

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ
ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.**

Κων/νος Π. Ζώταλης

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Δίπλωμα Ειδίκευσης
του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

Αθήνα, Ιούνιος 2012

Επιβλέπων: Λέκτορας Ν. Μαμάσης

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Επίκουρος Καθηγητής Δ. Δαμίγος
Επίκουρος Καθηγητής Δ. Μαμάης



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ
ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ.
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

Κων/νος Π. Ζώταλης

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων
για το Διεπιστημονικό - Διατμηματικό
Δίπλωμα Ειδίκευσης
του Δ.Π.Μ.Σ. του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
"Περιβάλλον και Ανάπτυξη"

Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη

Αθήνα, Ιούνιος 2012

Επιβλέπων: Λέκτορας Ν. Μαμάσης

Επιτροπή Παρακολούθησης:

Επίκουρος Καθηγητής Δ. Δαμίγος
Επίκουρος Καθηγητής Δ. Μαμάης

« ὅτι δ' ἐστὶν ἐν μίξει τινὸς τὸ ἀλμυρὸν, δῆλον οὐ μόνον ἐκ τῶν εἰρημένων, ἀλλὰ καὶ ἐάν τις ἀγγεῖον πλάσας θῆ κήρινον εἰς τὴν θάλατταν, περιδήσας τὸ στόμα τοιούτοις ὥστε μὴ παρεγγεῖσθαι τῆς θαλάττης· τὸ γὰρ εἰσιὸν διὰ τῶν τοίχων τῶν κηρίνων γίνεταί ποτίμον ὕδωρ· ὥσπερ γὰρ δι' ἠθμοῦ τὸ γεῶδες ἀποκρίνεται καὶ τὸ ποιοῦν τὴν ἀλμυρότητα διὰ τὴν σύμμειξιν.»

«...στι δε το αλμυρό νερό γίνεται (υπάρχει) από την ανάμειξη με κάτι άλλο είναι φανερό όχι μόνον απο ὅσα ειπώθηκαν, ἀλλά και από το αν κάποιος, αφού φτιάξει (πλάσσει) αγγείο κέρινο (απο κερι), το βάλει στη θάλασσα, ενώ έχει δέσει ολόγυρα το στόμό του με τέτοιο τρόπο, ὡστε να μη χύνεται μέσα το θαλασσινό νερό· αυτό (το νερό), λοιπόν που μπαίνει μέσα από τα κέρινα τοιχώματα του αγγείου, γίνεται πόσιμο (νερό), ὅπως δηλαδή αποχωρίζονται οι χωματώδεις ουσίες (από το νερό) με διήθηση (φίλτρο), ἔτσι και αυτό που κάνει το νερό αλμυρό είναι η ανάμειξη (με αυτό το κάτι άλλο)...»

Αριστοτέλης
(384 π.Χ - 322 π.Χ)
Μετεωρολογικά, Βιβλίο Β´

(ελεύθερη μετάφραση)

Περίληψη

Η λειψυδρία αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα αρκετών περιοχών του πλανήτη με μελλοντικές τάσεις επιδείνωσης. Στον Ελλαδικό χώρο έλλειψη νερού παρατηρείται κατά κύριο λόγο στα «άνυδρα» νησιά του Αιγαίου, περισσότερο κατά τη διάρκεια των ξηρών καλοκαιρινών μηνών, πρόβλημα το οποίο καλύπτεται κυρίως με τη μεταφορά νερού, η οποία ωστόσο κοστίζει αρκετά. Ενδεχόμενη λύση στην πρόβλημα αυτό, θα μπορούσε να είναι η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στις περιοχές αυτές.

Σκοπό της διπλωματικής εργασίας αυτής αποτελεί η αποτίμηση των διάφορων τεχνολογιών αφαλάτωσης με έμφαση στην ενεργειακή κατανάλωση και το κόστος παραγόμενου νερού. Για την επίτευξη του στόχου αυτού συγκρίνονται μεταξύ τους οι κυριότερες διεργασίες αφαλάτωσης βάσει παραμέτρων όπως οι απαιτήσεις χώρου, η ποιότητα του τροφοδοτούμενου και του παραγόμενου νερού, η δυναμικότητα παραγωγής, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ο τύπος της διαθέσιμης ενέργειας, η καταναλισκόμενη ενέργεια και το κόστος ανά μονάδα παραγόμενου ύδατος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις δύο τελευταίες παραμέτρους, για την εξέταση των οποίων συλλέγεται ένας σημαντικός αριθμός δεδομένων ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης και ειδικού κόστους παραγωγής νερού, των κυριότερων συστημάτων αφαλάτωσης, από τη σχετική βιβλιογραφία. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται ώστε να εντοπιστούν οι σημαντικότερες τάσεις που παρουσιάζουν και να εκτιμηθεί η επίδραση που έχουν, παράμετροι όπως η διεργασία αφαλάτωσης, η δυναμικότητα του συστήματος, η αλατότητα του προς αφαλάτωση και του παραγόμενου νερού και η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας, τόσο στην ενεργειακή κατανάλωση όσο και στο κόστος ενός συστήματος αφαλάτωσης. Με αυτό τον τρόπο επιδιώκεται να αποκτηθεί μια πληρέστερη και συνολικότερη εικόνα για τις δυνατότητες εγκατάστασης τέτοιων μονάδων, τόσο σε περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας, όπως τα «άνυδρα» ελληνικά νησιά, όσο και σε περιοχές που θα μπορούσαν μελλοντικά να παρουσιάσουν προβλήματα υδατικής ανεπάρκειας, όπως τα μεγάλα αστικά κέντρα.

Από το σύνολο των εξεταζόμενων δεδομένων συμπεραίνεται ότι η αφαλάτωση θαλασσινού νερού, εν γένει, μπορεί να επιλύσει με βιώσιμο τρόπο το πρόβλημα της έλλειψης νερού των υπό εξέταση περιοχών, παρέχοντας νερό μέσου κόστους $4,5 \$/\text{m}^3$, καταναλώνοντας κατά μέσο όρο ενέργεια $15,28 \text{ kWh}/\text{m}^3$, επιβαρύνοντας έτσι στον ελάχιστο βαθμό τα ευαίσθητα τοπικά δίκτυα ηλεκτροδότησης και το περιβάλλον, ειδικά στην περίπτωση ενεργειακής τροφοδοσίας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Η τεχνολογία της Αντίστροφης Όσμωσης επικρατεί των υπολοίπων λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους επένδυσης και της σχετικά χαμηλής ενεργειακής της κατανάλωσης ($4,55 - 8,87 \text{ kWh}/\text{m}^3$). Η μέθοδος αυτή διαθέτει επίσης περιορισμένες χωρικές απαιτήσεις και παρέχει αξιοπιστία σε όλο το εύρος της δυναμικότητας παραγωγής, παρουσιάζοντας παράλληλα μια εύκολη, σχετικά με τις άλλες μεθόδους, διαδικασία κατασκευής. Τέλος, το κόστος της διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα ($1 - 5,41 \$/\text{m}^3$), αν και είναι λίγο υψηλότερο από των υπολοίπων διεργασιών αφαλάτωσης, παραμένοντας ωστόσο χαμηλότερο από το κόστος μεταφοράς νερού ($4,91\text{€}/\text{m}^3 - 8,32\text{€}/\text{m}^3$).

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
1.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ - ΣΚΟΠΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	21
1.2 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ	22
1.3 ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	24
2. ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ Η ΛΕΙΨΥΔΡΙΑ: Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	25
2.1 ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	25
2.2 Η ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ.....	26
2.3 Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ Ο ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΛΕΙΨΥΔΡΙΑΣ.....	31
2.4 ΤΑ ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ Η ΕΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ	35
2.4.1 <i>Γενικά χαρακτηριστικά των νησιών του Αιγαίου.....</i>	<i>35</i>
2.4.2 <i>Η ενεργειακή κατάσταση των άνυδρων νησιών.....</i>	<i>37</i>
2.4.3 <i>Αιτίες του φαινομένου της λειψυδρίας</i>	<i>44</i>
2.5 Η ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΤΩΝ ΝΗΣΙΩΝ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ – ΥΠΑΡΧΟΝΤΕΣ ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ «ΑΝΥΔΡΑ ΝΗΣΙΑ» 49	
2.5.1 <i>Οι κύριοι τρόποι υδροδότησης των νησιών του Αιγαίου.....</i>	<i>49</i>
2.5.2 <i>Η ζήτηση νερού στα νησιά του Αιγαίου</i>	<i>53</i>
3. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	61
3.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	61
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	63
3.3 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	67
3.3.1 <i>Θερμικές διεργασίες</i>	<i>68</i>
3.3.2 <i>Διεργασίες Μεμβρανών</i>	<i>74</i>
3.3.3 <i>Λοιπές Διεργασίες.....</i>	<i>81</i>
3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	83
3.4.1 <i>Η περιοχή της εγκατάστασης και ο διατιθέμενος χώρος.....</i>	<i>83</i>
3.4.2 <i>Το νερό τροφοδοσίας.....</i>	<i>84</i>
3.4.3 <i>Ποιότητα παραγόμενου νερού</i>	<i>85</i>
3.4.4 <i>Δυνατότητα παραγωγής νερού.....</i>	<i>86</i>
3.4.5 <i>Ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης</i>	<i>86</i>
3.4.6 <i>Ενεργειακές πηγές αφαλάτωσης</i>	<i>87</i>
3.4.7 <i>Κόστος αφαλάτωσης</i>	<i>88</i>
3.4.8 <i>Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....</i>	<i>91</i>
3.4.9 <i>Σύνοψη της σύγκρισης των διεργασιών αφαλάτωσης</i>	<i>96</i>
3.5 ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ – ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΠΕ.....	99
3.5.1 <i>Εισαγωγή.....</i>	<i>99</i>

3.5.2	Κατάλληλοι συνδυασμοί ΑΠΕ – Αφαλάτωσης.....	99
3.5.3	Το κόστος του παραγόμενου νερού από συστήματα Αφαλάτωσης με ΑΠΕ.....	103
3.5.4	Αυτόνομα και συνδεδεμένα στο δίκτυο, συστήματα αφαλάτωσης - ΑΠΕ	104
3.5.5	Υβριδικά συστήματα	107
3.5.6	Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ	108
3.5.7	Λόγοι της μέχρι τώρα χαμηλής χρήσης/διείσδυσης των ΑΠΕ στην αφαλάτωση	109
3.6	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ	110
3.6.1	Η παγκόσμια δυναμικότητα αφαλάτωσης	110
3.6.2	Οι μεγαλύτερες μονάδες αφαλάτωσης στον κόσμο.....	114
3.6.3	Παραδείγματα συστημάτων αφαλάτωσης με ενέργεια από ΑΠΕ.....	116
3.6.4	Ερευνητικά προγράμματα για την αφαλάτωση με ΑΠΕ	125
3.6.5	Ενεργειακή και οικονομική αποτίμηση των μονάδων αφαλάτωσης που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία	126
4.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	129
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	129
4.2	Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	130
4.3	ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	139
4.4	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΣΥΛΛΕΧΘΕΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	156
5.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	159
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	159
5.2	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ... ..	159
5.3	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	163
5.3.1	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης και η επίδραση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας	163
5.3.2	Η επίδραση της δυναμικότητας στην ειδική ενεργειακή κατανάλωση	164
5.3.3	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διεργασιών Μεμβράνης και των Θερμικών διεργασιών	168
5.3.4	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης (RO).....	169
5.3.5	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης με Ανάκτηση Ενέργειας (RO-ER)	174
5.3.6	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης (ED)	175
5.3.7	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (MED).....	177
5.3.8	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	178
5.3.9	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών (VC).....	180
5.3.10	Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Μεμβράνης (MD)	182

5.3.11	<i>Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλιακής Απόσταξης (SD).....</i>	182
5.3.12	<i>Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών Συστημάτων Αφαλάτωσης (HYBRID)....</i>	183
5.3.13	<i>Σύγκριση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωση των διεργασιών αφαλάτωσης</i>	185
5.3.14	<i>Το ειδικό συνολικό κόστος αφαλάτωσης και η επίδραση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας</i>	187
5.3.15	<i>Η επίδραση της δυναμικότητας στο κόστος</i>	189
5.3.16	<i>Το κόστος βάσει της διεργασίας αφαλάτωσης.....</i>	195
5.3.17	<i>Το κόστος βάσει της χρησιμοποιούμενης ενεργειακής πηγής</i>	198
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	214
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	219
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	226
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ	227
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΙΣΟΤΙΜΙΑ ΔΟΛΛΑΡΙΟΥ – ΕΥΡΩ (ΕΤΗ 1999-2010)	229
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	230

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1-1. Συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της εργασίας.....	24
Πίνακας 2-1. Η παγκόσμια κατανομή πληθυσμού (σε εκατομμύρια κατοίκους) στη διάρκεια των ετών (FIORENZA, SHARMA, & BRACCIO, 2004)	26
Πίνακας 2-2. Η κατανάλωση νερού σε διάφορες χώρες του πλανήτη το 2000 – Κατανομή ανά τομέα χρήσης (Πύλη παιδαγωγικού Υλικού Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, 2010)	27
Πίνακας 2-3. Οι μορφές στις οποίες συναντάται το νερό (Μαλαματάρης, 2010)	28
Πίνακας 2-4. 20 χώρες μεγάλου κινδύνου λειψυδρίας (Maplecroft, 2011)	30
Πίνακας 2-5. Δείκτες για την Ταυτοποίηση και Ποσοτικοποίηση της Έλλειψης Ύδατος (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	33
Πίνακας 2-6. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει του πληθυσμού τους (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	36
Πίνακας 2-7. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει της έκτασής τους (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	36
Πίνακας 2-8. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει της πληθυσμιακής τους πυκνότητας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	36
Πίνακας 2-9. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει της τουριστικής τους ανάπτυξης (κρεβάτια ανά μόνιμο κάτοικο) (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	37
Πίνακας 2-10. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου βάσει της διασύνδεσής τους σε δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	39
Πίνακας 2-11. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	39
Πίνακας 2-12. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου βάσει του κόστους παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	40
Πίνακας 2-13. Ενδεικτικές τιμές της καθημερινής κατανάλωσης νερού (σε λίτρα/ημέρα/άτομο) από τον ντόπιο πληθυσμό και τους επισκέπτες μιας τουριστικής περιοχής (Spyrou & Anagnostopoulos, 2010)	46
Πίνακας 2-14. Τιμές πόσιμου νερού σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)	48
Πίνακας 2-15. Μέση ετήσια κάλυψη ετήσιων υδρευτικών αναγκών ανά είδος προσφοράς (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2006)	53
Πίνακας 2-16. Μέση ετήσια κάλυψη ετήσιων αρδευτικών αναγκών ανά είδος προσφοράς (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2006)	55
Πίνακας 2-17. Μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος σε 11 νησιά των Κυκλάδων, κατά τα έτη 1997 – 2002 (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004)	56
Πίνακας 2-18. Μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος σε 9 νησιά των Δωδεκανήσων, κατά τα έτη 1997 – 2002 (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004)	56
Πίνακας 2-19. Ποσότητες νερού που μεταφέρονται ανά νησί του Ν. Κυκλάδων (ΙΤΑ, 2008)	57
Πίνακας 2-20. Ποσότητες νερού που μεταφέρονται ανά νησί του Ν. Δωδεκανήσου (ΙΤΑ, 2008)	58
Πίνακας 2-21. Κατηγοριοποίηση νησιών βάσει των ποσοτήτων νερού που μεταφέρονται σε αυτά (στοιχεία 2006) [m ³ /έτος] (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	58

Πίνακας 2-22. Κατηγοριοποίηση νησιών βάσει των ποσοτήτων νερού που μεταφέρονται σε αυτά επί την απόσταση μεταφοράς (στοιχεία 2006) [$m^3 \cdot nmi/έτος$] (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	58
Πίνακας 2-23. Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στο Αιγαίο, με το σύστημα της Αντίστροφης Όσμωσης (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	59
Πίνακας 2-24. Ποσότητες παραγόμενου νερού από αφαλάτωση (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	59
Πίνακας 3-1. Τυπική σύσταση του θαλασσινού νερού (Micale, Cipollina, & Rizzuti, 2009)	61
Πίνακας 3-2. Κλίμακα της γευστικότητας του νερού, βάσει της περιεκτικότητας του σε διαλυμένα στερεά, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Clayton, 2011)	61
Πίνακας 3-3. Προδιαγραφές της φυσικής και χημικής ποιότητας του νερού σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Tiwari & Singh, 2004)	62
Πίνακας 3-4. Κατηγοριοποίηση του νερού βάσει της περιεκτικότητας του σε διαλυμένα στερεά (Clayton, 2011)	62
Πίνακας 3-5. Η διαφοροποίηση στην αλατότητα του θαλασσινού νερού διάφορων θαλασσών (Clayton, 2011)	62
Πίνακας 3-6. Οι απαιτήσεις χώρου για εγκαταστάσεις αφαλάτωσης δυναμικότητας 19.000 $m^3/ημέρα$ (Τζέν Ε., Selection of Desalination Technologies, 2009)	83
Πίνακας 3-7. Εύρη τιμών της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας στα οποία βρίσκουν εφαρμογή οι διαφορετικές διεργασίες αφαλάτωσης (Clayton, 2011)	84
Πίνακας 3-8. Περιεκτικότητα σε άλατα του αφαλατωμένο νερού (Κουκουτσάκης, 2007)	85
Πίνακας 3-9. Μέγιστη ικανότητα παραγωγής νερού ($m^3/ημέρα$) (Κουκουτσάκης, 2007)	86
Πίνακας 3-10. Ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης (Kalogirou, 2005)	86
Πίνακας 3-11. Κατάλληλοι συνδυασμοί τεχνολογιών αφαλάτωσης και συστημάτων ΑΠΕ (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	88
Πίνακας 3-12. Ισοδύναμη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ορισμένων διεργασιών αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007)	89
Πίνακας 3-13. Κόστη διεργασιών αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007)	90
Πίνακας 3-14. Κόστος παραγόμενου νερού ανάλογα με την αλατότητα και τη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης (Μανωλάκος, 2012)	90
Πίνακας 3-15. Διεργασίες αφαλάτωσης και χαρακτηριστικά των παραγόμενων ροών τους (Τζέν Ε., Desalination Environmental Aspects, 2009)	94
Πίνακας 3-16. Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα, που χαρακτηρίζουν διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας (Karagiannis & Soldatos, Estimation of critical CO2 values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands, 2010)	95
Πίνακας 3-17. Εκπομπές CO ₂ , από μια μονάδα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης, με χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας (Karagiannis & Soldatos, Estimation of critical CO2 values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands, 2010)	96
Πίνακας 3-18. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διεργασιών αφαλάτωσης (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	96
Πίνακας 3-19. Πιθανοί συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών ΑΠΕ, βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007)	101

Πίνακας 3-20. Κόστος παραγόμενου νερού ανάλογα με την αλμυρότητα και τη πηγή ενέργειας (Μανωλάκος, 2012)	103
Πίνακας 3-21. Τυπικό κόστος παραγόμενου νερού από μονάδες αφαλάτωσης που κάνουν χρήση ΑΠΕ (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010)	103
Πίνακας 3-22. Οι 10 χώρες με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα αφαλάτωσης στον κόσμο (IDA, 2008)	114
Πίνακας 3-23. Οι 20 μονάδες αφαλάτωσης με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα στον κόσμο (βάσει στοιχείων του 2005) (Gleick, David Katz, & Lee., 2006)	115
Πίνακας 3-24. Μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης ανά τον κόσμο (Poseidon Resources Corporation, 2010)	116
Πίνακας 3-25. Μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης, υπό σχεδιασμό/κατασκευή, ανά τον κόσμο (Poseidon Resources Corporation, 2010)	116
Πίνακας 3-26. Εφαρμογές αφαλάτωσης με χρήση ενέργειας από ΑΠΕ, σε διάφορα μέρη του κόσμου (Tzen & Morris, 2003)	117
Πίνακας 3-27. Μονάδες Αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ενέργεια από Φ/Β συστήματα (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010)	119
Πίνακας 3-28. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση πραγματικών μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (kWh/m ³).....	127
Πίνακας 3-29. Το ειδικό Συνολικό Κόστος πραγματικών μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (\$/m ³).....	127
Πίνακας 3-30. Το Ειδικό Λειτουργικό Κόστος ελληνικών μονάδων SWRO (\$/m ³).....	127
Πίνακας 4-1. Τα ποσοστά κόστους για συμβατικά συστήματα αφαλάτωσης RO και MSF, δυναμικότητας 10 mgbd (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	129
Πίνακας 4-2. Ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης (Kalogirou, 2005)	131
Πίνακας 4-3. Ενεργειακή κατανάλωση των κύριων διεργασιών αφαλάτωσης (Assimacopoulos, 2001)	131
Πίνακας 4-4. Ενεργειακές απαιτήσεις των διεργασιών αφαλάτωσης (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	132
Πίνακας 4-5. Ενεργειακές απαιτήσεις διαφορετικών διεργασιών αφαλάτωσης (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	132
Πίνακας 4-6. Η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	133
Πίνακας 4-7. Η κατανάλωση ενέργειας στην αφαλάτωση (Τζέν Ε. , Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου, 2001)	134
Πίνακας 4-8. Ισοδύναμη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ορισμένων διεργασιών αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007)	134
Πίνακας 4-9. Χαρακτηριστικά μεγέθη των διαφόρων διεργασιών αφαλάτωσης (Wangnick, 2004)	134
Πίνακας 4-10. Ενεργειακές ανάγκες της Αντίστροφης Όσμωσης και της Πολυβάθμιας Εξάτμισης (Κάραλης & Ζούλιας, 2008)	135
Πίνακας 4-11. Η ενεργειακή κατανάλωση σε συστήματα αφαλάτωσης με παραγωγή μικρότερη και μεγαλύτερη των 100 m ³ /ημέρα (Μπελέτης, 2010)	135
Πίνακας 4-12. Ειδική ενεργειακή κατανάλωση για μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης θαλασσινού νερού, στη Ελλάδα (Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	136

Πίνακας 4-13. Η πρόοδος στην αφαλάτωση Αντίστροφης Όσμωσης ^(Μανωλάκος, 2012)	138
Πίνακας 4-14. Κατανάλωση των διεργασιών αφαλάτωσης MSF, MED και RO ^(Μανωλάκος, 2012)	139
Πίνακας 4-15. Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης βάσει του Κόστους Εξοπλισμού ^(Καλογιρού, 2005)	140
Πίνακας 4-16. Κόστος επένδυσης και λειτουργίας διαφορετικών συστημάτων ΑΠΕ-αφαλάτωσης ^(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	140
Πίνακας 4-17. Συνολικό κόστος και οι αναμενόμενες τιμές πώλησης του νερού, για συνδυασμούς αφαλάτωσης-ΑΠΕ ^(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	140
Πίνακας 4-18. Σύγκριση κόστους εγκατάστασης και παραγωγής για διάφορες τεχνικές αφαλάτωσης ^(Semiat, 2000)	141
Πίνακας 4-19. Κόστος νερού ανάλογα με το νερό τροφοδοσίας και το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης ^(Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)	142
Πίνακας 4-20. Κόστος νερού με χρήση διαφορετικών ενεργειακών πηγών και διαφορετικών τύπων νερό τροφοδοσίας ^(Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)	142
Πίνακας 4-21. Κόστος αφαλάτωσης νερού στις Θερμικές διεργασίες βάσει του μεγέθους της μονάδας ^(Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)	143
Πίνακας 4-22. Κόστος αφαλάτωσης νερού στις διεργασίες Μεμβρανών (Αντίστροφη Όσμωση) βάσει του τύπου του νερού τροφοδοσίας ^(Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)	143
Πίνακας 4-23. Το κόστος νερού από συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης με ενεργειακή τροφοδοσία από ΑΠΕ ^(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeeb, 2011)	143
Πίνακας 4-24. Κόστος επένδυσης και παραγωγής για διεργασίες αφαλάτωσης με δυναμικότητα 200-40.000 m ³ /day ^(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	144
Πίνακας 4-25. Κόστη διεργασιών αφαλάτωσης αναλόγως της δυναμικότητας και της ενεργειακής πηγής ^(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	145
Πίνακας 4-26. Μοναδιαίο κόστος παραγωγής νερού μονάδων αφαλάτωσης διαφορετικών τεχνολογιών, κατά το έτος 2001 ^(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	148
Πίνακας 4-27. Επιμερισμός του συνολικού κόστους, για διάφορες διεργασίες αφαλάτωσης ^(Ebensperger & Isley, 2005)	149
Πίνακας 4-28. Το κόστος νερού σε συστήματα αφαλάτωσης με παραγωγή μικρότερη και μεγαλύτερη των 100 m ³ /ημέρα ^(Μπελέτης, 2010)	149
Πίνακας 4-29. Κόστος αφαλάτωσης αναλόγως με την πηγή ενέργειας και τον τύπο τροφοδοτούμενου ύδατος ^(Μανωλάκος, 2012)	150
Πίνακας 4-30. Κόστος ενέργειας και συνολικό κόστος αφαλάτωσης για διάφορες ενεργειακές πηγές ^(Gilau & Small, 2008)	150
Πίνακας 4-31. Το ειδικό κόστος παραγωγής νερού από μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού RO-ER, 300 m ³ /day, αναλόγως με το σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας ^(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	151
Πίνακας 4-32. Το κόστος από πραγματικές μονάδες αφαλάτωσης-ΑΠΕ ανά τον κόσμο ^(Tzen E., 2005) ..	152
Πίνακας 4-33. Το κόστος νερού από μονάδες αφαλάτωσης ανα τον κόσμο ^(Τζέν Ε., Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	153
Πίνακας 4-34. Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης στην Ελλάδα και το αντίστοιχο κόστος ^(Αγγελάκης, 2008)	153

Πίνακας 4-35. Το κόστος από πραγματικές μονάδες αφαλάτωσης-ΑΠΕ ανά τον κόσμο (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	155
Πίνακας 4-36. Το κόστος νερού από συστήματα αφαλάτωσης RO και MSF, συμβατικής και ηλιακής ενεργειακής τροφοδοσίας (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	155
Πίνακας 4-37. Κόστος νερού από συστήματα Ηλιακής Αφαλάτωσης (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	155
Πίνακας 4-38. Σύγκριση κόστους μεταξύ Αφαλάτωσης με ενέργεια από «Ηλιακές Λίμνες» και Αντίστροφης Όσμωσης με ενέργεια από συμβατικές πηγές (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	156
Πίνακας 5-1. Δείγμα στοιχείων ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης	161
Πίνακας 5-2. Δείγμα στοιχείων ειδικού συνολικού κόστους παραγωγής νερού	161
Πίνακας 5-3. Δείγμα λειτουργικών δεδομένων ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης και ειδικού συνολικού κόστους παραγωγής νερού, πραγματικών μονάδων αφαλάτωσης	162
Πίνακας 5-4. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση	163
Πίνακας 5-5. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας	163
Πίνακας 5-6. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης βάσει της δυναμικότητας	164
Πίνακας 5-7. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης για διάφορες κατηγορίες δυναμικότητας	166
Πίνακας 5-8. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση συστημάτων αφαλάτωσης διαφορετικής δυναμικότητας (Μπελέτης, 2010)	167
Πίνακας 5-9. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διεργασιών αφαλάτωσης Μembranών και των Θερμικών διεργασιών	168
Πίνακας 5-10. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης	169
Πίνακας 5-11. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού	170
Πίνακας 5-12. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας	171
Πίνακας 5-13. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του παραγόμενου νερού	171
Πίνακας 5-14. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής	172
Πίνακας 5-15. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για δυο κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής	173
Πίνακας 5-16. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού με ή χωρίς σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας	174
Πίνακας 5-17. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης	175
Πίνακας 5-18. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	176
Πίνακας 5-19. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας	176

Πίνακας 5-20. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	177
Πίνακας 5-21. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης βάσει της δυναμικότητας παραγωγής.....	178
Πίνακας 5-22. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	178
Πίνακας 5-23. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής	179
Πίνακας 5-24. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	180
Πίνακας 5-25. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	181
Πίνακας 5-26. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Μηχανικής και της Θερμικής Συμπύεσης Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	181
Πίνακας 5-27. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	182
Πίνακας 5-28. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.....	183
Πίνακας 5-29. Υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης και η ειδική ενεργειακή κατανάλωση που παρουσιάζουν	184
Πίνακας 5-30. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	184
Πίνακας 5-31. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των διαφόρων συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	184
Πίνακας 5-32. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.....	185
Πίνακας 5-33. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση	187
Πίνακας 5-34. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας.....	188
Πίνακας 5-35. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για πέντε κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής	190
Πίνακας 5-36. Το ειδικό συνολικό κόστος Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	193
Πίνακας 5-37. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	193
Πίνακας 5-38. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	194
Πίνακας 5-39. Το ειδικό συνολικό κόστος της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	195
Πίνακας 5-40. Το ειδικό συνολικό κόστος των διεργασιών αφαλάτωσης Μεμβράνης και των Θερμικών διεργασιών	196

Πίνακας 5-41. Συγκριτική επισκόπηση του ειδικού συνολικού κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού	197
Πίνακας 5-42. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα με ΑΠΕ και συμβατικά συστήματα	198
Πίνακας 5-43. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού ανά σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας	200
Πίνακας 5-44. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Φωτοβολταϊκών	202
Πίνακας 5-45. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών	203
Πίνακας 5-46. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών/Φωτοβολταϊκών.....	204
Πίνακας 5-47. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας	204
Πίνακας 5-48. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας	210
Πίνακας 5-49. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Συμπιέσης Ατμών βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας.....	211
Πίνακας 5-50. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Μembrάνης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας	212
(Παράρτημα Α)	
Πίνακας Α-1. Οι 100 μονάδες αφαλάτωσης, σε λειτουργία ή υπό κατασκευή, με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα στον κόσμο (βάσει στοιχείων του 2005) (Gleick, David Katz, & Lee., 2006)	227
(Παράρτημα Β)	
Πίνακας Β-1. Μέση μηνιαία ισοτιμία "American Dollars - 1 EURO" (X-Rates, 2012)	229
(Παράρτημα Γ)	
Πίνακας Γ-1. Ειδική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ³) των συστημάτων αφαλάτωσης	230
Πίνακας Γ-2. Ειδικό συνολικό κόστος παραγωγής νερού (\$/m ³) των συστημάτων αφαλάτωσης.....	237
Πίνακας Γ-3. Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³) και Ειδικό Συνολικό Κόστος αφαλάτωσης νερού (\$/m ³) πραγματικών μονάδων ανα τον κόσμο	251

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2-1. Το 70% της γης καλύπτεται από νερό (Μακρόπουλος, 2010)	26
Εικόνα 2-2. Οι άνυδρες παράκτιες περιοχές της Αφρικής και της Μέσης Ανατολής, συμπεριλαμβανομένων των Μεσογειακών ακτών της Αφρικής και του Αραβικού κόλπου (Belessiotis & Delyannis, Water shortage and renewable energies (RE) desalination - possible technological applications, 2001)	29
Εικόνα 2-3. Παγκόσμιος Δείκτης Έλλειψης Νερού 2011 (Maplecroft, 2011)	30
Εικόνα 2-4. Η έλλειψη νερού στην Ελλάδα (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)	32
Εικόνα 2-5. Δείκτης κατανάλωσης (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	33
Εικόνα 2-6. Δείκτης εκμεταλλευσιμότητας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	34

Εικόνα 2-7. Οι ετήσιες ανάγκες των νησιών σε νερό και οι διαθέσιμοι πόροι που διαθέτουν (ΤΑ ΝΕΑ, 2006)	35
Εικόνα 2-8. Σταθμοί παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)	38
Εικόνα 2-9. Δυναμικό ΑΠΕ στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα (Μανωλάκος, 2012)	41
Εικόνα 2-10. Συνολική ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Φωτοβολταϊκό σύστημα μοναδιαίας ισχύος (1kWp) με συλλέκτες στη βέλτιστη κλίση (KOIS, 2011)	42
Εικόνα 2-11. Μέσες ετήσιες ταχύτητες ανέμου στην Ελλάδα (KOIS, 2011)	43
Εικόνα 2-12. Γεωθερμικά πεδία ελληνικού χώρου (Κορωναίος, 2006)	44
Εικόνα 2-13. Γεωγραφική κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα (σε χιλιοστά) (Μαμάσης, 2009)	45
Εικόνα 2-14. Αναλογία κατοίκων-κλινών στα νησιά των Κυκλάδων (Κάραλης & Ζούλιας, 2008)	46
Εικόνα 2-15. Περιοχές με προβλήματα υφάλμυρων υδροφορέων (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)	47
Εικόνα 2-16. Λιμνοδεξαμενή στη Νάξο (Naxos Fan, 2011)	50
Εικόνα 2-17. Λιμνοδεξαμενή στη Νάξο (Naxos Fan, 2011)	50
Εικόνα 2-18. Διάφοροι τύποι στερνών σε νησιά του Αιγαίου (Ζαβιτσάνου, 2008)	50
Εικόνα 2-19. Πετρόχιστη αυτοσχέδια στέρνα για τη συλλογή όμβριων υδάτων και πότισμα αιγοπροβάτων σε νησί του Αιγαίου (Ζαβιτσάνου, 2008)	51
Εικόνα 2-20. Το Φράγμα της Μαραθιάς (e-mykonos, 2008)	51
Εικόνα 3-1. Ναύτες αφαλατώνουν θαλασσίνο νερό το 200 μ.Χ (Kalogirou, 2005)	64
Εικόνα 3-2. Ο αποστακτήρας της Κλεοπάτρας (διβικός και τριβικός) (Delyannis, 2003)	65
Εικόνα 3-3. Διάταξη αφαλάτωσης του Della Porta όπως αυτή παρουσιάζεται στο βιβλίο του “Magiae Naturalis” (Delyannis, 2003)	65
Εικόνα 3-4. Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης Ηλιακής Απόσταξης στην πόλη “Las Salinas” της Χιλής (Delyannis, 2003)	66
Εικόνα 3-5. Η εγκατάσταση Ηλιακής Απόσταξης του οργανισμού OSW στην παραλία “Daytona” της Florida (Delyannis, 2003)	67
Εικόνα 3-6. Η εγκατάσταση Ηλιακής Απόσταξης στη νήσο Σύμη (Delyannis, 2003)	67
Εικόνα 3-7. Εγκατάσταση MSF στη Σαουδική Αραβία δυναμικότητας 138.000 m ³ ανά ημέρα (Sasakura, 2007)	70
Εικόνα 3-8. Εγκατάσταση Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (IDS WATER, 2006)	71
Εικόνα 3-9. Φωτογραφία εγκατάστασης Απόσταξης με Συμπίεση Ατμών (Γζέν Ε., Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010)	73
Εικόνα 3-10. Ηλιακοί αποστακτήρες, για οικιακή χρήση (TERRA.ORG, 2005)	74
Εικόνα 3-11. Εγκατάσταση αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση (TEMAK, 2009)	77
Εικόνα 3-12. Η μονάδα αφαλάτωσης MSF “Shuaiba 3”	115
Εικόνα 3-13. Εγκατάσταση μονάδας VC, στην Ισπανία (Gran Canaria) (Tzen & Morris, 2003)	118
Εικόνα 3-14. Αιολικό πάρκο και εγκατάσταση αφαλάτωσης στη νήσο Gran Canaria, της Ισπανίας (Tzen & Morris, 2003)	118
Εικόνα 3-15. Εγκατάσταση PV-RO, στην Ιταλία (Lampedusa) (Tzen & Morris, 2003)	119

Εικόνα 3-16. Το σύστημα μπαταριών στην εγκατάσταση στη νήσο Lampedusa, της Ιταλίας (Tzen & Morris, 2003)	119
Εικόνα 3-17. Γεωθερμική αντλία στην εγκατάσταση αφαλάτωσης στην Κίμωλο (Tzen & Morris, 2003)	121
Εικόνα 3-18. Τμήμα της εγκατάστασης MED δυναμικότητας 30 m ³ /ημέρα, στην Κίμωλο (Tzen & Morris, 2003)	121
Εικόνα 3-19. Εγκατάσταση Αντίστροφης Όσμωσης, δυναμικότητας 130 lt/ώρα, στην Κερατέα (Tzen & Morris, 2003)	121
Εικόνα 3-20. Οι βασικές εγκαταστάσεις της μονάδας αφαλάτωσης στη Μήλο (Γερασίμου, Ιούνιος 2010)	122
Εικόνα 3-21. Άποψη του εσωτερικού της μονάδας αφαλάτωσης (ITA, 2008)	122
Εικόνα 3-22. Δεξαμενή πόσιμου νερού χωρητικότητας 100 m ³ (ITA, 2008)	123
Εικόνα 3-23. Οι 4 δεξαμενές λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης, χωρητικότητας 3.000 m ³ (ITA, 2008)	123
Εικόνα 3-24. Η ανεμογεννήτρια μέσω της οποίας τροφοδοτείται με ρεύμα η μονάδας αφαλάτωσης, στη θέση Κουτσούνοραχη Μήλου (ITA, 2008)	123
Εικόνα 3-25. Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στην Ηρακλεία (Technava SA, 2008)	124
Εικόνα 3-26. Άποψη του εσωτερικού της μονάδας αφαλάτωσης (Technava SA, 2008)	124
Εικόνα 3-27. Η λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης στην Ηρακλεία (TA NEA, 2009)	125

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3-1. Η αρχή λειτουργίας της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων (Miller, 2003)	69
Διάγραμμα 3-2. Ο τρόπος λειτουργίας της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (Miller, 2003)	71
Διάγραμμα 3-3. Αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας της Μηχανικής Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών, μιας βαθμίδας (Miller, 2003)	72
Διάγραμμα 3-4. Ηλιακός αποστακτήρας, στον οποίο διακρίνεται ο απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας, η είσοδος του θαλασσινού νερού και ο συλλέκτης του αφαλατωμένου νερού (Κοροναίος, 2006)	73
Διάγραμμα 3-5. Η διαδικασία της όσμωσης (Chemist.gr, 2008)	75
Διάγραμμα 3-6. Η διαδικασία της Αντίστροφης Όσμωσης (Chemist.gr, 2008)	76
Διάγραμμα 3-7. Διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης, χωρίς σύστημα ανάκτησης της πίεσης του αλμόλοιπου (Miller, 2003)	76
Διάγραμμα 3-8. Η αρχή λειτουργίας ενός εναλλάκτη πίεσης (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)	78
Διάγραμμα 3-9. Ενδεικτική απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης RO με εναλλάκτη πίεσης (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)	78
Διάγραμμα 3-10. Ο εναλλάκτης πίεσης “Clark Pump” της εταιρείας “Spectra Watermakers” (Spectra Watermakers, 2012)	79
Διάγραμμα 3-11. Ενδεικτική απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης RO με σύστημα στροβίλου Pelton (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)	79
Διάγραμμα 3-12. Ενδεικτική απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης RO με σύστημα αντλίας-στροβίλου (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)	80
Διάγραμμα 3-13. Η αρχή λειτουργίας της Ηλεκτοδιάλυσης (Kalogirou, 2005)	81

