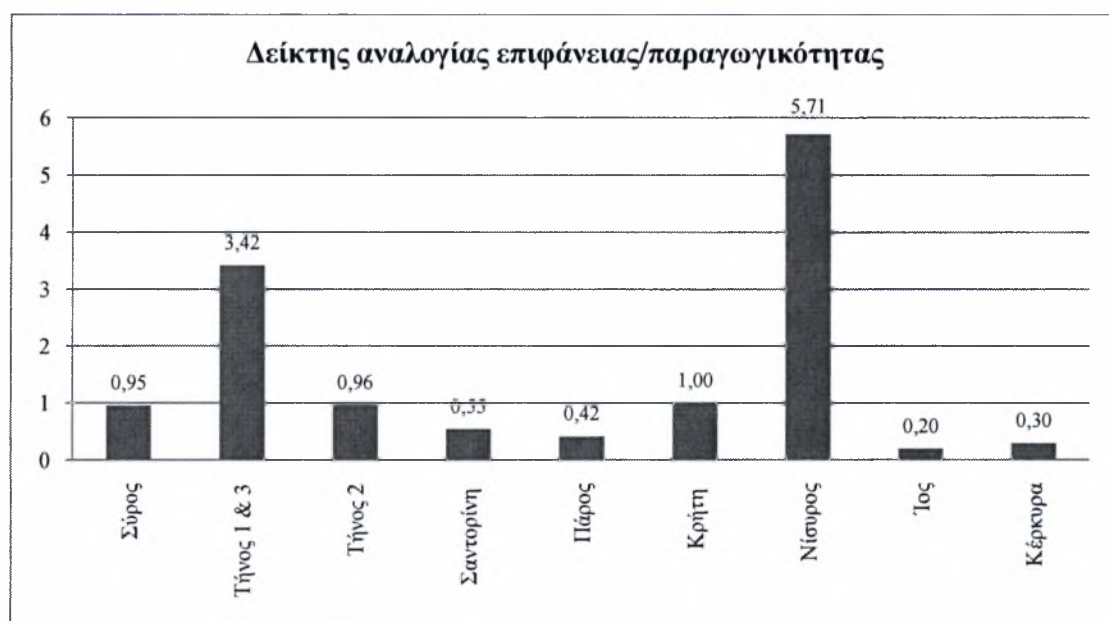


**Γράφημα 60. Συντελεστές εκπομπών διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος και ορισμένων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής του νησιωτικού συστήματος.**



### 11.3 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

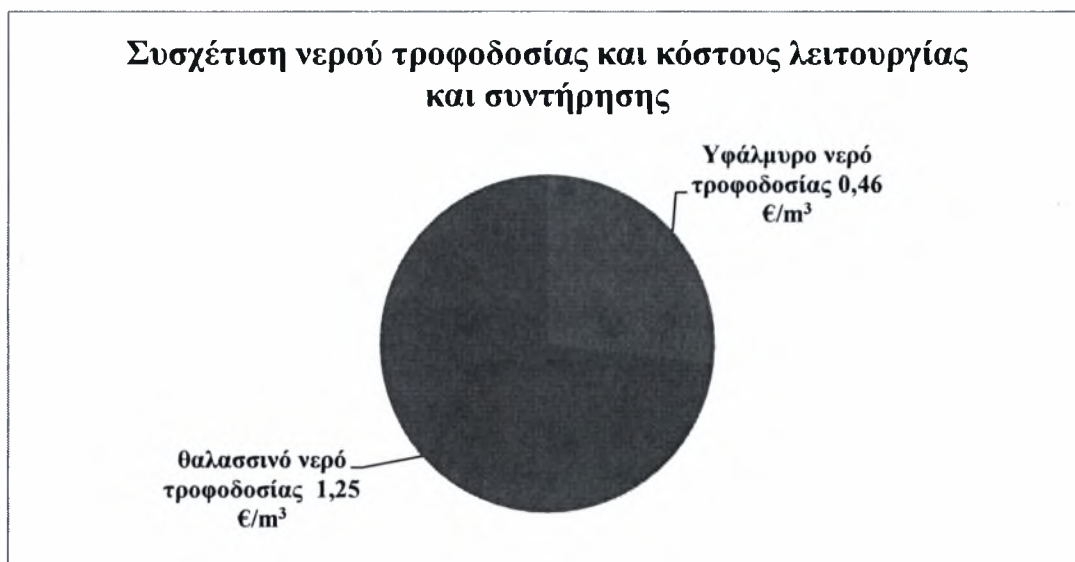
Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>), μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης δυναμικότητας 5.000-10.000 m<sup>3</sup>/ημέρα απαιτεί έκταση περίπου 10.000 m<sup>2</sup> για την εγκατάσταση της. Βάσει αυτής της πληροφορίας μπορεί να εξαχθεί ένας δείκτης αναλογίας επιφάνειας/παραγωγικότητας (m<sup>2</sup> /m<sup>3</sup>/ημέρα). Για τιμή του δείκτη μικρότερη ή ίση της μονάδας ( $\leq 1$ ), μπορεί να θεωρηθεί μια καλή αναλογία εδάφους ανά μονάδα ικανότητας παραγωγής της μονάδας αφαλάτωσης. Όταν ο δείκτης λαμβάνει τιμές υψηλότερες της μονάδας ( $>1$ ), θεωρείται ότι οι μονάδες αφαλάτωσης εμφανίζουν αυξημένο αντίκτυπο στις χρήσεις γης. Γενικά λοιπόν, όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη, τόσο μικρότερος είναι ο αντίκτυπος στις χρήσεις γης. Παρακάτω, στο Γράφημα 61, παρουσιάζεται ο δείκτης επιφάνειας/παραγωγικότητας των μονάδων αφαλάτωσης. Σημειώνεται ότι ο δείκτης για τις μονάδες αφαλάτωσης Τήνος 1 και Τήνος 3 υπολογίστηκε από κοινού, μιας και συστεγάζονται.



**Γράφημα 61. Δείκτης αναλογίας επιφάνειας/παραγωγικότητας.**

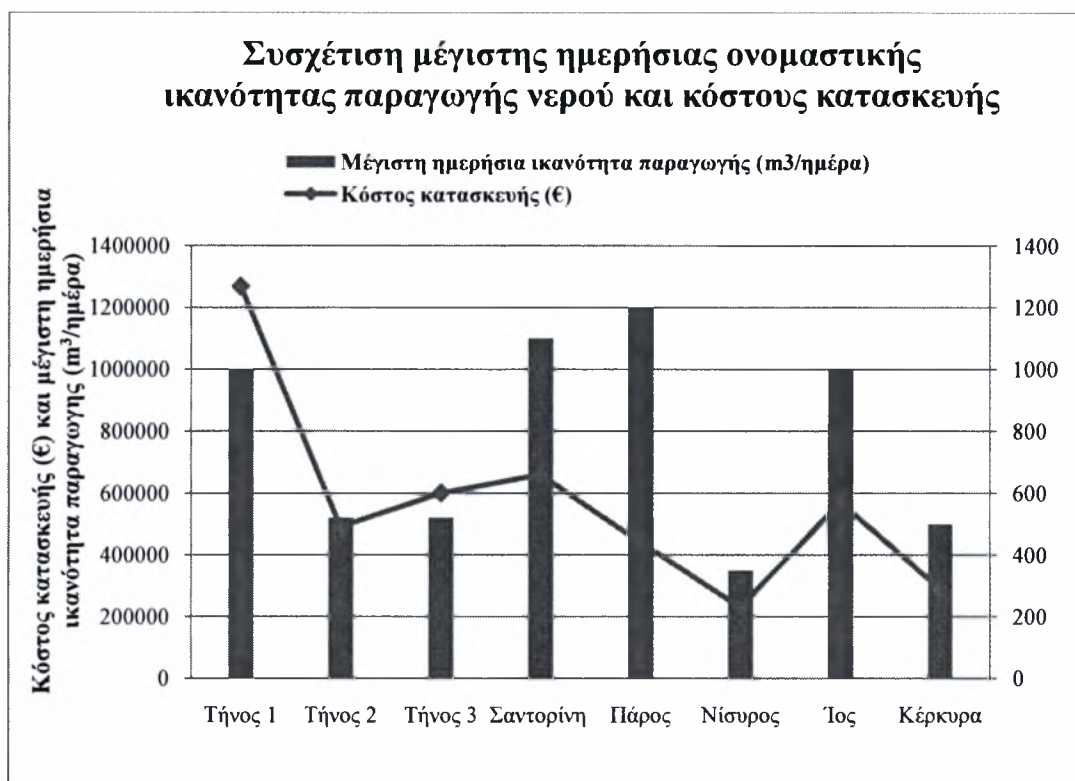
Το είδος του νερού τροφοδοσίας που χρησιμοποιείται από τη μονάδα αφαλάτωσης για τη παραγωγή πόσιμου νερού επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Γενικά, το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας απαιτεί τη λειτουργία του συστήματος σε υψηλές πιέσεις ώστε να επιτευχθεί ο διαχωρισμός των αλάτων από το νερό αυξάνοντας τις ενεργειακές δαπάνες και η αυξημένη χρήση χημικών στα στάδια

προεπεξεργασίας και μετεπεξεργασίας, διογκώνουν το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, σε σχέση με εκείνων που επεξεργάζονται υφάλμυρο νερό. Στο Γράφημα 62, προσδιορίζεται το μέσο κόστος για τους δυο τύπους νερού τροφοδοσίας. Το κόστος επεξεργασίας θαλασσινού νερού εμφανίζεται 2,5 φορές υψηλότερο από το αντίστοιχο του υφάλμυρου.