Διάγραμμα 3-14. Διάταξη αφαλάτωσης με Ηλεκτροδιάλυση (Miller, 2003)	81
Διάγραμμα 3-15. Η αρχή λειτουργίας της Απόσταξης Μεμβράνης (αριστερά) και σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού συστήματος αφαλάτωσης με Απόσταξη Μεμβράνης (δεξιά) (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007)	82
Διάγραμμα 3-16. Πιθανοί συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών ΑΠΕ (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007)	100
Διάγραμμα 3-17. Αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης συνδεδεμένο με Φ/Β και Α/Γ	105
Διάγραμμα 3-18. Το παράδειγμα ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση και ενέργεια από Φωτοβολταϊκά και Ανεμογεννήτριες (Koutroulis & Kolokotsa, 2010)	108

Πίνακας Γραφημάτων

Γράφημα 2-1. Το νερό στη Γή: Περίπου το 97% του νερού της γης βρίσκεται στη θάλασσα σε αλυμρή μορφή (Μακρόπουλος, 2010)	26
Γράφημα 2-2. Εξέλιξη παγκόσμιας χρήσης νερού ανά τομέα (UNEP, 2008)	27
Γράφημα 2-3. Η εποχιακή διακύμανση του πληθυσμού σε ένα τυπικό Ελληνικό νησί κατά τη διάρκεια ενός έτους (Spyrou & Anagnostopoulos, 2010)	45
Γράφημα 2-4. Μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος σε Δωδεκάνησα και Κυκλάδες, κατά τα έτη 1997 – 2002 (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004)	57
Γράφημα 3-1. Τα κόστη για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού σε μονάδες διαφορετικών τεχνολογιών, ανάλογα με τη δυναμικότητα (U.S. Department of the Interior, 2003)	91
Γράφημα 3-2. Η κατανομή των μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, βάσει της τεχνολογίας τους (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	102
Γράφημα 3-3. Η δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης, παγκοσμίως, από το έτος 1966 έως το 2007 (IDA, 2008)	111
Γράφημα 3-4. Οι μονάδες αφαλάτωσης ανά τον κόσμο βάσει της τεχνολογίας αφαλάτωσης (IDA, 2008)	111
Γράφημα 3-5. Εξαπλασιασμός της ετήσιας αγοράς αφαλάτωσης μέσα σε 12 χρόνια (1995-2005) (GWI, 2008)	112
Γράφημα 3-6. Η παγκόσμια παραγωγή των μονάδων αφαλάτωσης ανά περιοχή του πλανήτη (στοιχεία του 2010) (Clayton, 2011)	113
Γράφημα 3-7. Η αναμενόμενη αύξηση της παραγωγής αφαλατωμένου νερού, ανά περιοχή, έως το 2015 (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)	113
Γράφημα 3-8. Η δυναμικότητα της αφαλάτωσης στη Ευρώπη (Μόνο οι μονάδες με δυναμικότητα μεγαλύτερη των 700 m ³ /day έχουν καταγραφεί) (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)	114
Γράφημα 3-9. Το Ειδικό Λειτουργικό Κόστος ελληνικών μονάδων SWRO	128
Γράφημα 4-1. Η εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης των μονάδων αφαλάτωσης στην Ισπανία (Sadhvani & Veza, 2008)	138
Γράφημα 4-2. Η διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωση σε συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης, βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας (Μανωλάκος, 2012)	138
Γράφημα 4-3. Υπολογιζόμενο ειδικό κόστος παραγωγής σε € μονάδας όγκου νερού 500 m ³ /day για διάφορους συνδυασμούς ΑΠΕ- μεθόδων αφαλάτωσης (Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007)	141

Γράφημα 4-4. Το μοναδιαίο κόστος νερού από εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης κατά τα έτη 1995-2005 (Ebensperger & Isley, 2005)	147
Γράφημα 5-1. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση	163
Γράφημα 5-2. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας.....	164
Γράφημα 5-3. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης βάσει της δυναμικότητας.....	166
Γράφημα 5-4. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης για διάφορες κατηγορίες δυναμικότητας.....	167
Γράφημα 5-5. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση συστημάτων αφαλάτωσης διαφορετικής δυναμικότητας (Μπελέτης, 2010)	168
Γράφημα 5-6. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διεργασιών αφαλάτωσης Μembranών και των Θερμικών διεργασιών.....	169
Γράφημα 5-7. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης.....	170
Γράφημα 5-8. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού.....	171
Γράφημα 5-9. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας.....	172
Γράφημα 5-10. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του παραγόμενου νερού.....	172
Γράφημα 5-11. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής	173
Γράφημα 5-12. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για δυο κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	174
Γράφημα 5-13. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού με ή χωρίς σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας	175
Γράφημα 5-14. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης.....	175
Γράφημα 5-15. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης κατά την αφαλάτωσης θαλασσινού νερού	176
Γράφημα 5-16. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας.....	177
Γράφημα 5-17. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	177
Γράφημα 5-18. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης βάσει της δυναμικότητας παραγωγής.....	178
Γράφημα 5-19. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	179
Γράφημα 5-20. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής	180
Γράφημα 5-21. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	180

Γράφημα 5-22. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	181
Γράφημα 5-23. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Μηχανικής και της Θερμικής Συμπύεσης Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	182
Γράφημα 5-24. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού	183
Γράφημα 5-25. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.....	183
Γράφημα 5-26. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των διαφόρων συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	185
Γράφημα 5-27. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.....	186
Γράφημα 5-28. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση.....	188
Γράφημα 5-29. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας.....	189
Γράφημα 5-30. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής.....	190
Γράφημα 5-31. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για πέντε κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής	191
Γράφημα 5-32. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)	191
Γράφημα 5-33. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)	192
Γράφημα 5-34. Το ειδικό λειτουργικό κόστος κατά την αφαλάτωση βάσει της δυναμικότητας παραγωγής (Μπελέτης, 2010)	192
Γράφημα 5-35. Το ειδικό συνολικό κόστος της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	193
Γράφημα 5-36. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής	194
Γράφημα 5-37. Το ειδικό συνολικό κόστος της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής	194
Γράφημα 5-38. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	195
Γράφημα 5-39. Το ειδικό συνολικό κόστος της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής.....	195
Γράφημα 5-40. Το ειδικό συνολικό κόστος των διεργασιών αφαλάτωσης Μεμβράνης και των Θερμικών διεργασιών.....	196
Γράφημα 5-41. Συγκριτική επισκόπηση του ειδικού συνολικού κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού	197
Γράφημα 5-42. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα με ΑΠΕ και συμβατικά συστήματα	199

Γράφημα 5-43. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης με ΑΠΕ ή συμβατικές πηγές ενέργειας	199
Γράφημα 5-44. Ενδεικτικές τιμές του ειδικού συνολικού κόστους κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα Ηλεκτροδιάλυσης με ΑΠΕ ή συμβατικές πηγές ενέργειας	200
Γράφημα 5-45. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων με ΑΠΕ ή συμβατικές πηγές ενέργειας.....	200
Γράφημα 5-46. Συγκριτική επισκόπηση του ειδικού συνολικού κόστους αφαλάτωσης θαλασσινού νερού ανά σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας.....	201
Γράφημα 5-47. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Φωτοβολταϊκών	203
Γράφημα 5-48. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών	203
Γράφημα 5-49. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών/Φωτοβολταϊκών.....	204
Γράφημα 5-50. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας	205
Γράφημα 5-51. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης-Φωτοβολταϊκών	206
Γράφημα 5-52. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης-Ηλιακής ενέργειας (πλην Φ/Β).....	206
Γράφημα 5-53. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης-Ανεμογεννητριών.....	207
Γράφημα 5-54. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση (με Ανάκτηση Ενέργειας) βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας	208
Γράφημα 5-55. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης (με Ανάκτηση Ενέργειας)-Φωτοβολταϊκών	208
Γράφημα 5-56. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού σε διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης (με Ανάκτηση Ενέργειας) 12 m ³ /day βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας (Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004)	209
Γράφημα 5-57. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού σε διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης (με Ανάκτηση Ενέργειας) 300 m ³ /day βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας (Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	209
Γράφημα 5-58. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας	211
Γράφημα 5-59. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Συμπίεσης Ατμών βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας.....	212
Γράφημα 5-60. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Μεμβράνης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας	213

1. Εισαγωγή

1.1 Παρουσίαση του θέματος - Σκοπός - Ευχαριστίες

Η λειψυδρία φαίνεται να αποτελεί ένα από τα επιτακτικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν αρκετές περιοχές του πλανήτη μας και ενδέχεται να αντιμετωπίσουν πολλές περισσότερες στο μέλλον. Η αύξηση του πληθυσμού, η επέκταση των πόλεων και η κλιματική αλλαγή είναι κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων και την επάρκεια των αποθεμάτων πόσιμου νερού, επιδεινώνοντας το ήδη οξύ πρόβλημα της λειψυδρίας. Η Ελλάδα, παρόλο που γενικά θεωρείται χώρα πλούσια σε νερό, διαθέτει κάποιες περιοχές που παρουσιάζουν ανεπάρκεια υδατικών πόρων. Η έλλειψη νερού στα χαρακτηριζόμενα και ως «άνδρα» νησιά της χώρας μας, όπως για παράδειγμα αρκετά νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων, είναι ένα ζήτημα πολυδιάστατο και με σημαντικές επιπτώσεις στις τοπικές αυτές κοινωνίες. Η έλλειψη αυτή οφείλεται κυρίως στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σχετικά απομονωμένων αυτών περιοχών, αλλά και στον πολύ σημαντικό παράγοντα του τουρισμού, που είναι ιδιαίτερα αυξημένος κατά τη διάρκεια των ξηρών καλοκαιρινών μηνών. Έως τώρα έχουν ληφθεί κάποια μέτρα, όπως η μεταφορά νερού, για την επίλυση αυτού του προβλήματος, τα οποία όμως δεν το επιλύουν σε μόνιμη βάση, αντιθέτως μάλιστα έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη ζωή των κατοίκων, άλλα και της ευρύτερης κοινωνίας (χαμηλή ποιότητα νερού, οικονομικά ασύμφορα, περιβαλλοντικά ζημιόγωνα κλπ.).

Μία ενδεχόμενη λύση στην προβληματική κατάσταση, που βιώνουν κατά κύριο λόγο οι νησιωτικές αυτές περιοχές, αλλά και γενικότερα οι περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας, θα μπορούσε να είναι η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου από θαλασσινό νερό. Η δυνατότητα, μάλιστα, που παρέχουν οι μονάδες αφαλάτωσης για ενεργειακή τροφοδότηση από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, όπως η Αιολική ή η Ηλιακή που αφθονούν στη χώρα μας, αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για την εγκατάσταση τους στις νησιωτικές περιοχές, όπου σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, ενώ τα τοπικά δίκτυα έχουν περιορισμένες δυνατότητες και ιδιαίτερα υψηλό κόστος χρήσης. Για την αξιολόγηση των διάφορων τεχνολογιών αφαλάτωσης και τη διερεύνηση της καταλληλότητας των συστημάτων αυτών, ως προς την επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας με βιώσιμο τρόπο, θα πρέπει να εξεταστούν δύο βασικές παράμετροι-κλειδιά. Αφενός μεν το κόστος, αφετέρου δε η ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης, η οποία άλλωστε διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό το πρώτο και ταυτόχρονα επιδρά σε σημαντικό αριθμό παραμέτρων που επηρεάζουν την επιλογή συστήματος αφαλάτωσης, όπως οι δυνατότητες ενεργειακής τροφοδοσίας του συστήματος, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κλπ.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αποτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης και του κόστους των διάφορων τεχνολογιών αφαλάτωσης. Για την επίτευξη του στόχου αυτού συλλέγονται από τη βιβλιογραφία σχετικά δεδομένα, βάσει των οποίων ερευνάται η επίδραση παραμέτρων όπως η διεργασία αφαλάτωσης, η δυναμικότητα του συστήματος, η αλατότητα του προς αφαλάτωση και του παραγόμενου νερού και τέλος η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας, τόσο στην ενεργειακή κατανάλωση όσο και στο κόστος ενός συστήματος αφαλάτωσης. Με αυτό τον τρόπο επιδιώκεται να αποκτηθεί μια πληρέστερη και συνολικότερη εικόνα για τις δυνατότητες εγκατάστασης τέτοιων μονάδων, τόσο σε περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας, όπως τα

άνδρα Ελληνικά νησιά, όσο και σε περιοχές που θα μπορούσαν μελλοντικά να παρουσιάσουν προβλήματα υδατικής ανεπάρκειας, όπως τα μεγάλα αστικά κέντρα.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Μαμάση, ο οποίος με τις πολύτιμες συμβουλές του και την άψογη καθοδήγησή του με βοήθησε ουσιαστικά στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δίνοντας μου τη ευκαιρία να αποκτήσω πολύτιμες εμπειρίες στα πλαίσια των ενδιαφερόντων μου.

1.2 Επισκόπηση των κεφαλαίων

Σε αυτό το σημείο του εισαγωγικού κειμένου αναφέρονται συνοπτικά τα ζητήματα που πραγματεύονται τα κεφάλαια που ακολουθούν.

Στο **Κεφάλαιο 2** με τίτλο «**Το Νερό και η Λειψυδρία: Η κατάσταση στον Κόσμο και την Ελλάδα**», γίνεται μια προσέγγιση του φαινομένου της έλλειψης νερού, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, όσο και στον Ελλαδικό χώρο, με ιδιαίτερη αναφορά στα προβλήματα λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν τα άνδρα νησιά του Αιγαίου αλλά και των λόγων εμφάνισης φαινομένων υδατικής ανεπάρκειας σε μια θεωρητικά πλούσια σε υδατικούς πόρους χώρα, όπως η Ελλάδα. Τέλος, εξετάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά των «άνδρων» νησιών, σε συνδυασμό με την ενεργειακή τους κατάσταση και τις δυνατότητες που διαθέτουν για αξιοποίηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ενώ αναφέρονται συγκεκριμένα οι ποσότητες νερού που καλούνται να διαθέτουν τα νησιά αυτά και οι υπάρχοντες τρόποι κάλυψης των αναγκών αυτών.

Στο **Κεφάλαιο 3** με τίτλο «**Η τεχνολογία της αφαλάτωσης**», αρχικά πραγματοποιείται καταγραφή των κυριότερων διεργασιών αφαλάτωσης, οι οποίες ανήκουν κατά κύριο λόγο σε δύο βασικές κατηγορίες, τις Θερμικές διεργασίες και τις διεργασίες Μembrανών και δίνονται στοιχεία για τον τρόπο-λειτουργίας καθεμιάς από αυτές. Στη συνέχεια, συγκρίνονται μεταξύ τους, σε θεωρητικό επίπεδο, οι τεχνολογίες αυτές βάσει καθοριστικών παραμέτρων, όπως ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης, η ποιότητα του προς αφαλάτωση ύδατος, η επιθυμητή ποιότητα του παραγόμενου ύδατος, η δυναμικότητα της διάταξης αφαλάτωσης, η καταναλισκόμενη ενέργεια, η διαθέσιμη ενέργεια στην περιοχή της εγκατάστασης, το κόστος αφαλάτωσης και τέλος οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επίσης, επιχειρείται ανάλυση των δυνατοτήτων χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τόσο μεμονωμένα, όσο και σε συνδυασμούς υβριδικών συστημάτων, για την τροφοδοσία διατάξεων αφαλάτωσης, ενώ διερευνάται και η επίπτωση που έχει η χρήση τέτοιων συστημάτων στο κόστος του παραγόμενου νερού. Ακολούθως, καταγράφεται η παγκόσμια δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης, ενώ παρατίθενται παραδείγματα εγκαταστάσεων, που εντοπίζονται είτε σε παγκόσμιο επίπεδο, είτε στην Ελλάδα. Τελικά, για το σύνολο των εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης, που αναφέρονται στην παγκόσμια βιβλιογραφία (από δεδομένα που περιέχονται στο Παράρτημα Γ), προσδιορίζεται η μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση αλλά και το μέσο κόστος αφαλάτωσης, ώστε να αποκτηθεί μια ρεαλιστική αίσθηση της τάξης μεγέθους των τιμών των παραμέτρων αυτών.

Στο **Κεφάλαιο 4**, με τίτλο «**Ενεργειακή κατανάλωση και κόστος νερού των κυριότερων συστημάτων αφαλάτωσης**», γίνεται μια προσπάθεια συγκέντρωσης, ταξινόμησης και παρουσίασης ενός αρκετά μεγάλου αριθμού δεδομένων της βιβλιογραφίας, που απεικονίζουν την ειδική ενεργειακή κατανάλωση και το ειδικό συνολικό κόστος του παραγόμενου νερού, όσον αφορά τα ευρύτερα

χρησιμοποιούμενα συστήματα αφαλάτωσης. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται τόσο από γενικές εκτιμήσεις και έρευνες όσο και από λειτουργικά στοιχεία εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης και, στις περιπτώσεις που είναι εφικτό, συνοδεύονται από επιμέρους στοιχεία, όπως η τεχνολογία της αφαλάτωσης, το σύστημα/τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας της διάταξης, η δυναμικότητα του συστήματος και η περιεκτικότητα του νερού τροφοδοσίας και του παραγόμενου νερού σε άλας.

Στο **Κεφάλαιο 5**, με τίτλο «**Ενεργειακή και οικονομική αποτίμηση των συστημάτων αφαλάτωσης**» λαμβάνει χώρα η επεξεργασία του συνόλου των δεδομένων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4. Εν συνεχεία, από τα στοιχεία αυτά, δημιουργούνται γραφήματα για την εξέταση των συστημάτων αφαλάτωσης, τόσο από άποψη ενεργειακής κατανάλωσης, όσο και από άποψη κόστους, βάσει διαφορετικών παραμέτρων. Τις παραμέτρους αυτές αποτελούν η διεργασία αφαλάτωσης, η δυναμικότητα παραγωγής αφαλατωμένου νερού, η περιεκτικότητα του νερού τροφοδοσίας αλλά και του παραγόμενου νερού σε άλας, ενώ -καθάρια για το κόστος- εξετάζεται και η επίδραση της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας ενεργειακής τροφοδοσίας, τόσο εάν πρόκειται για ανανεώσιμου ή συμβατικού τύπου τεχνολογία, όσο και σχετικά με τον τρόπο που αυτή συνδέεται στο σύστημα αφαλάτωσης.

Στο **Κεφάλαιο 6**, με τίτλο «**Συμπεράσματα και προτάσεις**», αναφέρονται τα βασικότερα συμπεράσματα, στα οποία καταλήγει η παρούσα διπλωματική εργασία σχετικά με τα συστήματα αφαλάτωσης και την προοπτική που αυτά διαθέτουν προς επίλυση υπαρχόντων και μελλοντικών προβλημάτων λειψυδρίας, τόσο σε παγκόσμια κλίμακα, όσο και συγκεκριμένα στη χώρα μας.

Τέλος στην ενότητα «**Βιβλιογραφικές αναφορές**» γίνεται αναφορά τόσο της έντυπης, όσο και της ηλεκτρονικής βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ενώ στην ενότητα «**Παραρτήματα**», παρατίθενται δεδομένα με τη μορφή πινάκων, τα οποία πλαισιώνουν τις πληροφορίες που αναφέρονται στο προηγούμενα κεφάλαια. Πιο συγκεκριμένα:

- ✓ Στο «**Παράρτημα Α: Μονάδες αφαλάτωσης μεγάλης δυναμικότητας**» περιέχεται πίνακας με τις 100 μονάδες αφαλάτωσης, σε λειτουργία ή υπό κατασκευή, που διαθέτουν τη μεγαλύτερη δυναμικότητα στον κόσμο, βάσει στοιχείων του έτους 2005.
- ✓ Στο «**Παράρτημα Β: Μέση μηνιαία ισοτιμία Δολαρίου – Ευρώ (έτη 1999-2010)**» περιέχεται πίνακας με τη μέση μηνιαία ισοτιμία «Δολαρίου – Ευρώ» για τα έτη 1999 έως 2010. Οι τιμές αυτές είναι απαραίτητες για την επεξεργασία των στοιχείων που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4, η οποία λαμβάνει χώρα στο Κεφάλαιο 5.
- ✓ Στο «**Παράρτημα Γ: Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση και Ειδικό Συνολικό Κόστος των συστημάτων αφαλάτωσης – Επεξεργασμένα στοιχεία**» περιέχονται τα δεδομένα ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης και ειδικού κόστους αφαλάτωσης, τα οποία εντοπίζονται στη βιβλιογραφία και παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4 κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας, ώστε αφενός μεν το σύνολο των όμοιων μεγεθών να αναφέρονται στις ίδιες μονάδες μέτρησης, αφετέρου δε τα στοιχεία κόστους να προσαρμοστούν σε σημερινές νομισματικές τιμές, για να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Στα στοιχεία αυτού του παραρτήματος βασίζονται τα γραφήματα που κατασκευάζονται στο Κεφάλαιο 5.

1.3 Συντομογραφίες

Για τη διευκόλυνση του αναγνώστη, κωδικοποιούνται αμέσως παρακάτω (Πίνακας 1-1) ορισμένες συντομογραφίες, οι οποίες εμφανίζονται στην εργασία.

Πίνακας 1-1. Συντομογραφίες που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της εργασίας.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΝΟΗΜΑ
RO	Reverse Osmosis, Αντίστροφη Οσμωση
ED	Electrodialysis, Ηλεκτροδιάλυση
MSF	Multi-Stage Flashing, Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων
MED ή MEB ή MEE	Multiple Effect Distillation ή Multiple Effect Boiling ή Multiple Effect Evaporation, Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης
VC	Vapor Compression Distillation, Απόσταξη με Συμπίεση Ατμών
MVC	Mechanical Vapor Compression, Μηχανική Απόσταξη με Συμπίεση Ατμών
TVC ή ME-TVC	Thermal Vapor Compression ή Multiple Effect-Thermal Vapor Compression, Θερμική Απόσταξη με Συμπίεση Ατμών
SD	Solar Distillation, Ηλιακή Απόσταξη
HYBRID	Υβριδικά Συστήματα Αφαλάτωσης
RES, ΑΠΕ	Renewable Energy Sources, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
CONVENTIONAL	Συμβατικές Πηγές Ενέργειας
PV, Φ/Β	Photovoltaics, Φωτοβολταϊκά
WG, Α/Γ	Wind Generators, Ανεμογεννήτριες
GT	Geothermal Systems, Γεωθερμικά Συστήματα
SOLAR	Solar Systems, Ηλιακά Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας (Θερμικής ή Ηλεκτρικής) πλην Φωτοβολταϊκών

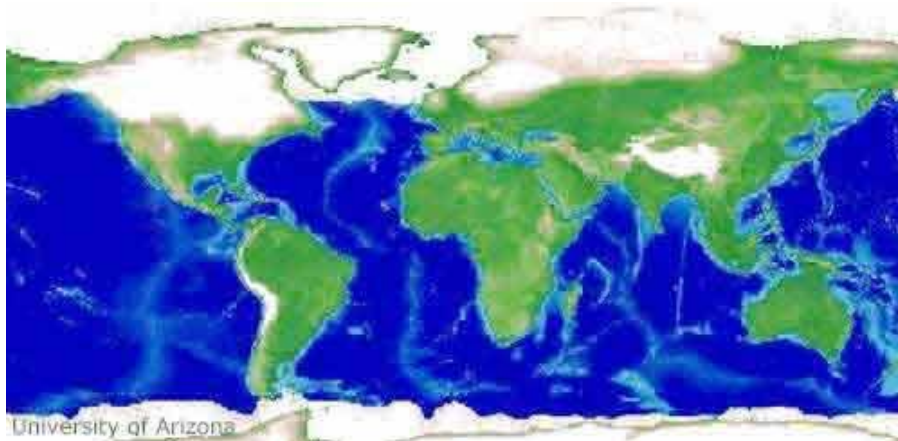
2. Το Νερό και η Λειψυδρία: Η κατάσταση στον Κόσμο και την Ελλάδα

2.1 Το νερό και η ενέργεια

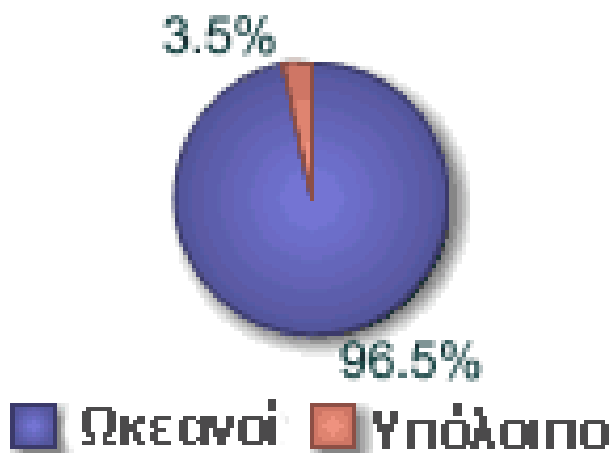
Το νερό και η ενέργεια είναι δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες που αφορούν την ανάπτυξη και το περιβάλλον σε παγκόσμιο αλλά και τοπικό επίπεδο. Η ιστορία έχει αποδείξει πως το νερό συνδέεται στενά με την ανάπτυξη λαμπρών πολιτισμών. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα τέτοιων, οι οποίοι αναπτύχθηκαν γύρω από άφθονες πηγές νερού, όπως ποτάμια και λίμνες. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ίσως ο ποταμός Νείλος στην Αίγυπτο, γύρω από τον οποίο αναπτύχθηκε ένας από τους σημαντικότερους πολιτισμούς της ανθρωπότητας. Το ποτάμι, σε αυτή την περίπτωση, παρείχε τις απαραίτητες ποσότητες ύδατος και θρεπτικών συστατικών, μέσω της λάσπης του, που ήταν απαραίτητα για την ανάπτυξη της γεωργίας. Σημαντική παράμετρος βέβαια είναι και η ενέργεια, καθώς αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη όλων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Kalogirou, 2005). Η κοινωνική και η οικονομική ευημερία στις ανθρώπινες κοινωνίες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δυνατότητα χρήσης τόσο της μιας όσο και της άλλης παραμέτρου, από αυτές. Αυτοί οι δύο σημαντικότεροι πόροι είναι άμεσα συνδεδεμένοι μεταξύ τους, καθώς η παραγωγή ενέργειας απαιτεί σε αρκετές περιπτώσεις μεγάλες ποσότητες νερού, ενώ το νερό για να διανεμηθεί και να δεχτεί τυχόν επεξεργασία βασίζεται στην κατανάλωση ενέργειας. Η ικανότητα παραγωγής τόσο ενέργειας, όσο και πόσιμου νερού, σε ικανοποιητικές τιμές και με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είναι κάτι ζωτικό για τα ανθρώπινα έθνη, ωστόσο είναι ταυτόχρονα δύσκολο και ιδιαίτερα απαιτητικό.

Στις περισσότερες ξηρές και απομονωμένες περιοχές του πλανήτη, το καθαρό πόσιμο νερό είναι αρκετά σπάνιο. Τέτοιες περιοχές είναι συνήθεις στη λεκάνη της Μεσογείου και τη Μέση Ανατολή, όπου υπάρχουν νησιά, πόλεις και χωριά, τα οποία υποφέρουν από έλλειψη γλυκού πόσιμου νερού. Την ίδια στιγμή, οι περισσότερες από αυτές τις περιοχές, διαθέτουν τεράστιες ποσότητες θαλασσινού και υφάλμυρου νερού, η μετατροπή όμως του οποίου σε πόσιμο απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007). Με άλλα λόγια, η έλλειψη πόσιμου νερού σε πολλές από αυτές περιοχές αποτελεί ένα σημαντικό και διαρκώς διογκούμενο πρόβλημα και η εύρεση λύσης σε αυτό είναι καταλυτικής σημασίας για την συνέχιση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα σημεία αυτά.

Το νερό, όπως είναι γνωστό, έχει καταλυτική σημασία για τη ζωή. Παρόλο που καλύπτει το 70% της Γης, το 97% περίπου είναι αλμυρό και βρίσκεται στις θάλασσες, ενώ μόνο το 3% είναι γλυκό και συναντάται σε μορφή παγετώνων, λιμνών, ποταμών και υπόγειων υδάτων. Περίπου το 70%, του γλυκού νερού είναι αποθηκευμένο σε παγετώνες, ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται σε ποσοστό 0,25% σε επιφανειακά ύδατα (ποτάμια και λίμνες) και 29,75% σε υπόγεια ύδατα (Kalogirou, 2005).



Εικόνα 2-1. Το 70% της γης καλύπτεται από νερό (Μακρόπουλος, 2010)



Γράφημα 2-1. Το νερό στη Γή: Περίπου το 97% του νερού της γης βρίσκεται στη θάλασσα σε αλμυρή μορφή (Μακρόπουλος, 2010)

Από τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι η επεξεργασία του θαλασσινού νερού, με μεθόδους ενεργειακά και οικονομικά βιώσιμες, για την παραγωγή αφαλατωμένου και πόσιμου νερού, είναι μια πολύ σημαντική τεχνολογία, η οποία θα μπορούσε να παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην επίλυση των προβλημάτων λειψυδρίας του πλανήτη μας.

2.2 Η παγκόσμια κατανάλωση νερού και τα προβλήματα λειψυδρίας

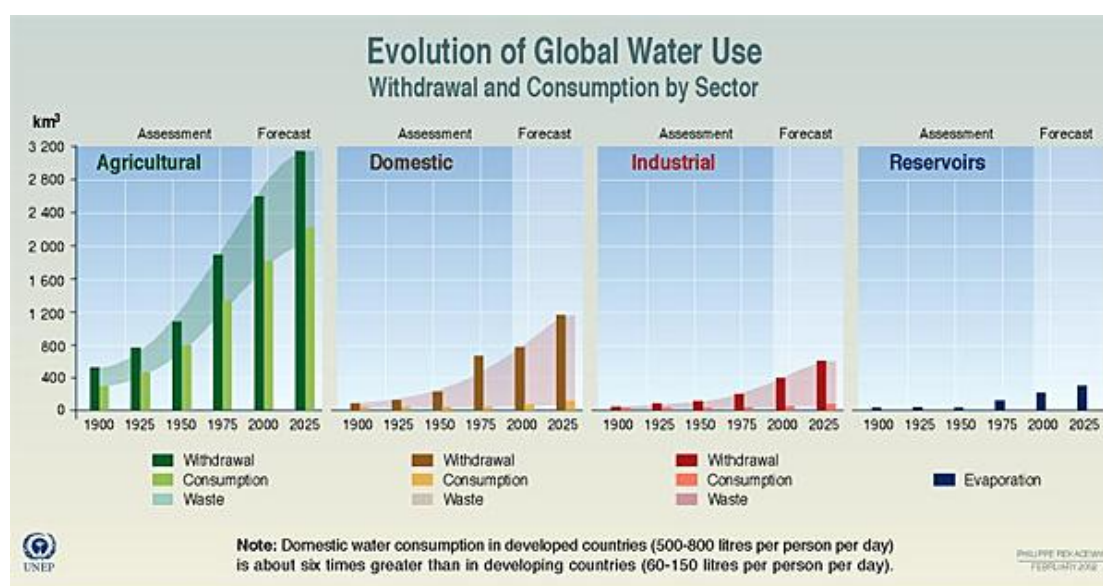
Ο άνθρωπος ανέκαθεν εξαρτιόταν από την ύπαρξη του νερού, για τις οικιακές, τις αγροτικές, αλλά και τις βιομηχανικές δραστηριότητες που αναπτύσσει. Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού και η ραγδαία ανάπτυξη του βιομηχανικού κλάδου συνέβαλαν τα τελευταία χρόνια σε κατακόρυφη αύξηση στη ζήτηση νερού (Πίνακας 2-1). Εάν, ταυτόχρονα, αναλογιστεί κάποιος την αύξηση σε παγκόσμια κλίμακα της μόλυνσης των υδάτινων πόρων, αλλά και της ανισομερούς κατανομής αυτών ανά τον πλανήτη, θα κατανοήσει γιατί το πρόβλημα του νερού αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που έχει να αντιμετωπίσει ο άνθρωπος.

Πίνακας 2-1. Η παγκόσμια κατανομή πληθυσμού (σε εκατομμύρια κατοίκους) στη διάρκεια των ετών (FIÖRENZA, SHARMA, & BRACCIO, 2004)

Έτος	ΗΠΑ	Ευρώπη	Αφρική	Ασία	Συνολικά
1950	158	296	221	1377	2522
1960	186	316	277	1668	3022
1970	210	341	357	2101	3696

1980	230	356	467	2586	4440
1990	254	365	615	3114	5266
2000	278	376	784	3683	6055
2010	298	376	973	4136	6795
2020	317	371	1187	4545	7502
2030	333	362	1406	4877	8112
2040	343	349	1595	5118	8577
2050	349	332	1776	5268	8909

Από τη συνολική κατανάλωση νερού, το 70% περίπου αναλογεί στη γεωργία, το 20% χρησιμοποιείται στη βιομηχανία και μόνο το 10% αντιστοιχεί σε οικιακή χρήση. Η κατανάλωση νερού για διάφορες χρήσεις εμφανίζει, σε παγκόσμια κλίμακα, αλματώδη αύξηση, ενώ η προσφορά του από τη φύση συνεχώς μειώνεται (Γράφημα 2-2). Τα δεδομένα είναι ακόμη χειρότερα αν αναλογιστούμε ότι σε πολλές χώρες του κόσμου, μεταξύ των οποίων και στην Ελλάδα, η χρονική κατανομή προσφοράς και ζήτησης του νερού είναι αντίστροφες, δηλαδή, η ζήτηση του νερού μεγιστοποιείται τους ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες, όταν η προσφορά του από τη φύση είναι ελάχιστη (Μαλαματάρης, 2010).



Source: Igor A. Shiklomanov, State Hydrological Institute (SHI, St. Petersburg) and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (UNESCO, Paris), 1999. (UNEP, 2008)

Γράφημα 2-2. Εξέλιξη παγκόσμιας χρήσης νερού ανά τομέα

Στον Πίνακα 2-2 που ακολουθεί περιέχονται στοιχεία για την κατανάλωση νερού σε διάφορες χώρες του πλανήτη, και πώς αυτή μοιράζεται μεταξύ οικιακής, γεωργικής και αστικής χρήσης, κατά το έτος 2000.

Πίνακας 2-2. Η κατανάλωση νερού σε διάφορες χώρες του πλανήτη το 2000 – Κατανομή ανά τομέα χρήσης (Πύλη παιδαγωγικού Υλικού Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, 2010)

Χώρα	Πληθυσμός (10 ³ κατοίκους)*	Συνολική κατανάλωση νερού (10 ⁶ m ³)	Κατανάλωση νερού (m ³ /άτομο)	Ποσοστό οικιακής χρήσης (%)	Ποσοστό γεωργικής χρήσης (%)	Ποσοστό βιομηχανικής χρήσης (%)***
Ελλάδα	11048	7760	702	16,4	80,5**	3,22
Γερμανία	82507	47000	570	12,3	19,8	67,9
Ην. Βασίλειο	59305	9540	161	21,7	2,94	75,4
Ιταλία	57880	44400	767	18,2	45,1	36,7
Πολωνία	38612	16200	420	13	8,33	78,7

Κένυα	32040	1580	49	29,7	63,9	6,33
Καμερούν	15455	990	64	18,2	73,7	8,08
Ινδία	1054373	646000	613	8,09	86,5	5,45
Ιράν	67587	88500	1309	5,08	93,8	1,13
Ιαπωνία	127525	88400	693	19,7	62,5	17,9
Παραγουάη	5740	490	85	20,4	71,4	8,16
ΗΠΑ	289821	479000	1654	12,7	41,3	46
Μεξικό	102946	78200	760	17,4	77,1	5,48

*Αναφέρεται στο έτος 2002. Οι τιμές των υπολοίπων στηλών αναφέρονται στο έτος 2000

** Θα πρέπει να σημειωθεί ότι διάφορες πηγές στην Ελλάδα (Υπουργεία, Οργανώσεις, ερευνητές) ανεβάζουν το συγκεκριμένο ποσοστό σήμερα στο 84-86%

*** Οι μικρές αποκλίσεις του αθροίσματος των ποσοστών των τριών τομέων από το 100% οφείλονται σε στρογγυλοποιήσεις της πρωτογενούς πηγής δεδομένων

Από αυτά τα στοιχεία παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη κατά άτομο κατανάλωση νερού στον πλανήτη παρατηρείται στις Η.Π.Α. (1654 κ.μ. ανά άτομο), ενώ ακολουθούν το Ιράν (1309 κ.μ. ανά άτομο), η Ιταλία (767 κ.μ. ανά άτομο), το Μεξικό (760 κ.μ. ανά άτομο) και η Ελλάδα (702 κ.μ. ανά άτομο). Η χώρα μας παρουσιάζει αρκετά μεγάλο ποσοστό κατανάλωσης νερού, το οποίο οφείλεται κυρίως στην άρδευση και σε μικρότερο βαθμό στην οικιακή και βιομηχανική χρήση.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, σε προηγούμενη ενότητα, το γλυκό νερό αποτελεί μόλις το 2.61% της συνολικής ποσότητας του νερού στη γη, καθώς το συντριπτικό 97.39% είναι αλμυρό θαλασσινό νερό (Πίνακας 2-3) (Μαλαματάρης, 2010).

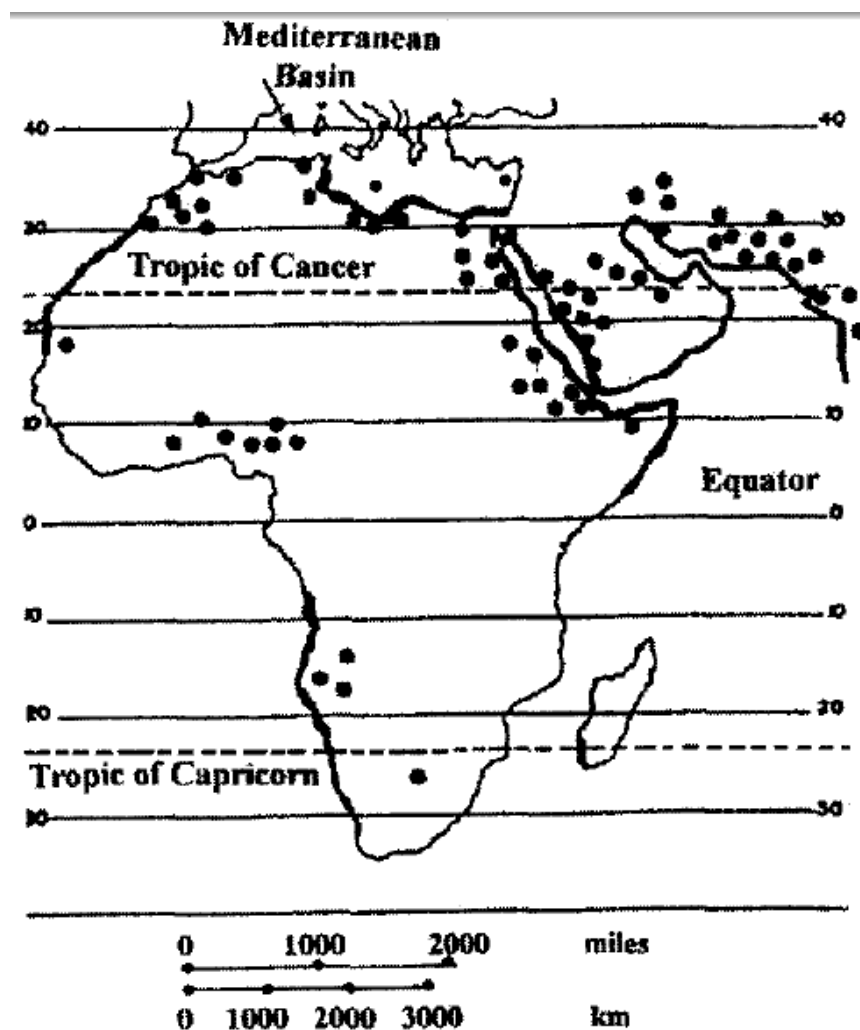
Πίνακας 2-3. Οι μορφές στις οποίες συναντάται το νερό (Μαλαματάρης, 2010)

Μορφές νερού	Ποσοστό (%)
Θαλασσινό νερό	97.39
Πάγος	2.01
Υπόγειο νερό	0.58
Λίμνες και ποταμοί	0.02
Ατμόσφαιρα	0.001

Η μη ορθολογική διαχείριση των περιορισμένων αυτών υδατικών πόρων έχει ήδη οδηγήσει πολλές περιοχές του πλανήτη σε κατάσταση λειψυδρίας και πιθανότατα θα επιφέρει τρομερές συνέπειες στην ανθρωπότητα στο άμεσο μέλλον. Είναι γεγονός ότι τα τελευταία έτη, σύμφωνα με εκτιμήσεις, περίπου 1,7 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό και ζουν σε χώρες, όπου τα αποθέματα του γλυκού νερού δεν επαρκούν για να καλύψουν τις βασικές ανάγκες τους (Charcosset, 2008). Οι αριθμοί αυτοί αναμένεται να παρουσιάσουν σημαντική αύξηση την επόμενη 25ετία, καθώς σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο για το Νερό (World Water Council), μέχρι το 2020, ο πλανήτης θα αντιμετωπίζει έλλειψη του 17% του απαιτούμενου πόσιμου νερού για την διατήρηση του πληθυσμού, ενώ το 2025 περίπου 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα ζουν σε χώρες με έλλειψη ή σπανιότητα νερού (Μαλαματάρης, 2010).

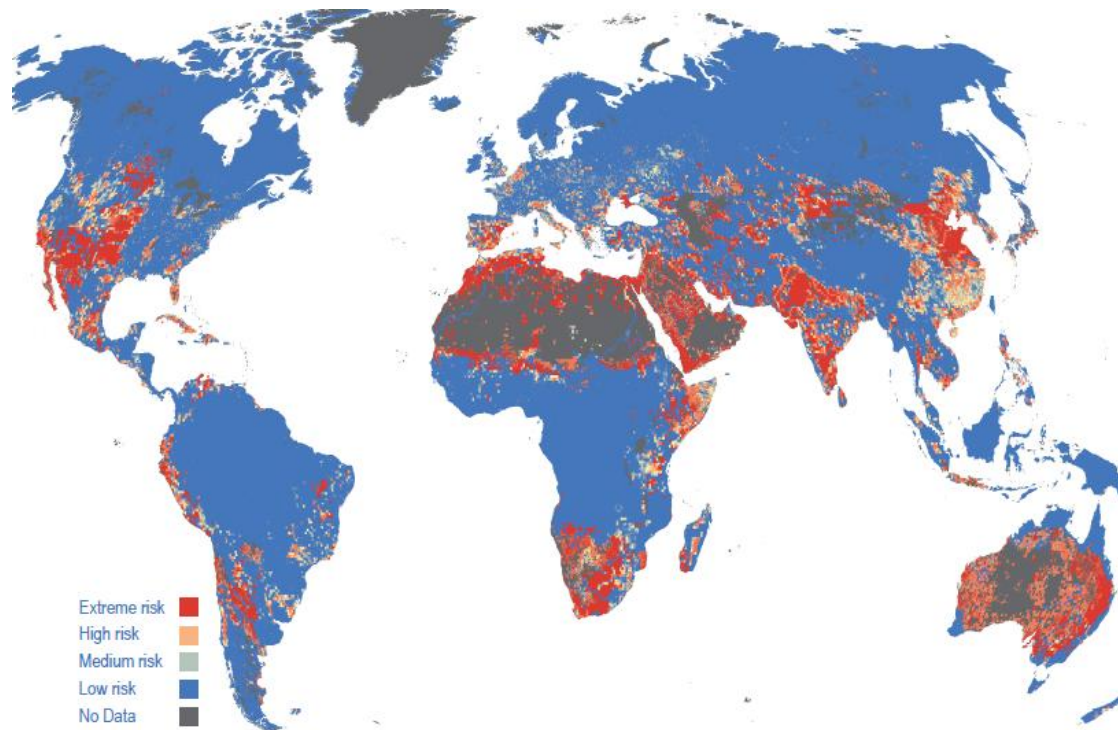
Αναλυτικότερη έρευνα του φαινομένου της λειψυδρίας αποκαλύπτει ότι παγκοσμίως υπάρχουν περίπου 110 χώρες που περιέχουν μικρές ή μεγάλες περιοχές με προβλήματα έλλειψης νερού. Γενικότερα αναφέρεται ότι υπάρχουν περισσότερες από 355 πόλεις στον κόσμο, πληθυσμού μεγαλύτερου των 100.000 κατοίκων η καθεμία, που παρουσιάζουν πρόβλημα λειψυδρίας, με αποτέλεσμα το 25% περίπου του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε άνδρες ή ημι-άνδρες περιοχές, με έλλειψη κατάλληλης ποιότητας πόσιμου νερού. Οι περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας καλύπτουν περίπου 33.000 km παγκόσμιας ακτογραμμής, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων εντοπίζεται στη Μέση Ανατολή, κατά μήκος του Περσικού κόλπου και της Αραβικής χερσονήσου. Στην Εικόνα 2-2

απεικονίζονται κάποιες από αυτές τις περιοχές, με έντονα προβλήματα έλλειψης νερού, όπως η Δαμασκός στη Συρία, η Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου, το Σφάζ στην Τυνησία και η Τρίπολη στη Λιβύη. Πολλές από αυτές τις πόλεις χρησιμοποιούν την αφαλάτωση ως λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν (Belessiotis & Delyannis, Water shortage and renewable energies (RE) desalination - possible technological applications, 2001).



Εικόνα 2-2. Οι άνυδρες παράκτιες περιοχές της Αφρικής και της Μέσης Ανατολής, συμπεριλαμβανομένων των Μεσογειακών ακτών της Αφρικής και του Αραβικού κόλπου (Belessiotis & Delyannis, Water shortage and renewable energies (RE) desalination - possible technological applications, 2001)

Από πρόσφατα στοιχεία του έτους 2011, υπολογίζεται ο Δείκτης Έλλειψης Νερού (Water Stress Index), για ένα μεγάλο αριθμό περιοχών του πλανήτη μας. Ο δείκτης αυτός, η διακύμανση των τιμών του οποίου απεικονίζεται στο χάρτη της Εικόνας 2-3, χαρακτηρίζει συνολικά 17 χώρες με «Ακραίο κίνδυνο» λειψυδρίας. Κορυφαίες θέσεις σε αυτή την κατάταξη κατέχουν τα έθνη της Μέσης Ανατολής και της Βορείου Αφρικής (MENA), όπως το Μπαχρέιν (Θέση 1), το Κατάρ (Θέση 2), το Κουβέιτ (Θέση 3), η Σαουδική Αραβία (Θέση 4), η Λιβύη (Θέση 5), η περιοχή της Ανατολικής Σαχάρας (Θέση 6), η Υεμένη (Θέση 7), το Ισραήλ (Θέση 8), το Τζιμπουτί (Θέση 9) και η Ιορδανία (Θέση 10). Οι 20 χώρες με το μεγαλύτερο κίνδυνο λειψυδρίας παγκοσμίως περιέχονται στον Πίνακα 2-4.



Εικόνα 2-3. Παγκόσμιος Δείκτης Έλλειψης Νερού 2011 (Maplecroft, 2011)

Πίνακας 2-4. 20 χώρες μεγάλου κινδύνου λειψυδρίας (Maplecroft, 2011)

Κατάταξη/Θέση βάσει του Δείκτη Έλλειψης Νερού	Χώρα	Κατηγορία Κινδύνου Λειψυδρίας
1	Bahrain	extreme
2	Qatar	extreme
3	Kuwait	extreme
4	Saudi Arabia	extreme
5	Libya	extreme
6	Western Sahara	extreme
7	Yemen	extreme
8	Israel	extreme
9	Egypt	extreme
10	Djiboudi	extreme
11	Jordan	extreme
12	Morocco	extreme
13	Algeria	extreme
14	Oman	extreme
15	Tunisia	extreme
16	Aruba	extreme
17	Malta	extreme
18	Syria	high
19	Mauritania	high
20	United Arab Emirates (UAE)	high

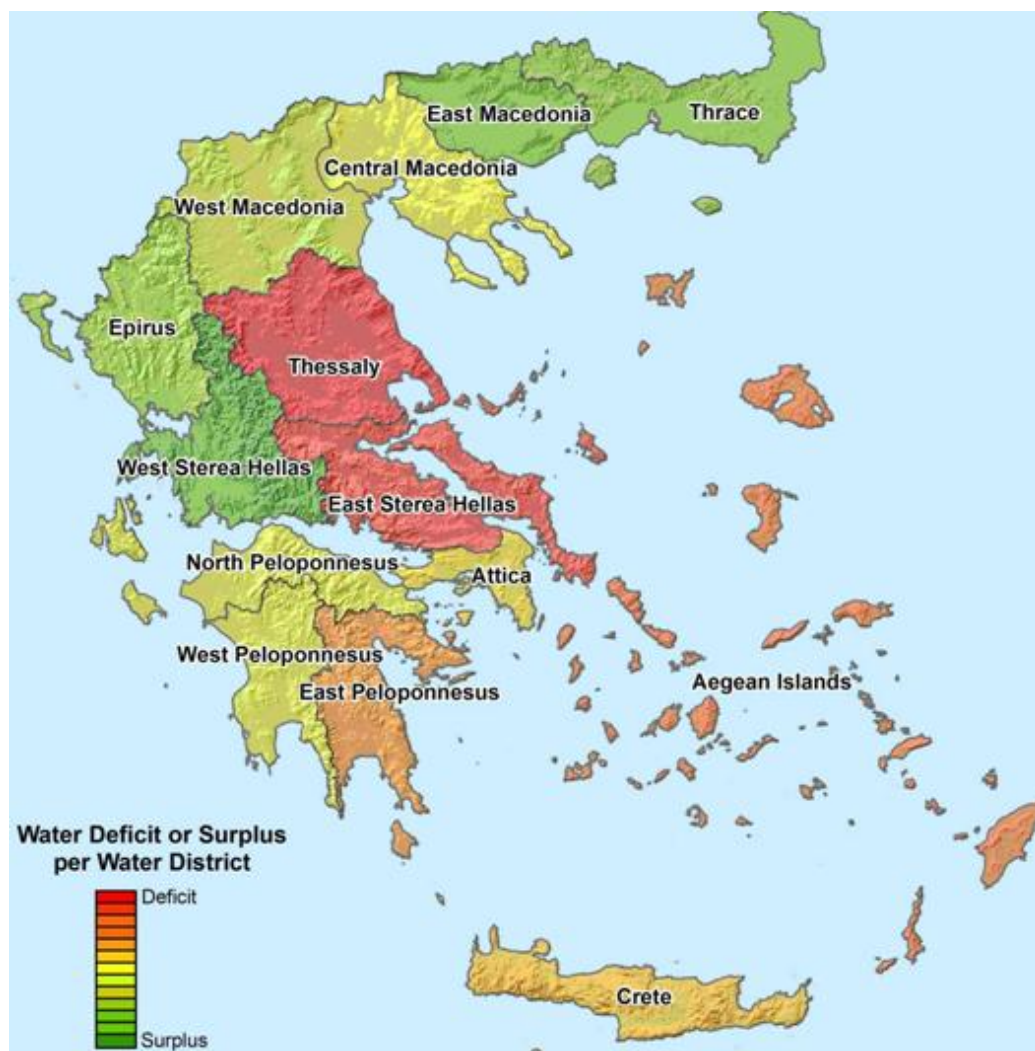
Εκτός όμως από τις χώρες αυτές (MENA), η έλλειψη νερού αποτελεί κίνδυνο και για διαρκώς αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Ινδία (Θέση 30), η Νότια Κορέα (Θέση 36), που χαρακτηρίζονται από «Υψηλό κίνδυνο» αλλά και η Κίνα (Θέση 56), που τη χαρακτηρίζει «Μέσος κίνδυνος». Στην εν λόγω έρευνα επισημαίνεται ότι χώρες, που αυτή τη στιγμή διαθέτουν σύμφωνα με το δείκτη αυτό, μικρότερο κίνδυνο λειψυδρίας, όπως η Κένυα (Θέση 91) και το Σουδάν (Θέση 93), ενδέχεται σε πολύ λίγα έτη να χαρακτηρίζονται από «Μεγάλο κίνδυνο», κυρίως λόγω μεταβολών, που μπορεί να επιφέρει η κλιματική αλλαγή, όπως αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση των βροχοπτώσεων (Maplecroft,

2011). Φυσικά θα πρέπει να τονισθεί ότι ο Δείκτης Έλλειψης Νερού, δεν αντικατοπτρίζει πλήρως το πρόβλημα της έλλειψης νερού, καθώς υπάρχουν τοπικοί και χρονικοί παράγοντες, όπως ο τουρισμός, οι οποίοι δυναμικά μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην επάρκεια του νερού ακόμα και σε περιοχές, οι οποίες βάσει του δείκτη δεν αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα προβλήματα λειψυδρίας (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007).

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι το πρόβλημα της έλλειψης νερού, όχι αδικώς, βρίσκεται στις κορυφαίες θέσεις της κατάταξης των προβλημάτων που απασχολούν την ανθρωπότητα. Αποτελεί, λοιπόν, προτεραιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο η κάλυψη των αναγκών για πόσιμο και καθαρό νερό, καθιστώντας αυτόματα την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ως μια λύση η οποία πρέπει να εξεταστεί πολύ προσεκτικά, καθώς δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης των θαλάσσιων υδάτων του πλανήτη, τα οποία βρίσκονται σε αφθονία και είναι πρακτικά ανεξάντλητα (Charcosset, 2008).

2.3 Η κατανάλωση νερού στην Ελλάδα και ο κίνδυνος λειψυδρίας

Σε μία γενική θεώρηση της Ελλάδας από υδρολογική άποψη, μπορούμε ίσως να την κατατάξουμε στις χώρες που είναι πλούσιες σε υδατικούς πόρους. Αυτό οφείλεται τόσο στο κλίμα που επικρατεί, όσο και στο γεωγραφικό της ανάγλυφο που ευνοεί τη συσσώρευση νερού και επιτρέπει την εκμετάλλευσή του. Ωστόσο, η εικόνα αυτή δεν είναι ακριβής για δύο κυρίως λόγους. Σε όλη την έκταση της χώρας παρατηρούνται εντονότερες διακυμάνσεις και ανομοιομορφίες στη διαθεσιμότητα και τη ζήτηση του νερού, τόσο σε χωρικό όσο και χρονικό επίπεδο (Εικόνα 2-4). Συνοπτικά αναφέρεται ότι στη δυτική χώρα υπάρχει πολύ νερό που δεν απορροφάται, ενώ στα ανατολικά υπάρχει ανεπάρκεια (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009). Μια πιο προσεκτική μελέτη των στοιχείων του χάρτη αυτού μας αποκαλύπτει ότι η χώρα μας διαχωρίζεται σε 14 τομείς, όσον αφορά την κατανάλωση και τη ζήτηση νερού. Σε κάποιους από αυτούς, μεταξύ των οποίων βρίσκονται και τα νησιά του Αιγαίου (κυρίως τα Δωδεκάνησα και οι Κυκλάδες), εντονότερο φαίνεται να είναι το πρόβλημα της έλλειψης νερού. Επίσης, οι περιοχές της Θεσσαλίας και της Δυτικής Στερεάς φαίνεται να διαθέτουν έντονα προβλήματα έλλειψης νερού, τα οποία όμως αποδίδονται κυρίως στις υψηλότερες ανάγκες άρδευσης των περιοχών αυτών και όχι τόσο στην απουσία υδατικών πόρων (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008).



Εικόνα 2-4. Η έλλειψη νερού στην Ελλάδα (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)

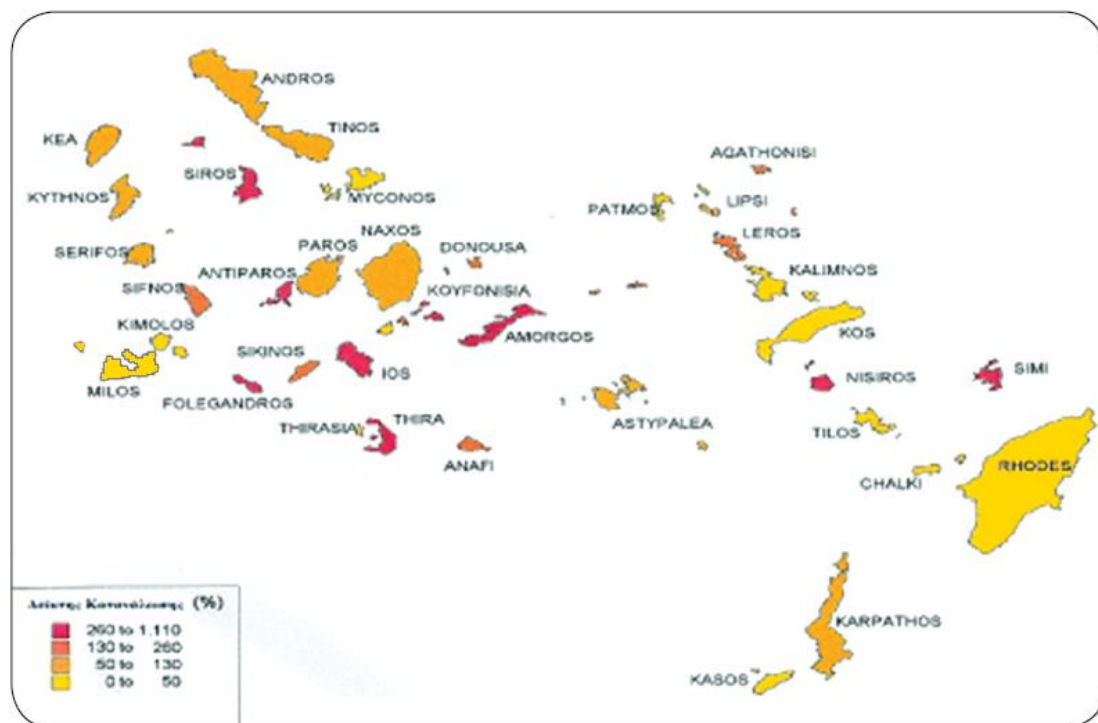
Περαιτέρω αναζήτηση, του φαινομένου της λειψυδρίας στην Ελλάδα, αλλά και στα νησιά του Αιγαίου ειδικότερα, μας οδηγεί σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από φορείς και ερευνητικά κέντρα της Μεσογείου [Prodesal], ανάμεσα στα οποία και το ΕΜΠ. Η έρευνα αυτή, εντοπίζει τις περιοχές με το εντονότερο πρόβλημα λειψυδρίας, χωρίς να περιορίζεται μόνο στη διαθεσιμότητα του νερού, αλλά λαμβάνει υπ' όψη της και την ποιότητα του. Για την Ελλάδα τα συμπεράσματα που προέκυψαν κινούνται στους εξής δύο άξονες (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009):

1. Η ενδοχώρα είναι σε θέση με κατάλληλη πολιτική διαχείρισης των αποθεμάτων της να καλύψει τις ανάγκες που έχει, ακόμα και σε περιοχές όπου τοπικά εμφανίζεται πρόβλημα.
2. Στον αντίποδα, τα νησιά του Αιγαίου εμφανίζουν έλλειψη φυσικών πηγών νερού και ασύμμετρα μεγάλη ζήτηση νερού, λόγω της έντονης τουριστικής ανάπτυξης. Το πρόβλημα δεν είναι ίδιο παντού, αλλά υπάρχουν αρκετά νησιά, όπου η πρόσβαση στο αγαθό του νερού για όλες τις χρήσεις είναι περιορισμένη σε μεγάλο βαθμό με δυσμενείς επιπτώσεις για την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Έτσι λοιπόν, η έρευνα στράφηκε σε κάθε νησί ξεχωριστά λαμβάνοντας υπόψη τα εκάστοτε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του και χρησιμοποιήθηκαν δείκτες κατανάλωσης και εκμετάλλευσης, όπως αυτοί παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-5.

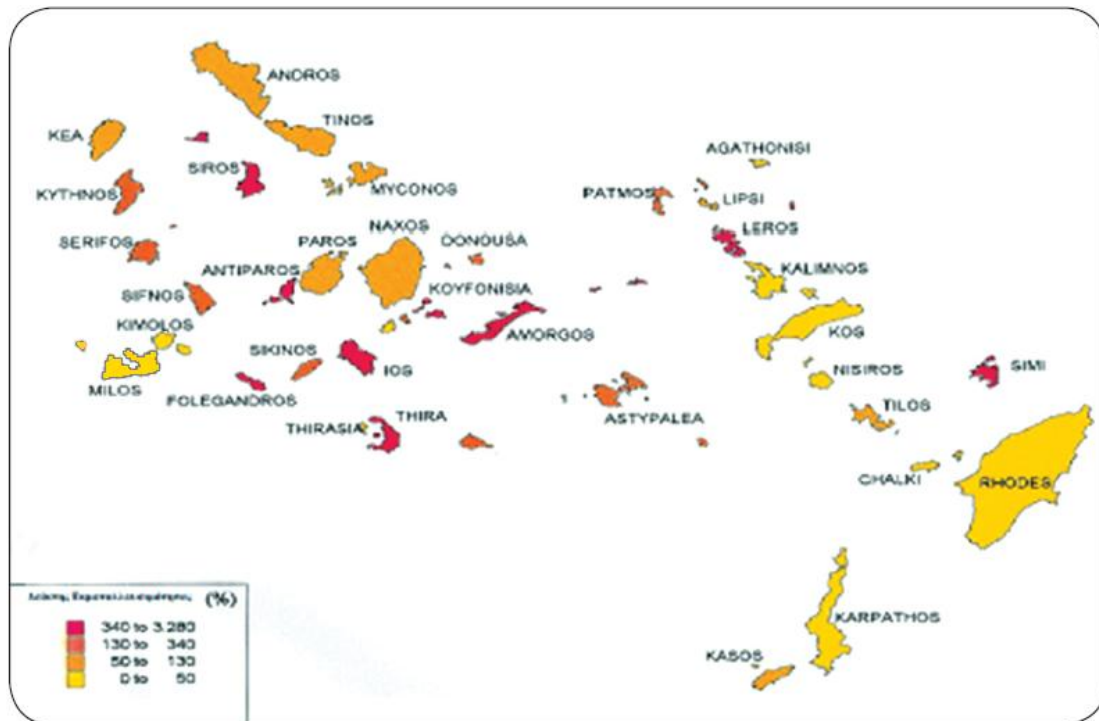
Πίνακας 2-5. Δείκτες για την Ταυτοποίηση και Ποσοτικοποίηση της Έλλειψης Ύδατος (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

Δείκτης	Ορισμός	Συμπεράσματα
Δείκτης Κατανάλωσης (Δ.Κ.)	Συνολική κατανάλωση / Συνολικά αποθέματα	Υψηλές τιμές του Δ.Κ. υποδεικνύουν πιθανή έλλειψη νερού.
Κλάσμα πληθυσμού προς αποθέματα (Κ)	Πληθυσμός / Συνολικά αποθέματα	$K > 500 \text{ άτομα} / 10^6 \text{ m}^3$ ανά έτος υποδεικνύει κρίσιμες συνθήκες $K > 1000 \text{ άτομα} / 10^6 \text{ m}^3$ ανά έτος υποδεικνύει έντονο πρόβλημα έλλειψης νερού.
Δείκτης Εκμεταλλευσιμότητας (Δ.Ε.)	Συνολική κατανάλωση / Σταθερά αποθέματα	Υψηλές τιμές του Δ.Ε. υποδεικνύουν έντονο πρόβλημα έλλειψης νερού. Δ.Ε. > 1 υποδεικνύει κακοδιαχείριση των υπαρχόντων αποθεμάτων. Δ.Ε. < 1 υποδεικνύει καλή διαχείριση των υπαρχόντων αποθεμάτων.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατέδειξαν τα νησιά με το πιο οξύ πρόβλημα έλλειψης νερού. Όπως φαίνεται και από τους χάρτες του Αιγαίου που παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 2-5, 2-6), στους οποίους απεικονίζονται Δείκτης Κατανάλωσης και ο Δείκτης Εκμεταλλευσιμότητας, για τα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες, τα νησιά αυτά είναι η Σύρος, η Θήρα, η Κίμωλος, η Αντίπαρος, η Αμοργός, η Φολέγανδρος, η Λέρος, η Κάρπαθος, η Πάτος, η Σύμη, η Νίσυρος, οι Λειψοί και η Χάλκη.

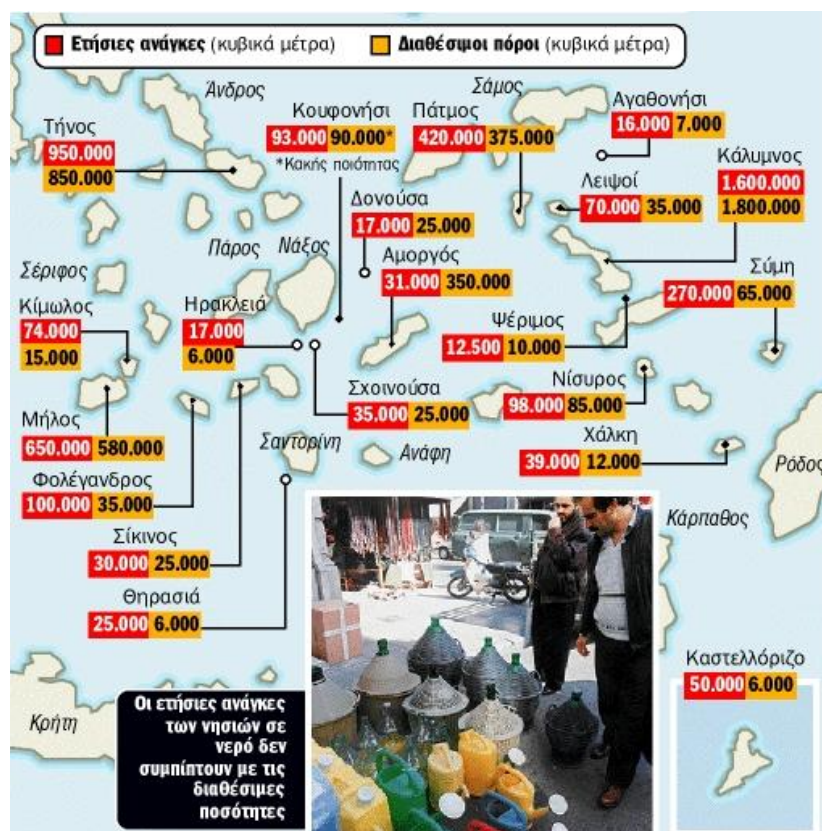


Εικόνα 2-5. Δείκτης κατανάλωσης (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)



Εικόνα 2-6. Δείκτης εκμεταλλευσιμότητας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

Τα προβλήματα λειψυδρίας, όμως, που παρουσιάζονται δεν περιορίζονται μόνο στα προαναφερθέντα νησιά. Σε ένα μεγάλο εύρος νησιών, από την Αμοργό έως τα Κουφονήσια και την Κίμωλο και από το Αγαθονήσι έως τους Λειπούς, την Κάλυμνο και την Ψέριμο, οι ανάγκες είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τους διαθέσιμους υδάτινους πόρους (Εικόνα 2-7). Όπως επισημαίνεται και από χαρακτηριστικό άρθρο στην εφημερίδα «ΤΑ ΝΕΑ», τα προβλήματα είναι έντονα ακόμα και σε μεγάλα νησιά, με πολλούς μόνιμους κατοίκους και μεγάλη τουριστική κίνηση. Η Τήνος, για παράδειγμα, έχει ετήσιες ανάγκες 950.000 κυβικών μέτρων νερού, το διαθέσιμο νερό όμως δεν ξεπερνάει τα 850.000 κυβικά μέτρα. Επίσης οι κάτοικοι της Πάτμου χρειάζονται για το ίδιο διάστημα 420.000 κυβικά μέτρα, όταν οι διαθέσιμοι πόροι φτάνουν οριακά τα 375.000 κυβικά μέτρα. Όπως παρατηρούμε οι αποκλίσεις μεταξύ ετήσιων αναγκών και διαθέσιμων ποσοτήτων είναι σε όλες τις περιπτώσεις μεγάλες και σε καμία περίπτωση το πρόβλημα δεν φαίνεται να λύνεται ουσιαστικά (ΤΑ ΝΕΑ, 2006).



Εικόνα 2-7. Οι ετήσιες ανάγκες των νησιών σε νερό και οι διαθέσιμοι πόροι που διαθέτουν (ΤΑ ΝΕΑ, 2006)

Παρόλες τις μεγάλες αυτές ελλείψεις και ανάγκες για πόσιμο νερό, κανένα ουσιαστικό σχέδιο οριστικής λύσης του προβλήματος δεν εφαρμόζεται και οι λύσεις που δίνονται στο πρόβλημα μοιάζουν αποσπασματικές και κοστοβόρες. Το μοναδικό σχέδιο διαχείρισης υδάτινων πόρων που εφαρμόζεται είναι η μεταφορά του νερού, μια λύση ακριβή που ωστόσο δεν λύνει το ολοένα και οξύτερο πρόβλημα λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν τα νησιά του Αιγαίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την περίοδο 1997 έως 2004 δαπανήθηκαν 33 εκατομμύρια ευρώ για τη μεταφορά νερού, δηλαδή περίπου 4,12 εκατομμύρια ευρώ τον χρόνο (ΤΑ ΝΕΑ, 2006).

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να εξετάσουμε αναλυτικότερα τους λόγους στους οποίους οφείλεται, κατά κύριο λόγο, η εμφάνιση προβλημάτων έλλειψης νερού, στα Αιγαίοπελαγίτικα νησιά της χώρας μας.

2.4 Τα νησιά του Αιγαίου και οι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η έλλειψη νερού

Απαραίτητη κρίνεται, αρχικά, η γνωριμία με τα νησιά αυτά, ώστε να δημιουργήσουμε μια όσο το δυνατόν σφαιρικότερη αντίληψη του χώρου, τον οποίο θα μελετήσουμε.

2.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά των νησιών του Αιγαίου

Τα νησιά του Αιγαίου Αρχιπελάγους βρίσκονται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ευρώπης και αυτό που τα χαρακτηρίζει είναι το ξηρό Μεσογειακό κλίμα, με το ζεστό και σχετικά άνυδρο καλοκαίρι. Τα νησιά αυτά βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την ενδοχώρα, κάτι το οποίο

συμβάλλει σε οικονομική δυσχέρεια σε σχέση με τις περισσότερες από τις υπόλοιπες περιοχές της Ευρώπης (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η παρακάτω κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει ορισμένων κριτηρίων που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των αιτιών της έλλειψης νερού, οι οποίες αναφέρονται στη συνέχεια, αλλά και των δυνατοτήτων κάλυψης των αναγκών πόσιμου νερού μέσω συστημάτων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, οι οποίες διερευνώνται σε επόμενα κεφάλαια. Τα κριτήρια αυτά είναι ο μόνιμος πληθυσμός (Πίνακας 2-6), η έκταση (Πίνακας 2-7), η πυκνότητα του πληθυσμού (Πίνακας 2-8), και η τουριστική ανάπτυξη (Πίνακας 2-9) του καθενός από αυτά.

Πίνακας 2-6. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει του πληθυσμού τους (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

	Μεγάλα (κάτοικοι >20000)	Μεσαία (20000>κάτοικοι >10000)	Μικρά (10000>κάτοικοι>1000)	Πολύ μικρά (1000>κάτοικοι>100)
Αριθμός νησιών	5	5	13	9
Νησιά	Ρόδος Λέσβος Χίος Κως Σύρος	Λήμνος Νάξος Σαντορίνη Αίγινα Πάρος	Άνδρος Μύκονος Μήλος Σκόπελος Πάτμος Σαμοθράκη Σκύρος Σίφνος Αλόνησος Κέα Ίος Αμοργός Κύθνος	Νίσυρος Κίμωλος Λειψοί Φολέγανδρος Τήλος Κουφονήσι Σίκινος Σχοινούσα Ηρακλειά

Πίνακας 2-7. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει της έκτασης τους (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

	Μεγάλο (έκταση >400km²)	Μεσαίο (400>έκταση>150)	Μικρό (150>έκταση>50)	Πολύ μικρό (50>έκταση>9)
Αριθμός νησιών	5	6	12	9
Νησιά	Λέσβος Ρόδος Χίος Λήμνος Νάξος	Άνδρος Κως Σκύρος Πάρος Σαμοθράκη Μήλος	Κέα Αμοργός Ίος Κύθνος Μύκονος Σύρος Αίγινα Σαντορίνη Σίφνος Σκόπελος Αλόνησος Τήλος	Νίσυρος Σίκινος Κίμωλος Πάτμος Φολέγανδρος Κουφονήσι Λειψοί Ηρακλειά Σχοινούσα

Πίνακας 2-8. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει της πληθυσμιακής τους πυκνότητας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

Πυκνότητα πληθυσμού (κάτοικοι/km²)	υψηλή (>100)	Μέτρια (100>πυκνότητα πληθυσμού >20)	Χαμηλή (20 >πυκνότητα πληθυσμού)
Αριθμός νησιών	5	17	10
Νησιά	Σύρος	Πάτμος	Κέα

	Σαντορίνη Αίγινα Κως Μύκονος	Ρόδος Σκόπελος Πάρος Χίος Λέσβος Νάξος Αλόνησος Λήμνος Σίφνος Λειψοί Μήλος Άνδρος Κίμωλος Σχινούσα Νίσυρος Φολέγανδρος	Ιος Κύθνος Αμοργός Σαμοθράκη Κουφονήσι Σκύρος Τήλος Ηρακλειά Σίκινος
--	---------------------------------------	---	--

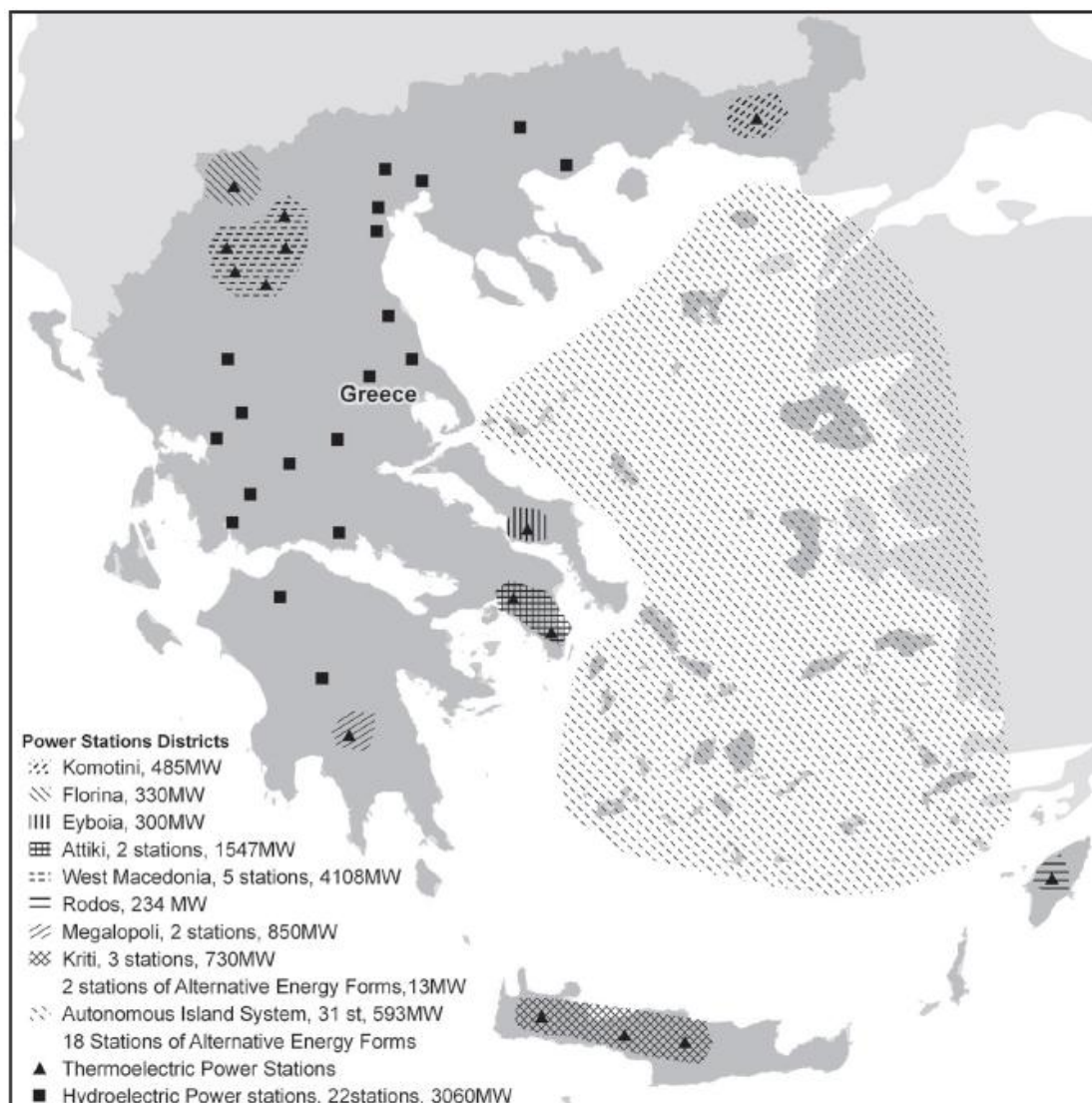
Πίνακας 2-9. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου, βάσει της τουριστικής τους ανάπτυξης (κρεβάτια ανά μόνιμο κάτοικο) (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

(αριθμός κρεβατιών ανά μόνιμο κάτοικο)	υψηλός (λόγος>2)	Μέτριος (2>λόγος >1)	Μικρός (1>λόγος)
Αριθμός νησιών	11	5	16
Νησιά	Ιος Κως Φολέγανδρος Σίφνος Ρόδος Σαντορίνη Σχινούσα Ηρακλειά Μύκονος Σκόπελος Αλόνησος	Πάτμος Τήλος Πάρος Σίκινος Μήλος	Αμοργός Σαμοθράκη Νάξος Σκύρος Κουφονήσι Κύθνος Κίμωλος Άνδρος Νίσυρος Λήμνος Κέα Λειψοί Σύρος Αίγινα Λέσβος Χίος

2.4.2 Η ενεργειακή κατάσταση των άνυδρων νησιών

Είναι πολύ σημαντικό σε αυτό το σημείο, να γίνει μια καταγραφή της κατάστασης των νησιών του Αιγαίου όσον αφορά την διασύνδεση τους στο Ηπειρωτικό εθνικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, άλλα και το διαθέσιμο δυναμικό ΑΠΕ σε αυτά.