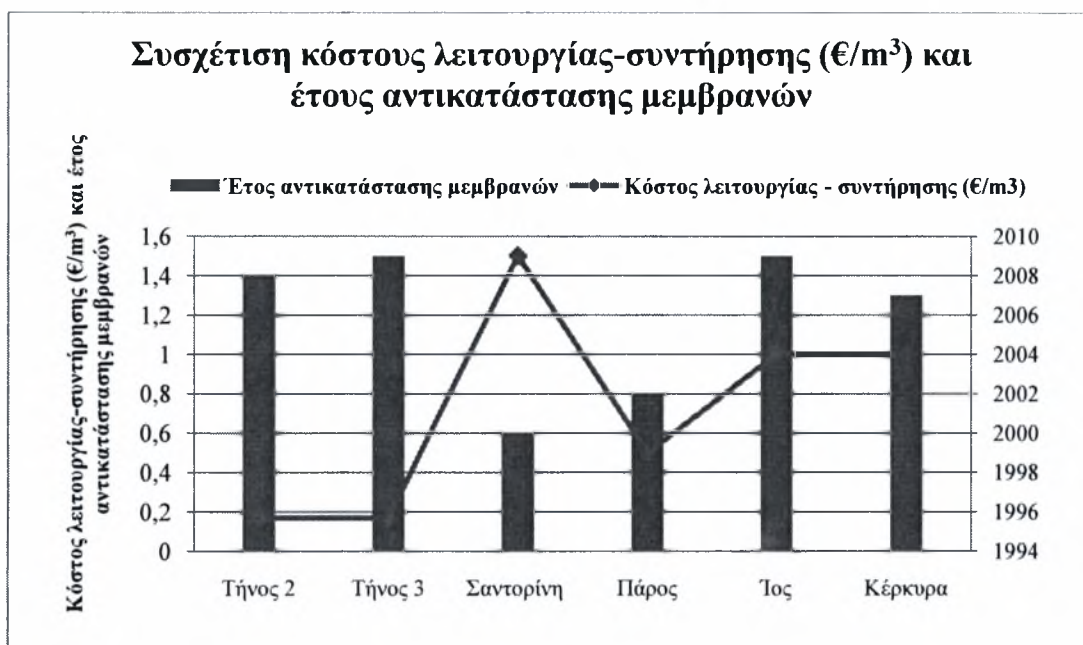
Γράφημα 62. Συσχέτιση νερού τροφοδοσίας και κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Οι δαπάνες που απαιτούνται για τη κατασκευή μιας μονάδας αφαλάτωσης καθορίζονται από πλήθος παραγόντων. Ένας από αυτούς, ίσως και ο κυριότερος, είναι η κατηγορία της τάξης μεγέθους της ικανότητας παραγωγής νερού της μονάδας. Παρατηρώντας το Γράφημα 63, μπορούμε να διαπιστώσουμε τη σχέση αυτή, ότι δηλαδή γενικά το κόστος κατασκευής είναι σχετικά αυξημένο για τις μεγαλύτερες ικανότητες παραγωγής και τείνει να περιορίζεται για τις μικρότερες δυναμικότητες. Τη βέλτιστη σχέση κόστους κατασκευής και ικανότητα παραγωγής εμφανίζουν οι μονάδες της Πάρου, Ίου, Κέρκυρας και Σαντορίνης. Στοιχεία σχετικά με το κόστος κατασκευής των μονάδων αφαλάτωσης της Σύρου και Κρήτης δεν ήταν διαθέσιμα.



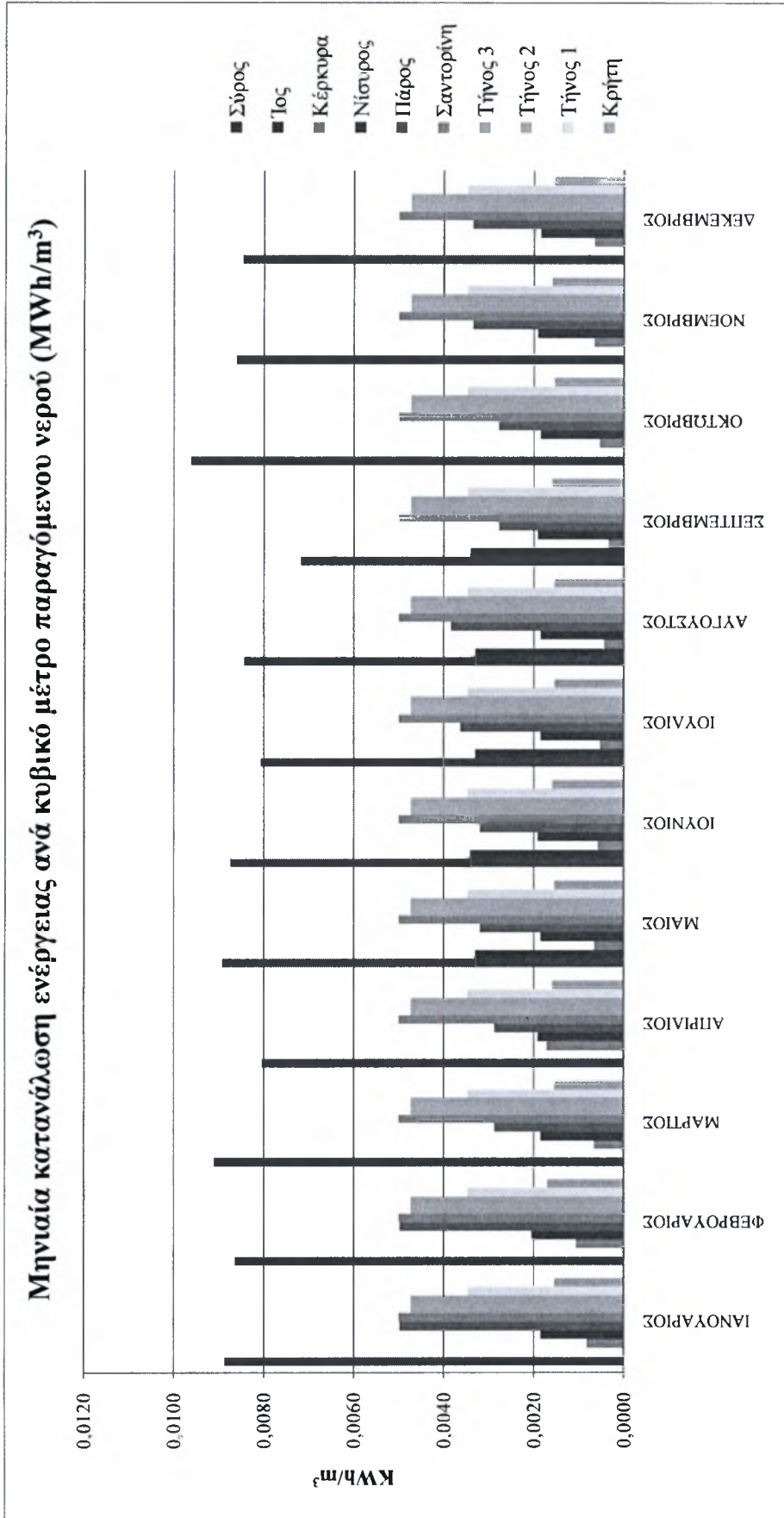
**Γράφημα 63. Συσχέτιση της μέγιστης ημερήσιας ονομαστικής ικανότητας παραγωγής και του κόστους κατασκευής.**

Το Γράφημα 64, παρουσιάζει τη σχέση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης και του έτους αντικατάστασης των μεμβρανών. Η σχέση αυτών των δυο παραγόντων, είναι άμεση: όσο αυξάνεται η ηλικία (παλαιότητα) των μεμβρανών τόσο αυξάνεται και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος αφαλάτωσης. Οι μονάδες Τήνος 2 και Τήνος 3, των οποίων οι μεμβράνες αντικαταστάθηκαν τη τελευταία διετία, παρουσιάζουν χαμηλότερες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης ανά μονάδα παραγόμενου νερού, σε σχέση με τη μονάδα αφαλάτωσης της Σαντορίνης, η οποία χρησιμοποιεί μεμβράνες ηλικίας έως και 10 ετών, και εμφανίζει το μεγαλύτερο κόστος, συγκρινόμενη με όλες τις μονάδες αφαλάτωσης. Οι μονάδες αφαλάτωσης της Ίου και Κέρκυρας, αν και χρησιμοποιούν μεμβράνες των οποίων η ηλικία κυμαίνεται μεταξύ 1 και 3 ετών, παρουσιάζουν σχετικά υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, που μπορεί να οφείλεται στη περιορισμένη λειτουργική παραγωγικότητα των μονάδων, αυξάνοντας το συνολικό κόστος, ανά παραγόμενο όγκο νερού.



**Γράφημα 64. Συσχέτιση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης και του έτους αντικατάστασης μεμβρανών.**

Στο Γράφημα 65, παρουσιάζεται η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού των μονάδων αφαλάτωσης. Οι διακυμάνσεις οφείλονται στην εποχικότητα της παραγωγής. Γενικά, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι μονάδες αφαλάτωσης της Σύρου, Σαντορίνης και Τήνου (2 και 3) εμφανίζουν μεγαλύτερη αναλογία κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου νερού. Λιγότερο ενεργοβόρα εμφανίζεται η μονάδα αφαλάτωσης της Κέρκυρας.