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα νησιά του Αιγαίου (Δωδεκάνησα, Κυκλάδες), είναι γεωγραφικά απομονωμένα από την Ηπειρωτική χώρα, με αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά να διαθέτουν αυτόνομα ηλεκτρικά δίκτυα, τροφοδοτούμενα από ντιζελογγεννητριες. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα κατά το έτος 2007, σύμφωνα με τη ΔΕΗ, απεικονίζονται στο χάρτη της Εικόνας 2-8 (Steforoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008).



Εικόνα 2-8. Σταθμοί παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)

Στην ενδοχώρα της Ελλάδας υπάρχουν 34 μεγάλοι θερμικοί (λιγνιτικοί) και υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και 3 μεγάλα αιολικά πάρκα, που συνδέονται με το κεντρικό δίκτυο και είναι οι βασικοί τροφοδότες του. Στα περισσότερα νησιά λειτουργούν αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας, (33 λιγνιτικοί, 2 υδροηλεκτρικοί, 18 αιολικά πάρκα και 5 Φωτοβολταϊκά πάρκα). Η αυτονομία του δικτύου στα ελληνικά νησιά έχει ως αποτέλεσμα το υψηλό κόστος ενέργειας, την αδυναμία του δικτύου, σε πολλές περιπτώσεις, να ενσωματώσει ΑΠΕ αλλά και την αδυναμία τροφοδότησης διεργασιών με ιδιαίτερα αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις, όπως είναι οι διεργασίες αφαλάτωσης (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008).

Ας ρίξουμε όμως μια πιο αναλυτική ματιά στα νησιά του Αιγαίου. Όπως ήδη αναφέρθηκε πολλά από αυτά δεν είναι συνδεδεμένα στο ηπειρωτικό δίκτυο παροχής ενέργειας και εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από ευαίσθητα και μικρής δυναμικής τοπικά αυτόνομα συστήματα τα οποία συνήθως τροφοδοτούνται από ντιζελογεννήτριες (Πίνακας 2-10) (Μωχάμεντ, 2009). Οι τιμές που διαμορφώνονται για το παραγόμενο ρεύμα διαφέρουν από νησί σε νησί και μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις οι διαφοροποιήσεις είναι αρκετά μεγάλες (Πίνακας 2-11).

Πίνακας 2-10. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου βάσει της διασύνδεσής τους σε δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

	Διασύνδεση με την κυρίως Ελλάδα	Διασύνδεση με άλλα νησιά	Μη διασυνδεδεμένα με τοπικό σταθμό παραγωγής
Αριθμός νησιών	6	14	12
Νησιά	Αίγινα Άνδρος Σκόπελος Σαμοθράκη Αλόνησος Κέα	Κως Νάξος Πάρος Μήλος Ιος Νίσυρος Κίμωλος Λειψοί Φολέγανδρος Τήλος Κουφονήσι Σίκινος Σχοινούσα Ηρακλειά	Ρόδος Λέσβος Χίος Σύρος Λήμνος Σαντορίνη Μύκονος Πάτμος Σκύρος Σίφνος Αμοργός Κύθνος

Πίνακας 2-11. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

Νησί	Κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας* (€/kWh)
Αίγινα	διασυνδεδεμένο
Αλόνησος	διασυνδεδεμένο
Αμοργός	0,4098
Άνδρος	διασυνδεδεμένο
Ηρακλειά	0,1306
Ιος	0,1306
Κέα	διασυνδεδεμένο
Κίμωλος	0,305
Κουφονήσι	0,1306
Κύθνος	0,4268
Κως	0,1592
Λειψοί	0,1592
Λέσβος	0,1522
Λήμνος	0,1953
Μήλος	0,305
Μύκονος	0,2934
Νάξος	0,1306
Νίσυρος	0,1592
Πάρος	0,1306
Πάτμος	0,3916
Ρόδος	0,17
Σαμοθράκη	διασυνδεδεμένο
Σαντορίνη	0,1648
Σίκινος	0,1306
Σίφνος	0,3469
Σκόπελος	διασυνδεδεμένο
Σκύρος	0,3797
Σύρος	0,152
Σχοινούσα	0,1306
Τήλος	0,1592
Φολέγανδρος	0,1306
Χίος	0,1356

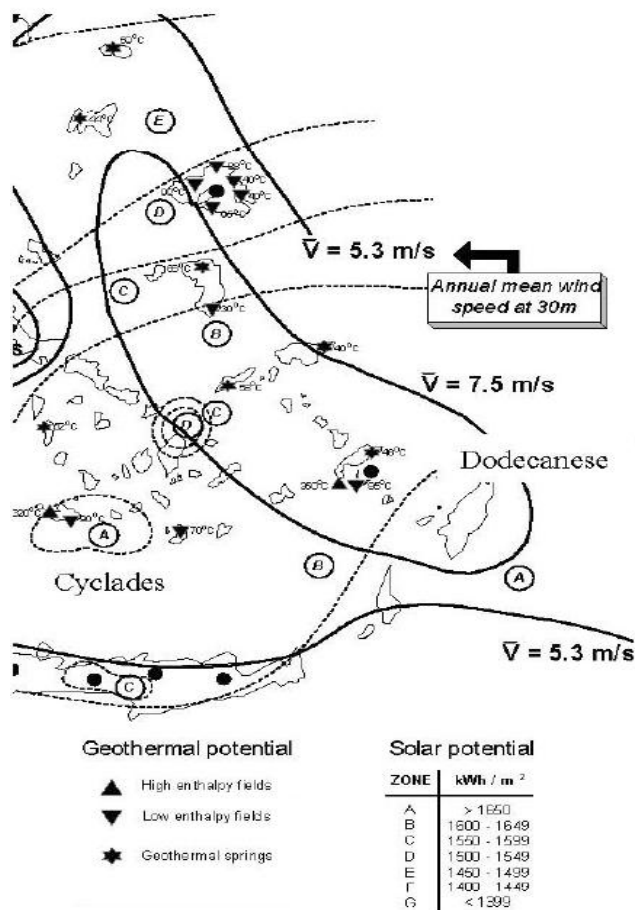
* Έτος αναφοράς: 2005, Τιμή αναφοράς για το πετρέλαιο 54\$/b (μέση τιμή 2005)

Με τον τρόπο αυτό τα αυτόνομα ενεργειακά νησιά του Αιγαίου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh) (Πίνακας 2-12). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα νησιά με κόστος ηλεκτρικού ρεύματος μεγαλύτερο από 0,30 €/kWh, στη δεύτερη κατηγορία νησιών το κόστος κυμαίνεται από 0,15 έως 0,30 €/kWh και τέλος στην τρίτη κατηγορία ανήκουν τα νησιά με κόστος από 0,10 έως 0,15 €/kWh. Σε όλες τις περιπτώσεις, το κόστος ηλεκτρισμού ξεπερνά κατά πολύ τα περίπου 0,07 €/kWh, που στοιχίζει η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στα διασυνδεδεμένα νησιά.

Πίνακας 2-12. Κατηγοριοποίηση των νησιών του Αιγαίου βάσει του κόστους παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

	Κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)			
	Μη διασυνδεδεμένα νησιά			Διασυνδεδεμένα
	>0,30	0,30>...>0,15	0,15>...>0,10	(~0,07)
Νησιά	Κύθνος	Μύκονος	Χίος	Αίγινα
	Αμοργός	Λήμνος	Πάρος	Αλόνησος
	Πάτμος	Ρόδος	Νάξος	Ανδρος
	Σκύρος	Σαντορίνη	Ίος	Κέα
	Σίφνος	Κως	Σίκινος	Σαμοθράκη
	Μήλος	Τήλος	Φολέγανδρος	Σκόπελος
	Κίμωλος	Νίσυρος	Κουφονήσια	
		Λειψοί	Ηρακλεία	
		Λέσβος	Σχοινούσα	
		Σύρος		

Δεδομένης της κατάστασης που μόλις παρουσιάστηκε, κατανοούμε ότι η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης στα νησιά του Αιγαίου, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων λειψυδρίας, θα μπορούσε να είναι πιο αποτελεσματική μέσω της εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πηγών. Αυτό θα επέτρεπε ουσιαστικά την δημιουργία αυτόνομων ενεργειακά συστημάτων, τα οποία δεν εξαρτώνται από τα προβληματικά και μικρών δυνατοτήτων δίκτυα, ενώ ταυτόχρονα προκαλούν τις ελάχιστες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, διευκολύνοντας έτσι και την κάλυψη των Ευρωπαϊκών στόχων, σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Άλλωστε τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου διαθέτουν άφθονους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους, όπως τον άνεμο, την έντονη ηλιακή ακτινοβολία αλλά και τη γεωθερμία, οι οποίοι θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για τη λειτουργία μονάδων παραγωγής νερού. Στην εικόνα που ακολουθεί παρατηρούμε το δυναμικό της Ηλιακής, Αιολικής και Γεωθερμικής ενέργειας στα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων (Εικόνα 2-9).

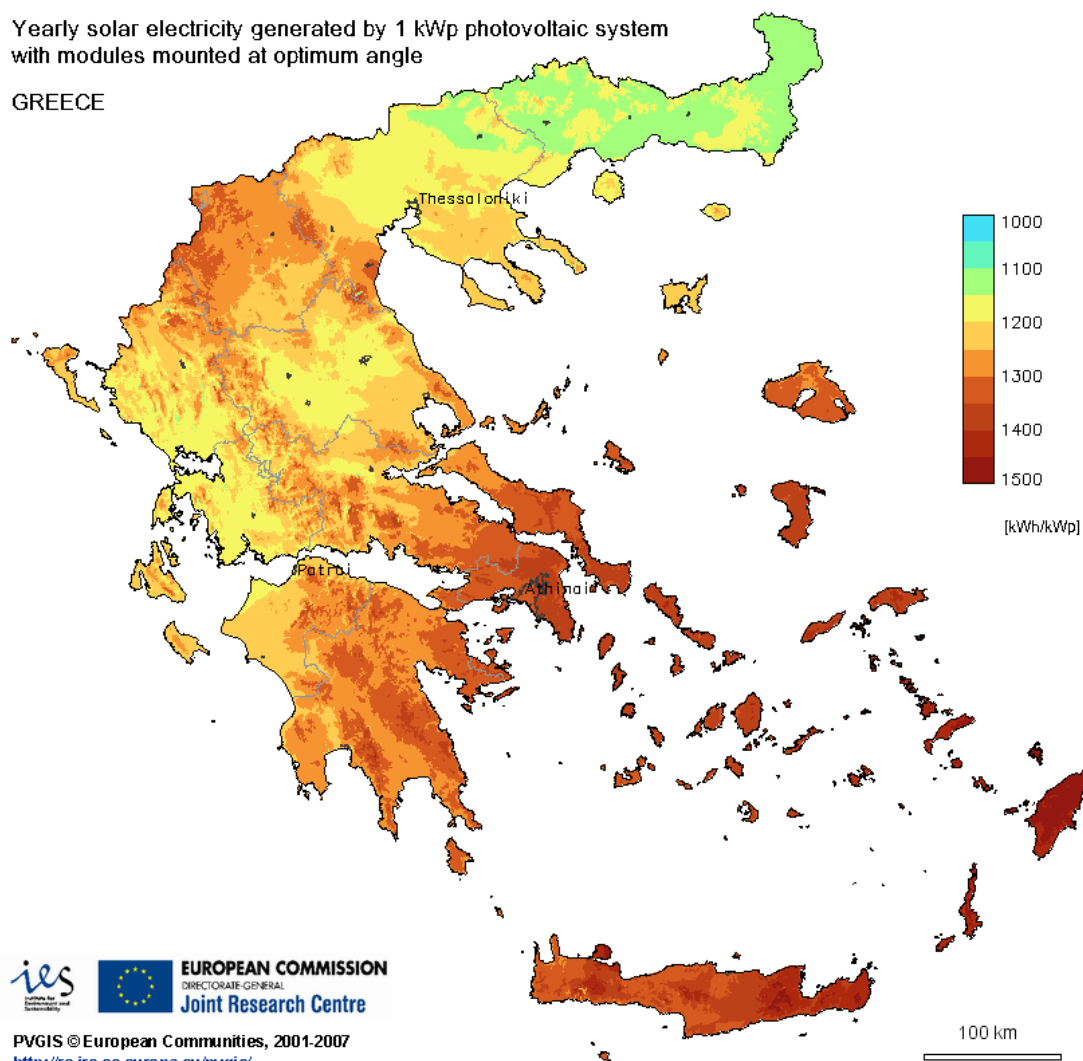


Εικόνα 2-9. Δυναμικό ΑΠΕ στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα (Μανωλάκος, 2012)

Πιο συγκεκριμένα, το Ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας γενικότερα, αλλά και ειδικότερα των νησιών του Αιγαίου που εξετάζουμε, βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα. Έτσι λοιπόν η συνολική ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παράγεται από Φωτοβολταϊκό σύστημα μοναδιαίας ισχύος (1kWp) με συλλέκτες στη βέλτιστη κλίση και τα οποίο είναι εγκατεστημένο στην περιοχή του Αιγαίου είναι της τάξης των 1400 kWh/kWp, δηλαδή μια από τις υψηλότερες τιμές που μπορούν να εντοπιστούν στον Ελλαδικό χώρο (Εικόνα 2-10). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τους καλοκαιρινούς μήνες οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας είναι οι υψηλότερες δυνατές, με αποτέλεσμα την περίοδο αυτή, που οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι μέγιστες, τα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας να χαρακτηρίζονται από μεγάλη αποδοτικότητα.

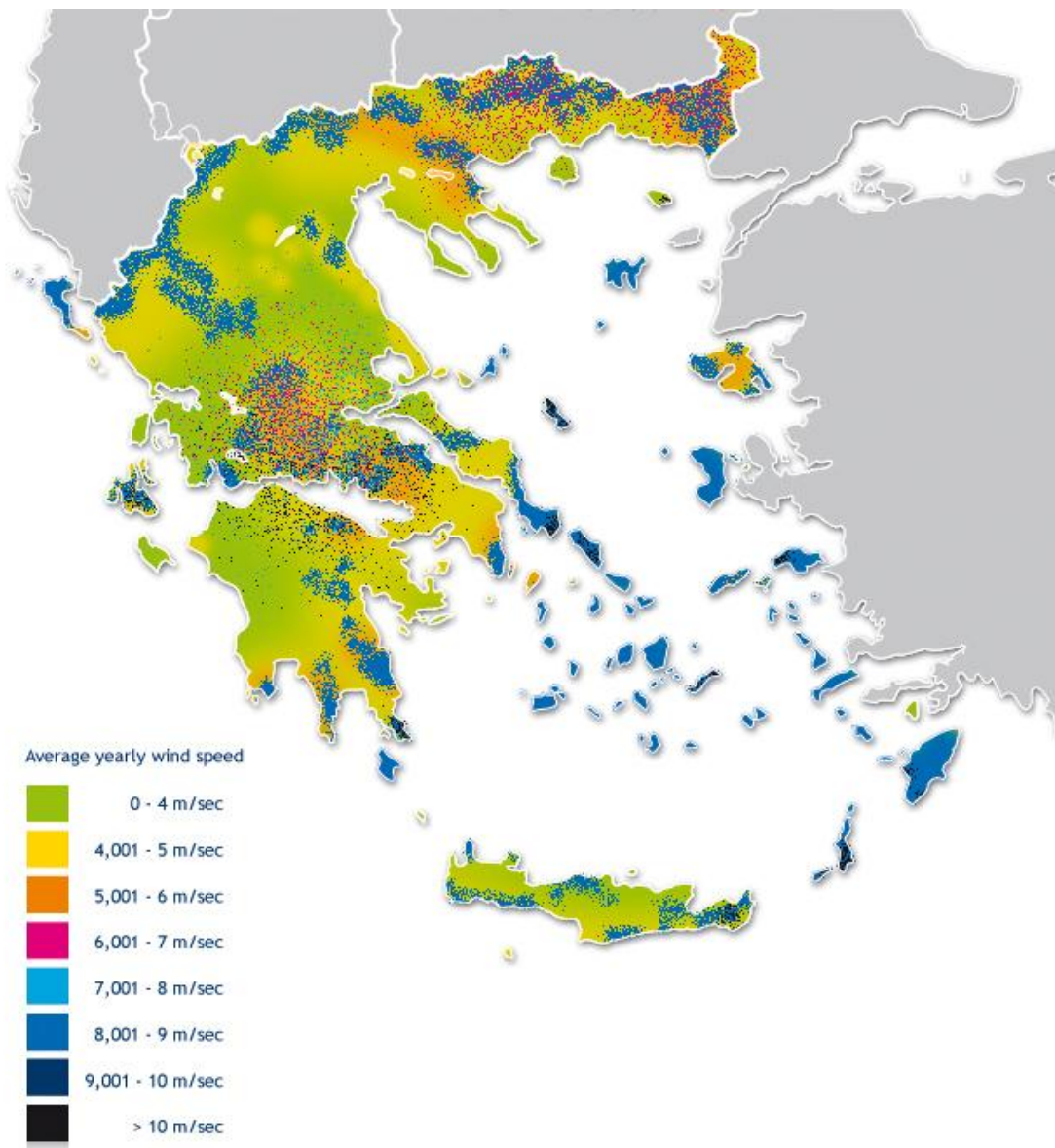
Yearly solar electricity generated by 1 kWp photovoltaic system
with modules mounted at optimum angle

GREECE



Εικόνα 2-10. Συνολική ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Φωτοβολταϊκό σύστημα μοναδιαίας ισχύος (1kWp) με συλλέκτες στη βέλτιστη κλίση (KOIS, 2011)

Επίσης, εξετάζοντας το Αιολικό Δυναμικό των νησιών του Αιγαίου πελάγους διαπιστώνονται οι μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησης του. Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 2-11, οι μέσες ετήσιες ταχύτητες ανέμου στα υπό μελέτη νησιά ξεπερνούν τα 8 m/sec παρέχοντας έτσι δυνατότητα αξιοποίησης του δυναμικού αυτού μέσω Ανεμογεννητριών για την παραγωγή Ηλεκτρικής ή/και Μηχανικής ενέργειας.



Εικόνα 2-11. Μέσες ετήσιες ταχύτητες ανέμου στην Ελλάδα (KOIS, 2011)

Τέλος, εξετάζοντας το χάρτη με τις περιοχές της Ελλάδας που παρουσιάζουν Γεωθερμικό ενδιαφέρον (Εικόνα 2-12), παρατηρούμε ότι υπάρχουν νησιά του Αιγαίου με αξιοποιήσιμο γεωθερμικό δυναμικό, όπως η Μήλος, η Νίσυρος, η Κίμωλος και η Κως (Κορωναίος, 2006). Σύμφωνα μάλιστα με μελέτη του Ενεργειακού γραφείου Ίου – Αιγαίου τα βασικά γεωθερμικά πεδία είναι τα εξής (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009):

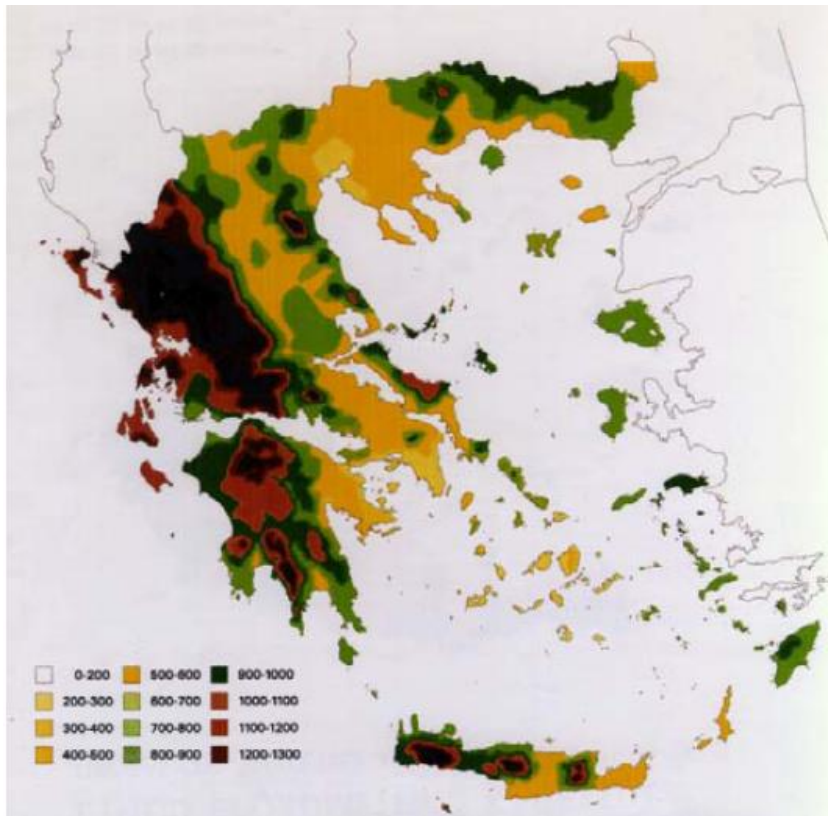
- Μήλος, 120 MW με υψηλή, μέση και χαμηλή ενθαλπία, κατάλληλα για ηλεκτροπαραγωγή και θερμικές χρήσεις (θέρμανση χώρων, βιομηχανικές εφαρμογές και θερμοκήπια)
- Νίσυρος (και γειτονικά μικρονήσια), μερικές δεκάδες MW για όλες τις χρήσεις
- Λέσβος, έως 20 MW
- Λοιπά νησιά Αιγαίου 20 MW



Εικόνα 2-12. Γεωθερμικά πεδία ελληνικού χώρου (Κοροναίος, 2006)

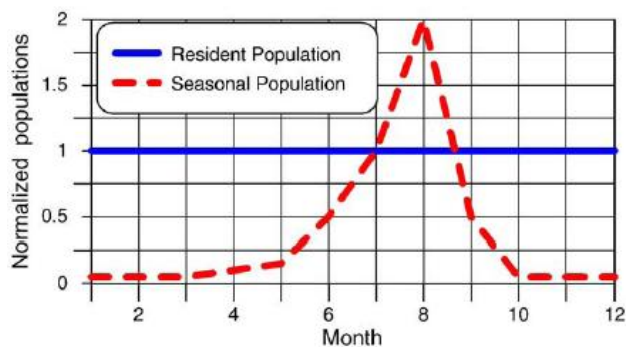
2.4.3 Αιτίες του φαινομένου της λειψυδρίας

Μια βασική αιτία, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην έλλειψη νερού, που εμφανίζεται στα νησιά του Αιγαίου, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, είναι ο μεγάλος αριθμός των τουριστών, τον οποίο δέχονται αυτή την περίοδο. Ταυτόχρονα, πρέπει να αναλογιστούμε πως αυτή την ξηρή περίοδο οι βροχοπτώσεις σε αυτά τα νησιά, όπως και στο υπόλοιπο της Ελλάδας είναι μηδαμινές. Γενικότερα, τα νησιά του Αιγαίου παρουσιάζουν πολύ περιορισμένες βροχοπτώσεις σε σχέση με τα περισσότερα μέρη της χώρας μας (Εικόνα 2-13).



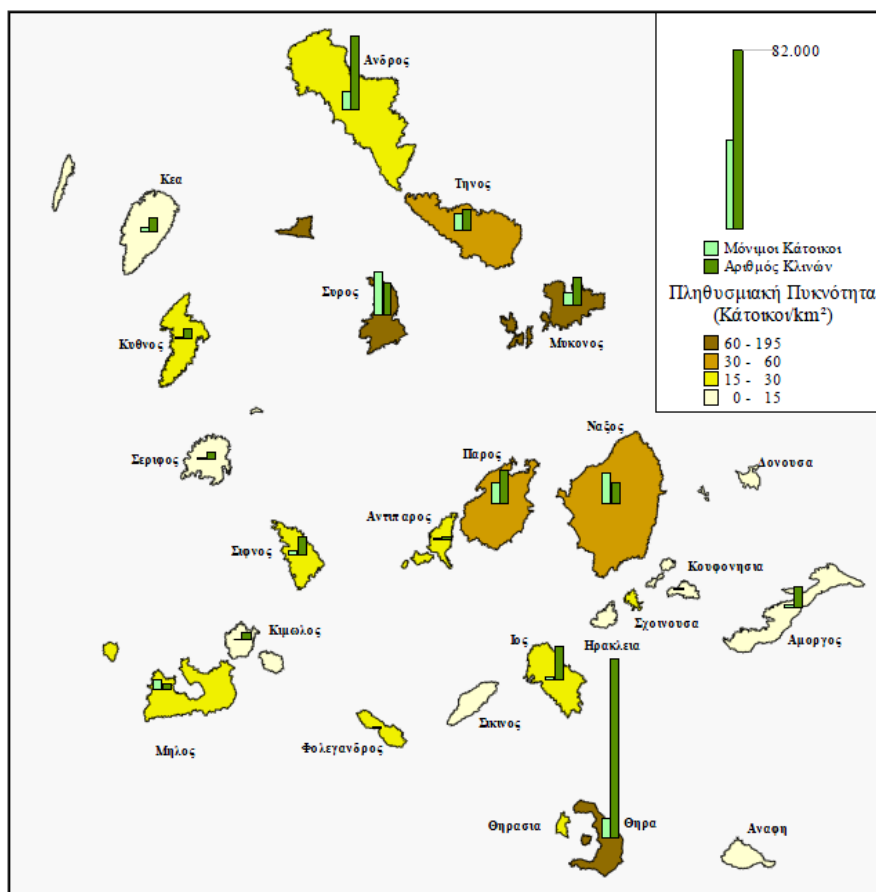
Εικόνα 2-13. Γεωγραφική κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα (σε χιλιοστά)
(Μαμάσης, 2009)

Πιο συγκεκριμένα, τις καλοκαιρινές περιόδους ο πληθυσμός ενός τυπικού νησιού από αυτά διπλασιάζεται (Γράφημα 2-3), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί ακόμη και να δεκαπλασιαστεί λόγω των επισκεπτών.



Γράφημα 2-3. Η εποχιακή διακύμανση του πληθυσμού σε ένα τυπικό Ελληνικό νησί κατά τη διάρκεια ενός έτους (Spyrou & Anagnostopoulos, 2010)

Όπως βλέπουμε και στο χάρτη των Κυκλάδων της Εικόνας 2-14, ο αριθμός των κλινών μπορεί να είναι μέχρι και δεκαπλάσιος του αριθμού των κατοίκων, όπως χαρακτηριστικά μας φανερώνει η περίπτωση της Θήρας.



Εικόνα 2-14. Αναλογία κατοίκων-κλιών στα νησιά των Κυκλάδων (Καράλης & Ζούλιας, 2008)

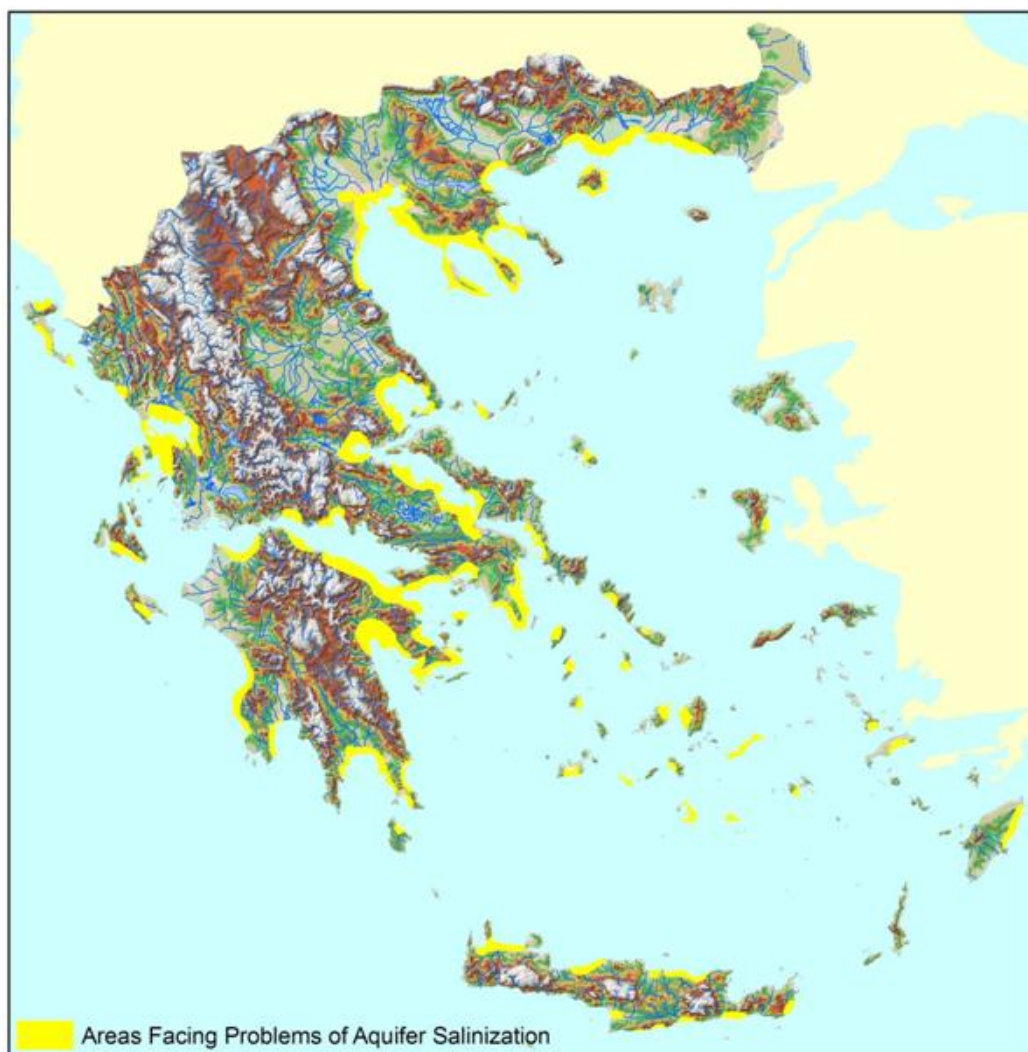
Κάτι τέτοιο επιβαρύνει κατά πολύ την κατανάλωση νερού, τόσο εξαιτίας της αύξησης των ατόμων άρα και των υδατικών απαιτήσεων, όσο και για το λόγο ότι οι επισκέπτες συνήθως καταναλώνουν, εκ των πραγμάτων, πολύ μεγαλύτερες ποσότητες από τον ντόπιο πληθυσμό (Πίνακας 2-13), ο οποίος βιώνει με πολύ εντονότερο τρόπο την έλλειψη νερού. Πρέπει, μάλιστα, να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν επαρκείς δεξαμενές που να διασφαλίζουν την κάλυψη των αναγκών σε έντονες αιχμές της ζήτησης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Ενεργειακό Γραφείο Του-Αιγαίου, 2011).

Πίνακας 2-13. Ενδεικτικές τιμές της καθημερινής κατανάλωσης νερού (σε λίτρα/ημέρα/άτομο) από τον ντόπιο πληθυσμό και τους επισκέπτες μιας τουριστικής περιοχής (Spyrou & Anagnostopoulos, 2010)

Ημερήσια κατανάλωση νερού (l/day/person)		
Τύπος πληθυσμού	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Ντόπιος	150	250
Εποχιακός (επισκέπτες)	200	300

Ακόμα ένας λόγος για την υποβάθμιση του νερού κυρίως ποιοτικά, σε αρκετά από τα υπό μελέτη νησιά, είναι η ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων από χημικά και ουσίες που χρησιμοποιούνται συνήθως ως λιπάσματα στη γεωργία, κάνοντας έτσι το λιγιστό πόσιμο νερό ακατάλληλο προς χρήση. Επιπλέον, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια οι αλλαγές στις συνήθειες των Ελλήνων, λόγω της αύξησης του βιοτικού τους επιπέδου, συνετέλεσαν στην υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων, ώστε να καλυφθούν οι μεγάλες απαιτήσεις σε νερό. Η υπεράντληση αυτή εκτός από εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων, συχνά προκαλεί και προβλήματα υφαλμύρωσης. Είναι άλλωστε χαρακτηριστικό ότι πολλές περιοχές της Ελλάδας που διαθέτουν

έντονες γεωργικές δραστηριότητες ή έντονο τουρισμό, όπως τα νησιά του Αιγαίου, παρουσιάζουν το πρόβλημα που προαναφέρθηκε (Εικόνα 2-15) (ΤΑ ΝΕΑ, 2008).



Εικόνα 2-15. Περιοχές με προβλήματα υφάλμυρων υδροφορέων (Steforoulou, Soulis, Paparetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)

Στα παραπάνω ζητήματα, τα οποία έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στο πρόβλημα της λειψυδρίας των νησιών του Αιγαίου, πρέπει να προστεθεί και το μικρό μέγεθος, των περισσότερων από αυτά τα νησιά, εξαιτίας του οποίου δεν επιτρέπεται η δημιουργία αξιόλογων λεκανών απορροής, με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται κάποιο αξιόλογο υδρολογικό δίκτυο (Steforoulou, Soulis, Paparetrou, Kyritsis, & Epp, 2008). Επίσης, θα πρέπει να γίνει αναφορά στην κακή κατάσταση και την έλλειψη αξιοπιστίας των τοπικών υδρευτικών δικτύων των νησιών, τα οποία παρουσιάζουν πολλά προβλήματα (kykladesnews, 2009). Το 40-60% του νερού που διανέμεται χάνεται είτε σε διαρροές είτε δεν καταγράφεται λόγω αναξιπιστίας των μετρητών, ενώ το δίκτυο είναι σε πολλές περιπτώσεις ακατάλληλο και συνεπώς δεν μπορεί να διασφαλιστεί η υγιεινή του νερού για τον καταναλωτή (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011).

Αυτό που ακόμη θα πρέπει να τονιστεί είναι το πρόβλημα της κοστολόγησης του νερού στις διάφορες περιοχές, το οποίο δυσχεραίνει την κατάλληλη διαχείριση του. Αυτή τη στιγμή το νερό παρέχεται στους καταναλωτές χωρίς στην τιμή του να αντανακλάται το πραγματικό κόστος. Για

παράδειγμα, υπάρχουν κρατικές επιδοτήσεις για τα έργα υποδομής (π.χ. γεωτρήσεις, λιμνοδεξαμενές), υπάρχουν επιδοτήσεις στο μεταφερόμενο νερό με δεξαμενόπλοια, υπάρχουν υποκοστολογήσεις από την τοπική αυτοδιοίκηση κτλ. με αποτέλεσμα οι καταναλωτές να μην αντιλαμβάνονται το πραγματικό κόστος του νερού και το πραγματικό μέγεθος του προβλήματος το οποίο αντιμετωπίζουν, συνεχίζοντας έτσι σε πολλές περιπτώσεις την κατασπατάληση των υδατικών πόρων. Η παραπάνω άποψη αντικατοπτρίζεται άριστα σε δήλωση του Κ^{ου} Ηλία Ευθυμιόπουλου, Διευθυντή του Ενεργειακού Γραφείου Ίου-Αιγαίου, σύμφωνα με τον οποίο: «...ούτε η κακή ποιότητα του μεταφερόμενου νερού, ούτε οι πανάκριβες τιμές μπορούν να συνετίσουν την κατανάλωση, αφού το κράτος και η τοπική αυτοδιοίκηση φροντίζουν να θολώνουν την εικόνα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι τιμές στο επίπεδο του καταναλωτή σπάνια αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές δαπάνες για την απόκτηση του πολύτιμου πόρου. Τις συνέπειες εισπράττουν και οι ανταγωνιστικές τεχνολογίες και κυρίως οι λιμνοδεξαμενές και η αφαλάτωση. Κι αυτό γιατί καλούνται να αποδείξουν ότι είναι ανταγωνιστικές σε μια αγορά όπου δεν υπάρχουν κανόνες και ουδείς γνωρίζει το πραγματικό κόστος του νερού. Ακόμη όμως κι αν το γνωρίζει, άλλος πληρώνει. Σκεφτείτε για παράδειγμα ένα επιχειρηματία που αποφασίζει να κάνει μια επένδυση αφαλάτωσης σε ένα νησί. Το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να συμφωνηθεί είναι το κόστος ανά μονάδα του προϊόντος και άρα μια εύλογη τιμή αγοράς. Όμως ο δήμαρχος για πολλούς και διάφορους λόγους δεν έχει κανένα λόγο να διαπραγματευθεί με κάποιον που θέλει να κοστολογήσει την παρεχόμενη υπηρεσία.....» (ΤΑ ΝΕΑ, 2008). Πιο συγκεκριμένα όπως παρατηρούμε και στον Πίνακα 2-14, υπάρχει μεγάλη απόκλιση των τιμών του νερού στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Στις πόλεις οι τιμές καθορίζονται με παρέμβαση της πολιτείας, ενώ στις μικρότερες περιοχές και ειδικά μάλιστα για το νερό άρδευσης, οι τιμές καθορίζονται από διάφορους παράγοντες της αγοράς. Έτσι είναι συχνό φαινόμενο σε μια περιοχή, η οποία αντιμετωπίζει προβλήματα έλλειψης υδατικών πόρων, να παρατηρούνται πολύ χαμηλές τιμές στο νερό. Κάτι τέτοιο, όπως είναι αυτονόητο δεν διευκολύνει καθόλου την ορθολογική χρήση και κατανάλωση, κάνοντας τα προβλήματα λειψυδρίας οξύτερα.

Πίνακας 2-14. Τιμές πόσιμο νερού σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας (Stefopoulou, Soulis, Papapetrou, Kyritsis, & Epp, 2008)

Πόλη	Τιμή 30 m3 νερού (€)	Πόλη	Τιμή 30 m ³ νερού (€)
Ερμούπολη	51,38	Αθήνα	30,70
Ρέθυμνο	48,13	Λαμία	30,52
Λέρος	47,03	Τρίκαλα	29,18
Χαλκίδα	44,37	Ηράκλειο	25,93
Αλεξανδρούπολη	43,14	Πρέβεζα	25,91
Κοζάνη	41,21	Αγρίνιο	25,83
Χίος	40,06	Δράμα	25,18
Κως	36,98	Σέρρες	24,30
Ιωάννινα	36,64	Θήβα	23,96
Λάρισα	34,78	Μύκονος	23,31
Άργος	33,81	Κέρκυρα	21,79
Φλώρινα	33,75	Πάτρα	21,23
Καστοριά	33,69	Πεταλούδες	19,14
Άγιος Νικόλαος	32,05	Καλαμπάκα	13,76
Χανιά	31,99	Κεφαλονιά	12,00
Ιεράπετρα	31,69	Πάρος	10,80
Καλαμάτα	31,31	Γρεβενά	10,20

Τέλος, παράλληλα με τα παραπάνω, πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας το γεγονός ότι σχετικά με το θέμα της λειψυδρίας, η πολιτεία έχει ολιγορήσει ως προς τη θέσπιση οργανωμένων σχεδίων εξοικονόμησης υδατικών πόρων και ως προς την εφαρμογή πολιτικών μείωσης της υδρευτικής ζήτησης, όπως ο περιορισμός των απωλειών, νέα τιμολογιακή πολιτική, ευαισθητοποίηση των πολιτών, σχεδιασμός νέων έργων (όπως αφαλατώσεις με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, όπου αυτό είναι εφικτό) κ.λ.π. (Mohamed & Παπαδάκης, 2009). Με άλλα λόγια, τα αρμόδια όργανα δεν γνωρίζουν με ακρίβεια ποια είναι τα φυσικά αποθέματα νερού της κάθε περιοχής, την καταλληλότητα των αντλούμενων υδάτων, τι σενάρια προβλέπονται για το μέλλον με βάση τα μοντέλα των βροχοπτώσεων και ποιά είναι εν τέλει τα ισοζύγια ή τα ελλείμματα που πρέπει να καλύψει η τεχνολογία (ΤΑ ΝΕΑ, 2008). Χαρακτηριστικά είναι άλλωστε τα λεγόμενα του Κ^{ου} Γιώργου Τσακίρη, καθηγητή του ΕΜΠ και προέδρου της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων, σύμφωνα με τον οποίο η κεντρική εξουσία κατηγορηματικά φέρει ευθύνες: «Αδιαφορούν, δεν έχουν σχέδιο και αφήνουν τα πράγματα στην τύχη τους», λέει. Ο καθηγητής επισημαίνει ότι καθώς δεν λαμβάνεται κανένα μέτρο για την αντιμετώπιση του προβλήματος η κατάσταση θα επιδεινώνεται χρόνο με τον χρόνο (ΤΑ ΝΕΑ, 2006).