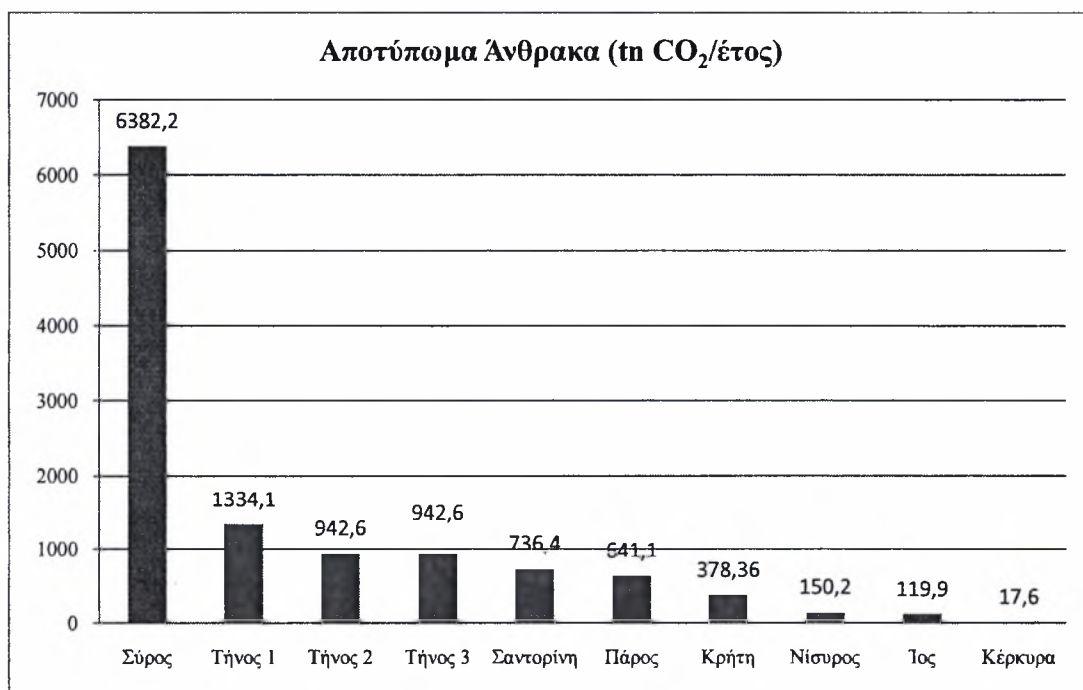
Γράφημα 65. Μηνιαία κατανάλωση ενέργειας ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού των μονάδων αφαλάτωσης.



#### 11.4 ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ

Σκοπός της παρούσας έρευνας, ήταν να προσδιορίσουμε το αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης, που ορίζεται ως το σύνολο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, σε ετήσια βάση, που εκλύονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία τους, και κατ' επέκταση της παραγωγής αφαλατωμένου πόσιμου νερού. Για τη πραγματοποίηση των απαραίτητων υπολογισμών χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 9. Από την επεξεργασία των δεδομένων που προηγήθηκαν στις παραπάνω ενότητες, προέκυψαν τα παρακάτω γραφήματα.

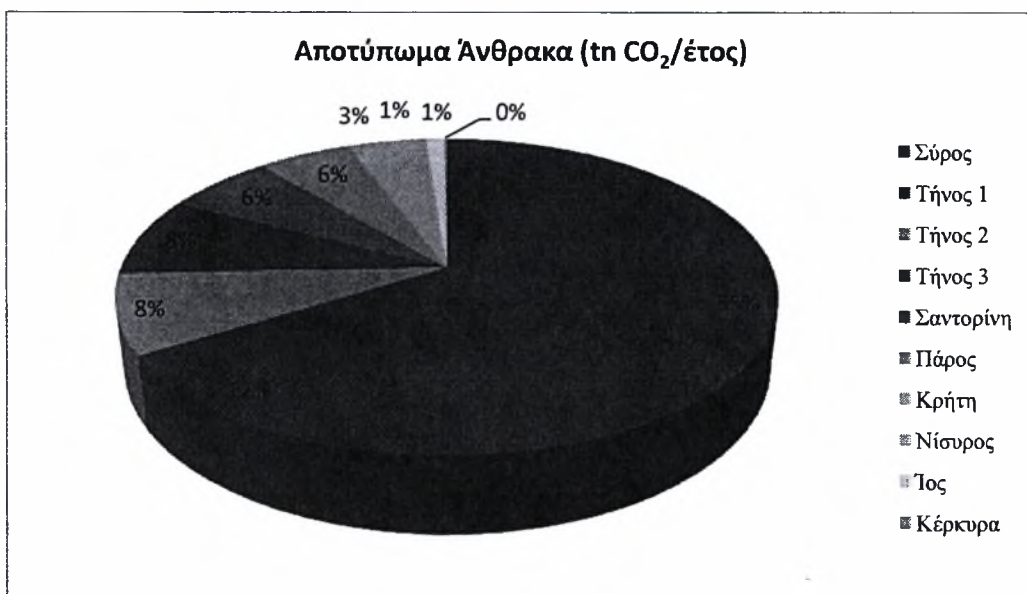
Το Γράφημα 66 απεικονίζει το συνολικό ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης. Η συμβολή της μονάδας αφαλάτωσης της Σύρου στο σύνολο των εκπομπών είναι κάτι παραπάνω από ξεκάθαρη. Η ποσοστιαία απεικόνιση του αποτυπώματος άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης παρουσιάζεται στο Γράφημα 67. Η Σύρος κατέχει το 55% του συνόλου του αποτυπώματος άνθρακα.



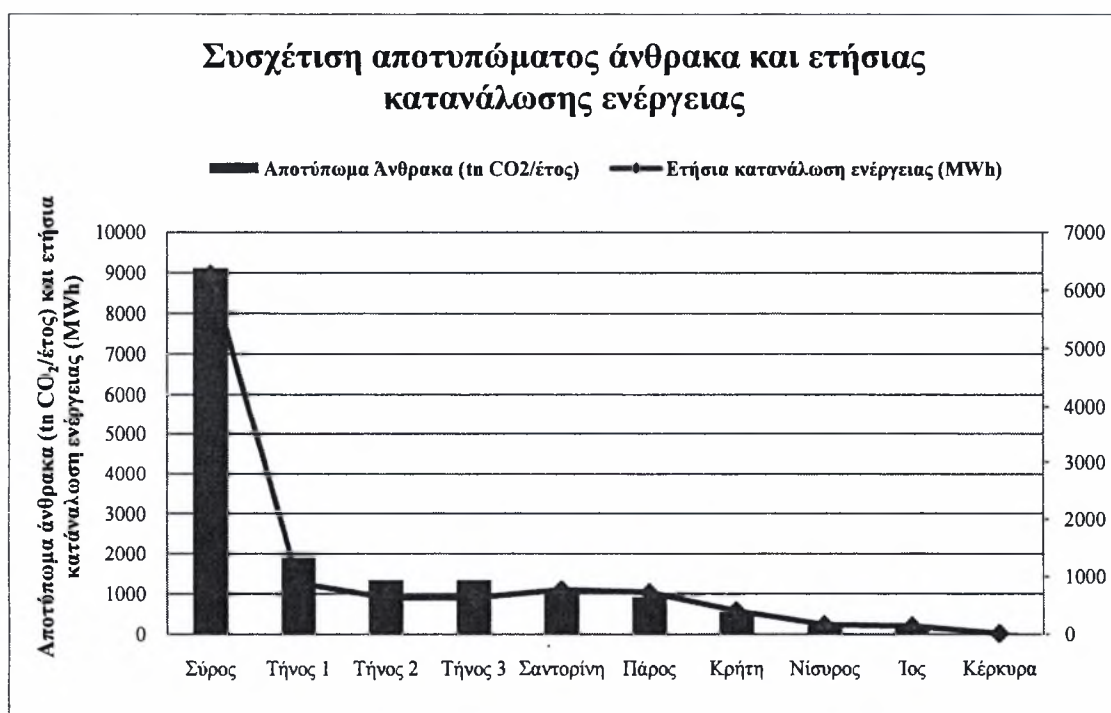
**Γράφημα 66. Συνολικό ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης.**

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, το αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης είναι συνάρτηση δυο παραγόντων, της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και του συντελεστή εκπομπών. Στο Γράφημα 68, απεικονίζεται η συσχέτιση του αποτυπώματος άνθρακα και της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης. Οι

μονάδες Τήνος 2 και Τήνος 3, αν και παρουσιάζουν ετήσια κατανάλωση ενέργειας χαμηλότερη από αυτή της Σαντορίνης και Πάρου, εμφανίζουν μεγαλύτερο ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα.

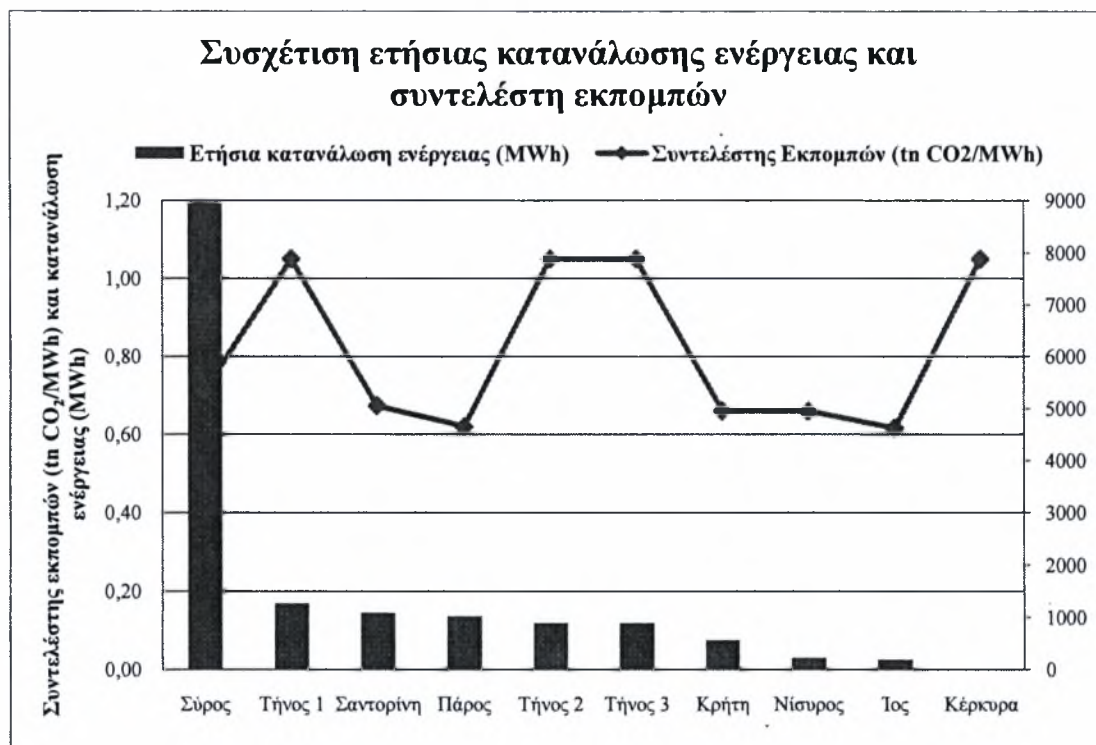


Γράφημα 67. Αποτύπωμα άνθρακα ως ποσοστό επί του συνόλου των μονάδων αφαλάτωσης.



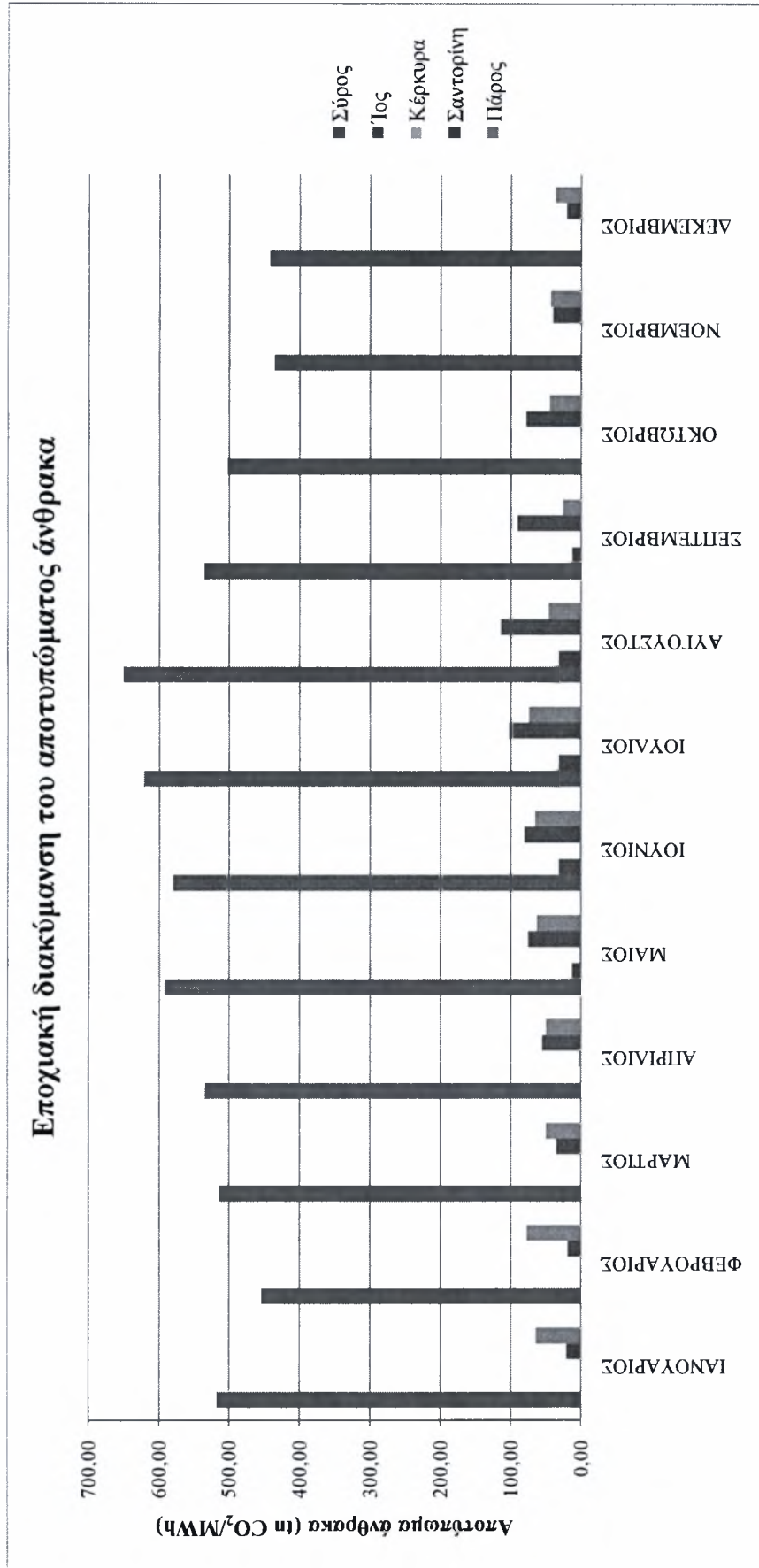
Γράφημα 68. Συσχέτιση του αποτυπώματος άνθρακα και της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας.

Αυτό οφείλεται στην επίδραση του δεύτερου παράγοντα, που καθορίζει το αποτύπωμα άνθρακα, του συντελεστή εκπομπών. Οι δυο καθοριστικοί παράγοντες του αποτυπώματος άνθρακα παρουσιάζονται στο Γράφημα 69. Οι μονάδες αφαλάτωσης που συνδυάζουν αυξημένες τιμές των δυο παραγόντων, εμφανίζουν και υψηλότερο αποτύπωμα άνθρακα.



Γράφημα 69. Συσχέτιση της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας και του συντελεστή εκπομπών.

Για τις μονάδες αφαλάτωσης της Σύρου, Σαντορίνης, Ίου, Κέρκυρας και Πάρου, διαθέτουμε αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την εποχιακή διακύμανση της παραγωγής νερού και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, επομένως και για το σύνολο των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Στο Γράφημα 70 που ακολουθεί, παρατηρούμε μια σαφή χρονική διακύμανση των εκπομπών ακολουθώντας το κύκλο της τουριστικής δραστηριότητας, ιδιαίτερα της καλοκαιρινής περιόδου, με τις μέγιστες εκπομπές CO<sub>2</sub> να εμφανίζονται τη καλοκαιρινή περίοδο, όταν η τουριστική δραστηριότητα είναι σε εξέλιξη και η ζήτηση σε πόσιμο νερό μεγάλη.



Γράφημα 70. Εποχιακή διακύμανση του αποτυπώματος άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12<sup>ο</sup> – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η αφαλάτωση, αυτή τη στιγμή, αποτελεί τη μόνη διαθέσιμη τεχνολογία που μπορεί να παρέχει άμεσα φρέσκο πόσιμο νερό σε περιοχές όπου τα αποθέματα γλυκού νερού είναι περιορισμένα ή έχουν εξαντληθεί. Ωστόσο, οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις των μονάδων αφαλάτωσης, που μεταφράζονται σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, προβληματίζουν έντονα τη διεθνή κοινότητα, καθώς συμβάλλουν, με έμμεσο τρόπο στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Το αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης καθορίζεται από ένα σύνολο παραμέτρων, τόσο των ίδιων των μονάδων αφαλάτωσης όσο και του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με το οποίο τροφοδοτούνται. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης και ο συντελεστής εκπομπών του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι κυριότεροι παράγοντες.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις των μονάδων αφαλάτωσης σχετίζονται κύρια με τη ικανότητα παραγωγής νερού του συστήματος. Οι περισσότερες μονάδες εμφανίζουν διακυμάνσεις στη παραγωγή νερό, ενώ λίγες είναι αυτές που λειτουργούν σε πλήρη ισχύ καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, τροφοδοτώντας με πόσιμο νερό το δίκτυο ύδρευσης. Οι διακυμάνσεις στη παραγωγή νερού, προκαλούν αντίστοιχες αυξομειώσεις στη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η εποχικότητα των διακυμάνσεων παρουσιάζει ελάχιστο κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν η ζήτηση σε νερό είναι μειωμένη, και μέγιστο κατά τη θερινή περίοδο, όταν η απαίτηση σε νερό αυξάνεται κατακόρυφα λόγω των αναγκών τόσο των μόνιμων κατοίκων των περιοχών, όσο και των τουριστών, μεγιστοποιώντας την απαίτηση σε νερό, κατά τη διάρκεια μιας σύντομης χρονικής περιόδου. Ανάλογη, είναι και η διακύμανση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αυξάνεται σημαντικά σε περιόδους αιχμής, επιβαρύνοντας περαιτέρω το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, και κυρίως το μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό δίκτυο, το οποίο ήδη λειτουργεί οριακά.

Επίσης, το είδος του νερού τροφοδοσίας που επεξεργάζεται η μονάδα αφαλάτωσης, επηρεάζει σημαντικά τη κατανάλωση ενέργειας. Οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονται για θαλασσίνο νερό τροφοδοσίας, καθώς το σύστημα αντλιών λειτουργεί σε υψηλότερες πιέσεις ώστε να επιτευχθεί ο διαχωρισμός των αλάτων και η παραγωγή



πόσιμο νερού. Η συντήρηση του συστήματος και ο βαθμός απόδοσης των μεμβρανών αποτελούν επίσης παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη κατανάλωση ενέργειας.

Ο συντελεστής εκπομπών σχετίζεται αποκλειστικά με το σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Το ελληνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής διαχωρίζεται στο διασυνδεδεμένο ηπειρωτικό δίκτυο, το οποίο τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια την ηπειρωτική χώρα, τα Επτάνησα και μικρό αριθμό νήσων του Αιγαίου Πελάγους και χρησιμοποιεί κύρια ως καύσιμο το λιγνίτη, και στο μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό δίκτυο, το οποίο καλύπτει τα νησιά του Αιγαίου Πελάγους χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το πετρέλαιο και μαζούτ για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι προφανές ότι ο συντελεστής εκπομπών εξαρτάται άμεσα από το τύπο καυσίμου που χρησιμοποιούν οι σταθμοί παραγωγής, αλλά και από το βαθμό απόδοσης αυτών. Συνολικά, η μέση απόδοση των σταθμών του ηπειρωτικού και νησιωτικού δικτύου είναι ίση. Το είδος του καυσίμου κυριαρχεί στο προσδιορισμό της τιμής του συντελεστή εκπομπών, χωρίς ωστόσο να θεωρείται αμελητέα η συμβολή της απόδοσης των σταθμών. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η μέση τιμή του συντελεστή για το ηπειρωτικό δίκτυο (λιγνίτης) είναι 1,05 t CO<sub>2</sub>/MWh, ενώ για το νησιωτικό δίκτυο είναι 0,63 CO<sub>2</sub>/MWh. Η διαφοροποίηση του νησιωτικού δικτύου ως προς το τύπο καυσίμων που χρησιμοποιούν οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, πετρέλαιο και μαζούτ, παρείχε τη δυνατότητα ποιοτικού χαρακτηρισμού των καυσίμων, ταξινομώντας το μαζούτ ως αυτό με το χαμηλότερο συντελεστή εκπομπών έναντι του πετρελαίου.