2.5 Η υδροδότηση των νησιών του Αιγαίου – Υπάρχοντες τρόποι κάλυψης της ζήτησης νερού στα «άνυδρα νησιά»

2.5.1 Οι κύριοι τρόποι υδροδότησης των νησιών του Αιγαίου

Για την επίλυση του σημαντικότερου προβλήματος της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου εφαρμόζονται διάφορες λύσεις. Τέτοιες είναι η χρησιμοποίηση των υπόγειων υδάτων μέσω γεωτρήσεων, η μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια, η κατασκευή φραγμάτων, η συλλογή των όμβριων υδάτων σε λιμνοδεξαμενές ή στέρνες και η αφαλάτωση θαλασσινού νερού (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011). Στη συνέχεια, θα αναφέρουμε αναλυτικότερα κάποια στοιχεία για κάθε μία λύση από αυτές:

Οι γεωτρήσεις παρέχουν συνήθως νερό χαμηλής ποιότητας με αυξημένη περιεκτικότητα σε άλας. Οι ποσότητες των υδάτων των υπόγειων υδροφορέων δεν είναι σε θέση να καλύψουν την υψηλή ζήτηση, καθώς η υπεράντληση των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα κάθε νησιού οδηγεί σε περαιτέρω επιδείνωση της ποιότητας του νερού αυτού. Κάτι τέτοιο συμβαίνει καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άλατα στα υπόγεια αποθέματα, λόγω εισβολής του θαλασσινού νερού σε αυτά. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικές περιβαλλοντικές συνέπειες για τα ευαίσθητα νησιωτικά οικοσυστήματα.

Η συλλογή όμβριων υδάτων σε λιμνοδεξαμενές χρησιμοποιείται σε αρκετά νησιά του Αιγαίου, για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού. Η λύση αυτή θεωρείται πολύ καλή για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας, κυρίως στη γεωργία, ωστόσο το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ύδρευση, μετά από ειδική επεξεργασία. Όμως, δεν είναι δυνατή η κατασκευή λιμνοδεξαμενών σε όλα τα νησιά εξαιτίας των μειωμένων βροχοπτώσεων που διακρίνουν κάποια από αυτά, του ανάγλυφου τους που δεν επιτρέπει έντονες επιφανειακές απορροές αλλά και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που οι λιμνοδεξαμενές προκαλούν, όπως είναι η αλλοίωση των λεκανών απορροής.



Εικόνα 2-16. Λιμνοδεξαμενή στη Νάξο (Naxos Fan, 2011)



Εικόνα 2-17. Λιμνοδεξαμενή στη Νάξο (Naxos Fan, 2011)

Όσον αφορά στη συλλογή όμβριων υδάτων σε στέρνες, είναι μια παραδοσιακή, οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον λύση, για την εξασφάλιση αρδευτικού νερού. Παρόλα αυτά, δεν μπορεί να χρησιμοποιείται ως αποκλειστική λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας, καθώς βοηθά στην κάλυψη μέρους των αναγκών σε νερό το χειμώνα, αλλά δεν εξυπηρετεί στον ίδιο βαθμό το καλοκαίρι, όπου οι βροχές είναι μειωμένες έως ανύπαρκτες και το μέγεθος των δεξαμενών μικρό και δεν υποστηρίζει την αποθήκευση του νερού των χειμερινών μηνών για μεγάλο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 2-18. Διάφοροι τύποι στερνών σε νησιά του Αιγαίου (Ζαβιτσάνου, 2008)



Εικόνα 2-19. Πετρόχτιστη αυτοσχέδια στέρνα για τη συλλογή όμβριων υδάτων και πότισμα αιγοπροβάτων σε νησί του Αιγαίου (Ζαβιτσάνου, 2008)

Τα φράγματα, χρησιμοποιούνται ώστε να συλλέγεται το νερό των ποταμών και των χειμάρρων με εκμετάλλευση των έντονων κλίσεων και των μεγάλων υψομετρικών διαφορών των εδαφών των νησιών. Το έντονο ανάγλυφο του εδάφους των νησιών του Αιγαίου διευκολύνει ένα μεγάλο μέρος των υδάτων, ειδικά όταν βρέχει, να σχηματίζει χειμάρρους οι οποίοι κατευθύνονται ανεξέλεγκτοι προς την θάλασσα και δεν αξιοποιούνται κατάλληλα. Με τα φράγματα είναι δυνατή η συλλογή αυτού του νερού, προτού καταλήξει στη θάλασσα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Μυκόνου, στην οποία κατασκευάστηκαν δύο φράγματα, το ένα στην περιοχή της Μαραθιάς (Εικόνα 2-20) και το άλλο στην περιοχή της Άνω Μεράς, χωρητικότητας 3 εκατομμυρίων m^3 νερού και 1 εκατομμυρίου m^3 , αντίστοιχα και τα οποία συνέβαλαν σημαντικά στην ανακούφιση του προβλήματος της έλλειψης νερού, που αντιμετώπιζε το νησί. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η κατασκευή ενός φράγματος, έστω και μικρού μεγέθους, έχει αρκετά υψηλό κόστος (συγκεκριμένα η κατασκευή ενός μεσαίου φράγματος νερού κοστίζει 4 έως 5 εκατ. ευρώ), απαιτεί πληθώρα υποδομών ενώ προκαλεί και σημαντική αλλοίωση αλλά και διαταραχή στο περιβάλλον όπου εντάσσεται, καθώς είναι μόνιμη και βαριά κατασκευή.



Εικόνα 2-20. Το Φράγμα της Μαραθιάς (e-mykonos, 2008)

Δεν λείπουν όμως και οι περιπτώσεις αποτυχίας στην κατασκευή και τη λειτουργία φραγμάτων. Παράδειγμα τέτοιο αποτελεί η περίπτωση της Σερίφου, όπου παρόλο που κατασκευάστηκε ένα φράγμα για την ανάπτυξη της γεωργίας, το νερό μένει αναξιοποίητο. Επίσης στην Τήνο, το 1992 κατασκευάστηκε ένα φράγμα στην περιοχή Λιβάδι, το οποίο παρουσίασε αμέσως κατασκευαστικά προβλήματα, ενώ εκ των υστέρων διαπιστώθηκε ότι το νερό του είναι ακατάλληλο

για ύδρευση, λόγω παρουσίας αστικών λυμάτων. Τέλος στη Λέρο, διατέθηκαν 4,3 εκατ. ευρώ για φράγμα που όμως δεν λειτούργησε λόγω κατασκευαστικών ατελειών (chiosblogs, 2010).

Η μεταφορά νερού με πλοία/υδροφόρες είναι μια ευρύτατα εφαρμοζόμενη λύση για μεγάλο πλήθος νησιών του Αιγαίου, εδώ και πολλά χρόνια. Παραδείγματα νησιών που υδροδοτούνται με πλωτά μέσα είναι η Αμοργός, τα Κουφονήσια, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκινος, η Θηρασιά, η Δονούσα, το Αγαθονήσι, οι Λειψοί, η Μεγίστη, η Νίσυρος, η Πάτμος, η Σύμη, η Χάλκη, η Παλιόνησος και η Ψέριμος. Λόγω της όξυνσης του προβλήματος υδατικής έλλειψης, όλο και περισσότερα νησιά συμπληρώνουν τις ανάγκες τους με μεταφορά νερού. Η λύση αυτή είναι απλή καθώς δεν απαιτεί ιδιαίτερες υποδομές. Παρόλα αυτά, το σημαντικό της μειονέκτημα είναι το υψηλότερο κόστος ανά κυβικό μέτρο νερού, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται σε μια κλίμακα Τεσσάρων έως Δέκα ευρώ ανά κυβικό μέτρο. Το κόστος αυτό μπορεί να διαφέρει μεταξύ Κυκλάδων και Δωδεκανήσων, καθώς στην πρώτη περίπτωση μεταφέρεται από την Αθήνα, ενώ στη δεύτερη κυρίως από τη Ρόδο (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004). Συχνά δε στη μεταφορά νερού επικρατεί κατάσταση μονοπωλίου, κάτι που δεν συμφέρει οικονομικά τις τοπικές κοινωνίες του νησιωτικού χώρου. Στα αρνητικά της παραπάνω λύσης θα πρέπει να υπολογίζουμε και το περιβαλλοντικό κόστος από την μεταφορά που έχει να κάνει με τα καυσαέρια των πλοίων και την μόλυνση της θάλασσας εξαιτίας των καυσίμων. Επίσης το νερό δεν είναι πόσιμο τις περισσότερες φορές, καθώς δεν ακολουθούνται αυστηροί κανόνες υγιεινής κατά τη μεταφορά, οπότε στην οικονομική, αλλά και την περιβαλλοντική ανάλυση του ζητήματος θα πρέπει να συνυπολογιστεί και η τεράστια κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού σε πλαστικά μπουκάλια, για τα περισσότερα νησιά που τροφοδοτούνται με τέτοιο νερό. Τέλος, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι το μεταφερόμενο νερό έχει προέλθει από κάποια περιοχή όπου μπορεί το πρόβλημα έλλειψης νερού να μην είναι τόσο έντονο αλλά δεν παύει και εκεί να είναι πολύτιμο.

Η αφαλάτωση, είναι μια διεργασία μέσω της οποίας απομακρύνονται τα άλατα από το νερό, το οποίο μπορεί να είναι είτε υφάλμυρο (έως 10 g/l) είτε θαλασσινό (έως 50 g/l) και χρησιμοποιείται για διάφορους λόγους, μεταξύ των οποίων και η παραγωγή πόσιμου νερού. Η αφαλάτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες διαδικασίες. Αυτές διακρίνονται στις θερμικές διαδικασίες, η οποίες περιλαμβάνουν την αλλαγή φάσης του νερού και στις διαδικασίες μεμβρανών, οι οποίες εκμεταλλεύονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών. Τέλος υπάρχουν κάποιες μεμονωμένες διαδικασίες αφαλάτωσης όπως ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων (Κορωναίος, 2006). Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται από παραμέτρους όπως η τοποθεσία, οι ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής, η διαθέσιμη ενέργεια, η προέλευση του νερού (αλμυρό ή υφάλμυρο), οι οικονομικές παράμετροι κ.α.. Με απλά λόγια, σε κάθε περίπτωση, βέλτιστη θεωρείται η μέθοδος αφαλάτωσης που παράγει με αξιοπιστία την απαιτούμενη ποσότητα νερού, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ποιότητας και με εύλογο κόστος.

Η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης είναι συνήθης λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας σε πολλά μέρη του κόσμου όπως η Αραβική χερσόνησος, οι χώρες της βόρειας Αφρικής, το Ισραήλ, η Μάλτα και τα Κανάρια Νησιά τα οποία χρησιμοποιούν την αφαλάτωση ως τη βασική πηγή πόσιμου νερού. Συνολικά στον κόσμο έχουν δημιουργηθεί περίπου 12.500 μονάδες αφαλάτωσης τα τελευταία 30 χρόνια, τα οποία παράγουν συνολικά 30 Mm³ πόσιμο νερό την ημέρα, ενώ οι μονάδες αφαλάτωσης των τελευταίων 10 ετών παρουσιάζουν δυναμικότητα 1,200,000 m³ ανά ημέρα (Στοιχεία

του 2004) (Κορωνάιος, 2006). Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό τα συστήματα αφαλάτωσης του θαλασσινού και υφάλμυρου νερού, παρέχουν σημαντικές δυνατότητες για την επίλυση προβλημάτων λειψυδρίας, δεδομένης μάλιστα της ανάπτυξης νέων πρωτοποριακών μεθόδων, οι οποίες είναι αποδοτικότερες, δηλαδή παράγουν καλύτερης ποιότητας νερό, είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον και τέλος είναι πολύ πιο οικονομικές και προσιτές από το παρελθόν (Σργίου & Αναγνωστοπούλου, 2010). Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού μπορεί να παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στην πάγια επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας και των «άνδρων» νησιών του Αιγαίου.

Σήμερα λειτουργούν 42 συνολικά μονάδες αφαλάτωσης σε διάφορα μέρη της Ελλάδας, εκ των οποίων οι 24 βρίσκονται στις Κυκλάδες και οι 5 στα Δωδεκάνησα. Ενδεικτικά αναφέρονται η Σύρος, η Σχοινούσα, η Μύκονος, η Πάρος, η Τήνος, η Σαντορίνη, η Σίφνος, η Χίος, η Νίσυρος, η Λέρος, η Ίος, οι Οινούσες, η Μήλος, η Ηρακλεία και η Ύδρα, ως νησιά που διαθέτουν μονάδες αφαλάτωσης (ΒΗΜΑ, 2010).

Παρόλα αυτά η υπάρχουσα κατάσταση εγκατάστασης και λειτουργίας τέτοιων μονάδων έχει αποδειχτεί προβληματική, καθώς παρατηρείται έλλειψη κατάλληλων τεχνικών προδιαγραφών, έμπειρου τεχνικού προσωπικού και μακροχρόνιων συμβολαίων συντήρησης και λειτουργίας. Προκαλούνται έτσι δυσανάλογα μεγάλες δαπάνες συντήρησης και λειτουργίας, αλλά και μειωμένη λειτουργική αξιοπιστία των συστημάτων αυτών. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι το εξαιρετικά ακριβό νερό υποβαθμισμένης ποιότητας και η υπολειτουργία των μονάδων αυτών. Είναι γεγονός ότι κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις (χωροταξικές, περιβαλλοντικές, ενεργειακές κλπ.) η αφαλάτωση μπορεί να είναι μια εξαιρετική λύση στο πρόβλημα των άνδρων νησιών της χώρας μας, καθώς είναι δυνατόν να παραχθούν επαρκείς ποσότητες νερού καλής ποιότητας, με αρκετά χαμηλό κόστος (1-2 €/m³), σε αντίθεση με τη σημερινή κατάσταση, όπου στα περισσότερα δίκτυα το νερό είναι ακατάλληλο. Σε συνδυασμό μάλιστα με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, κάποιες μορφές των οποίων διαθέτουν σε αφθονία τα ηλιόλουστα Ελληνικά νησιά με τους έντονους ανέμους, θα μπορούσε να συμβάλει στην ουσιαστική και μόνιμη επίλυση του προβλήματος λειψυδρίας.

2.5.2 Η ζήτηση νερού στα νησιά του Αιγαίου

Στον Πίνακα 2-15, ο οποίος περιέχει στοιχεία για την ύδρευση των νησιών του Αιγαίου (έτος 2006), φαίνεται ότι συνολικά για τα νησιά του Αιγαίου οι ζητούμενες ποσότητες νερού ανέρχονται σε 63.796.792 m³. Από αυτή την ποσότητα, οι αφαλατωμένες ποσότητες νερού καλύπτουν το 4,1%, οι μεταφερόμενες ποσότητες το 1,4%, οι ταμειυτήρες το 4,4% και τα υπόγεια ύδατα το 82,6%. Επίσης, συνολικά καλύπτεται το 93,6%, δηλαδή παρατηρείται μια αδυναμία κάλυψης του 6,4% των αναγκών ύδρευσης, η οποία κατανέμεται κατά κανόνα στους ξηρούς μήνες, δηλαδή τον Ιούλιο, τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο, αφού οι χειμερινές υδρευτικές ανάγκες καλύπτονται γενικά ευκολότερα. Το έλλειμμα αυτό αποτελεί μέση τιμή 16ετίας, πράγμα που σημαίνει ότι σε ιδιαίτερα ξηρά έτη το μέγεθος αυτό είναι πολλαπλάσιο.

Πίνακας 2-15. Μέση ετήσια κάλυψη ετήσιων υδρευτικών αναγκών ανά είδος προσφοράς (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2006)

Νήσος	Αφαλατώσεις (%)	Μεταφερόμενες ποσότητες (%)	Ταμειυτήρες (%)	Υπόγεια ύδατα (%)	Κάλυψη υδρευτικών απαιτήσεων (%)	Υδρευτική ή αιτίαση (m ³)	Πληθυσμός 2001	Ετήσιες ανάγκες 2001

Αστυπάλαια			58,49	30,02	88,51	161.56	1.238	52.929
Κάλυμνος-Ψέριμος-Τέλενδος-Καλόλιμνος		0,20		98,37	98,57	1.474.756	16.441	117.431
Λειψοί		55,46		23,83	79,29	67.452	698	6.07
Λέρος-Φαρμακονησι	5,46	11,38		82,26	99,10	773.966	8.207	29.794
Πάτιμος-Αρκοι		75,00		16,86	91,86	330.781	3.044	72.221
Κάσος				100,00	100,00	113.737	990	564
Κάρπαθος-Σαρια				100,00	100,00	754.558	6.511	207.953
Κως				98,55	98,55	5.428.825	30.947	6.316.684
Νίσυρος-Γυαλι	71,00	14,93			85,92	110.43	948	33.765
Μεγίστη-Ρω		85,95		5,71	91,66	58.616	430	8.632
Ρόδος				91,98	91,98	17.507.447	117.007	9.560.266
Σύμη		85,00		6,71	91,71	293.789	2.606	35.253
Χάλκη		89,55			89,55	50.778	313	43.86
Τήλος				93,19	93,19	79.342	533	14.385
Αγαθονήσι		83,70			83,70	12.411	158	580
Άνδρος				98,90	98,90	1.031.920	10.009	219.295
Αμοργός		7,35		74,86	82,20	183.264	1.859	62.49
Θήρα	4,28	0,36	25,87	54,32	84,83	1.984.189	12,44	954.917
Ίος	38,48		1,27	60,25	100,00	278.987	1.838	177.934
Κύθνος				99,28	99,28	175.833	1.608	77.646
Κέα				92,77	92,77	315.813	2.417	24.381
Σέριφος				95,80	95,80	202.635	1.414	83.012
Μήλος	24,56			58,44	83,00	626.581	4.771	94.013
Σίφνος	15,00			72,63	87,63	345.594	2.442	79.659
Νάξος			48,14	50,75	98,89	2.115.304	18.188	475.418
Πάρος	12,41			87,05	99,46	1.675.267	12.853	891.449
Σύρος	49,42			21,46	70,88	1.855.053	18.181	344.652
Μύκονος-Δηλος	29,75		37,27	14,27	81,29	1.597.541	9.32	1.191.051
Τήνος	8,71			88,77	97,48	1.058.208	8.574	305.669
Ανάφη				100,00	100,00	27.695	273	10.971
Δονούσα				99,09	99,09	13.596	163	175
Ηρακλεία		91,99		4,35	96,35	14.753	151	10.86
Κουφονήσια		80,00		5,31	85,31	38.47	366	10.708
Σχοινούσα		98,52			98,52	22.597	206	22.464
Κίμωλος	39,43	12,45		48,12	100,00	70.388	769	8.418
Σίκινος		40,00		56,85	96,85	24.768	238	29.67
Φολέγανδρο		39,56		8,89	48,45	72.16	667	96.372
Αντίπαρος				99,07	99,07	160.573	1.037	90.11
Άγ.Ευστράτιος				100,00	100,00	40.774	371	1.836
Λέσβος				99,04	99,04	9.135.851	90.643	525.426
Λήμνος				96,00	96,00	1.688.189	18.102	168.141
Ικαρία				100,00	100,00	900.725	8.312	114.531
Σάμος				78,07	78,07	6.042.336	33.814	1.069.175
Φούρνοι-Θυμαίνα				99,72	99,72	161.168	1.469	20.1
Οινούσες	25,31		31,73	42,97	100,00	98.79	1.05	2.3
Χίος	8,72		12,50	70,52	91,74	4.585.600	51.936	192.266
Ψαρά				100,00	100,00	33.717	422	4.29
Σύνολα / μέσοι όροι	4,1	1,4	4,4	82,6	93,6	63.967.792	505.976	23.859.786

Όσον αφορά τις αρδευτικές ανάγκες, του ίδιου έτους, από τον Πίνακα 2-16, παρατηρούμε ότι ανέρχονται, για το σύνολο των νησιών του Αιγαίου, σε 106.366.859 m³. Από αυτή την ποσότητα καλύφθηκε το 85,9%. Οι ποσότητες του αφαλατωμένου νερού κάλυψαν το 2%, οι μεταφερόμενες

ποσότητες το 2%, οι ταμειυτήρες το 6,2% και τα υπόγεια ύδατα το 79,7%. Το μέσο ετήσιο έλλειμμα ανέρχεται σε 14,1%, κατανέμεται κατά κανόνα μόνο στους ξηρούς μήνες, δηλαδή τον Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Επίσης, όπως και στον προηγούμενο πίνακα, το τελευταίο αποτελεί μέση τιμή 16ετίας, πράγμα που σημαίνει ότι σε ξηρά έτη το μέγεθος αυτό είναι πολλαπλάσιο.

Πίνακας 2-16. Μέση ετήσια κάλυψη ετήσιων αρδευτικών αναγκών ανά είδος προσφοράς (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2006)

Νήσος	Αφαλ/σεις %	Μεταφ. ποσοτ. %	Ταμι/ρες %	Υπογ. ύδ. %	Κάλυψη αρδευτικών απαιτήσεων%	Έκταση στρ.	Αρδευτικές απαιτήσεις κ.μ.
Αστυπάλαια			37,75	46,25	83,99	387	226.526
Κάλυμνος-Ψέριμος-Τέλενδος-Καλολιμνος				99,49	99,49	1.025	528.524
Λειψοί			2,65	21,47	24,12	149	96.955
Λέρος-Φαρμακονησι				88,69	88,69	549	256.362
Πάτιμος-Αρκιοί				76,22	76,22	329	167.248
Κάσος				100,00	100,00	162	94.052
Κάρπαθος-Σαρια				100,00	100,00	942	572.658
Κως			6,11	87,74	93,85	13.903	7.733.619
Νίσυρος-Γυαλι	53,43		1,10		54,53	37	40.635
Μεγίστη-Ρω				2,93	2,93	9	4.857
Ρόδος			6,04	90,64	96,67	28.575	14.549.710
Σύμη				75,92	75,92	23	12.26
Χάλκη		30,09			30,09	25	22.787
Τήλος				91,55	91,55	191	65.166
Αγαθονήσι			7,16	51,14	58,30	1	4.674
Άνδρος				98,80	98,80	7.732	4.539.427
Αμοργός				85,69	85,69	248	147.048
Θήρα				76,19	76,19	541	354.311
Ίος			10,79	89,21	100,00	197	130.733
Κύθνος				98,81	98,81	271	224.988
Κέα				94,01	94,01	1.455	1.186.483
Σέριφος				94,08	94,08	219	141.905
Μήλος				95,92	95,92	980	628.867
Σίφνος				77,48	77,48	425	268.57
Νάξος			5,58	39,97	45,55	18.583	10.342.197
Πάρος				97,46	97,46	3.561	1.786.366
Σύρος				54,15	54,15	2.826	1.896.552
Μύκονος-Δηλος			24,60	44,87	69,47	2.008	1.439.634
Τήνος				86,95	86,95	3.669	2.263.090
Ανάφη				21,67	21,67	245	128.395
Δονούσα				98,15	98,15	60	10.039
Ηρακλειά				4,24	4,24	78	40.708
Κουφονήσια		50,01		20,37	70,37	20	9.709
Σχοινούσα				37,44	37,44	107	52.057
Κίμωλος				92,77	92,77	20	13.13
Σίκινο		29,47		59,43	88,9	20	14.114
Φολέγανδρος		29,34		20,99	50,34	25	23.832
Αντίπαρος				99,04	99,04	76	46.968
Άγιος Ευστράτιος				100,00	100,00	36	17.373
Λέσβος			6,32	85,48	91,81	77.185	35.262.807
Λήμνος			15,29	78,21	93,50	7.566	4.602.683
Ικαρία			45,14	54,86	100,00	4.312	2.027.686
Σάμος			0,59	76,95	77,54	14.516	8.133.978
Φούρνοι-Θυμαίνα				99,56	99,56	53	28.066
Οινούσες			23,26	76,74	100,00	36	19.109
Χίος			6,27	79,83	86,10	13.519	6.804.711
Ψαρά				100,00	100,00	48	33.712
ΣΥΝΟΛΑ / ΜΕΣΟΙ	2,00	2,00	6,2	79,7	85,9	206.944	106.974.427

ΟΡΟΙ							
------	--	--	--	--	--	--	--

Συγκεκριμένα τώρα για τις ποσότητες του νερού (σε m³), οι οποίες μεταφέρθηκαν με υδροφόρα πλοία σε 11 νησιά των Κυκλάδων και σε 9 νησιά των Δωδεκανήσων, κατά τα έτη 1997 έως 2002 (Πίνακες 2-17, 2-18), παρατηρούμε ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων οι τάσεις είναι αυξητικές στη διάρκεια των ετών. Η αύξηση αυτή γίνεται αντιληπτή και από τις συνολικές ποσότητες και στις δύο περιπτώσεις, τόσο για τις Κυκλάδες, όπου οι μεταφερόμενες ποσότητες αυξήθηκαν από 228.937 m³ (1997) σε 621.541 m³ (2002), όσο και για τα Δωδεκάνησα, όπου οι αντίστοιχες ποσότητες αυξήθηκαν από 1.052.633 m³ (1997) σε 1.747.607 m³ (2002).

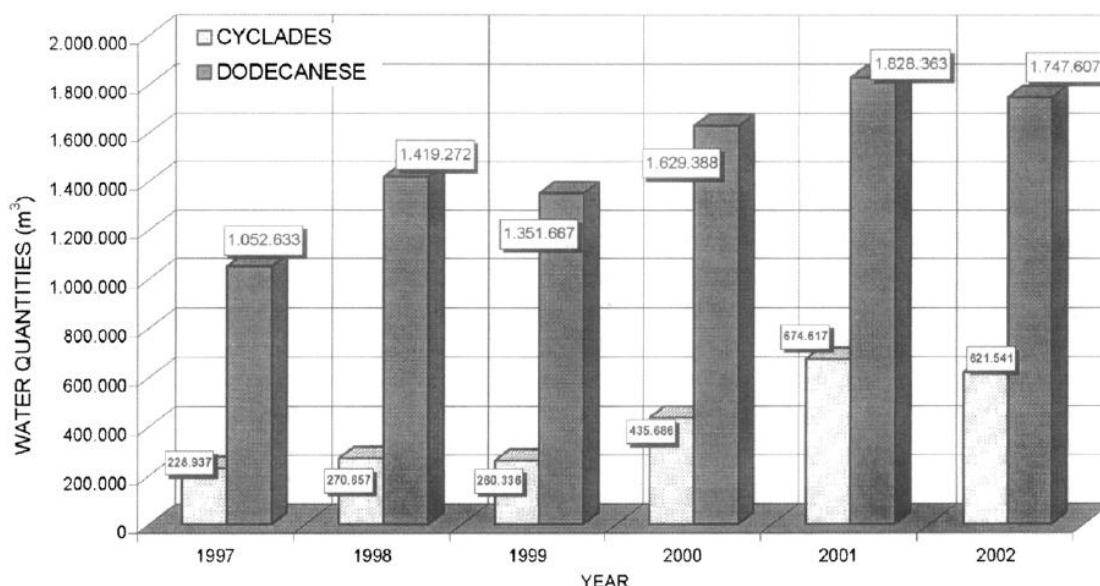
Πίνακας 2-17. Μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος σε 11 νησιά των Κυκλάδων, κατά τα έτη 1997 – 2002 (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004)

Νησί	Έτος					
	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Αμοργός	59.721	62.012	72.400	39.824	56.200	51.778
Κουφονήσι	68.540	83.992	77.241	86.136	91.439	84.245
Κίμωλος	41.585	53.089	48.055	72.011	88.431	81.474
Ηρακλειά	15.231	19.457	22.729	26.705	35.628	32.825
Σχοινούσα	23.640	35.731	10.067	34.160	41.673	38.394
Φολέγανδρος	20.220	16.376	29.844	37.359	48.481	44.667
Τήνος	-	-	-	110.143	105.112	96.842
Σίκινος	-	-	-	29.348	42.699	39.540
Θυρασιά	-	-	-	-	24.211	22.906
Δονούσα	-	-	-	-	880	-
Μήλος	-	-	-	-	139.863	128.859
Σύνολο	228.937	270.657	260.336	435.686	674.617	621.541

Πίνακας 2-18. Μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος σε 9 νησιά των Δωδεκανήσων, κατά τα έτη 1997 – 2002 (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004)

Νησί	Έτος					
	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Αγαθονήσι	8.892	15.558	21.388	25.941	33.361	31.887
Λειψοί	77.770	94.168	79.600	105.607	166.533	159.177
Μεγίστη	72.927	108.161	125.420	135.491	150.594	143.942
Νίσυρος	117.491	131.410	153.760	235.093	259.245	247.795
Πάτμος	253.616	311.599	380.319	482.367	606.788	579.987
Σύμη	521.350	591.378	451.245	515.450	433.193	414.059
Χάλκη	0	166.264	138.761	126.006	169.258	161.782
Βόρεια Κάλυμνος	587	734	1.174	3.081	2.348	2.244
Ψέριμος	-	-	-	352	7.043	6.732
Σύνολο	1.052.633	1.419.272	1.351.667	1.629.388	1.828.363	1.747.607

Η απεικόνιση των παραπάνω περιέχεται στο Γράφημα 2-4, που ακολουθεί.



Γράφημα 2-4. Μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος σε Δωδεκάνησα και Κυκλάδες, κατά τα έτη 1997 – 2002 (Kaldellis, Kavadias, & Kondili, 2004)

Συνεχίζοντας την ανάλυση των ποσοτήτων του νερού (σε m^3), οι οποίες μεταφέρθηκαν με υδροφόρα πλοία στα νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων το έτος 2006, παρατίθενται οι Πίνακες 2-19, 2-20, σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής. Από τα στοιχεία του πίνακα αυτού φαίνεται ότι το 2006 μεταφέρθηκαν στις Κυκλάδες $571.100 m^3$ και στα Δωδεκάνησα $1.004.100 m^3$ (ITA, 2008). Το επόμενο έτος (2007) στις Κυκλάδες μεταφέρθηκαν συνολικά $697.000 m^3$ νερού και στα Δωδεκάνησα περίπου $1.100.000$ ενώ όπως ήταν αναμενόμενο οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού καταναλώθηκαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και το Σεπτέμβριο (Ευθυμίουπουλος, 2010).

Πίνακας 2-19. Ποσότητες νερού που μεταφέρονται ανά νησί του Ν. Κυκλάδων (ITA, 2008)

Μήνας	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}	9 ^{ος}	10 ^{ος}	11 ^{ος}	12 ^{ος}	Σύνολο
Αμοργός	1600		1600	1600	1600	1900	4500	5000	4000	1900	1900		25600
Κουφονήσια	1400	1600	1500	4200	4100	6600	7200	9000	5500	1900	2300		45300
Κίμωλος	1600	2000	2000	3100	3200	4200	5000	7200	3700	3300	3200	2100	40600
Ηρακλειά	600	1000	1300		1900	2500	2000	3000	1900	700	1400	500	16800
Σχοινούσα	1000	600	1600	1600	2600	3200	5800	5000	3000	1200	3100	1300	30000
Φολέγανδρος	2200	1600	3200	4800	4700	7600	11000	6900	8000	5500	1900	4100	61500
Τήνος								6400	9000				15400
Σίκινος					1800	1900	2500	7000	1800	1900			16900
Θηρασιά	1000	1000		1000	800	1100	2000	1800	1000	2000		1000	12700
Μήλος **	16500	15800	18400	28000	30500	35300	30000	24000	33000	30200	17200	18700	297600
Σύρος (Ποσειδωνία)								3000	1200	4000			8200
Λονούσα											500		500
Σύνολο	25900	23600	29600	44300	51200	64300	70000	78300	72100	52600	31500	27700	571100

Στη Μήλο (**), όπου και μεταφέρονταν οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού στις Κυκλάδες, υπάρχει σήμερα εγκατεστημένη μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας η οποία καλύπτει το 100 % των αναγκών σε νερό.

Πίνακας 2-20. Ποσότητες νερού που μεταφέρονται ανά νησί του Ν. Δωδεκανήσου (ΙΤΑ, 2008)

Μήνας	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}	9 ^{ος}	10 ^{ος}	11 ^{ος}	12 ^{ος}	Σύνολα
Αγαθονήσι	1800	1300	1800	1000	1800	1600	2600	3200	1600	2500	1100	1600	21900
Καλόλιμνος													0
Λειψοί	2200	4400		2700	3700	5500	4600	7700	6000	2200	1900		40900
Μεγίστη	4700	4000	5200	5900	5500	8300	8900	8500	7400	5300	4300	4500	72500
Νίσυρος	1900		1100	1300	4300	1000	4300	3200	2100	3200	1500	2200	26100
Παλιόνησος							300	300					600
Πάτμος	7500	5600	17500	17600	25200	33000	25700	35000	29400	27000	17600	12500	253600
Σύμη	29000	20000	32600	31000	37300	40500	46600	46300	42500	48500	42300	39200	455800
Χάλκη	3500		3500	4200	6800	7200	7800	8500	7400	6300	5800	3800	64800
Ψέριμος		3200			600	1300		400					5500
Λέρος				9700		14000	10500	6100	10600	4000	7000		61900
Λεβίθα					300					200			500
Σύνολα	50600	38500	61700	73400	85500	112400	111300	119200	107000	99200	81500	63800	1004100

Όσον αφορά τα χρήματα που δίνονται για την μεταφορά νερού, έχουν αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι μεταξύ 1997 και 2007 το κόστος μεταφοράς δεκαπλασιάστηκε από 1.244.881 € (το 1997) σε 11.206.409 (το 2007). Το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας πλήρωσε 4,91€ ανά m³ νερού για τα Δωδεκάνησα, το έτος 2007, ενώ για τις Κυκλάδες πλήρωσε 8,32€ ανά m³, την ίδια χρονιά. Παράλληλα το κόστος του μεταφερόμενου νερού ανά m³ αυξήθηκε από 2,55€ το 1997 (μέση τιμή για Κυκλάδες και Δωδεκάνησα) σε 6,23€ το 2007. Μάλιστα, τα χρήματα αυτά δίνονται για νερό που δεν είναι πόσιμο τις περισσότερες φορές, καθώς δεν ακολουθούνται αυστηροί κανόνες υγιεινής κατά τη μεταφορά, οπότε στην οικονομική, αλλά και την περιβαλλοντική ανάλυση του προβλήματος πρέπει να συνυπολογιστεί και η τεράστια κατανάλωση εμφιαλωμένου νερού σε πλαστικά μπουκάλια (Ενεργειακό Γραφείο Του-Αιγαίου, 2011).

Σύμφωνα με τη στρατηγική μελέτη του Ενεργειακού Γραφείου Του-Αιγαίου για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, την Προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και τη Μείωση των Εκπομπών στα νησιά του Αιγαίου, τα νησιά του Αιγαίου πελάγους, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει των μεταφερόμενων σε αυτά ποσοτήτων νερού (στοιχεία 2006) και βάσει του γινομένου της ποσότητας επί την απόσταση μεταφοράς σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 2-21, 2-22) (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009).

Πίνακας 2-21. Κατηγοριοποίηση νησιών βάσει των ποσοτήτων νερού που μεταφέρονται σε αυτά (στοιχεία 2006) [m³/έτος] (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

	>100.000	100.000>...>40.000	40.000>...>20.000	20.000>
Αριθμός νησιών	1	4	3	4
Νησιά	Πάτμος	Φολέγανδρος	Σχοινούσα	Σίκινος
	Αίγινα	Κουφονήσια	Νίσυρος	Ηρακλεία
		Κίμωλος	Αμοργός	Θηρασιά

Πίνακας 2-22. Κατηγοριοποίηση νησιών βάσει των ποσοτήτων νερού που μεταφέρονται σε αυτά επί την απόσταση μεταφοράς (στοιχεία 2006) [m³*nmi/έτος] (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

	>10.000.000	10.000.000>...>4.000.000	4.000.000>...>1.000.000	1.000.000>
Αριθμός	1	4	6	1

νησιών				
Νησιά	Πάτμος	Αίγινα	Σχοινούσα	Σύρος
		Φολέγανδρος	Αμοργός	
		Κουφονήσια	Ηρακλεία	
		Κίμωλος	Σίκινος	
		Λειψοί	Θηρασιά	

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ένα ποσοστό των απαιτούμενων ποσοτήτων πόσιμου νερού, καλύπτεται από μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες έχουν εγκατασταθεί σε αρκετά νησιά του Αιγαίου. Στον Πίνακα 2-23, που ακολουθεί, περιέχονται κάποιες από αυτές τις μονάδες, οι οποίες χρησιμοποιούν το σύστημα της Αντίστροφης Όσμωσης, μαζί με κάποια στοιχεία για την δυναμικότητα τους και το έτος κατασκευής τους. Επίσης, στον Πίνακα 2-24, δίνονται οι τυπικές ποσότητες αφαλατωμένου νερού που παράγονται σε κάποια νησιά, όπου λειτουργούν μονάδες συμβατικής αφαλάτωσης.