Όσον αφορά το αποτύπωμα άνθρακα, οι μονάδες αφαλάτωσης της Σύρου και Τήνου παρουσίασαν το μεγαλύτερο, αποτελώντας το 52% και 28% του συνόλου αντίστοιχα. Η μονάδα αφαλάτωσης της Σύρου, η οποία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη λειτουργική παραγωγικότητα από όλες, απαιτεί και αντίστοιχα μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες αφαλάτωσης της Τήνου και συγκεκριμένα Τήνος 2 και 3, εμφανίζουν υψηλότερο αποτύπωμα άνθρακα, σε σχέση με άλλες μονάδες αφαλάτωσης των οποίων η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγαλύτερη, εξαιτίας του αυξημένου συντελεστή εκπομπών.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι καμία από τις μονάδες αφαλάτωσης της έρευνας δεν συνδυάζεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα ελληνικά νησιά βρίθουν πηγών ανανεώσιμης ενέργειας, με κυριότερες την ηλιακή και αιολική. Το σύστημα αφαλάτωσης της αντίστροφης όσμωσης παρουσιάζει πλήθος επιλογών συνδυασμού με

ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η αξιοποίηση των υβριδικών συστημάτων, συνδυασμός τεχνολογίας αφαλάτωσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αποτελεί ουσιαστική λύση για τα απομονωμένα από την ηπειρωτική χώρα ελληνικά νησιά, καθώς θα παρείχαν τη δυνατότητα ανεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας ή ακόμα και μηδενίζοντας το αποτύπωμα άνθρακα. Επίσης, θα καθιστούσε τις μονάδες αφαλάτωσης ενεργειακά αυτόνομες, θα εξαλείφονταν φαινόμενα αυξομειώσεων ή διακοπών στη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας θέτοντας εκτός λειτουργίας τις μονάδες αφαλάτωσης.

Αναφορικά με το συντελεστή εκπομπών, ως εκ των κυριότερων παραγόντων που καθορίζουν τη τιμή του αποτυπώματος άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης, αξιόλογες προσπάθειες έχουν οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στη μείωση της τιμής του. Ωστόσο, κυρίαρχο καύσιμο του ελληνικού τομέα παραγωγής ενέργειας παραμένει ο λιγνίτης, για λόγους εθνικού συμφέροντος, διατηρώντας σε υψηλή επίπεδα τη τιμή του συντελεστή εκπομπών. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων χαμηλότερου συντελεστή εκπομπών, η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με έργα μεγάλης κλίμακας, η ουσιαστική συμβολή της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας (όχι μόνο σε περιόδους αιχμής), ο εκσυγχρονισμός ή μετασχηματισμός των υφιστάμενων σταθμών με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας τους, αποτελούν λύσεις για το περιορισμό του συντελεστή εκπομπών, χωρίς να μειωθεί η παραγωγή ενέργειας βάσει του λιγνίτη, αλλά να καλυφθεί με αυτούς τους τρόπους η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι το αποτύπωμα άνθρακα είναι ανεξάρτητο από τη ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει μια μονάδα αφαλάτωσης, αλλά απόλυτα εξαρτημένο από τη πηγή από την οποία προέρχεται η ενέργεια αυτή.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

## ΕΝΤΥΠΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΩΝ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ**  
**ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Πεδίον Άρεως, 383 34 Βόλος

Τηλ. 24210/74455,74444

**Θέμα: Έρευνα σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα**

Αξιότιμες/οι κυρίες και κυριοι,

Στο πλαίσιο των ερευνητικών δραστηριοτήτων του τμήματος μας διεξάγουμε έρευνα σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα συμπεριληφθούν στη διπλωματική διατριβή του μεταπτυχιακού φοιτητή Παναγιώτη Νυδρέου-Σακουέλου με τίτλο «Μονάδες Αφαλάτωσης στην Ελλάδα: Αποτύπωμα άνθρακα» και θα σας είναι διαθέσιμα για όποια πιθανή χρήση. Παρακαλούμε ιδιαίτερα για τη διευκόλυνση της έρευνας και τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου. Για διευκρινίσεις ή αποστολή: [nydreos-@uth.gr](mailto:nydreos-@uth.gr), τηλ: 6932646322, fax: 24210 74115.

Ευχαριστούμε προκαταβολικά.

**Δρ. Λασπίδου Χρυσή** ([laspidou@uth.gr](mailto:laspidou@uth.gr))  
Επίκουρη Καθηγήτρια υπό διορισμό  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Νυδρέος – Σακουέλος Παναγιώτης** ([nydreos-@uth.gr](mailto:nydreos-@uth.gr))  
Περιβαλλοντολόγος

**A. Βασικά στοιχεία μονάδας αφαλάτωσης**

**Σε ποια περιοχή βρίσκεται η μονάδα αφαλάτωσης:**.....

**Τι έκταση καταλαμβάνει η μονάδα αφαλάτωσης (σε στρέμματα, τετραγωνικά χιλιόμετρα κ.α.):**.....

**Ποια η σημερινή κατάσταση - λειτουργικότητα της μονάδας αφαλάτωσης (βάλτε √ σε μια τις παρακάτω απαντήσεις ή γράψτε άλλη);**

Μη λειτουργική- αδρανεί   
Λειτουργεί με προβλήματα   
Πλήρως λειτουργική   
Υπό κατασκευή

**Ποιους δήμους, κοινότητες ή άλλες περιοχές εξυπηρετεί σήμερα η μονάδα αφαλάτωσης:**

	<b>Αναλυτικά:</b>
Δήμοι (σε περίπτωση που δεν καλύπτονται όλες τις περιοχές ενός δήμου, αναφερθείτε)	
Κοινότητες	
Άλλες περιοχές	

**Ποιους δήμους, κοινότητες ή άλλες περιοχές αναμένεται να εξυπηρετήσει στο μέλλον:**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ**  
**ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Πεδίον Άρεως, 383 34 Βόλος

Τηλ. 24210/74455,74444

**Β. Σύντομο ιστορικό και στοιχεία κόστους της μονάδα αφαλάτωσης**

Πότε άρχισε η κατασκευή, πότε τέθηκε σε λειτουργία ή πότε αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία η μονάδα αφαλάτωσης:

	Μήνας / Έτος
Έναρξη κατασκευής	..... / .....
Έναρξη λειτουργίας	..... / .....

Ποιος φορέας/ υπηρεσία ή επιχείρηση επέβλεψε (ή επιβλέπει) την κατασκευή: .....

Από ποιους πόρους και φορείς χρηματοδοτήθηκε η κατασκευή της μονάδα αφαλάτωσης (αναφέρετε αναλυτικά τα επιμέρους ποσοστά χρηματοδότησης και τους αντίστοιχους φορείς):

Σε ποιόν φορέα/ επιχείρηση υπάγεται η συντήρηση και λειτουργία της μονάδα αφαλάτωσης:

Ποιο το κόστος κατασκευής της μονάδα αφαλάτωσης (σε Ευρώ): .....

Ποιο το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδα αφαλάτωσης (π.χ. ανά έτος ή ανά μήνα):

**Γ. Δυναμικό και χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης**

Τι σύστημα αφαλάτωσης χρησιμοποιείται στη μονάδα και τι είδους νερού τροφοδοσίας (βάλτε √ σε μια ή περισσότερες από τις παρακάτω απαντήσεις):

Σύστημα αφαλάτωσης	Νερό τροφοδοσίας	
	Θαλασσινό νερό	Υφάλμυρο νερό
Αντίστροφη όσμωση (RO)		
Ηλεκτροδιάλυση (ED)		
Πολυβάθμια εκρηκτική εξάτμιση (MSF)		
Πολυβάθμια απόσταξη (MED)		
Συμπίεση ατμών (VC)		

Η κατάσταση του συστήματος αφαλάτωσης: Πότε αντικαταστάθηκαν για τελευταία φορά οι μεμβράνες του συστήματος; (βάλτε √ σε μια από τις παρακάτω απαντήσεις)

2010	
2009	
2008	
2007	

Άλλη ημερομηνία. Αναφέρετε ποια.....





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Πεδίον Άρεως, 383 34 Βόλος

Τηλ. 24210/74455,74444

Ποια είναι η δυναμικότητα παραγωγής της μονάδας αφαλάτωσης, (δηλαδή πόσα κυβικά μέτρα νερό παράγονται την ημέρα,  $m^3$ /ημέρα); Αν αυτό το νούμερο δεν είναι σταθερό όλη τη χρονιά, απαντήστε την επόμενη ερώτηση.

Υπάρχει εποχιακή διακύμανση της παραγωγής νερού; Αν ναι, παρακαλώ δώστε ενδεικτικά την διακύμανση ανά μήνα (για παράδειγμα, πόσο κυβικά μέτρα ανά μέρα για κάθε μήνα):

Παραγωγή νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης ( $m^3$ /μέρα)

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέ	Δεκ

Τι ποσοστό των αναγκών ύδρευσης της περιοχής καλύπτει η μονάδα αφαλάτωσης: .....

Αν υπάρχει εποχιακή διακύμανση, παρακαλώ δώστε προσεγγιστικά το ποσοστό αυτό για κάθε μήνα του χρόνου.

Ποσοστό κάλυψης υδρευτικών αναγκών της περιοχής από τη μονάδα αφαλάτωσης (%)

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέ	Δεκ

Πόσα κυβικά μέτρα άλμης παράγονται κατά τη διαδικασία αφαλάτωσης, δηλαδή ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου νερού, πόσα κυβικά μέτρα άλμης παράγονται;

Πού εκβάλλει η άλμη της μονάδας αφαλάτωσης (π.χ. θάλασσα, ποτάμι) και πώς (με διάτρυτη σωλήνα σε κάποια απόσταση από την ακτή και σε κάποιο βάθος):



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ**  
**ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Πεδίον Άρεως, 383 34 Βόλος

Τηλ. 24210/74455,74444

**Δ. Ενεργειακά χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης**

Τι πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται στη μονάδα; Μόνο συμβατικές (ΔΕΗ) ή συμπληρωματικά χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας; Αν ναι, παρακαλώ αναφέρετε αναλυτικά το ποσοστό ενέργειας που καλύπτεται από κάθε πηγή ενέργειας. Αν υπάρχει εποχιακή διακύμανση, αναφέρετε το αντίστοιχο ποσοστό για κάθε μήνα.

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
Ανεμογεννήτριες												
Φωτοβολταϊκά												
Άλλη πηγή ενέργειας. .....												

Πόση συμβατική ηλεκτρική ενέργεια (από ΔΕΗ) καταναλώνεται για την παραγωγή νερού στη μονάδα αφαλάτωσης (σε MWh ή kWh/m<sup>3</sup> νερού) κατά τη διάρκεια ενός έτους;

Περίοδος Κατανάλωσης (δώστε χρονικό διάστημα)	MWh ή kWh/m <sup>3</sup>
Από _____ έως _____	
Από _____ έως _____	
Από _____ έως _____	
Από _____ έως _____	
Από _____ έως _____	
Από _____ έως _____	



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ**  
**ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Πεδίον Άρεως, 383 34 Βόλος

Τηλ. 24210/74455,74444

Αξιότιμη/ε κ. ....,

Στο πλαίσιο των ερευνητικών δραστηριοτήτων του τμήματός μας διεξάγουμε έρευνα σχετικά με το αποτύπωμα άνθρακα των μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα συμπεριληφθούν στη διπλωματική διατριβή του μεταπτυχιακού φοιτητή Παναγιώτη Νυδρέου-Σακουέλου με τίτλο «Μονάδες Αφαλάτωσης στην Ελλάδα: Αποτύπωμα άνθρακα» και θα σας είναι διαθέσιμα για όποια πιθανή χρήση. Παρακαλούμε ιδιαίτερα για τη διευκόλυνση της έρευνας και την παροχή στοιχείων για τον καθορισμό του παράγοντα εκπομπών CO<sub>2</sub> του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα στοιχεία που θα θέλαμε είναι τα παρακάτω:

Πρέπει να καθορίσουμε το συντελεστή εκπομπής CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/kWh) για **κάθε** σταθμό παραγωγής (όχι απλά ένα νούμερο για όλους τους σταθμούς της Ελλάδας) για να διεξάγουμε πιο αναλυτικούς υπολογισμούς. Έχουμε βρει διάσπαρτα στοιχεία στο διαδίκτυο, αλλά θα θέλαμε έγκυρες, πρόσφατες και ολοκληρωμένες πληροφορίες από εσάς για να ολοκληρώσουμε την έρευνά μας. Παρακαλούμε να συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα για όλους τους σταθμούς παραγωγής της χώρας μας. Για διευκρινίσεις ή αποστολή: [nydreos-@uth.gr](mailto:nydreos-@uth.gr), τηλ: 6932646322, fax: 24210 74115.

Ευχαριστούμε προκαταβολικά.

**Δρ. Λασπίδου Χρυσή** (laspidou@uth.gr)  
Επίκουρη Καθηγήτρια υπό διορισμό  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**Νυδρέος – Σακουέλος Παναγιώτης** (nydreos-@uth.gr)  
Περιβαλλοντολόγος

Όνομα Σταθμού Παραγωγής	Ισχύς Σταθμού	Έτος κατασκευής	Είδος καυσίμου	Συντελεστής εκπομπών CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /kWh)







**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Ackermann, T., and Soder, L., (2002). An overview of wind energy-status 2002. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 (1-2): 67–127.
- Ahmed, M., Shayya, W.H., and Hoey, D., (2000). Use of Evaporation Ponds for Brine Disposal in Desalination Plants. *Desalination*, 130:155-168.
- Ali, E., Alhumaizi, K., and Ajbar, A., (1999). Model reduction and robust control of multi-stage flash (MSF) desalination plants. *Desalination*, 121: 65.
- Al-Shammri, M., and Safar, M., (1999). Muti-effect distillation plants: state of art. *Desalination*, 126: 45-59.
- Aly, N.H., and Marwan, M.A., (1995). Dynamic behavior of MSF desalination plants. *Desalination*, 101: 287.
- Australian Sustainable Industry Research Centre Ltd, (2005). *Overview of Treatment Processes for the Production of Fit for Purpose Water: Desalination and Membrane Technologies*, Report No.: R05-2207, 25 July 2005. Available: [http://www.ourwater.vic.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0003/5853/Overview Treatment Process Water Desalination.pdf](http://www.ourwater.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0003/5853/Overview_Treatment_Process_Water_Desalination.pdf). [Accessed July 2010]
- Avlonitis, S.A., Kouroumbas, K., and Vlachakis, N., (2003). Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants. *Desalination* 157: 151-158.
- Blasing, T.J., (2010). *Recent Greenhouse Gas Concentrations*. Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). Available: [http://cdiac.ornl.gov/pns/current\\_ghg.html](http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html)
- BP, (2007). ‘*What is a Carbon Footprint?*’. Available: [http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/STAGING/global\\_assets/downloads/A/ABP\\_ADV\\_what\\_on\\_earth\\_is\\_a\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/downloads/A/ABP_ADV_what_on_earth_is_a_carbon_footprint.pdf). [Accessed August 2010]
- Buros, O.K., (2000). *The ABCs of desalting, 2<sup>nd</sup> Edition*. Topsfield, MA: International Cline, W.R., (1992). *The Economics of Global Warming*. Institute for International Economics, United States of America. ISBN 0-88132-132-X. Desalination Association. Available: <http://www.idadesal.org/pdf/ABCs1.pdf>. [Accessed June 2010]
- Delyannis, E., (2003). Historic background of desalination and renewable energies. *Solar Energy*, 75: 357–366.
- Dimitroulopoulou, C., Plemmenos, V., Ziomas, I., (2000a). Greenhouse gas emission projections (GR - EEA CSI 011). National Centre for Environment and Sustainable

Development. Available: <http://www.ekpa.greekregistry.eu/images/stories/indicators/ClimateChange/Outlook/GR-EEA%20CSI%20011.pdf>. [September 2010]

Dimitroulopoulou, C., Plemmenos, V., Ziomas, I., (2000b). Greenhouse gas emission trends (GR - EEA CSI 010). National Centre for Environment and Sustainable Development. Available: <http://www.ekpa.greekregistry.eu/images/stories/indicators/ClimateChange/Pressures/GR-EEA%20CSI%20010.pdf>. [September 2010]

Einav, R., Harussi, K., and Perry, D. (2002). The footprint of the desalination processes on the environment. *Desalination*, 152: 141–154.

Eltawil, M.A., Zhengming, Z., and Yuan, L., (2009). A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 2245–2262.

Engelman, R., Cincotta, R.P., Dye, B., Gardner-Outlaw, T., Wisniewski, J., (2000). *People in the Balance: Population and Natural Resources at the Turn of the Millennium*. Population Action International, Washington, D.C. Available: [http://216.146.209.72/Publications/Reports/People in the Balance/Interactive/people in the balance/downloads/people balance.pdf](http://216.146.209.72/Publications/Reports/People%20in%20the%20Balance/Interactive/people%20in%20the%20balance/downloads/people_balance.pdf). [Accessed June 2010]

Environmental Protection Agency, (2002). *2002 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*, United States. Available: <http://www.epa.gov/waterscience/drinking/standards/dwstandards.pdf>. [Accessed May 2010].

Environmental Protection Agency, (2010a). *Climate Change Science Facts*. Available: [http://www.epa.gov/climatechange/downloads/Climate Change Science Facts.pdf](http://www.epa.gov/climatechange/downloads/Climate%20Change%20Science%20Facts.pdf). [Accessed September 2010]

Environmental Protection Agency, (2010b). *Climate Change Indicators*. United States U.S. Available: [http://www.epa.gov/climatechange/indicators/pdfs/ClimateIndicators full.pdf](http://www.epa.gov/climatechange/indicators/pdfs/ClimateIndicators_full.pdf). [Accessed September 2010]

Environmental Technologies Action Plan, (2007). *The Carbon Trust Helps UK Businesses Reduce their Environmental Impact*. Press Release. Available: [http://ec.europa.eu/environment/etap/pdfs/jan07\\_carbon\\_trust\\_initiative.pdf](http://ec.europa.eu/environment/etap/pdfs/jan07_carbon_trust_initiative.pdf). [Accessed August 2010]

European Commission, (2007). *CARBON FOOTPRINT - what it is and how to measure it*. European Platform on Life Cycle Assessment, European Commission – Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Available: [http://lca.jrc.ec.europa.eu/Carbon footprint.pdf](http://lca.jrc.ec.europa.eu/Carbon_footprint.pdf). [Accessed August 2010]

Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., and Melin T., (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, 216: 1–76.

Fuglestad, J.S., Berntsen, T.K., Godal, O., Sausen, S., Shine, K.P., and Skodvin, T., (2003). Metrics of Climate Change: Assessing Radiative Forcing and Emission Indices. *Climatic Change*, 58: 267–331.

Garcia-Rodriguez, L., (2002). Seawater desalination driven by renewable energies: a review. *Desalination*, 143: 103–113.

Garcia-Rodriguez, L., (2003). Renewable energy applications in desalination: state of the art. *Solar Energy*, 75: 381–393.

García-Rodríguez, L., Romero-Tertero, V., and Gómez-Camacho, C., (2001). Economic analysis of wind-powered desalination. *Desalination*, 137: 259–265.

Georgakellos, D.A., (2010). Impact of a possible environmental externalities internalisation on energy prices: The case of the greenhouse gases from the Greek electricity sector. *Energy Economics*, 32: 202–209.