Πίνακας 2-23. Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στο Αιγαίο, με το σύστημα της Αντίστροφης Όσμωσης (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

Μονάδα	Έτος Κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Δυναμικότητα (m ³ /hr)
Σύρος 1 ^η (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800
Σύρος 2 ^η (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800
Σύρος 3 ^η (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	2x250
Σύρος 4 ^η (Ανω Σύρος)	2000	RO (SW)	250
Σύρος 5 ^η (Ανω Σύρος)	2002	RO (SW)	500
Σύρος 6 ^η (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	4x500
Σύρος 7 ^η (Ανω Σύρος)	2005	RO (SW)	2x500
Σχοινούσα	2004	RO (SW)	100
Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	RO (SW)	3x650
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO (SW)	500
Τήνος (Παλαιά)	2001	RO (SW)	500
Τήνος (Νέα)	2005	RO (SW)	500
Οίας, Σαντορίνης 1 ^η	1994	RO	220
Οίας, Σαντορίνης 2 ^η	2000	RO	320
Οίας, Σαντορίνης 3 ^η	2002	RO	160
Σίφνος (4 μονάδες)	2002-2009	RO (BW)	2000 (συνολικά)
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2000	RO (BW)	600
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	3x1000
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	500
Νίσυρος (Παλαιά)	1991	RO	300
Νίσυρος (Νέα)	2002	RO	350
Λέρου (ΔΕΥΑ)	2001	RO	200
Ποσειδωνίας (Δήμος) 2	2002	RO (SW)	2x250
Ποσειδωνίας (Δήμος) 2	2005	RO (SW)	2x500
Σίφνος (Δήμος)	2007	RO (SW)	250
Ίος (Δήμος)	2003	RO (SW)	1000
Οινουσών (Δήμος)	2005	RO (SW)	500
Μήλος	2006	RO (SW)	2240
Ύδρα (Δήμος)	2009	RO (SW)	500

Πίνακας 2-24. Ποσότητες παραγόμενου νερού από αφαλάτωση (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)

Νίσυρος	67.366 m ³
Σαντορίνη	72.040 m ³
Ίος	107.000 m ³

Σίφνος	45.427 m ³
Πάρος	206.778 m ³
Σύρος	649.805 m ³
Μύκονος - Δήλος	386.346 m ³
Κίμωλος	27.754 m ³
Χίος	366.836 m ³

3. Η τεχνολογία της αφαλάτωσης

3.1 Η έννοια της αφαλάτωσης και τα βασικά χαρακτηριστικά του νερού

Ο όρος αφαλάτωση αναφέρεται συνήθως σε εκείνες τις διεργασίες οι οποίες μειώνουν την ποσότητα των διαλυμένων συστατικών του νερού το οποίο τις τροφοδοτεί. Όπως είναι γνωστό το θαλασσινό νερό περιέχει μεγάλη ποσότητα αλάτων και υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν είναι πόσιμο, καθώς μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό (κυρίως στομαχικές διαταραχές και προβλήματα πέψης), αλλά ούτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικιακές δραστηριότητες, όπως το μαγείρεμα και το πλύσιμο ρούχων. Παρόλα αυτά, εάν από αυτό το νερό μειωθεί σε κάποιο βαθμό η περιεκτικότητα σε άλατα, τότε αυτό μπορεί να γίνει πιο χρήσιμο στον άνθρωπο.

Το νερό που δημιουργείται από φυσικές διαδικασίες στο περιβάλλον περιέχει διαλυμένα συστατικά, όπως το χλωριούχο νάτριο (NaCl), όξινο ανθρακικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), θειικό μαγνήσιο (MgSO_4) και διάφορα ακόμα φυσικά συστατικά. Στον Πίνακα 3-1, καταγράφεται η τυπική σύσταση του θαλασσινού νερού και το ποσοστό συμμετοχής του κάθε συστατικού στο συνολικό μίγμα.

Πίνακας 3-1. Τυπική σύσταση του θαλασσινού νερού (Micale, Cipollina, & Rizzuti, 2009)

Χημικό Ιόν	Συγκέντρωση (ppm)	Ποσοστό του συνολικά περιεχόμενου άλατος (%)
Chloride Cl^-	19.345	55
Sodium Na^+	10.752	30,6
Sulfate SO_4^{2-}	2.701	7,6
Magnesium Mg^{2+}	1.295	3,7
Calcium Ca^{2+}	416	1,2
Potassium K^+	390	1,1
Bicarbonate HCO_3^-	145	0,4
Bromide Br^-	66	0,2
Borate BO_3^{3-}	27	0,08
Strontium Sr^{2+}	13	0,04
Fluoride F^-	1	0.003

Το νερό από το οποίο έχουν αφαιρεθεί όλα τα διαλυμένα συστατικά είναι δυσάρεστο στην πόση, καθώς το χαρακτηρίζει μια πλήρως ουδέτερη και γλυφή γεύση, ενώ επίσης όταν η συγκέντρωση των διαλυμένων συστατικών του νερού είναι ιδιαίτερος υψηλή, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στο θαλασσινό νερό, τότε η πόση του νερού είναι δυσάρεστη. Στο πόσιμο νερό πρέπει να επιτυγχάνεται μια μέση κατάσταση από τις προηγούμενες δύο ακραίες περιπτώσεις (Clayton, 2011). Ο Πίνακας 3-2 που ακολουθεί περιέχει μια κλίμακα μέτρησης της γευστικότητας του νερού, βάσει της περιεκτικότητας του σε διαλυμένα στερεά (σε mg/l ή αλλιώς ppm), σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization – WHO), ενώ ο Πίνακας 3-3 αναφέρει τα όρια του αποδεκτού πόσιμου νερού, σύμφωνα πάντοτε με τον ίδιο οργανισμό.

Πίνακας 3-2. Κλίμακα της γευστικότητας του νερού, βάσει της περιεκτικότητας του σε διαλυμένα στερεά, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Clayton, 2011)

Γευστικότητα	Συνολικά Διαλυμένα Στερεά Total Dissolved Solids (TDS) (mg/l ή ppm)
Θαυμάσια (Excellent)	<300
Καλή (Good)	300-600
Σχετικά καλή (Fair)	600-900
Φτωχή (Poor)	900-1200
Μη αποδεκτή (Unacceptable)	>1200

Πίνακας 3-3. Προδιαγραφές της φυσικής και χημικής ποιότητας του νερού σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Tiwari & Singh, 2004)

Παράμετροι ελέγχου της ποιότητας του νερού	Αποδεκτή τιμή	Μη αποδεκτή τιμή
Θολότητα	5	25
pH	7-8,5	6,5-9,2
Διαλυμένα στερεά (TDS) (ppm)	500	1500
Σκληρότητα (ppm)	300	600
Chloride Cl ⁻ (ppm)	200	400
Nitrate NO ₃ ⁻ (ppm)	20	50
Σίδηρος (ppm)	0,3	1

Σύμφωνα λοιπόν με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το ανώτατο επιτρεπτό όριο άλατος στο πόσιμο νερό είναι περίπου 1000 ppm. Το διαθέσιμο νερό των περισσότερων περιοχών της γης κυμαίνεται σε τιμές μέχρι 10.000 ppm, ενώ το νερό της θάλασσας διαθέτει άλας, σε πλήρως διαλυμένη μορφή συγκέντρωσης 35.000 έως 45.000 ppm (Kalogiou, 2005). Πιο συγκεκριμένα, το νερό μπορεί να διαχωριστεί σε κάποιες κατηγορίες αλατότητας, βάσει της περιεκτικότητας του σε διαλυμένα στερεά. Αυτές οι κατηγορίες φαίνονται στον Πίνακα 3-4, που παρατίθεται στη συνέχεια.

Πίνακας 3-4. Κατηγοριοποίηση του νερού βάσει της περιεκτικότητας του σε διαλυμένα στερεά (Clayton, 2011)

Περιγραφή	Συνολικά Διαλυμένα Στερεά Total Dissolved Solids (TDS) (mg/l ή ppm)
Πόσιμο νερό	<1000
Ελαφρώς υφάλμυρο νερό	1.000-5.000
Μετρίως υφάλμυρο νερό	5.000-15.000
Ισχυρώς υφάλμυρο νερό	15.000-35.000
Τυπικό θαλασσινό νερό	35.000

Το θαλασσινό νερό αλλά και το νερό αρκετών λιμνών μπορεί να διαφέρει σημαντικά ως προς την περιεκτικότητα του σε διαλυμένα στερεά, συγκριτικά με τις τιμές του παραπάνω πίνακα. Για παράδειγμα ο Αραβικός Κόλπος έχει μέση αλατότητα 48.000 mg/l, ενώ η λίμνη “Mono”, στην Καλιφόρνια διαθέτει νερό 100.000 mg/l. Η αλατότητα της Νεκράς Θάλασσας είναι 250.000 mg/l, μια τιμή επτά φορές υψηλότερη από την αλατότητα των ωκεανών, ενώ το επιφανειακό ύδωρ του Αρκτικού Ωκεανού (έως 50m βάθος), έχει περιεκτικότητα μόλις 20.000 mg/l (Clayton, 2011). Στον Πίνακα 3-5 αναφέρονται ενδεικτικές τιμές της αλατότητας του νερού διάφορων θαλασσών του πλανήτη.

Πίνακας 3-5. Η διαφοροποίηση στην αλατότητα του θαλασσινού νερού διάφορων θαλασσών (Clayton, 2011)

Θάλασσα	Ενδεικτική τιμή της αλατότητας (mg/l)
Αραβικός Κόλπος (Red Sea)	40.000
Μεσόγειος θάλασσα	38.000
Μέσο θαλασσινό νερό	35.000

Μαύρη θάλασσα (Black Sea)	18.000
Βαλτική θάλασσα (Baltic Sea)	8.000

Σκοπός των συστημάτων αφαλάτωσης που έχουν εξελιχθεί από τον άνθρωπο δεν είναι άλλος από την απομάκρυνση της υψηλής συγκέντρωσης αλάτων από το αλμυρό ή το υφάλμυρο νερό και παραγωγή νερού με ανεκτά όρια αλατότητας ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο. Το νερό που παράγεται από τις διεργασίες αφαλάτωσης είναι συνήθως εντός των ορίων τα οποία τίθενται για το πόσιμο νερό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση, άρδευση ή και άλλες δραστηριότητες. Τα κυριότερα και ευρύτερα χρησιμοποιούμενα συστήματα αφαλάτωσης θα αναπτυχθούν στη συνέχεια, εφόσον πρώτα παρουσιαστούν κάποια ιστορικά στοιχεία σχετικά με την αφαλάτωση.

3.2 Ιστορικά στοιχεία της αφαλάτωσης

Οι Έλληνες ήταν από τους πρώτους που ασχολήθηκαν, σε φιλοσοφικό επίπεδο, με το νερό και την ενέργεια. Ο Θαλής ο Μιλήσιος (640–546 π.Χ.), υποστήριξε ότι η Γη έχει τη μορφή ενός κυκλικού δίσκου που στηρίζεται στο νερό και ότι το νερό είναι η αρχή των πάντων. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη αυτή ήταν η αρχαιότερη θεωρία που είχε διατυπωθεί και είχε παραδοθεί από τον Θαλή, σχετικά με το νερό. Ο Θαλής υποστήριξε σθεναρά την άποψη ότι ο Ωκεανός ποταμός περιβάλλει την Γη και είναι πηγή όλων των υδάτων. Τα επόμενα χρόνια, ο Εμπεδοκλής (495–435 π.Χ.) ανέπτυξε τη θεωρία ότι ο κόσμος αποτελείται από 4 στοιχεία, τη φωτιά, τον αέρα, το νερό και τη Γή. Κάτι, το οποίο με τις σύγχρονες αντιλήψεις μεταφράζεται στους όρους ενέργεια, ατμόσφαιρα, νερό και χώμα, δηλαδή 4 σημαντικά στοιχεία που επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη -και όχι μόνο- ζωή (Kalogirou, 2005) (Βικιπαίδεια, 2012). Ένας από τους μεγαλύτερους Έλληνες φιλοσόφους, ο Αριστοτέλης (384–322 π.Χ.), περιέγραψε τον κύκλο της φύσης, όπως τον ονόμασε, ο οποίος περιγράφει με εκπληκτική, ακόμα και για τα σημερινά δεδομένα, ακρίβεια τον κύκλο του νερού. Επίσης, ο Αριστοτέλης ανέφερε σχετικά με το θαλασσινό νερό, ότι μετατρέπεται σε γλυκό και πόσιμο όταν ατμοποιηθεί και στη συνέχεια συμπυκνωθεί (Kalogirou, 2005). Η άποψη αυτή του Αριστοτέλη, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια από τις πρώτες αναφορές που έχουν καταγραφεί ποτέ σχετικά με την αφαλάτωση του αλμυρού νερού.

Ενδεικτικά, ο Αριστοτέλης στο έργο του «Μετεωρολογικά», Βιβλίο β', αναφέρει τα εξής (Βικιθήκη, 2010): «(354β)... **έκ ταύτης δὴ τῆς ἀπορίας καὶ ἀρχῆ τῶν ὑγρῶν ἔδοξεν εἶναι καὶ τοῦ παντός ὕδατος ἢ θάλαττα. διὸ καὶ τοὺς ποταμοὺς οὐ μόνον εἰς ταύτην ἀλλὰ καὶ ἐκ ταύτης φασὶ τινες ῥεῖν· διηθούμενον γὰρ γίνεσθαι τὸ ἀλμυρὸν πότιμον.** ἀντίκειται δὲ ἕτερα πρὸς ταύτην τὴν δόξαν ἀπορία, τί δὴ ποτ' οὐκ ἔστιν τὸ συνεστὸς ὕδωρ τοῦτο πότιμον, εἴπερ ἀρχὴ τοῦ παντός ὕδατος, ἀλλ' ἀλμυρόν. τὸ δ' αἴτιον ἅμα ταύτης τε τῆς ἀπορίας λύσις ἔσται, καὶ περὶ θαλάττης τὴν πρώτην λαβεῖν ὑπόληψιν ἀναγκαῖον ὀρθῶς. τοῦ γὰρ ὕδατος περὶ τὴν γῆν περιπεταμένου, καθάπερ περὶ τοῦτο ἢ τοῦ ἀέρος σφαῖρα καὶ περὶ ταύτην ἢ λεγομένη πυρός (τοῦτο γὰρ ἔστι πάντων ἔσχατον, εἶθ' ὡς οἱ πλείστοι λέγουσιν εἶθ' ὡς ἡμεῖς), **φερομένου δὲ τοῦ ἡλίου τοῦτον τὸν τρόπον, καὶ διὰ ταῦτα τῆς μεταβολῆς καὶ γενέσεώς τε καὶ φθορᾶς οὐσης, τὸ μὲν λεπτότατον καὶ γλυκύτατον ἀνάγεται καθ' ἑκάστην ἡμέραν καὶ φέρεται διακρινόμενον καὶ ἀτμίζον εἰς τὸν ἄνω τόπον, ἐκεῖ δὲ πάλιν συστάν διὰ τὴν ψύξιν καταφέρεται πάλιν πρὸς τὴν γῆν. καὶ τοῦτ' αἰεὶ βούλεται ποιεῖν ἢ φύσις οὕτως, καθάπερ εἴρηται πρότερον**». Σε ελεύθερη μετάφραση στα τονισμένα σημεία του κειμένου αναφέρεται ότι «...*αρχὴ ὅλων των υγρῶν και κάθε νερού φαίνεται ότι είναι η θάλασσα. Γι' αυτό και κάποιοι*

υποστηρίζουν ότι τα ποτάμια όχι μόνο καταλήγουν σ' αυτήν (τη θάλασσα) αλλά προέρχονται απο αυτήν· γιατί το αλμυρό νερό με τη διήθηση (το φιλτράρισμα) γίνεται πόσιμο.» και ότι «...ο ήλιος όπως κινείται με αυτόν τον τρόπο και όπως από αυτή την κίνηση γίνεται η αλλαγή, η γένεση και η φθορά, το πάρα πολύ ελαφρύ και το πάρα πολύ γλυκό νερό ανεβαίνει κάθε μέρα διαχωριζόμενο (διαλυόμενο) και με μορφή αχνού (ατμού) στα ανώτερα στρώματα, εκεί δε, αφού ξανασυμπυκνωθεί, εξαιτίας της ψύξης, πέφτει πάλι κάτω στη γή. Και αυτό η φύση θέλει πάντοτε να κάνει έτσι (με αυτόν τον τρόπο), όπως ακριβώς έχει ειπωθεί προηγουμένως (νωρίτερα).». Επίσης στο ίδιο βιβλίο του Αριστοτέλη αναφέρεται πως «... άλλ' ἢ μόνον ὁ πᾶς ὄγκος. καὶ γὰρ καὶ περὶ γῆς ὁμοίως δεῖ ὑπολαβεῖν· τὸ μὲν γὰρ ἀνέρχεται, τὸ δὲ πάλιν συγκαταβαίνει, καὶ τοὺς τόπους μεταβάλλει τὰ τ' ἐπιπολάζοντα καὶ τὰ κατιόντα πάλιν. **ὄτι δ' ἐστὶν ἐν μείξει τινὸς τὸ ἀλμυρόν, δῆλον οὐ μόνον ἐκ τῶν εἰρημένων, ἀλλὰ καὶ ἐάν τις ἀγγεῖον (359β) πλάσας θῆ κήρινον εἰς τὴν θάλατταν, περιδήσας τὸ στόμα τοιούτοις ὥστε μὴ παρεγγεῖσθαι τῆς θαλάττης· τὸ γὰρ εἰσὶὸν διὰ τῶν τοίχων τῶν κηρίνων γίνεταί ποτίμιον ὕδωρ· ὥσπερ γὰρ δι' ἡθμοῦ τὸ γεῶδες ἀποκρίνεται καὶ τὸ ποιοῦν τὴν ἀλμυρότητα διὰ τὴν σύμμεξιν.**», το οποίο μεταφράζεται ως «...οτι δε το αλμυρό νερό γίνεται (υπάρχει) από την ανάμειξη με κάτι άλλο είναι φανερό όχι μόνον απο όσα ειπώθηκαν, αλλά και από το αν κάποιος, αφού φτιάξει (πλάσσει) αγγείο κέρινο (απο κερι), το βάλει στη θάλασσα, ενώ έχει δέσει ολόγυρα το στόμιό του με τέτοιο τρόπο, ώστε να μη χύνεται μέσα το θαλασσινό νερό· αυτό (το νερό), λοιπόν που μπαίνει μέσα από τα κέρινα τοιχώματα του αγγείου, γίνεται πόσιμο (νερό), όπως δηλαδή αποχωρίζονται οι χωματώδεις ουσίες (από το νερό) με διήθηση (φίλτρο), έτσι και αυτό που κάνει το νερό αλμυρό είναι η ανάμειξη (με αυτό το κάτι άλλο)...».

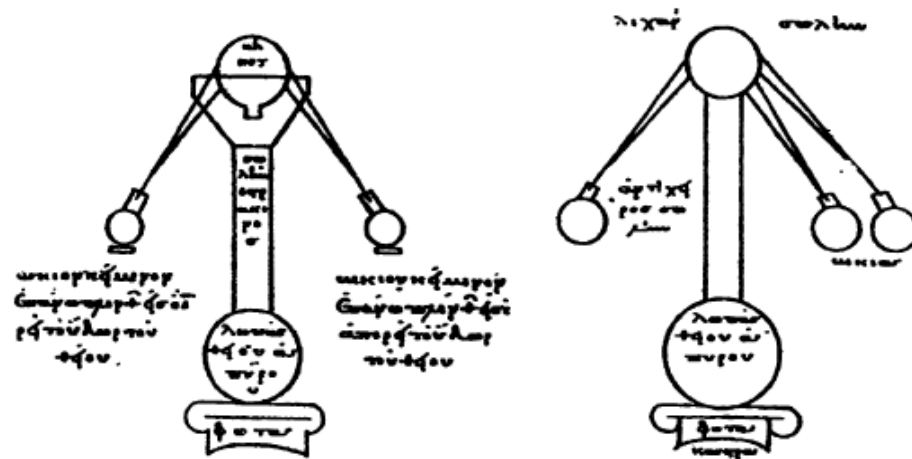
Παρόλα αυτά, πιθανότατα η πρώτη ιστορική εφαρμογή της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με εξάτμιση περιγράφεται στην Εικόνα 3-1, η οποία αναφέρεται σε καταγραφή του περιπατητικού φιλόσοφου Αλέξανδρου του Αφροδισιέως το 200 μ.Χ., στην οποία παρουσιάζεται η παραγωγή πόσιμου νερού από ναύτες σε πλοίο, με χρήση σπόγγων οι οποίοι απορροφούσαν τους ατμούς θαλασσινού νερού που έβραζε εντός ειδικού δοχείου. Οι ατμοί αυτοί όταν συμπυκνώνονταν αποτελούσαν πόσιμο νερό με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα.



Εικόνα 3-1. Ναύτες αφαλατώνουν θαλασσινό νερό το 200 μ.Χ (Kalogirou, 2005)

Η ηλιακή απόσταξη χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα. Οι αποστακτήρες, εφευρέθηκαν στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου κατά την Ελληνιστική περίοδο (338 π.Χ- 30 π.Χ.). Σύμφωνα με

καταγραφές, μία Ελληνίδα αλχημίστρια, η Κλεοπάτρα η Σοφή, κατασκεύασε αποστακτήρες όμοιους με αυτούς που φαίνονται στην Εικόνα 3-2.



Εικόνα 3-2. Ο αποστακτήρας της Κλεοπάτρας (διβικός και τριβικός) (Delyannis, 2003)

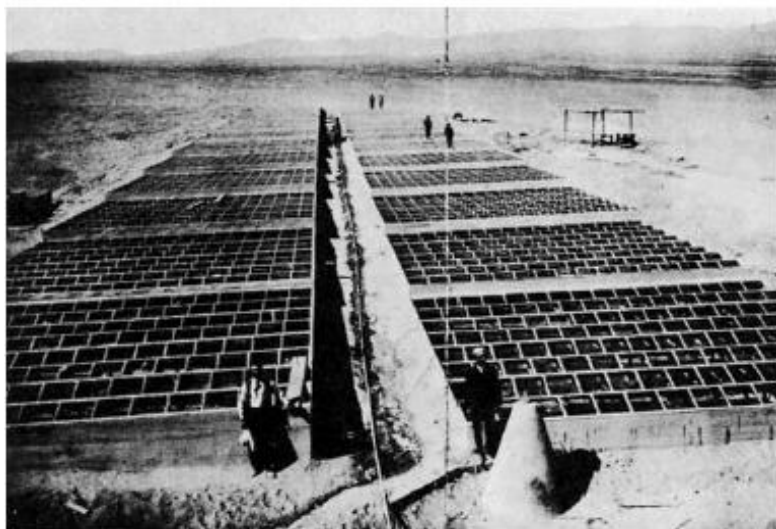
Κατά τον 7^ο αιώνα μ.Χ. οι Άραβες επιστήμονες – αλχημιστές ονόμασαν τους αποστακτήρες «Al-Ambiq», λέξη από την οποία προήλθε η αγγλική λέξη «alembic», που σημαίνει αποστακτήρας. Επίσης κατά τον 15^ο αιώνα μ.Χ., σύμφωνα με μεταγενέστερες καταγραφές, Άραβες αλχημιστές χρησιμοποιούν κοίλα κάτοπτρα ώστε να συγκεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία σε γυάλινα δοχεία με θαλασσινό νερό, με σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού. Αργότερα, κατά την διάρκεια της Αναγέννησης, ο Giovanni Batista Della Porta (1535–1615) επιστήμονας της εποχής, αναφέρεται στα βιβλία του (1589) σε επτά συστήματα αφαλάτωσης. Ένα από αυτά φαίνεται στην Εικόνα 3-3.



Εικόνα 3-3. Διάταξη αφαλάτωσης του Della Porta όπως αυτή παρουσιάζεται στο βιβλίο του “Magiae Naturalis” (Delyannis, 2003)

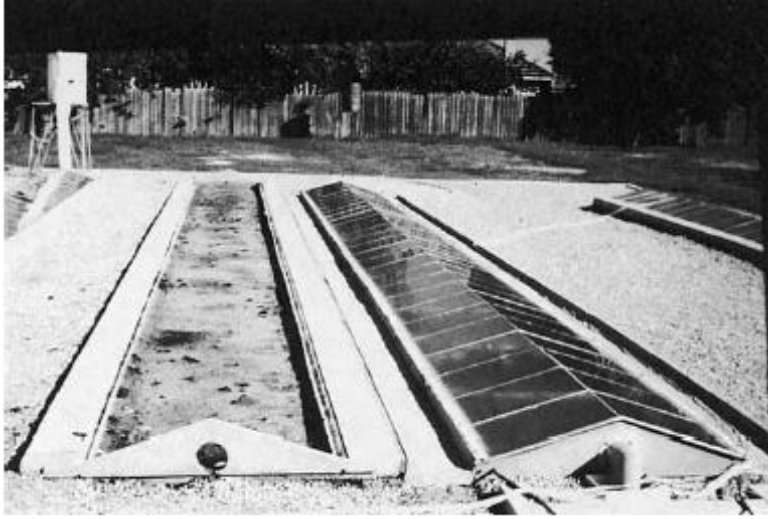
Περίπου το 1774 ο Γάλλος χημικός Λαβουαζιέ, χρησιμοποίησε κατασκευές για την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε δοχεία απόσταξης, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Το 1870 οι Αμερικανοί επιστήμονες Wheeler και Evans ασχολήθηκαν με συστήματα ηλιακής απόσταξης στην πειραματική τους δουλειά. Τα περισσότερα πράγματα που γνωρίζουμε για την ηλιακή

αφαλάτωση περιγράφονται στις συγκεκριμένες μελέτες. Δύο χρόνια αργότερα, το 1872, ένας μηχανικός από την Σουηδία, ο Carlos Wilson, σχεδίασε και κατασκεύασε το πρώτο εργοστάσιο Ηλιακής Απόσταξης στην Χιλή (Εικόνα 3-4). Έτσι η ηλιακή απόσταξη ήταν η πρώτη που χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή πόσιμου νερού.



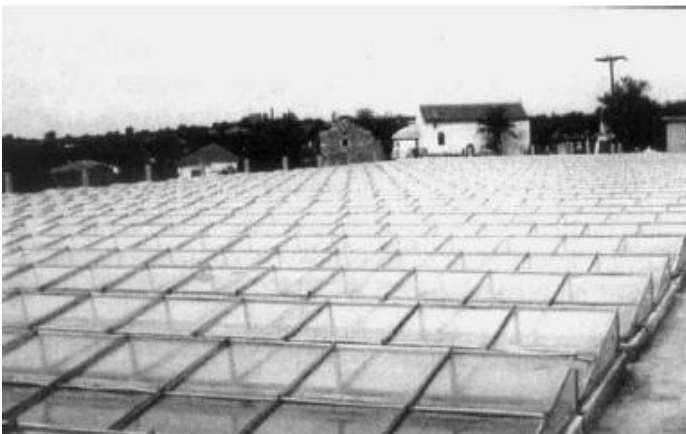
Εικόνα 3-4. Η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης Ηλιακής Απόσταξης στην πόλη “Las Salinas” της Χιλής (Delyannis, 2003)

Μετά τον Α΄ παγκόσμιο πόλεμο το ενδιαφέρον για την ηλιακή αφαλάτωση ανανεώθηκε, παρόλο που μέχρι τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο υπήρχαν ελάχιστα συστήματα ηλιακής απόσταξης. Την περίοδο αυτή γίνεται έρευνα από την Σοβιετική Ένωση σχετικά με το θέμα. Μεταξύ των ετών 1930 έως 1940, η ξηρασία στην Καλιφόρνια στρέφει το ενδιαφέρον των επιστημόνων στην εφαρμογή της αφαλάτωσης του αλμυρού νερού, παρόλο που η πρακτική εφαρμογή δεν προχώρησε λόγω της οικονομικής κρίσης. Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο επιστήμονες από το MIT ξεκίνησαν πειράματα για ηλιακούς αποστακτήρες θαλασσινού νερού, με σκοπό την ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής πόσιμου νερού για στρατιωτική χρήση. Το 1952 μετά την αύξηση του αστικού πληθυσμού στις ΗΠΑ, δημιουργείται ο οργανισμός «Office of saline water - OSW», ο οποίος ασχολείται με την χρηματοδότηση ερευνών για την αφαλάτωση. Ο οργανισμός αυτός στα πλαίσια της λειτουργίας του κατασκευάζει πέντε πρότυπες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, μεταξύ των οποίων είναι και μια εγκατάσταση Ηλιακής Απόσταξης στην παραλία “Daytona” της Florida (Εικόνα 3-5), στο οποίο δοκιμάστηκαν διάφορων τύπων ηλιακοί αποστακτήρες. Την ίδια περίοδο σημαντική ερευνητική εργασία, σχετική κυρίως με την ηλιακή αφαλάτωση, γίνεται σε πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα των ΗΠΑ, καθώς και στην Ινδία, την Αυστραλία και την Σοβιετική Ένωση. Το 1963 αναπτύσσεται για πρώτη φορά ένα παραθαλάσσιο σύστημα απόσταξης θαλασσινού νερού.



Εικόνα 3-5. Η εγκατάσταση Ηλιακής Απόσταξης του οργανισμού OSW στην παραλία “Daytona” της Florida (Delyannis, 2003)

Μεταξύ των ετών 1965 και 1970, δημιουργούνται τα πρώτα εργοστάσια ηλιακής αφαλάτωσης σε τέσσερα ελληνικά νησιά, για την παροχή πόσιμου νερού στις μικρές τους κοινότητες, με χρήση ηλιακών αποστακτών θαλασσινού νερού. Ο σχεδιασμός των συστημάτων αυτών έγινε από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και είχαν δυνατότητα παραγωγής 2044 έως 8640 κ.μ ανά ημέρα. Συγκεκριμένα η εγκατάσταση στην νήσο Πάτμο είναι μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις συστήματος Ηλιακής Απόσταξης που έγιναν ποτέ. Μια άλλη εγκατάσταση Ηλιακής Απόσταξης στη νήσο Σύμη φαίνεται στην Εικόνα 3-6. Τα αμέσως επόμενα χρόνια ακόμα τρία συστήματα εργοστάσια ηλιακής αφαλάτωσης εγκαταστάθηκαν σε ελληνικά νησιά, με δυνατότητες παραγωγής 2886, 388 και 377 κ.μ ανά ημέρα, τα οποία κάλυψαν τις ανάγκες πόσιμου νερού για τις κατασκευές της Χριστιανικής Αδελφότητας Νέων (Delyannis, 2003) (Kalogirou, 2005) (Belessiotis & Delyannis, 1999).



Εικόνα 3-6. Η εγκατάσταση Ηλιακής Απόσταξης στη νήσο Σύμη (Delyannis, 2003)

3.3 Διεργασίες αφαλάτωσης

Η αφαλάτωση είναι μια διεργασία αποχωρισμού αλάτων και νερού, τα οποία συνυπάρχουν σε υδατικά διαλύματα και χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα για την παραγωγή καθαρού νερού κατάλληλου για χρήση (Μωχάμεντ, Διδακτορική Διατριβή με τίτλο «Διερεύνηση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με

αντίστροφη όσμωση», 2009). Οι πιο διαδεδομένες και εμπορικά διαθέσιμες διεργασίες αφαλάτωσης χωρίζονται κατά βάση στις παρακάτω δύο κατηγορίες (Σαμακίδης, 2009) (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010):

1. **Θερμικές διεργασίες:** Οι θερμικές διεργασίες περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης, δηλαδή το νερό αλλάζει τουλάχιστον δύο φορές φάση, καθώς περνάει από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα, μέχρις ότου να συμπυκνωθεί και πάλι σε υγρή μορφή. Τέτοιες διεργασίες είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση, η οποία δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Οι κυριότερες διεργασίες απόσταξης είναι η Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (Multi-Stage Flashing - MSF), η Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (Multiple Effect Distillation - MED ή Multiple Effect Boiling - MEB), η Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (Vapor Compression Distillation - VC) και η Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation - SD).
2. **Διεργασίες μεμβρανών:** Οι διεργασίες μεμβρανών εκμεταλλεύονται την ιδιότητα των μεμβρανών να διαφοροποιούν και να διαχωρίζουν επιλεκτικά τα άλατα και το νερό (Κορωνάιος, 2006). Στις διεργασίες αυτές το νερό παραμένει σε μία μόνο φάση, την υγρή. Οι κυριότερες διεργασίες αυτής της κατηγορίας είναι η Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis - RO) και η Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis - ED), οι οποίες χρησιμοποιούν μεμβράνες για την απομάκρυνση των αλάτων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως υπάρχουν και κάποιες **μεμονωμένες** διεργασίες αφαλάτωσης, όπως για παράδειγμα ο συνδυασμός των παραπάνω διεργασιών. Μία χαρακτηριστική διεργασία αυτής της κατηγορίας είναι η Απόσταξη Μεμβράνης (Membrane Distillation – MD), η οποία συνδυάζει τόσο την καθεαυτού απόσταξη, όσο και τις ιδιότητες των μεμβρανών (Κορωνάιος, 2006).

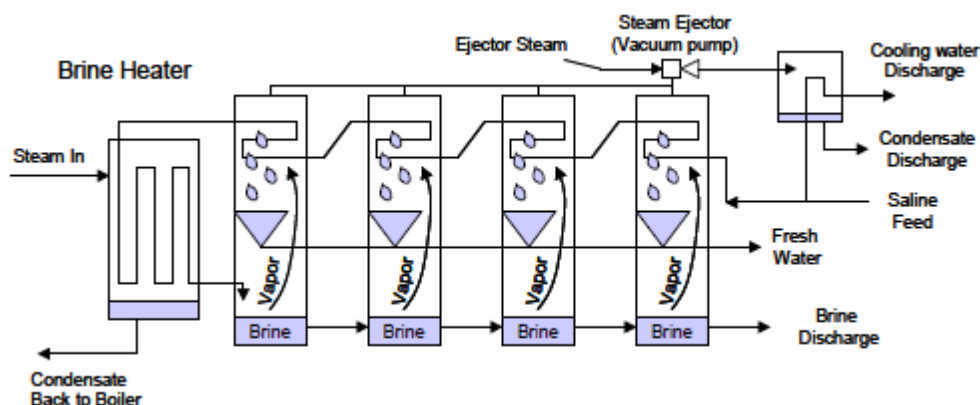
Αναλυτικότερες πληροφορίες και ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε διεργασίας αφαλάτωσης, παρατίθενται στη συνέχεια.

3.3.1 Θερμικές διεργασίες

Οι θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης αποτελούν το 76% του συνόλου των μεθόδων αφαλάτωσης σε εγκαταστάσεις με παροχές μεγαλύτερες από 4000 m³ / ημέρα και το 59,4% σε εγκαταστάσεις με παροχές μεταξύ 100 και 4000 m³ / ημέρα. Συνολικά περισσότερο από το 60 % του αφαλατωμένου νερού παράγεται με διεργασίες που βασίζονται στη θέρμανση του αλμυρού νερού (Κορωνάιος, 2006). Το προς αφαλάτωση νερό, κατά τις διεργασίες αυτές μετατρέπεται από την υγρή φάση στην αέρια (εξάτμιση) και στην συνέχεια από την αέρια φάση επιστρέφει στην υγρή φάση (συμπύκνωση). Οι απαιτήσεις ενέργειας αυτών των συστημάτων εκφράζονται ως ο λόγος των μονάδων αποσταγμένου νερού ανά μονάδα ατμού ή ανά 2326 KJ (1000Btu) θερμικής ενέργειας, που αντιστοιχεί με την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης στους 73°C. Το πηλίκο αυτό είναι επίσης γνωστό ως λόγος απόδοσης και είναι μέτρο της απόδοσης μιας τέτοιας μονάδας αφαλάτωσης. Η ενέργεια για την εξάτμιση του νερού μπορεί να προέρχεται από συμβατικά καύσιμα ή ανανεώσιμες πηγές, ενώ η θερμική ενέργεια που αποβάλλεται κατά τη συμπύκνωση (λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προθέρμανση του νερού τροφοδοσίας, ώστε να αυξάνεται η απόδοση της διάταξης. Οι θερμικές διεργασίες συνήθως λαμβάνουν χώρα σε διαδοχικές βαθμίδες που η κάθε μία βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από την προηγούμενη, εκμεταλλευόμενες έτσι την ιδιότητα του νερού να βράζει σε χαμηλότερη θερμοκρασία όταν μειώνεται η πίεση που του ασκείται (Πέππα, 2007).

3.3.1.1 Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (Multi-Stage Flashing - MSF)

Στην Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF), το αλμυρό και προς αφαλάτωση νερό θερμαίνεται, στο θερμαντή άλμης (brine heater), μέσω εναλλακτών θερμότητας, υπό μια ορισμένη πίεση, σε θερμοκρασία ελάχιστα χαμηλότερη από αυτή του σημείου βρασμού του. Στη συνέχεια εισάγεται σε ένα θάλαμο (βαθμίδα) ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από αυτή του διαλύματος. Έτσι προκαλείται ακαριαίος (εκρηκτικός) βρασμός του διαλύματος αυτού. Ο εκρηκτικός αυτός βρασμός προκαλεί το σχηματισμό ατμών και έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του διαλύματος. Αυτή η διαδικασία αποσυμπίεσης - ακαριαίου βρασμού - συμπίκνωσης των ατμών, συνεχίζεται στους επόμενους θαλάμους (βαθμίδες) όπου το φαινόμενο που περιγράφηκε επαναλαμβάνεται και η πίεση διαρκώς μειώνεται ακολουθώντας την αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας του υδατικού διαλύματος μέχρι που τελικά απορρίπτεται το υπόλειμμα (αλμόλοιπο) και συλλέγεται το καθαρό νερό (Δαγκαλίδης, 2009) (Assimacopoulos, 2001). Τυπικά, μια εγκατάσταση MSF μπορεί να περιέχει από 4 έως 40 βαθμίδες (Κορωνάιος, 2006). Σχηματικά η αρχή λειτουργίας της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων, απεικονίζεται στο Διάγραμμα 3-1, που ακολουθεί.



Διάγραμμα 3-1. Η αρχή λειτουργίας της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων (Miller, 2003)

Οι ατμοί, που παράγονται στις διάφορες βαθμίδες, οδηγούνται σε εναλλάκτη θερμότητας στον οποίο ψύχονται και υγροποιούνται, μεταδίδοντας μέρος της θερμότητάς τους στο αλμυρό νερό τροφοδοσίας ώστε να προθερμανθεί. Με τον τρόπο αυτό μεγάλο μέρος της ενέργειας ανακυκλώνεται αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης της διάταξης. Ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το πηλίκο της μάζας του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού προς τη μάζα του ατμού που χρησιμοποιήθηκε. Μια τυπική τιμή του βαθμού αυτού για τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι περίπου 8, ενώ μία μονάδα 20 βαθμίδων απαιτεί περίπου 290 kJ/kg προϊόντος (Ενεργειακό Γραφείο Του-Αιγαίου, 2011). Επίσης σε πολλές εγκαταστάσεις το υπόλειμμα της συνολικής διαδικασίας, ανακυκλώνεται προστιθέμενο στο νερό τροφοδοσίας, βελτιώνοντας ακόμα περισσότερο το βαθμό απόδοσης (Assimacopoulos, 2001). Ένας τρόπος για την αρχική θέρμανση του τροφοδοτούμενου νερού είναι με εκμετάλλευση της απορριπτόμενης ενέργειας από ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας (συμπαράγωγή) π.χ. θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Έτσι η απορριπτόμενη θερμότητα του εργοστασίου παρέχεται στη διάταξη αφαλάτωσης ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται και η ψύξη του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας χωρίς να αποβάλλονται στο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες θερμότητας με

πιθανές καταστροφικές επιπτώσεις. Κάτι τέτοιο βελτιώνει τα οικονομικά δεδομένα της εγκατάστασης αφαλάτωσης καθώς μειώνονται οι απαιτήσεις για ενέργεια ακόμα και κατά 50% (Σαμακίδης, 2009).