Gikas, P., and Angelakis, A.N., (2009). Water resources management in Crete and in the Aegean Islands, with emphasis on the utilization of non-conventional water sources. *Desalination*, 248: 1049–1064.

Gleick, P.H., (1993). *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*, Oxford University Press, New York.

Global Footprint Network, (2007). *Ecological Footprint Glossary*. Global Footprint Network, Oakland, CA, USA. Available: [http://www.footprintnetwork.org/gfn\\_sub.php?content=glossary](http://www.footprintnetwork.org/gfn_sub.php?content=glossary). [Accessed August 2010]

He, T.X., and Yan, L.J., (2009). Application of alternative energy integration technology in seawater desalination. *Desalination*, 249: 104–108.

Hoepner, T., and Lattemann, S., (2002). Chemical Impacts from Seawater Desalination Plants-A Case Study of the Northern Red Sea. *Desalination*, 152: 133-140.

Hopner, T. and Windelberg, J., (1996). Elements of environmental impact studies on the coastal desalination plants. *Desalination*, 108: 11–18.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, 4<sup>th</sup> Assessment Report (AR4)*. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Available: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg1\\_report\\_the\\_physical\\_science\\_basis.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm). [Accessed September 2010]

International Energy Agency, (2009). *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, Highlights, Edition 2009*. Organization for Economic Co-Operation and Development

(OECD), Paris, France. Available: [www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf](http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf). [Accessed September 2010]

Kalogirou, S., (1998). Use of parabolic trough solar energy collectors for sea-water desalination. *Applied Energy*, 60 (2): 65-88.

Kalogirou, S.A., (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31: 242–281.

Kalogirou, S.A., (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31: 242–281.

Khawaji, A.D., Kutubkhanah I.K., and Wie, J.M., (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221: 47–69.

Khawajia, A.D., Kutubkhanaha, I.K., and Wieb, J.M., (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221: 47–69.

Laspidou, C., Hadjibrias, K. and Gialis, S. (2010). Minimizing the Environmental Impact of Sea Brine Disposal by Coupling Desalination Plants with Solar Saltworks: A Case Study for Greece. *Water*, 2: 75-84.

Lattemann, S., and Höpner, T., (2008). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. *Desalination*, 220: 1–15.

Malla, S., (2009). CO<sub>2</sub> emissions from electricity generation in seven Asia-Pacific and North American countries: A decomposition analysis. *Energy Policy*, 37: 1–9.

Mandani, F., Ettouney, H., and El-Dessouky, H., (2000). LiBr-H<sub>2</sub>O absorption heat pump for single-effect evaporation desalination process. *Desalination*, 128 (2): 161-176.

Mathioulakis, E., Belessiotis, V., and Delyannis, E., (2007). Desalination by using alternative energy: review and state-of-the-art. *Desalination*, 203 (1-3): 346-365.

Mauguin, G., and Corsin, P., (2005). Concentrate and other waste disposals from SWRO plants: characterization and reduction of their environmental impact. *Desalination*, 182: 355–364.

Meerganz von Medeazza, G.L., (2005). “Direct” and socially-induced environmental impacts of desalination. *Desalination*, 185: 57–70.

Migliorini, G., and Luzzo, E., (2004). Seawater reverse osmosis plant using the pressure exchanger for energy recovery: a calculation model. *Desalination*, 165: 289–298.

Miller, J.E., (2003). Review of Water Resources and Desalination Technologies. Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories.

Morton, A.J., Callister I.K., and Wade, N.M., (1996). Environmental impact of seawater distillation and reverse osmosis processes. *Desalination*, 108: 1-10.

Morton, A.J., Callister, I.K., and Wade, N.M., (1996). Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes. *Desalination*, 108: 1-10.

National Academy of Sciences, (2004). Review of the Desalination and Water Purification Technology Roadmap. Committee to Review the Desalination and Water Purification Technology Roadmap, National Research Council. Available from: <http://www.nap.edu/catalog/10912.html>. [Accessed April 2010]

National Research Council, (1998). *Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water*. Washington, DC: The National Academies Press. Available: <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309064163>. [Accessed May 2010]

National Research Council, (2001). *Classifying Drinking Water Contaminants for Regulatory Consideration*. Washington, DC: The National Academies Press. Available: <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309074088>. [Accessed May 2010]

National Water Research Institute (NWRI) “Desalination Research and Development Workshop Report”, National Water Research Institute and U.S. Bureau of Reclamation, Report Number NWRI-01-02, January 2001.

Ophir, A., and Lokiee, F., (2005). Advanced MED process for most economical sea water desalination. *Desalination*, 182 (1–3): 187–198.

Pacific Institute, (2009a). The World’s Water, Information the World’s Freshwater Resources, “Table 20: Global Desalination Capacity and Plants – January 1, 2005”. Available from: <http://www.worldwater.org/data20062007/Table20.pdf>. [Accessed April 2010]

Pacific Institute, (2009b). The World’s Water, Information the World’s Freshwater Resources, “Table 22: Installed Desalination Capacity by Year, Number of Plants, and Total Capacity, 1945 to 2004”. Available from: <http://www.worldwater.org/data20062007/Table22.pdf>. [Accessed April 2010]

Pacific Institute, (2009c). The World’s Water, Information the World’s Freshwater Resources, “Table 16: Desalination Capacity by Country, January 1, 1996”. Available from: <http://www.worldwater.org/data19981999/table16.html>. [Accessed April 2010]

Pantell, S. E., (1993). *Seawater Desalination in California*. California Coastal Commission. October 1993.

Papanicolaou, C., Kotis, T., Foscolos, A., Goodarzi F., (2004). Coals of Greece: a review of properties, uses and future perspectives. *International Journal of Coal Geology*, 58: 147– 169.



- Parliamentary Office of Science and Technology, (2006). *Carbon footprint of electricity generation*. POSTnote 268, October 2006, , London, UK. Available: <http://www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf>. [Accessed August 2010]
- Quadrelli, R., and Peterson, S., (2007). The energy-climate challenge: Recent trends in CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. *Energy Policy*, 35: 5938–5952.
- Sadhvani, J.J., Veza, J.M., and Santana, C., (2005). Case studies on environmental impact of seawater desalination. *Desalination*, 185: 1–8.
- Satyen, K.D., (1998). Recent developments in high efficiency photovoltaic cells. *Renewable Energy*, 15: 467–472.
- Sommariva, C., Borsani, R., Butt, M.I., Sultan, A.H., (1997). Reduction of power requirements for MSF desalination plants: The example of Al Taweelah B. *Desalination*, 108: 37.
- Time for Change, (2010a). *CO<sub>2</sub> the major cause of global warming*. Available: <http://timeforchange.org/CO2-cause-of-global-warming>. [September 2010]
- Time for Change, (2010b). *Cause and effect for global warming*. Available: <http://timeforchange.org/cause-and-effect-for-global-warming>. [September 2010]
- Tsiourtis, N.X., (2001). Desalination and the environment. *Desalination*, 141: 223-236.
- Tzen, E. and Morris, R., (2003). Renewable energy sources for desalination. *Solar Energy*, 75: 375–379.
- United States Bureau of Reclamation, (2003). *Desalting Handbook for Planners, 3<sup>rd</sup> Edition*. Desalination and Water Purification Research and Development Report #72. Denver, CO: United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Water Treatment Engineering and Research Group.
- Voivontas, D., Yannopoulos, K., Rados, K., Zervos, A., Assimacopoulos, D., (1999). Market potential of renewable energy powered desalination systems in Greece. *Desalination*, 121 (2):159–172.
- Voutchkov, N.S., (2008). *Planning for Carbon-Neutral Desalination in Carlsbad, California*. Environmental Engineer: Applied Research and Practice, (6): 1-11, Summer 2008. American Academy of Environmental Engineers. Available: <http://www.aeee.net/Downloads/EEJournalV06P2.pdf>. [Accessed August 2010]
- Wackernagel, M. and Rees, W.E. (1996). *Our Ecological Footprint - Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers Gabriola Island, B.C., Canada. Available: [http://www.google.com/books?hl=el&lr=&id=N\\_ujKDfXq8C&oi=fnd&pg=PR9&dq=Wackernagel,+M.+and+Rees,+W.E.+\(1996\).+Our+Ecological+footprint+](http://www.google.com/books?hl=el&lr=&id=N_ujKDfXq8C&oi=fnd&pg=PR9&dq=Wackernagel,+M.+and+Rees,+W.E.+(1996).+Our+Ecological+footprint+)

[-reducing+human+impact+on+the+earth&ots=3zX77yktvU&sig=7e1DNNNzxQGp4CqUu9X58HUnYhA#](#). [Accessed August 2010]

Wiedmann, T., and Minx, J., (2007). *A Definition of 'Carbon Footprint'*. Centre for Sustainability Accounting (CenSA). Individual Savings Accounts (ISA<sup>UK</sup>) Research Report 07-01, ISA<sup>UK</sup> Research & Consulting, United Kingdom. Available: [http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK\\_Report\\_07-01\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf). [Accessed August 2010]

Withers, A., (2005). Options for recarbonation, remineralisation and disinfection for desalination plants. *Desalination*, 179: 11–24.

World Health Organization, (1984). *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 1<sup>st</sup> Edition. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

World Water Assessment Program, (2003). *Water for people water for life, executive summary*. World water development report. The United Nation. Available: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>. [Accessed June 2010]

Younos, T., (2005). The Economics of Desalination, *Journal of Contemporary Water Research & Education*, University Council on Water Resources, 132: 39 – 45.

Younos, T., (2008). Environmental Issues of Desalination. Universities Council on Water Resources, December 2005. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 132: 11-18.

Αλεξιάκης, Α., (1993). *Αφαλάτωση*. Αθήνα: Εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη, ISBN 960-7012-36-4.

Αυλωνίτης, Σ.Α., (2006). *Εισαγωγή στην Τεχνολογία Νερού και Αφαλάτωσης*. Αθήνα: Εκδόσεις Ιων.