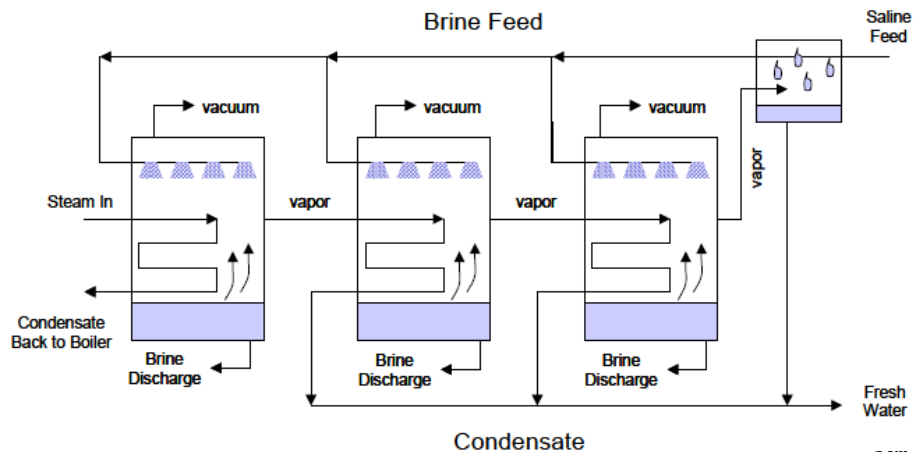
Οι εγκαταστάσεις MSF χρησιμοποιούνται από τη δεκαετία του '50. Μια τυπική μονάδα έχει δυναμικότητα από 4 έως 30 εκατ. περίπου λίτρων ανά ημέρα και λειτουργεί με θερμοκρασίες 90 – 120 °C (μετά το θερμαντή άλμης). Η λειτουργία της εγκατάστασης σε θερμοκρασίες υψηλότερες του ορίου των 120 °C ανεβάζει την απόδοση, όμως αυξάνει ταυτόχρονα και τη φθορά των εγκαταστάσεων λόγω σχηματισμού στρωμάτων επικάλυψης και διάβρωσης στις επιφάνειες της εγκατάστασης (Κορωναίος, 2006).



Εικόνα 3-7. Εγκατάσταση MSF στη Σαουδική Αραβία δυναμικότητας 138.000 m³ ανά ημέρα (Sasakura, 2007)

3.3.1.2 Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (Multiple Effect Distillation – MED ή Multiple Effect Boiling - MEB)

Κατά τη διαδικασία της Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED) το αλμυρό νερό τροφοδοσίας θερμαίνεται μέχρι το σημείο βρασμού του στον πρώτο θάλαμο (βαθμίδα) της διάταξης της μονάδας αφαλάτωσης. Η θέρμανση του νερού γίνεται με τον εξής τρόπο: Το νερό ψεκάζεται ή κατανέμεται με κάποιο τρόπο στην επιφάνεια των λεγόμενων σωλήνων εξάτμισης, σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα γύρω τους. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται γρήγορος βρασμός και εξάτμισή μέρος του νερού. Οι ατμοί που παράγονται χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του υπόλοιπου υδατικού διαλύματος κατά τη μετάβαση του στον επόμενο θάλαμο, μέσω σωλήνων, στους οποίους οι υδρατμοί ψύχονται και παράγεται έτσι αφαλατωμένο νερό. Οι σωλήνες εξάτμισης θερμαίνονται μέσω ατμού που προέρχεται από λέβητα ή άλλες πηγές θερμότητας (Assimacopoulos, 2001). Ουσιαστικά μόνο για την θέρμανση του νερού τροφοδοσίας στην πρώτη βαθμίδα απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας, καθώς ο ατμός που έχει προέλθει από τον βρασμό του διαλύματος σε μια βαθμίδα χρησιμοποιείται για την θέρμανση του στην επόμενη, δεδομένου ότι το σημείο βρασμού του νερού μειώνεται όσο μειώνεται και η πίεση. Ο τρόπος λειτουργίας των μονάδων αυτών αναπαρίσταται στο Διάγραμμα 3-2.



Διάγραμμα 3-2. Ο τρόπος λειτουργίας της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (Miller, 2003)

Η Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED), όπως και η Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF), χρησιμοποιεί μια σειρά βαθμίδων και βασίζεται στην αρχή της μείωσης της πίεσης, ώστε το τροφοδοτούμενο νερό να υπόκειται σε πολλαπλό βρασμό χωρίς την παροχή πρόσθετης θερμότητας μετά την πρώτη βαθμίδα. Έτσι λοιπόν σε κάθε θάλαμο η πίεση είναι χαμηλότερη από τον προηγούμενο, επιτρέποντας εκ νέου εξάτμιση του διαλύματος, παρόλο που αυτό βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται επαναλαμβανόμενα σε όλες τις βαθμίδες της διάταξης. Σε σύγκριση με την MSF, η MED βασίζεται στην ομαλή εξάτμιση και όχι στον ακαριαίο βρασμό, του νερού τροφοδοσίας (Δαγκαλίδης, 2009).

Τυπικά οι μονάδες MED είναι δυναμικότητας 2 έως 10 εκατ. περίπου λίτρων ανά ημέρα και λειτουργούν με μέγιστη θερμοκρασία 70 °C (στην πρώτη βαθμίδα), πράγμα που λειτουργεί ανασταλτικά στη διάβρωση και επιτρέπει τη χρήση χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενης θερμότητας από άλλες θερμικές διεργασίες. Επίσης μια εγκατάσταση μεγάλης δυναμικότητας μπορεί να χρησιμοποιεί 8 ή 16 βαθμίδες.

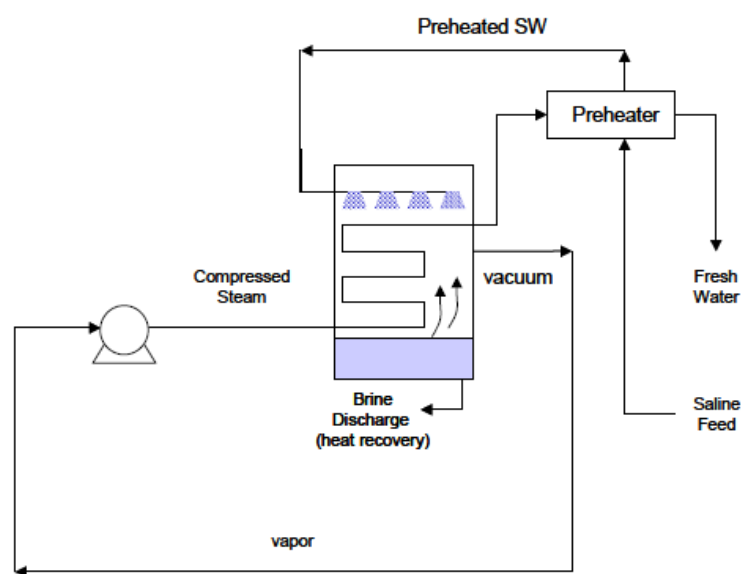
Ορισμένες από τις πρώτες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού χρησιμοποιούσαν τη διεργασία MED, όμως η διαδικασία αυτή αντικαταστάθηκε από την MSF, η οποία χαρακτηριζόταν από μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη απόδοση. Παρόλα αυτά, στην περασμένη δεκαετία, δημιουργήθηκε ξανά ενδιαφέρον για την MED, το οποίο έκτοτε είναι αυξανόμενο (Κορωνάιος, 2006).



Εικόνα 3-8. Εγκατάσταση Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (IDS WATER, 2006)

3.3.1.3 Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (Vapor Compression Distillation - VC)

Το διάλυμα άλατος, το οποίο τροφοδοτεί την διαδικασία της Απόσταξης με Συμπύεση (VC) Ατμών, θερμαίνεται από τον ψεκασμό του σε μια σειρά σωλήνων, τους οποίους διαπερνά ατμός και στη συνέχεια εξατμίζεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011). Η θερμότητα για την εξάτμιση του νερού προέρχεται από τη συμπύεση του ατμού, παρά από την άμεση ανταλλαγή θερμότητας από την παραγωγή ατμού σε ένα λέβητα (Κορωνάιος, 2006). Οι υδρατμοί που παράγονται από την εξάτμιση του νερού, συμπυκνώνονται και έτσι παράγεται το αφυαλατωμένο ύδωρ (Assimacopoulos, 2001). Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει με 2 τρόπους, είτε μέσω μηχανικού συμπιεστή (Μηχανική Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών - Mechanical Vapor Compression - MVC) (Διάγραμμα 3-3) είτε μέσω διάταξης εκτίναξης ατμού μέσω ακροφύσιου (Θερμική Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών - Thermal Vapor Compression - TVC). Γενικά τα συστήματα MVC διαθέτουν μόνο μια βαθμίδα, ενώ τα συστήματα TVC, διαθέτουν περισσότερες από μια βαθμίδες (Multiple Effect-Thermal Vapor Compression – ME-TVC). Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι τα συστήματα MVC διατηρούν την ίδια κατανάλωση ενέργειας (ενέργεια ανά μονάδα παραγόμενου νερού) ανεξαρτήτως του αριθμού των σταδίων που ακολουθεί, ενώ τα συστήματα TVC, αυξάνουν τη θερμική απόδοσή τους με την προσθήκη σταδίων επεξεργασίας (Βαθμίδων) (Miller, 2003).



Διάγραμμα 3-3. Αναπαράσταση της αρχής λειτουργίας της Μηχανικής Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών, μιας βαθμίδας (Miller, 2003)

Η Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών, όπως και οι προηγούμενες διεργασίες, βασίζεται στην αρχή της μείωσης του σημείου βρασμού μέσω μείωσης της πίεσης (Κορωνάιος, 2006). Η κύρια διαφορά με τις προηγούμενες μεθόδους είναι η απουσία πηγής θερμότητας, αφού η εξάτμιση σε αυτή την περίπτωση προκαλείται σχεδόν αποκλειστικά από την χαμηλή πίεση. Δηλαδή η διεργασία αυτή λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όπως και στην περίπτωση της MED, έτσι και εδώ η δημιουργία λεπτού φιλμ πάνω στους σωλήνες είναι το κλειδί για την αποτελεσματικότερη εξάτμιση και άρα απόδοση της εγκατάστασης. Η Εξάτμιση με Συμπύεση Ατμών χρησιμοποιείται γενικά σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις και παράγει μέχρι και 3000 m³ την ημέρα, αν πρόκειται για σύστημα

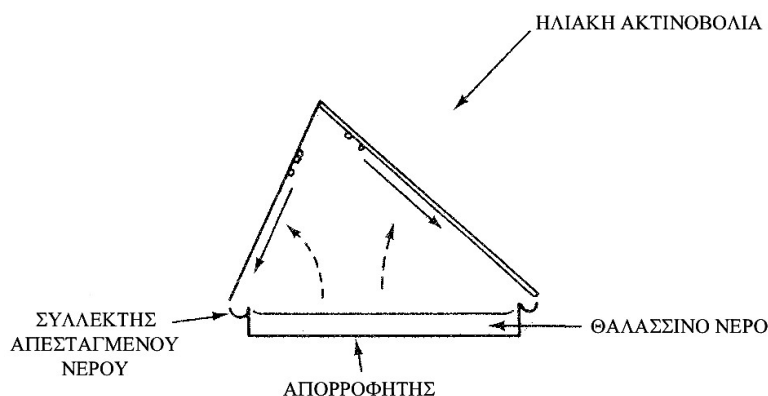
Μηχανική Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών – MVC, ενώ παράγει μέχρι 20,000 m³ ανά ημέρα εάν πρόκειται για Θερμική Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών - thermal vapor compression – TVC (Ενεργειακό Γραφείο Του-Αιγαίου, 2011).



Εικόνα 3-9. Φωτογραφία εγκατάστασης Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010)

3.3.1.4 Ηλιακή Απόσταξη (Solar Distillation - SD)

Η Ηλιακή απόσταξη είναι ο πιο απλός τρόπος αφαλάτωσης νερού, που για τη λειτουργία του χρησιμοποιεί ως ενεργειακό πόρο την ενέργεια που μεταφέρει η ηλιακή ακτινοβολία, με χρήση συσκευών που ονομάζονται ηλιακοί αποστακτήρες (Διάγραμμα 3-4). Στους ηλιακούς αποστακτήρες μια ποσότητα νερού εξατμίζεται άμεσα από την ηλιακή ενέργεια, ακολούθως οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε αφαλατωμένο νερό. Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές αυτές βασίζονται στην εκμετάλλευση της ιδιότητας του γυαλιού να επιτρέπει την διέλευση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος αλλά όχι και της υπεριώδους ακτινοβολίας. Έτσι λοιπόν οι ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τη γυάλινη επιφάνεια της συσκευής και παγιδεύεται σε αυτή με αποτέλεσμα να ατμοποιεί το προς αφαλάτωση αλατούχο διάλυμα. Οι υδρατμοί στη συνέχεια συμπυκνώνονται σε κατάλληλη επιφάνεια και παράγεται το αφαλατωμένο ύδωρ, το οποίο και συλλέγεται στον πυθμένα της συσκευής (Assimacopoulos, 2001). Η επιφάνεια αυτή είναι επικαλυμμένη με ανακλαστικό υλικό και επομένως παραμένει ψυχρή επιφάνεια ώστε να προκαλεί τη συμπύκνωση του ατμού.



Διάγραμμα 3-4. Ηλιακός αποστακτήρας, στον οποίο διακρίνεται ο απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας, η είσοδος του θαλασσινού νερού και ο συλλέκτης του αφαλατωμένου νερού (Κοροναίος, 2006)

Οι συσκευές αυτές είναι πολύ απλές στη λειτουργία τους, όμως παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα, τα οποία περιορίζουν την εφαρμογή της τεχνικής της Ηλιακής Αφαλάτωσης για παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Τέτοια μειονεκτήματα είναι οι απαιτήσεις για μεγάλη επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ενέργειας, το υψηλό κόστος κατασκευής και η μεγάλη εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες. Γενικά για την παραγωγή 4 lt καθαρού νερού ανά ημέρα, χρειάζεται περίπου 1 m² επιφάνεια συλλογής ηλιακής ενέργειας. Επίσης οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι ακριβοί στην κατασκευή τους, και παρόλο που η θερμική ενέργεια είναι άφθονη, απαιτείται ενέργεια για την άντληση του νερού από και προς την εγκατάσταση (Κορωναίος, 2006).



Εικόνα 3-10. Ηλιακοί αποστακτήρες, για οικιακή χρήση (TERRA.ORG, 2005)

3.3.2 Διεργασίες Μεμβρανών

Οι Διεργασίες Μεμβρανών υπερτερούν των Θερμικών, κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Για την αφαλάτωση μέσω των διεργασιών αυτών χρησιμοποιούνται ειδικές μεμβράνες οι οποίες επιτρέπουν την διέλευση των μορίων του νερού αλλά όχι των αλάτων. Επίσης απαιτείται η κατανάλωση ηλεκτρισμού είτε για τη συμπίεση του προς αφαλάτωση νερού (70-80 ατμόσφαιρες) (Αντίστροφη Όσμωση) είτε για τον ιονισμό των αλάτων που βρίσκονται διαλυμένα σε αυτό (Ηλεκτροδιάλυση). Έτσι λοιπόν, μια τυπική τιμή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, σε μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης, είναι περίπου 7kWh για την παραγωγή 5000 lt νερού, ενώ η διάρκεια ζωής των μεμβρανών είναι περίπου 1 ½ -2 χρόνια (Πέππα, 2007).

3.3.2.1 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis - RO)

Αρχή λειτουργίας της Αντίστροφης Όσμωσης

Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης είναι σχετικά νέα, με εμπορική επιτυχία από τις αρχές τις δεκαετίας του '70 (Κορωναίος, 2006). Η μέθοδος αυτή αποτελεί ίσως τον πλέον διαδεδομένο τρόπο αφαλάτωσης αλατούχου νερού, καθώς μπορεί να παράγει υψηλής ποιότητας νερό ύδρευσης. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου στηρίζεται στην αντιστροφή του φυσικού φαινομένου της όσμωσης.

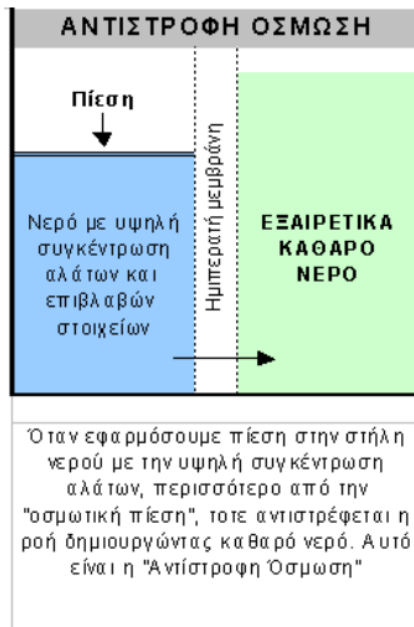
Για να γίνει ευκολότερα κατανοητή η όσμωση θα ξεκινήσουμε αναφέροντας πως όταν δυο υγρά διαλύματα (π.χ. αλατούχα διαλύματα) με διαφορετική πυκνότητα έρθουν σε επαφή, τότε το υγρό με την μικρότερη πυκνότητα, μετατοπίζεται προς το υγρό με την υψηλότερη πυκνότητα, μέχρι το μίγμα να ισορροπήσει, δηλαδή να αποκτήσει την ίδια πυκνότητα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διάχυση. Εάν όμως μεταξύ των δυο υγρών διαλυμάτων παρεμβληθεί μια ημιπερατή μεμβράνη, τότε εμποδίζεται η διέλευση των αλάτων, αλλά επιτρέπεται η διέλευση του νερού, το οποίο είναι ο διαλύτης.

Δηλαδή το νερό διέρχεται ελεύθερα από τη μεμβράνη προς τα αλατούχα διαλύματα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια ροή μορίων νερού από το αραιότερο προς το πυκνότερο διάλυμα, έως ότου επιτευχθεί μια κατάσταση ισορροπίας, στην οποία η υψηλότερη στάθμη διακρίνει το διάλυμα που αρχικά είχε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Όσμωση (Διάγραμμα 3-5). Η διαφορά της στάθμης των διαλυμάτων αντιστοιχεί στην οσμωτική πίεση. Οσμωτική πίεση, ονομάζεται η ελάχιστη πίεση που πρέπει να ασκηθεί εξωτερικά στο διάλυμα, ώστε να εμποδιστεί το φαινόμενο της όσμωσης, χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος του διαλύματος (Δαγκαλίδης, 2009).



Διάγραμμα 3-5. Η διαδικασία της όσμωσης (Chemist.gr, 2008)

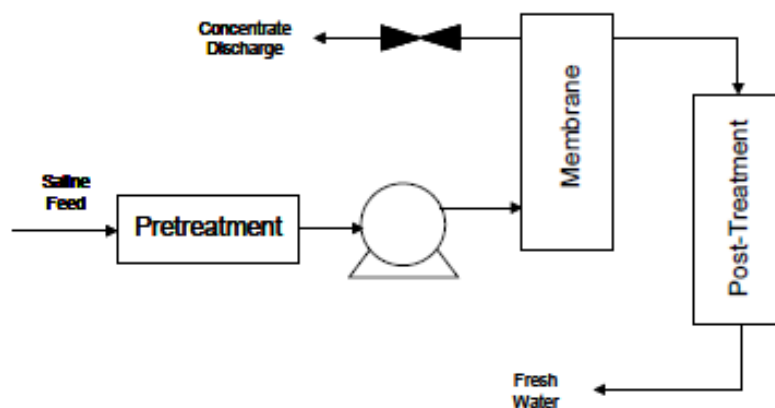
Στην περίπτωση που ασκηθεί πίεση στο αλατούχο διάλυμα, υψηλότερη της οσμωτικής, τότε η ροή αντιστρέφεται και έχουμε έξοδο καθαρού νερού από το αλατούχο διάλυμα με την υψηλότερη συγκέντρωση προς το αλατούχο διάλυμα με τη χαμηλότερη. Αυτό ονομάζεται Αντίστροφη Όσμωση (Διάγραμμα 3-6).



Διάγραμμα 3-6. Η διαδικασία της Αντίστροφης Όσμωσης (Chemist.gr, 2008)

Κατά τη μέθοδο της Αντίστροφης Όσμωσης το προς αφαλάτωση υδατικό διάλυμα, εξαναγκάζεται με την άσκηση πίεσης να διέλθει μέσα από μια ημιπερατή μεμβράνη. Για να γίνει εφικτή η κίνηση του διαλύματος διαμέσου της μεμβράνης, η πίεση αυτή πρέπει να ξεπερνά σε μέγεθος την οσμωτική πίεση του υδατικού διαλύματος (Δαγκαλίδης, 2009). Τυπικές τιμές αυτής της πίεσης είναι 17 έως 27 bar (250 έως 400 psi) για υφάλμυρο νερό και μεταξύ 54 και 80 bar (800 και 1.180 psi) για θαλασσινό νερό (Κορωναίος, 2006).

Με τη διέλευση του διαλύματος από τη μεμβράνη κατακρατείται το μεγαλύτερο ποσοστό των διαλυμένων στερεών. Οι μεμβράνες λειτουργούν ως φράγμα όχι μόνο για ανόργανες ουσίες, αλλά και για οργανικές ουσίες με MB μεγαλύτερο του 100. Το υπόλειμμα της διαδικασίας αυτής (αλμόλοιπο) εξέρχεται από τη διάταξη σε υψηλή πίεση και μπορεί να ανακτηθεί ένα μεγάλο ποσοστό αυτής, μέσω κάποιου εναλλάκτη πίεσης (Assimacopoulos, 2001). Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 3-7), παρατηρούμε τη διαγραμματική απεικόνιση μιας διάταξης Αντίστροφης Όσμωσης, χωρίς σύστημα ανάκτησης της πίεσης του αλμόλοιπου.



Διάγραμμα 3-7. Διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης, χωρίς σύστημα ανάκτησης της πίεσης του αλμόλοιπου (Miller, 2003)

Απαραίτητες για τη λειτουργία μιας εγκατάστασης Αντίστροφης Όσμωσης είναι η προ-επεξεργασία και η μετα-επεξεργασία του νερού. Η προ-επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας είναι σημαντική καθώς στη διάρκεια της αφαιρούνται και κατακρατούνται τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια του νερού και έτσι αποφεύγεται η καθίζηση αλάτων αλλά και η υπολειτουργία ή ακόμα και η καταστροφή των μεμβρανών, οι οποίες είναι εύθραυστες. Τέλος η μετά-επεξεργασία συνίσταται στη σταθεροποίηση του αφαλατωμένου νερού ώστε να είναι πόσιμο. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να περιλαμβάνει και την αφαίρεση αερίων, όπως τα σουλφίδια του υδρογόνου και τη ρύθμιση του pH (Κορωναίος, 2006).



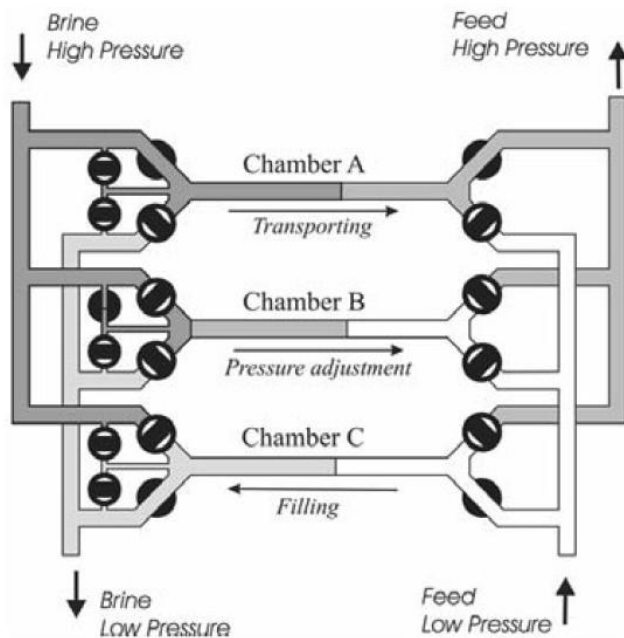
Εικόνα 3-11. Εγκατάσταση αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση (TEMAK, 2009)

Συστήματα ανάκτησης ενέργειας

Τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας (energy recovery systems - ER) χρησιμοποιούνται συχνά με την Αντίστροφη Όσμωση, με σκοπό την αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας του ρεύματος της απορριπτόμενης άλμης, ώστε να καλύπτεται ένα μέρος της απαιτούμενης ενέργειας της αντλίας. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις της αντλίας, για την αύξηση της πίεσης του τροφοδοτούμενου νερού, μειώνοντας τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας αφαλάτωσης. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007):

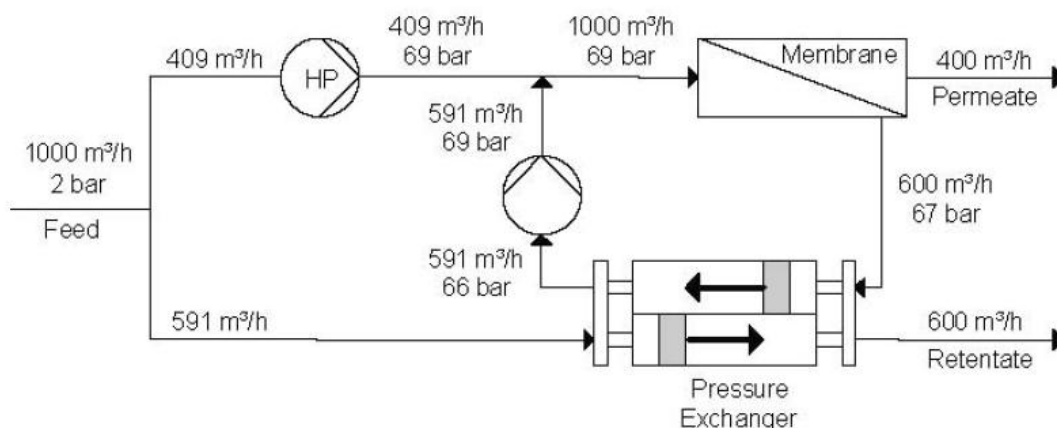
- ✓ Εναλλάκτες πίεσης (Pressure exchangers ή Work exchangers): τα συστήματα αυτά μεταφέρουν άμεσα την πίεση της άλμης σε ένα μέρος του τροφοδοτούμενου ρεύματος νερού.
- ✓ Στρόβιλοι (Turbine systems): τα συστήματα αυτά μετατρέπουν την ενέργεια της άλμης σε μηχανική ενέργεια, την οποία στη συνέχεια διοχετεύουν, είτε στην αντλία αντίστροφης όσμωσης σαν συμπλήρωμα ενέργειας, είτε απευθείας στο ρεύμα του νερού τροφοδοσίας.

Οι εναλλάκτες πίεσης λειτουργούν όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3-8, μεταφέροντας την πίεση της άλμης στο νερό τροφοδοσίας με ένα βαθμό απόδοσης 96-98 %.



Διάγραμμα 3-8. Η αρχή λειτουργίας ενός εναλλάκτη πίεσης (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)

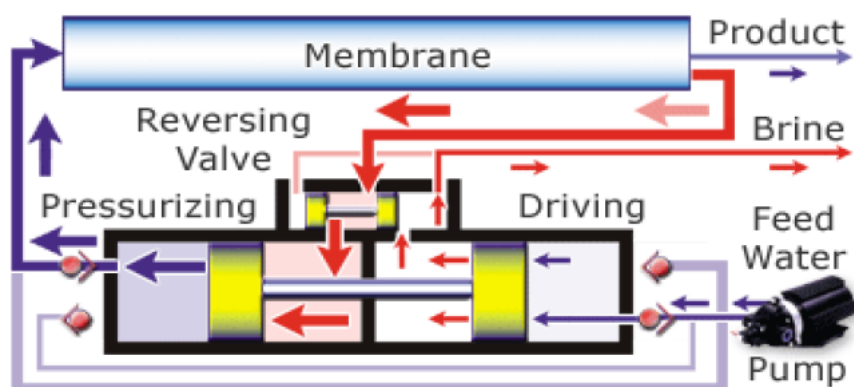
Πιο συγκεκριμένα, το νερό τροφοδοσίας οδηγείται σε έναν αγωγό, ο οποίος κλείνει μέσω βάνας. Μια άλλη βάνα ανοίγει, ώστε το ρεύμα της άλμης, του οποίου η πίεση είναι υψηλή, να εισέλθει στον αγωγό, αυξάνοντας έτσι την πίεση του τροφοδοτούμενου υγρού. Στη συνέχεια το ρεύμα τροφοδοσίας αυτό με την αυξημένη πίεση αναμειγνύεται με το ρεύμα τροφοδοσίας από την αντλία του συστήματος και μαζί συνεχίζουν προς τις μεμβράνες της Αντίστροφης Όσμωσης. Ένας εναλλάκτης πίεσης αποτελείται συνήθως από ένα μεγάλο αριθμό βανών, οι οποίες λειτουργούν παράλληλα. Η γραφική αναπαράσταση ενός συστήματος Αντίστροφης Όσμωσης με εναλλάκτη πίεσης φαίνεται στο Διάγραμμα 3-9. Με τη χρήση εναλλακτών πίεσης, μόνο ένα μικρό μέρος του ρεύματος τροφοδοσίας χρειάζεται συμπίεση μέσω της αντλίας του συστήματος, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια.



Διάγραμμα 3-9. Ενδεικτική απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης RO με εναλλάκτη πίεσης (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)

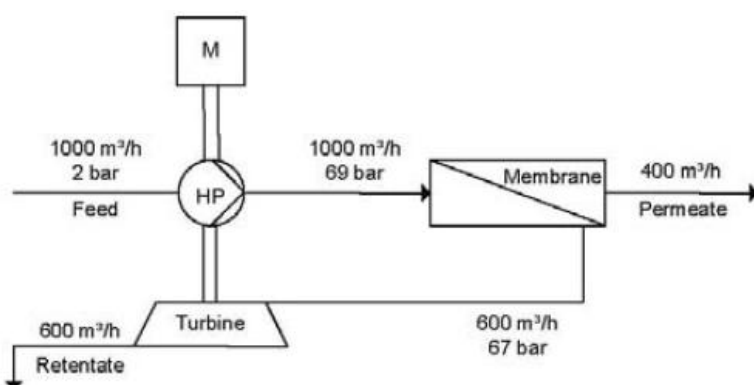
Ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος εναλλάκτης πίεσης είναι ο “Clark pump” της εταιρείας “Spectra Watermakers” (στο Διάγραμμα 3-10), ο οποίος βρίσκει εφαρμογή τα τελευταία χρόνια σε ένα μεγάλο μέρος των συστημάτων αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση, συμβάλλοντας σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ο εναλλάκτης αυτός χρησιμοποιεί δύο αντίθετα

τοποθετημένους κυλίνδρους και έμβολα που ενώνονται με μία ράβδο. Η πίεση του νερού τροφοδοσίας ασκείται στον ένα κύλινδρο εξαναγκάζοντας τον άλλον να κινήσει το νερό προς την μεμβράνη. Όταν το έμβολο ενός κυλίνδρου ακουμπά στη βάση, η διαδικασία αντιστρέφεται (Spectra Watermakers, 2012).



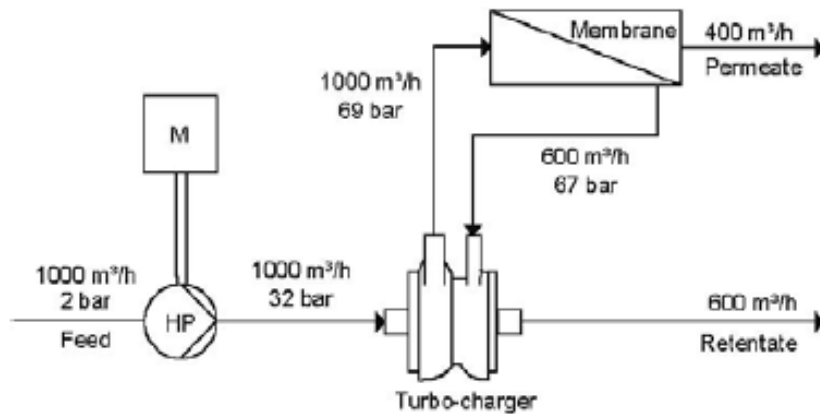
Διάγραμμα 3-10. Ο εναλλάκτης πίεσης “Clark Pump” της εταιρείας “Spectra Watermakers” (Spectra Watermakers, 2012)

Τα συστήματα στροβίλων αποτελούνται από τα στρόβιλο “Pelton” και το σύστημα αντλίας-στροβίλου (turbocharger). Ο στρόβιλος Pelton φαίνεται στο Διάγραμμα 3-11. Το απορριπτόμενο ρεύμα άλμης υψηλής πίεσης εισέρχεται στο στρόβιλο μέσω ενός ακροφυσίου και η πίεση του ρεύματος μεταφέρεται στον ρότορα του στροβίλου, που με τη σειρά του μεταφέρει ισχύ στην αντλία υψηλής πίεσης μέσω της κοινής τους ατράκτου. Η άλμη απορρίπτεται σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.



Διάγραμμα 3-11. Ενδεικτική απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης RO με σύστημα στροβίλου Pelton (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)

Όσον αφορά τα συστήματα αντλίας-στροβίλου (turbocharger), αυτά αποτελούνται από μια αντλία και ένα στρόβιλο συνδεδεμένα σε ένα κιβώτιο. Τόσο η αντλία όσο και ο στρόβιλος περιέχουν μία απλή βαθμίδα ρότορα. Η υδραυλική ενέργεια του ρεύματος της άλμης μετατρέπεται σε μηχανική από τον ρότορα του στροβίλου και εν συνεχεία, η αντλία μετατρέπει την ενέργεια αυτή σε πίεση με την οποία τροφοδοτεί το ρεύμα του θαλασσινού νερού. Η διεργασία παρουσιάζεται ενδεικτικά στο Διάγραμμα 3-12, όπου παρατηρείται ότι η αντλία υψηλής πίεσης αυξάνει την πίεση της τροφοδοσίας σε μια τιμή (32 bar), ενώ στη συνέχεια η πίεση αυξάνεται περαιτέρω από το σύστημα του στροβίλου (69 bar).



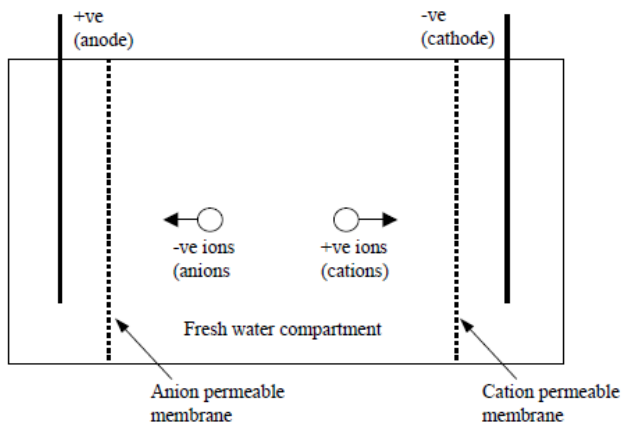
Διάγραμμα 3-12. Ενδεικτική απεικόνιση συστήματος αφαλάτωσης RO με σύστημα αντλίας-στροβίλου (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)

Συμπερασματικά, τα συστήματα αντλίας-στροβίλου (οι “turbochargers”) αποτελούν την επικρατούσα τεχνολογία στο χώρο των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας, παρόλο που οι εναλλάκτες πίεσης έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σχετικά με την απόδοση της μονάδας. Οι εναλλάκτες πίεσης διατηρούν τον βαθμό απόδοσης τους ανεξάρτητα από αλλαγές που μπορούν να συμβούν λόγω των χρόνων λειτουργίας ή συντήρησης της μονάδας, σε αντίθεση με τους στροβίλους που σε αντίστοιχη περίπτωση λειτουργούν με μειωμένη απόδοση (εκτός του κανονικού σημείου λειτουργίας). Παρόλα αυτά, οι εναλλάκτες πίεσης απαιτούν πρόσθετο εξοπλισμό, όπως κυκλοφορητές, αυξάνοντας έτσι τα κόστη εξοπλισμού και συντήρησης. Επίσης, ο τρόπος λειτουργίας τους αυξάνει την αλατότητα του ρεύματος με αποτέλεσμα μεγαλύτερη οσμωτική πίεση. Εν κατακλείδι, τονίζεται πώς γενικότερα με εφαρμογή συστημάτων ανάκτησης ενέργειας, μειώνεται η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007).

3.3.2.2 Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis - ED)

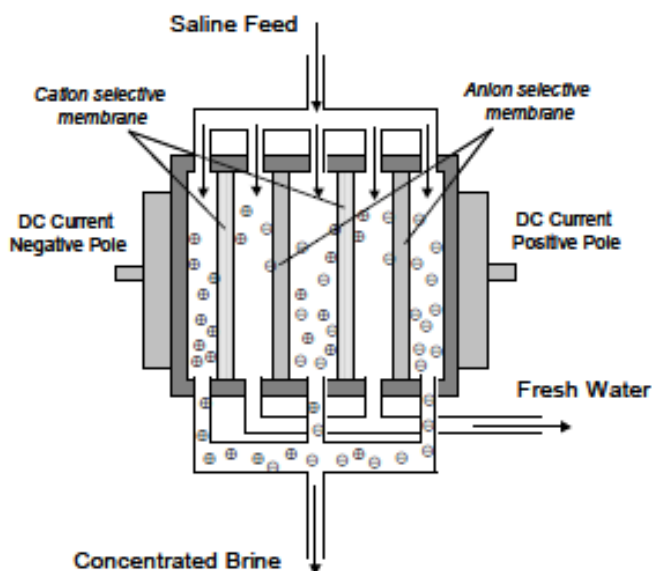
Η μέθοδος της Ηλεκτροδιάλυσης όπως δηλώνει άλλωστε και το όνομά της χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό για να καθαρίσει το νερό από τα ανεπιθύμητα άλατα και είναι μια μέθοδος η οποία εισήλθε στο εμπόριο στις αρχές της δεκαετίας του 1960, περίπου δέκα χρόνια πριν την αντίστροφη όσμωση. Η ανάπτυξη της Ηλεκτροδιάλυσης παρείχε έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο για την αφαλάτωση κυρίως υφάλμυρου νερού (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011).

Το νερό με το οποίο τροφοδοτείται η διαδικασία διαπερνάει από ηλεκτρικό ρεύμα, μέσω ηλεκτροδίων συνδεδεμένων σε μια πηγή συνεχούς ρεύματος, με αποτέλεσμα τα μεν κατιόντα (+) (π.χ. νάτριο, ασβέστιο) που περιέχει να κινούνται προς το ηλεκτρόδιο με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο, τα δε ανιόντα (-) (π.χ. άλατα ανθρακικού οξέως) έλκονται από το ηλεκτρόδιο με το θετικό ηλεκτρικό φορτίο. Ανάμεσα στο ζεύγος των ηλεκτροδίων τοποθετούνται εναλλάξ 2 μεμβράνες, από τις οποίες η μια επιτρέπει τη διόδο των ανιόντων και η άλλη των κατιόντων. Με αυτό τον τρόπο τα ανιόντα περνούν μέσα από τη μεμβράνη ανιόντων, όμως εμποδίζεται η διέλευση τους από την μεμβράνη κατιόντων. Ανάλογο είναι αυτό που συμβαίνει και στα κατιόντα. Δηλαδή, εκτός των μεμβρανών δημιουργείται πυκνό αλατούχο διάλυμα (αλμόλοιπο) και μεταξύ αυτών δημιουργείτε αραιό διάλυμα, το οποίο αποτελεί το ζητούμενο αφαλατωμένο νερό. Η διαδικασία αυτή φαίνεται σχηματικά στο Διάγραμμα 3-13.