Βικιπαίδεια, (2010a). *Πάρος*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%AC%CF%81%CE%BF%CF%82>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]

Βικιπαίδεια, (2010b). *Τήνος*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%AE%CE%BD%CE%BF%CF%82>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]

Βικιπαίδεια, (2010c). *Σύρος*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%8D%CF%81%CE%BF%CF%82>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]

Βικιπαίδεια, (2010e). *Ιθάκη*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CE%B8%CE%AC%CE%BA%CE%B7>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]

- Βικιπαίδεια, (2010f). *Νίσυρος*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%AF%CF%83%CF%85%CF%81%CE%BF%CF%82>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]
- Βικιπαίδεια, (2010g). *Μύκονος*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CF%8D%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CF%82>. [Πρόσβαση Αύγουστος 2010]
- Βικιπαίδεια, (2010h). *Κέρκυρα*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%AD%CF%81%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%B1>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]
- Βικιπαίδεια, (2010i). *Τος*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%8A%CE%BF%CF%82>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]
- Βικιπαίδεια, (2010j). *Σαντορίνη*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]
- Βικιπαίδεια, (2010k). *Δήμος Αγίου Γεωργίου Κέρκυρας*. Διαθέσιμο: [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82\\_%CE%91%CE%B3%CE%AF%CE%BF%CF%85\\_%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%BF%CF%85\\_%CE%9A%CE%B5%CF%81%CE%BA%CF%8D%CF%81%CE%B1%CF%82](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CE%91%CE%B3%CE%AF%CE%BF%CF%85_%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%BF%CF%85_%CE%9A%CE%B5%CF%81%CE%BA%CF%8D%CF%81%CE%B1%CF%82). [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]
- Βικιπαίδεια, (2010l). *Κρήτη*. Διαθέσιμο: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%81%CE%AE%CF%84%CE%B7>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]
- Βικιπαίδεια, (2010m). *Κρήτη*. Διαθέσιμο: [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CF%82\\_%CE%97%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%AF%CE%BF%CF%85](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%97%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%AF%CE%BF%CF%85). [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]
- Δαγκαλίδης, Α., (2009). Κλαδική Μελέτη 12, *Αφαλάτωση Νερού*, Μονάδα Οικονομικής Ανάλυσης και Αγορών, Τράπεζα Πειραιώς. Διαθέσιμο στο: [http://www.piraeusbank.gr/Documents/internet/Economic Research/Kladikes Meletes/2010/afalatosi\\_nerou.pdf](http://www.piraeusbank.gr/Documents/internet/Economic%20Research/Kladikes%20Meletes/2010/afalatosi_nerou.pdf). [Πρόσβαση Μάιος 2010]
- Δεληγιάνη, Ε. και Μπελεσιώτη, Β., (1995). *Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης, Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης*. ΕΚΕΦΕ, Δημόκριτος, Αθήνα.
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, (2009α). *Περιβάλλον, ο κόσμος μας!, Η ΔΕΗ στο δρόμο της Βιώσιμης Ανάπτυξης*, Περιβαλλοντική Έκθεση, Αθήνα 2009. Διαθέσιμο: [http://www.dei.com.gr/Documents/PERIV.gr.oct\\_09.pdf](http://www.dei.com.gr/Documents/PERIV.gr.oct_09.pdf). [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, (2009b). *Μεταφορά*, Δεκέμβριος 2009. Διαθέσιμο: <http://www.dei.com.gr/Images/DEH%20METAFORA.pdf>. [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, 2010. Επίσημη ιστοσελίδα. Διαθέσιμο: [www.dei.gr](http://www.dei.gr). [Πρόσβαση Αύγουστος 2010]

Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, (2009). *Μελέτη Περίπτωσης: Οι υδατικοί πόροι και η διαχείριση του νερού στην Ελλάδα – Πρόβλημα*. Διαθέσιμο: <http://www.dipe.gr/pdf/thop2009/diaxeirisi-nerou-ellada.pdf>. [Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2010]

Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, (2010). *Συνολικά στοιχεία για την Ελλάδα*. Διαθέσιμο: <http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/el/applications/greece.html>. [Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2010]

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, 2010α. *Υπολογιζόμενος μόνιμος πληθυσμός στην Ελλάδα στην αρχή των ετών 1991-2008 κατά φύλο σε επίπεδο νομού*. Διαθέσιμο: [http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ver-1/ESYE/BUCKET/A1602/Other/A1602\\_SPO18\\_TS\\_AN\\_00\\_1991\\_00\\_2008\\_06\\_F\\_GR.pdf](http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ver-1/ESYE/BUCKET/A1602/Other/A1602_SPO18_TS_AN_00_1991_00_2008_06_F_GR.pdf) [Πρόσβαση Αύγουστος 2010]

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, 2010b. *Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά γεωγραφική περιοχή, περιφέρεια και διαμέρισμα και ανά κατηγορία χρήσης: 1993-2007*. Αθήνα, Ελλάδα. Διαθέσιμο: [www.statistics.gr](http://www.statistics.gr) [Πρόσβαση Αύγουστος 2010]

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Της Ελλάδος, (2008). *Στατιστική Επετηρίδα της Ελλάδος 2008*. Πειραιάς 2009, ISSN 0081-5071. Διαθέσιμο: [http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1602/Other/GRESYE\\_01\\_0002\\_00060.pdf](http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1602/Other/GRESYE_01_0002_00060.pdf). [Πρόσβαση Ιούλιος 2010]

Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης, (2008). *Ελλάδα: Έκθεση Κατάστασης Περιβάλλοντος 2008*. Διαθέσιμο: [http://www.ekpaa.greekregistry.eu/images/stories/EKTHESI\\_2008.pdf](http://www.ekpaa.greekregistry.eu/images/stories/EKTHESI_2008.pdf). [Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2010]

Καβουρίδης, Κ.Β., Χαλούλος, Κ., Λεοντίδης, Μ., Ρούμπος, Χ., (2005a). *Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια: Σημερινή κατάσταση-Προοπτικές*. Δημερίδα “Λιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας”. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ), Αθήνα, 9-10 Ιουνίου, 2005. Διαθέσιμο: [http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069\\_contents.htm](http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069_contents.htm) και [http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069\\_kavouridis\\_a.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069_kavouridis_a.pdf). [Πρόσβαση Ιούνιος 2010]

Καβουρίδης, Κ.Β., Χαλούλος, Κ., Λεοντίδης, Μ., Ρούμπος, Χ., (2005b). *Η εκμετάλλευση του λιγνίτη στην Ελλάδα με οικονομικά και περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια*. Δημερίδα “Λιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας”. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ), Αθήνα, 9-10 Ιουνίου, 2005. Διαθέσιμο: [http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069\\_contents.htm](http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069_contents.htm) και [http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069\\_kavouridis\\_b.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069_kavouridis_b.pdf). [Πρόσβαση Αύγουστος 2010]

- Κασάπη, Κ.Α., (2009). *Τεχνικές Αφαιλάτωσης με τη Χρήση ΑΠΕ – Εφαρμογή στη Ρόδο*. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμημάτων Βιολογίας, Γεωλογίας, Πολιτικών Μηχανικών. Οικολογική Ποιότητα και Διαχείριση Υδάτων σε Επίπεδο Λεκάνης Απορροής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993α). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος ΙΒ (10): 159. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993β). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος ΙΕ (2): 17. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993c). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος ΙΔ (18): 283. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993ε). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος Ζ (15): 232. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993f). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος ΙΑ (8): 118. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993h). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος Η (13): 194. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993i). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος Ζ (18): 273. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993j). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*, τόμος Ζ (10): 151. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), (1993k). *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος Θ (6): 95. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κολοβός, Χ., (επ), 1993g. *Εγκυκλοπαίδεια ΥΔΡΟΓΕΙΟΣ*. Τόμος Ι (22): 337. Αθήνα: Εκδόσεις Δομική.
- Κούγκολος Α., (2007). *Εισαγωγή στη Περιβαλλοντική Μηχανική*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Μακράκης, Β. (1997). *Ανάλυση Δεδομένων στην Επιστημονική Έρευνα με τη χρήση του SPSS - Από τη θεωρία στην πράξη*, Αθήνα: Εκδόσεις Gutenberg.
- Μανωλάκος, Δ., (2009). *Συστήματα Αφαιλάτωσης στο Νησιωτικό χώρο*, Παρουσίαση 3 Μαρτίου 2009, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Διαθέσιμο στο: <http://www.dafni.net.gr/gr/archives/files/051008/manolakos.pdf>. [Πρόσβαση Μάιος 2010]



Μοχάμεντ, Ε.Σ., (2009). *Διερεύνηση Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για Αφαλάτωση Θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση*. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Σπύρου, Ι.Δ., (2009). *Ανάπτυξη αλγορίθμων για προσομοίωση και βέλτιστο σχεδιασμό αυτονόμου συστήματος αφαλάτωσης τροφοδοτούμενο από υβριδικό σύστημα Α.Π.Ε. με Αντλησιοταμίευση*. Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Σταθακόπουλος, Β. (2005). *Μέθοδοι έρευνας αγοράς*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.

Υπουργείο Ανάπτυξης, (2003). *Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Χώρας*. Εκπόνηση: Υπουργείο Ανάπτυξης (ΥΠΑΝ), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών (ΚΕΠΕ). Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού και Φυσικών Πόρων, Ιανουάριος 2003, Αθήνα. Διαθέσιμο: [http://www.ypan.gr/fysikoi\\_poroi/master\\_plan.htm](http://www.ypan.gr/fysikoi_poroi/master_plan.htm). [Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2010]

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, (2008). *Τεχνική Υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων για την «Κατάρτιση του Μεσοχρόνιου Προγράμματος Προστασίας και Διαχείρισης του Υδατικού Δυναμικού της Χώρας»*. Εκπόνηση: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) – Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Δ. Κουτσογιάννης (επιστημονικός υπεύθυνος), Α. Ανδρεαδάκης (κύριος ερευνητής). Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, Φεβρουάριος 2008, Αθήνα. Διαθέσιμο: <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/782/> [Πρόσβαση Σεπτέμβριος 2010]



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000104103