Διάγραμμα 3-13. Η αρχή λειτουργίας της Ηλεκτροδιάλυσης (Kalogirou, 2005)

Στις διατάξεις αφαλάτωσης με Ηλεκτροδιάλυση οι μεμβράνες τοποθετούνται εναλλάξ, με μια επιλεκτική μεμβράνη ανιόντων να ακολουθείται από μια επιλεκτική μεμβράνη κατιόντων (Διάγραμμα 3-14). Ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι μεμβρανών τοποθετείται ένα διαχωριστικό φύλλο για τη διευκόλυνση της ροής του νερού κατά μήκος των μεμβρανών. Από αυτή την εναλλαγή μεμβρανών δημιουργούνται πυκνά και αραιά διαλύματα εναλλάξ.



Διάγραμμα 3-14. Διάταξη αφαλάτωσης με Ηλεκτροδιάλυση (Miller, 2003)

Σημαντικό για την σωστή λειτουργία αυτών των διατάξεων αφαλάτωσης είναι η προ-επεξεργασία του αλατούχου νερού, ώστε να μην προκαλείται βλάβη ή φραγή των μεμβρανών. Επίσης το παραγόμενο ύδωρ χρειάζεται μετά-επεξεργασία για τη ρύθμιση της σκληρότητας και του pH ή την αφαίρεση αερίων, όπως τα σουλφίδια υδρογόνου, όπως ακριβώς στην Αντίστροφη Όσμωση (Κορωναίος, 2006).

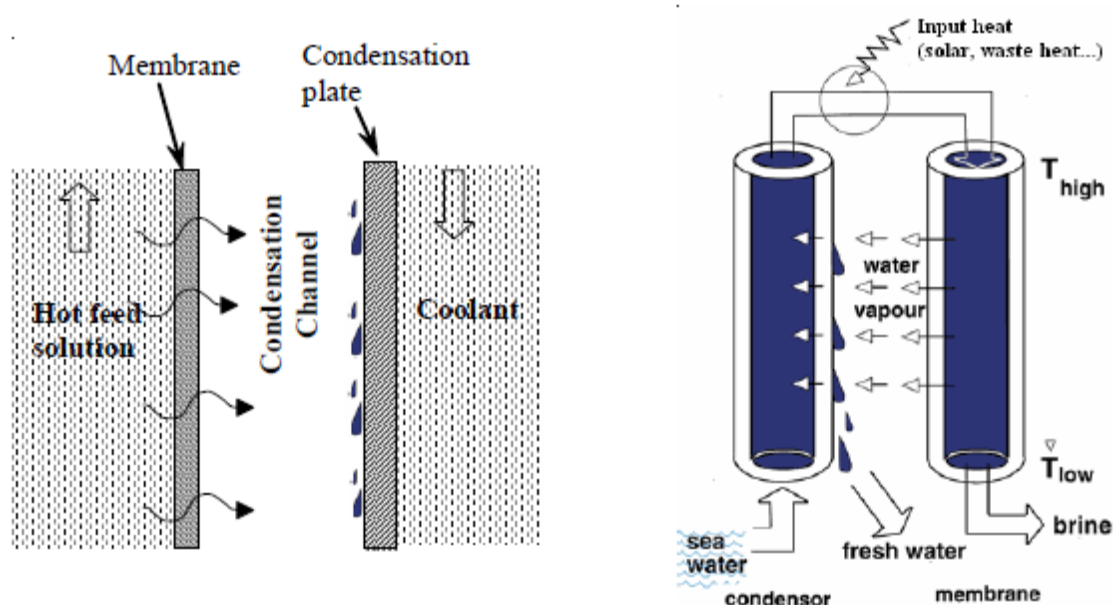
3.3.3 Λοιπές Διεργασίες

Όπως ήδη αναφέρθηκε υπάρχουν και κάποιες **μεμονωμένες** διεργασίες αφαλάτωσης, οι οποίες μπορούν να προέρχονται από το συνδυασμό των Θερμικών διεργασιών και των διεργασιών

Μεμβρανών. Η Απόσταξη Μεμβράνης (Membrane Distillation – MD), είναι μια τέτοια διεργασία για την οποία παρατίθενται κάποιες αναλυτικότερες πληροφορίες.

3.3.3.1 Απόσταξη Μεμβράνης (Membrane Distillation – MD)

Η μέθοδος αφαλάτωσης με τη διεργασία της Απόσταξης Μεμβράνης συνδυάζει τόσο την απόσταξη, δηλαδή τις ιδιότητες των θερμικών διεργασιών, όσο και τις ιδιότητες των μεμβρανών. Μια διάταξη αφαλάτωσης βάσει της Απόσταξης Μεμβράνης περιλαμβάνει τη θέρμανση του προς αφαλάτωση ύδατος και την παραγωγή ατμού, ο οποίος αναδύμενος διέρχεται ελεύθερα από μια ημιπερατή μεμβράνη, που δεν επιτρέπει τη διέλευση του νερού. Στη συνέχεια ο ατμός αυτός ψύχεται και υγροποιείται σε κατάλληλη επιφάνεια, παράγοντας έτσι πόσιμο νερό (Διάγραμμα 3-15). Το νερό δεν μπορεί να διαπεράσει την μεμβράνη και με αυτό τον τρόπο παγιδεύεται και συλλέγεται.



Διάγραμμα 3-15. Η αρχή λειτουργίας της Απόσταξης Μεμβράνης (αριστερά) και σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού συστήματος αφαλάτωσης με Απόσταξη Μεμβράνης (δεξιά) (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007)

Η Απόσταξη Μεμβράνης χρησιμοποιήθηκε, σε μικρή κλίμακα, στη δεκαετία του 1980. Παρόλα αυτά, πρόκειται για μέθοδο η οποία δεν βρήκε ποτέ εφαρμογή ευρείας κλίμακας, αν και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αναγέννηση του ενδιαφέροντος για αυτή, λόγω των δυνατοτήτων που παρέχει για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Άλλα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η απλότητα της λειτουργίας της, η ανάγκη για μικρές θερμοκρασιακές διαφορές, το χαμηλό κόστος λειτουργία και συντήρησης, η μικρή καταπόνηση των μεμβρανών και το γεγονός ότι λειτουργεί με ατμοσφαιρική πίεση. Όμως η Απόσταξη με Μεμβράνες έχει και σημαντικά μειονεκτήματα όπως ο χαμηλός ρυθμός παραγωγής αποσταγμένου νερού, η μεγάλη απαίτηση χώρου, ο μεγάλος λόγος ενέργειας άντλησης ανά μονάδα παραγωγής και η αβεβαιότητα του κόστους του παραγόμενου νερού (Κορωναίος, 2006) (Μωχάμεντ, Διδακτορική Διατριβή με τίτλο "Διερεύνηση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση", 2009).

3.4 Σύγκριση των διεργασιών αφαλάτωσης

Η επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι από αυτούς σχετίζονται με:

- ✓ την περιοχή που πρόκειται να εγκατασταθεί η μονάδα αφαλάτωσης (διαθέσιμος χώρος),
- ✓ την προέλευση του προς αφαλάτωση ύδατος (σύνθεση και περιεκτικότητα σε άλας, π.χ. νερό με μολυσματικό φορτίο ή βαρέα μέταλλα, θαλασσινό νερό ή υφάλμυρο νερό),
- ✓ την επιθυμητή ποιότητα του παραγόμενου νερού (χρήση του νερού, π.χ. άρδευση ή ύδρευση),
- ✓ την ποσότητα του νερού που χρειάζεται να παραχθεί για την κάλυψη των τοπικών αναγκών (δυναμικότητα της μονάδας),
- ✓ την ενεργειακή κατανάλωση που αντιστοιχεί στο σύστημα αφαλάτωσης (καταναλισκόμενη ενέργεια ανά μονάδα παραγόμενου ύδατος, π.χ. kWh/m³),
- ✓ τη διαθέσιμη ενέργεια στην περιοχή της εγκατάστασης (συμβατικές ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας),
- ✓ τις παραμέτρους κόστους που σχετίζονται με την εγκατάσταση αφαλάτωσης, και τέλος (κόστος ανά μονάδα παραγόμενου ύδατος, π.χ. \$/m³),
- ✓ τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την κάθε τεχνολογία αφαλάτωσης.

Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι σημαντικότεροι από τους παραπάνω παράγοντες, ώστε να γίνει σαφές σε ποιά σημεία θα πρέπει να επικεντρωθεί μια μελέτη για τη σύγκριση των διεργασιών αφαλάτωσης.

3.4.1 Η περιοχή της εγκατάστασης και ο διατιθέμενος χώρος

Η διατιθέμενη περιοχή για την εγκατάσταση μιας μονάδας αφαλάτωσης, μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή διεργασίας αφαλάτωσης, για την κάλυψη δεδομένων υδατικών αναγκών μιας περιοχής. Ειδικά σε περιπτώσεις νησιών όπως τα νησιά του Αιγαίου ο διατιθέμενος χώρος είναι περιορισμένος, λόγω του μικρού μεγέθους τους και του έντονου ανάγλυφου της επιφάνειάς τους.

Κάθε διεργασία αφαλάτωσης για την ίδια δυναμικότητα παραγωγής νερού, έχει διαφορετικές απαιτήσεις χώρου για εγκαταστάσεις. Στον Πίνακα 3-6, που ακολουθεί, δίνονται οι απαιτούμενοι χώροι (χώροι επεξεργασίας νερού, βοηθητικοί χώροι και συνολικοί χώροι), για δυναμικότητα παραγωγής 19.000 m³/ημέρα, για τις διεργασίες της Αντίστροφης Όσμωσης (Μεμβράνης), της Ηλεκτροδιάλυσης (Μεμβράνης), της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων (Θερμική) και της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (Θερμική). Όπως φαίνεται και από τον πίνακα αυτό οι απαιτήσεις έκτασης των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν Θερμικές διεργασίες είναι μεγαλύτερες από τις απαιτήσεις χώρων των διεργασιών με Μεμβράνες, (οι εγκαταστάσεις Αντίστροφης Όσμωσης και Ηλεκτροδιάλυσης απαιτούν συνολικές περιοχές 9.600 m³ και 8.300 m³, αντίστοιχα, ενώ οι εγκαταστάσεις Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων και Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης απαιτούν συνολικές περιοχές 12.600 m³ και 13.800 m³, αντίστοιχα, για την αφαλάτωση 19.000 m³ θαλασσινού νερού ανά ημέρα).

Πίνακας 3-6. Οι απαιτήσεις χώρου για εγκαταστάσεις αφαλάτωσης δυναμικότητας 19.000 m³/ημέρα (Tzén E., Selection of Desalination Technologies, 2009)

Διαδικασία Αφαλάτωσης	Κτίριο στέγασης της διαδικασίας αφαλάτωσης (βασικό κτίριο) (m ²)	Βοηθητικός εξοπλισμός (βοηθητικό κτίριο) ¹ (m ²)	Συνολικά απαιτούμενη έκταση (m ²)
Αντίστροφη Όσμωση (RO)			
Θαλασσινό νερό (SW)	1.800	7.800	9.600
Υφάλμυρο νερό (BW)	1.200	6.800	8.000
Ηλεκτροδιάλυση (ED)	1.500	6.800	8.300
Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	4.800	7.800	12.600
Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED)	6.000	7.800	13.800

¹ Περιέχεται ο χώρος αποθήκευσης του παραγόμενου νερού μιας ημέρας, ο χώρος των αντλιών διανομής και ο χώρος του ηλεκτρικού υποσταθμού

3.4.2 Το νερό τροφοδοσίας

Το νερό τροφοδοσίας παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή της διαδικασίας. Η εμπειρία έχει δείξει ότι για θαλασσινό νερό συμφέρει να επιλέξουμε κάποια Θερμική διεργασία ή την Αντίστροφη Όσμωση, ενώ για υφάλμυρο νερό είναι πιο κατάλληλες οι διεργασίες Μемβρανών γενικότερα. Όσον αφορά τις διεργασίες Μемβράνης, η Ηλεκτροδιάλυση συγκεκριμένα είναι καλύτερη για νερό με χαμηλή συγκέντρωση άλατος, ενώ πρέπει να αναφερθεί ότι για τις διεργασίες αυτές απαιτείται προετοιμασία του νερού για την αποφυγή καταστροφής των μεμβρανών. Η προεργασία αυτή αυξάνει το κόστος των διεργασιών Μемβράνης, όπως θα δούμε και σε επόμενη ενότητα.

Σε περίπτωση που υπάρχει η δυνατότητα επιλογής, η λύση της αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού έχει το πλεονέκτημα της χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης καθώς αυτή είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την συγκέντρωση των αλάτων (Σαμακίδης, 2009). Στις περιπτώσεις τον άνδρων νησιών του Αιγαίου, τα οποία εξετάζουμε εκτενέστερα στην παρούσα εργασία, η αφαλάτωση αφορά το θαλασσινό νερό, το οποίο άλλωστε βρίσκεται σε αυτά τα μέρη σε μεγάλη αφθονία. Ενδεικτικά, στον Πίνακα 3-7 αναφέρεται το εύρος συγκέντρωσης άλατος του τροφοδοτούμενου νερού, για κάποιες βασικές διεργασίες αφαλάτωσης, όπως η Αντίστροφη Όσμωση και η Ηλεκτροδιάλυση, όσον αφορά τις διεργασίες Μемβρανών, αλλά και για το σύνολο των Θερμικών διεργασιών (Απόσταξη).

Πίνακας 3-7. Εύρη τιμών της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας στα οποία βρίσκουν εφαρμογή οι διαφορετικές διεργασίες αφαλάτωσης (Clayton, 2011)

Διεργασία αφαλάτωσης	Συγκέντρωση άλατος (mg/l)
Ιοντοεναλλαγή	10-800
Αντίστροφη Όσμωση	50-50000
Ηλεκτροδιάλυση	200-10000
Θερμικές διεργασίες (Απόσταξη)	20000-100000

Η εκτίμηση της ικανότητας των διεργασιών αφαλάτωσης να απομακρύνουν τυχόν μικροβιακό φορτίο του τροφοδοτούμενου νερού πρέπει να λαμβάνει υπόψη της όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία παραγωγής του νερού, οι οποίοι μπορεί να διαφοροποιούνται μεταξύ των διάφορων διατάξεων αφαλάτωσης (π.χ. διαφορές στην προ-επεξεργασία, διαφοροποιήσεις των επιμέρους στοιχείων της διάταξης).

Σε γενικές γραμμές μπορεί να αναφερθεί ότι η διεργασία της Αντίστροφης Όσμωσης, αποδεικνύεται υπό ορισμένες προϋποθέσεις αποτελεσματικότερη στην αφαίρεση βακτηρίων και παθογόνων μικροοργανισμών από το νερό. Η ικανότητα αφαίρεσης τέτοιων στοιχείων εξαρτάται από

το είδος της μεμβράνης που χρησιμοποιείται, την κατάσταση της και την ακεραιότητα (σωστή λειτουργία) του συστήματος συνολικά. Η επιλογή τύπου μεμβράνης είναι πολύ σημαντική. Οι μεμβράνες υψηλής ποιότητας είναι σε θέση να αφαιρούν έως και το 99% των βακτηρίων. Από την άλλη κατά τις θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης η εξουδετέρωση των μικροβιακών οργανισμών ελέγχεται από τη θερμοκρασία και τη χρονική διάρκεια που το νερό παραμένει σε αυτή. Τυπικές θερμοκρασίες για την εξουδετέρωση βλαστικών κυττάρων είναι οι 50 - 60 °C για χρονική διάρκεια 5-30 λεπτών της ώρας. Τα ενδοσπόρια και άλλες ανθεκτικές μορφές μικροοργανισμών απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες για να καταστραφούν (70-100°C) και μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Οι περισσότεροι φυτικοί παθογόνοι μικροοργανισμοί, καταστρέφονται σε συνθήκες ακαριαίας εξάτμισης (72 °C για 15 δευτερόλεπτα). Στις περισσότερες περιπτώσεις απόσταξης οι παθογόνοι οργανισμοί καταστρέφονται επιτυχώς καθώς το νερό φθάνει τη θερμοκρασία βρασμού. Παρόλα αυτά σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται χαμηλότερες πιέσεις οι οποίες μειώνουν το σημείο εξάτμισης του νερού και αυξάνουν την απόδοση των θερμικών συστημάτων. Χρησιμοποιούνται έτσι θερμοκρασίες αρκετά χαμηλές, έως και 50°C, οι οποίες δεν εγγυώνται την απαλλαγή του παραγόμενου νερού από το σύνολο των παθογόνων συστατικών του (WHO, 2011).

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι στην περίπτωση νερού τροφοδοσίας με μολυσματικό οργανικό φορτίο, αποδοτικότερη κρίνεται η Αντίστροφη Όσμωση, χρίζοντας όμως γενικότερης προσοχής για την αποφυγή συσσώρευσης μικροοργανισμών στις μεμβράνες της (Biofouling). Ωστόσο, και οι Θερμικές διεργασίες αφαιρούν επιτυχώς βιολογικό μολυσματικό φορτίο φυσιολογικών επιπέδων συγκέντρωσης, καθώς το νερό στις περισσότερες περιπτώσεις φθάνει σε κατάσταση βρασμού.

3.4.3 Ποιότητα παραγόμενου νερού

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιλογή μιας εγκατάστασης αφαλάτωσης είναι η επιθυμητή ποιότητα του νερού που παράγεται. Οι Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης παράγουν νερό με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα, σχεδόν αποσταγμένο, ενώ στις μεθόδους Μεμβρανών όπως η Αντίστροφη Όσμωση, το νερό που παράγεται είναι μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε άλατα, παρόλα αυτά παραμένει στα επιθυμητά όρια που χαρακτηρίζουν ένα νερό ως πόσιμο. Στον Πίνακα 3-8 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες σε άλατα του αφαλατωμένου νερού που προκύπτει από τις αντίστοιχες διεργασίες αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007).

Πίνακας 3-8. Περιεκτικότητα σε άλατα του αφαλατωμένου νερού (Κουκουτσάκης, 2007)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΛΑΤΑ (ppm)
Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	Θερμική	10
Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED)	Θερμική	10
Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (VC)	Θερμική	10
Αντίστροφη Όσμωση (RO)	Μεμβρανών	350-500

Πιο συγκεκριμένα, οι Θερμικές διεργασίες παράγουν νερό με συγκέντρωση αλάτων, της τάξης των 10 ppm, ενώ οι διεργασίες Μεμβρανών παράγουν νερό με συγκέντρωση 350-500 ppm (Σαμακίδης, 2009).

3.4.4 Δυνατότητα παραγωγής νερού

Ένας ακόμη πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης, είναι η ποσότητα του νερού που απαιτείται να παράγεται ανά ημέρα, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες της περιοχής που θα το χρησιμοποιεί. Με τις Θερμικές μεθόδους (απόσταξη) είναι εφικτή η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων νερού ανά ημέρα. Μόνο η μέθοδος της Απόσταξης με Συμπίεση Ατμών (VC), χρησιμοποιείται σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις, ενώ οι υπόλοιπες Θερμικές διεργασίες χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις μεγάλης δυναμικότητας. Όσον αφορά τις διεργασίες Μembranών, είναι δυνατόν να προσαρμοστούν σε διάφορα μεγέθη παραγωγής ανάλογα με την περίπτωση. Έτσι λοιπόν οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται είτε σε μικρή, είτε σε μεσαία, είτε σε μεγάλη κλίμακα. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3-9) αναφέρονται οι τυπικά μέγιστες ικανότητες παραγωγής νερού για τις διεργασίες αφαλάτωσης που παρουσιάστηκαν στον προηγούμενο πίνακα (Κουκουτσάκης, 2007).

Πίνακας 3-9. Μέγιστη ικανότητα παραγωγής νερού (m³/ημέρα) (Κουκουτσάκης, 2007)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	ΤΥΠΙΚΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΝΕΡΟΥ (m ³ /ημέρα)
Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	5.000-6.000
Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED)	6.000-20.000
Απόσταξη με Συμπίεση Ατμών (VC)	2.400
Αντίστροφη Όσμωση (RO)	128.000

3.4.5 Ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των διεργασιών αφαλάτωσης είναι οι μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας, οι οποίες σε ένα μεγάλο αριθμό μονάδων καλύπτονται από συμβατικές πηγές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα). Οι χρησιμοποιούμενες, στην αφαλάτωση, μορφές ενέργειας είναι η θερμική, η ηλεκτρική και η μηχανική. Οι ενεργειακές αυτές απαιτήσεις, σύμφωνα με τον Δρ. Σωτήρη Καλογήρου, για τις σημαντικότερες διεργασίες αφαλάτωσης αποτυπώνονται στον Πίνακα 3-10, ο οποίος περιέχει στοιχεία που προέρχονται από κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων.

Πίνακας 3-10. Ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης (Kalogirou, 2005)

Μέθοδος Αφαλάτωσης	Θερμική Ενέργεια (kJ/kg)	Μηχανική Ενέργεια (kWh/m ³)	Πρωταρχική θερμική ενέργεια (kJ/kg) ^a
MSF	294	2,5-4 (3,7) ^b	338,4
MEB	123	2,2	149,4
VC	-	8-16 (16)	192
RO	-	5-13 (10)	120
ER-RO	-	4-6 (5)	60
ED	-	12	144
Solar Still	2330	0,3	2333,6

a. Ο βαθμός απόδοσης παραγωγής ηλεκτρισμού ισούται με 30%

b. Η τιμή στην παρένθεση χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της Συνολικής ενέργειας (τελευταία στήλη)

Όπως γίνεται αντιληπτό η διεργασία αφαλάτωσης με τις μικρότερες ενεργειακές ανάγκες είναι η Αντίστροφη Όσμωση, με σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας (60 kJ/kg), που βρίσκει συνήθως εφαρμογή σε πολύ μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης, λόγω του πολύ υψηλού κόστους που χαρακτηρίζει τέτοια συστήματα. Επίσης σχετικά χαμηλή είναι η ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης (144 kJ/kg), ενώ οι Θερμικές διεργασίες παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές (149,4 kJ/kg για την

Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης, 192 kJ/kg για την Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών και 338,4 kJ/kg παραγόμενου νερού για την Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων) (Kalogirou, 2005).

Χαρακτηριστικά είναι επίσης τα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης μονάδων αφαλάτωσης, που παρέχονται από τους E. Τζέν και Richard Morris. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία τα συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης απαιτούν 5.9 kWh/m³, χωρίς ανάκτηση ενέργειας και 3–4 kWh/m³, με ανάκτηση ενέργειας. Αντίστοιχα τα συστήματα Ηλεκτροδιάλυσης καταναλώνουν 1.22 kWh/m³, για επεξεργασία νερού με συγκέντρωση 3000 ppm σε άλατα και τελική παραγωγή νερού συγκέντρωσης 500 ppm. Η κατανάλωση αυτή αυξάνεται με τα έτη λειτουργίας των συστημάτων (μετά από 2,5 χρόνια είναι κατά 50% μεγαλύτερη). Τέλος, τα συστήματα Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών, παρουσιάζουν ενεργειακή κατανάλωση η οποία κυμαίνεται από 8,5 έως 16 kWh/m³, αναλόγως τη δυναμικότητα και το μέγεθος της μονάδας. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι αναφέρονται στις ονομαστικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής των αντίστοιχων μονάδων (Tzen & Morris, 2003).

3.4.6 Ενεργειακές πηγές αφαλάτωσης

Οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, ανάλογα με τη διεργασία που διαθέτουν, χρησιμοποιούν είτε θερμική ενέργεια (π.χ. θερμικές διεργασίες), είτε ηλεκτρική (π.χ. Ηλεκτροδιάλυση) ή μηχανική ενέργεια (π.χ. Αντίστροφη Όσμωση). Συνήθως χρησιμοποιείται ατμός χαμηλής πίεσης, είτε ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης, ενώ σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και ο απορριπτόμενος ατμός, κυρίως από θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, δηλαδή λαμβάνει χώρα ένα είδος συμπαράγωγής, το οποίο εξοικονομεί ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται σε πολλές περιπτώσεις από συμβατικά δίκτυα (π.χ. καύση λιγνίτη ή ντιζελογεννήτριες). Επίσης τα τελευταία χρόνια σε ιδιαίτερη ανάπτυξη βρίσκονται συστήματα για την εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούν κυρίως την ηλιακή (ηλιακά θερμικά συστήματα ή Φωτοβολταϊκά την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού) και την αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες για την παραγωγή κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας), χωρίς να αποκλείεται και η χρήση άλλων μορφών, όπως η γεωθερμική ενέργεια (γεωθερμικά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή θερμότητας). Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον και η ενεργειακή πηγή δεν εξαντλείται όπως συμβαίνει με τα συμβατικά καύσιμα. Τα συστήματα αυτά αν και στις περισσότερες περιπτώσεις διακρίνονται από μεγάλο κόστος εγκατάστασης, αποσβένουν τις δαπάνες σε σύντομο χρονικό διάστημα απαλλάσσοντας τις μονάδες αφαλάτωσης από το κόστος της ενέργειας, που συνήθως είναι και το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος.

Η επιλογή του κατάλληλου κάθε φορά συνδυασμού τεχνολογίας αφαλάτωσης και ενεργειακής πηγής εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων με σημαντικότερους τη δυναμικότητα της μονάδας, την αλατότητα του προς αφαλάτωση ύδατος, την προσβασιμότητα της περιοχής της εγκατάστασης, την ύπαρξη ή όχι σύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο παροχής ενέργειας αλλά και τις διαθέσιμες μορφές ΑΠΕ στην περιοχή της εγκατάστασης. Έτσι λοιπόν παρόλο που οι συνδυασμοί των τεχνολογιών αφαλάτωσης με τις αντίστοιχες ΑΠΕ είναι θεωρητικά πολλοί και κάθε φορά για την κατάλληλη επιλογή τους θα πρέπει να εξετάζεται μια πληθώρα παραμέτρων, ωστόσο υπάρχουν κάποιοι συνδυασμοί αφαλάτωσης-ΑΠΕ ιδιαίτερα αποδοτικοί, οι οποίοι ενδείκνυνται κυρίως για αυτόνομες εγκαταστάσεις σε απομονωμένες περιοχές, ώστε να παρέχονται παράγονται επαρκείς ποσότητες ενέργειας και νερού σε ικανοποιητικές τιμές κόστους. Στον Πίνακα 3-11 που ακολουθεί

εμπεριέχονται οι από αυτούς τους συνδυασμούς. Παρατηρείται λοιπόν, ότι η ηλιακή ενέργεια (τόσο τα συστήματα αξιοποίησης της θερμικής όσο και τα φωτοβολταϊκά) συνδυάζεται κατάλληλα με την Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF), την Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED), την Αντίστροφη Όσμωση (RO) αλλά και την Ηλεκτροδιάλυση (ED). Ακόμα οι ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες συνδυάζεται με τις τεχνολογίες της Απόσταξης με Συμπίεση Ατμών (VC), της Αντίστροφης Όσμωσης (RO) και της Ηλεκτροδιάλυσης (ED). Τέλος οι γεωθερμικές πηγές χαμηλής θερμοκρασίας μπορούν να τροφοδοτήσουν με ενέργεια την Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF), την Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED), ενώ οι πηγές υψηλής ενθαλπίας και πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μηχανικής ή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση της Απόσταξης με Συμπίεση Ατμών (VC), της Αντίστροφης Όσμωσης (RO) και της Ηλεκτροδιάλυσης (ED) (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010).

Πίνακας 3-11. Κατάλληλοι συνδυασμοί τεχνολογιών αφαλάτωσης και συστημάτων ΑΠΕ (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)

ΑΠΕ	Τεχνολογία αφαλάτωσης				
	MSF	MED	VC	RO	ED
Ηλιακή θερμική	•	•			
Φωτοβολταϊκά				•	•
Ανεμογεννήτριες			•	•	•
Γεωθερμία	•	•	•	•	•

3.4.7 Κόστος αφαλάτωσης

Οι δαπάνες αφαλάτωσης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την επιλεγθείσα διεργασία, τις απαιτήσεις ποιότητας του νερού που παράγεται, το κόστος της ενέργειας κλπ. Το συνολικό κόστος είναι δυνατόν να χωριστεί σε τρεις συνιστώσες. Στο κόστος επένδυσης, στο κόστος λειτουργίας και στο κόστος συντήρησης (Κουκουτσάκης, 2007).

3.4.7.1 Κόστος αρχικής επένδυσης

Το κόστος της αρχικής επένδυσης περιλαμβάνει τα κόστη μελέτης, κατασκευής, προμηθειών, δανειοδότησης και το κόστος για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης. Από τα προαναφερθέντα κόστη, μεγαλύτερο είναι εκείνο της κατασκευής της εγκατάστασης αφαλάτωσης.

Το κόστος κατασκευής αποτελεί το 50-80% του αρχικού κόστους επένδυσης και περιλαμβάνει τα κόστη προμήθειας, κατασκευής και εγκατάστασης των συστημάτων αφαλάτωσης και επεξεργασίας (προ-επεξεργασία και μετά-επεξεργασία) του νερού. Το υπόλοιπο ποσοστό, δηλαδή το 20-50% σχετίζεται με το κόστος μελέτης, σχεδιασμού, αδειοδότησης και δανειοδότησης της εγκατάστασης.

Οι Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης έχουν υψηλότερο κόστος επένδυσης σε σχέση με τις διεργασίες Μемβρανών. Για παράδειγμα η έκταση που απαιτείται για τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν Θερμικές διεργασίες είναι μεγαλύτερη (Πίνακας 3-6) από την αντίστοιχη των διεργασιών με Μемβράνες, άρα και το αντίστοιχο κόστος επένδυσης είναι μεγαλύτερο (Κουκουτσάκης, 2007).

3.4.7.2 Κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αναφέρεται στις ενεργειακές δαπάνες που απαιτεί η εγκατάσταση αφαλάτωσης, το κόστος του εργατοτεχνικού προσωπικού, στο κόστος αναλωσίμων και ανταλλακτικών κλπ. Οι Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης έχουν συνήθως χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα από τις διεργασίες Μемβρανών, καθώς οι διεργασίες αυτές, απαιτούν μεγάλες δαπάνες για αντικατάσταση και συντήρηση των μεμβρανών.

Πιο αναλυτικά, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από δύο συνιστώσες: το σταθερό και το μεταβλητό κόστος. Το σταθερό κόστος αναφέρεται σε όλα τα κόστη που δεν εξαρτώνται από την ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού, τα οποία είναι το κόστος εργατικών, το κόστος συντήρησης εξοπλίσου, το κόστος τεχνικού ελέγχου, το κόστος διασφάλισης της περιβαλλοντικής προστασίας, το κόστος ασφάλειας και διοίκησης. Το σταθερό κόστος συνήθως αποτελεί το 15-50% του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Το μεταβλητό κόστος εξαρτάται από την παραγόμενη ποσότητα νερού και αναφέρεται στο κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας, στο κόστος χημικής επεξεργασίας, στο κόστος των κατεστραμμένων εξαρτημάτων, στο κόστος απομάκρυνσης της άλμης κλπ. Το μεταβλητό κόστος αποτελεί το υπόλοιπο 50-85% του κόστους συντήρησης και λειτουργίας. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι συχνά το ενεργειακό κόστος της αφαλάτωσης αγγίζει το 60% του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης και για το λόγο αυτό απαραίτητη είναι η αναλυτική διερεύνηση της κατανάλωσης ενέργειας κάθε διεργασίας αφαλάτωσης.

Σε όλες τις μεθόδους αφαλάτωσης, η κατανάλωση ενέργειας είναι άμεσα συνυφασμένη με παράγοντες όπως η συγκέντρωση αλάτων στο νερό τροφοδοσίας, η θερμοκρασία λειτουργίας, οι απώλειες θερμότητας, οι θερμοκρασιακές διαφορές με το περιβάλλον κ.ά. Οι θερμικές διεργασίες, οι οποίες στηρίζονται σε αλλαγή φάσης νερού, έχουν συνήθως τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Ενδεικτικά, στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3-12) παρουσιάζεται η εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης κάποιων διεργασιών, σε μονάδες παραγωγής 10.000 – 20.000 m³/ημέρα, από θαλασσινό νερό τροφοδοσίας. Συγκεκριμένα για τη μέθοδο της Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών, τα στοιχεία προέρχονται από μία μονάδα παραγωγής 2.500 m³/ημέρα (Κουκουτσάκης, 2007).

Πίνακας 3-12. Ισοδύναμη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ορισμένων διεργασιών αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh/m ³)
Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	10-14,5
Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED)	6-9
Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (VC)	7-15
Αντίστροφη Όσμωση (RO)	4-6 με ανάκτηση ενέργειας 7-13 χωρίς ανάκτηση πίεσης

Όπως φαίνεται και στον πίνακα αυτό, στη διεργασία της Αντίστροφης Όσμωσης, είναι δυνατόν να υπάρχουν συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τα οποία ανακτούν έως και το 40% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτό γίνεται συνήθως σε μεγάλες εγκαταστάσεις, όπου η ενέργεια από το απορριπτόμενο αλμόλοιπο, ανακτάται σε στρόβιλο.

Άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μιας μονάδας αφαλάτωσης είναι η αλατότητα του νερού (γενικότερα η χημική του σύσταση) και παράμετροι όπως η

θερμοκρασία λειτουργίας. Έτσι λοιπόν αύξηση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας αυξάνει το κόστος λειτουργίας της μονάδας (Πίνακας 3-14), ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά μειώνει το κόστος παραγωγής αλλά καταστρέφει τις συστοιχίες των μεμβρανών. Τέλος, οι χημικές ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό τροφοδοσίας αυξάνουν το κόστος της επεξεργασίας που πρέπει να προηγηθεί, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η ποιότητα του προς χρήση νερού. Υψηλή ποιότητα παραγόμενου πόσιμου νερού αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος μιας μονάδας αφαλάτωσης. Ο τρόπος διαχείρισης της άλμης επίσης επηρεάζει το κόστος, με την απόρριψη της άλμης στην θάλασσα να είναι η πιο φθηνή λύση.

Για τη συνολική οικονομική αξιολόγηση μιας μονάδας αφαλάτωσης πρέπει να υπολογίζεται το άθροισμα των κάθε φορά επιμέρους κοστών, που αναφέρθηκαν παραπάνω, δηλαδή το συνολικό κόστος. Ο υπολογισμός αυτός αναφέρεται σε ευρώ που ξοδεύονται ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου αφαλατωμένου ύδατος (€/m³). Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται ενδεικτικές τιμές για τα κόστη κάποιων διεργασιών αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007).

Πίνακας 3-13. Κόστη διεργασιών αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (€/m ³ *ημέρα)	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€/m ³)	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΛΩΣΙΜΩΝ (€/m ³)	ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΤΙΚΩΝ (€/m ³)	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (€/m ³)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΙΔΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€/m ³)
Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	1.000-2.000	0,6-1,8	0,03-0,09	0,03-0,20	0,02-0,06	0,68-2,15
Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED)	900-1.800	0,38-1,12	0,02-0,15	0,03-0,20	0,02-0,06	0,45-1,53
Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (VC)	900-2.500	0,56-2,24	0,02-0,15	0,03-0,20	0,02-0,08	0,63-2,83
Αντίστροφη Όσμωση (RO)	800-1.600	0,32-1,28	0,09-0,25	0,03-0,20	0,02-0,05	0,46-1,78

Στη διεργασία της Αντίστροφης Όσμωσης, παρατηρούμε ότι παρόλο που το κόστος ενέργειας είναι μειωμένο σε σχέση με τις υπόλοιπες διεργασίες, το κόστος αναλώσιμων είναι αρκετά υψηλό κάτι που οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα οι μεμβράνες αντικαθίστανται τουλάχιστον κάθε τρία με τέσσερα χρόνια, διότι είναι ευαίσθητες και με τη συνεχή χρήση παρουσιάζουν ανεπιθύμητες ιδιότητες. Βέβαια τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία μεμβρανών έχει προχωρήσει με αποτέλεσμα το κόστος αυτό να είναι μειωμένο σε σχέση με το παρελθόν (Κουκουτσάκης, 2007).

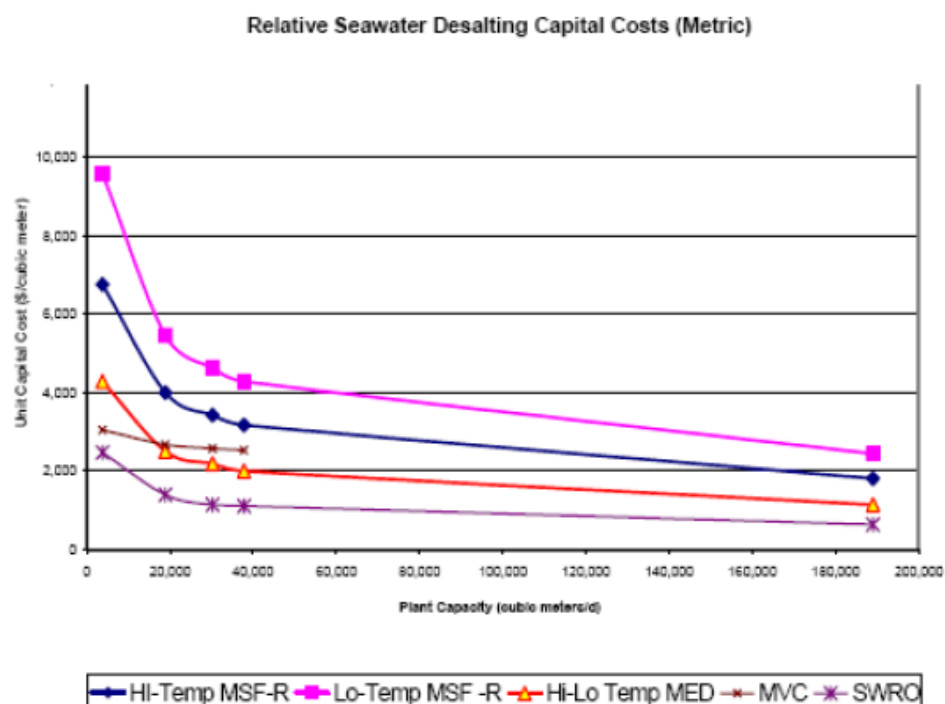
Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το συνολικό κόστος παραγωγής του αφαλατωμένου νερού είναι η δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης (Πίνακας 3-14).

Πίνακας 3-14. Κόστος παραγόμενου νερού ανάλογα με την αλατότητα και τη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης (Μανωλάκος, 2012)

Είδος νερού που	Δυναμικότητα μονάδας	Κόστος (€/m ³)
-----------------	----------------------	----------------------------

χρησιμοποιείται	αφαλάτωσης	
Υφάλμυρο	<1000	0,63-1,06
	5000-60000	0,21-0,43
Θαλασσινό	<1000	1,78-9,00
	1000-5000	0,56-3,15
	12000-60000	0,35-1,30
	>60000	0,40-0,80

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μια μονάδα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με δυναμικότητα 5.000 m³/ημέρα έχει κόστος παραγόμενου νερού κατά μέσο όρο 1,5€/m³ ενώ όταν η δυναμικότητα αυξηθεί σε 20.000 m³/ημέρα το κόστος μειώνεται σε 0,75€/m³ κατά μέσο όρο. Αυτή η μείωση του κόστους με την αύξηση της δυναμικότητας (οικονομία κλίμακας) γίνεται ακόμα πιο σαφής στο γράφημα που ακολουθεί, το οποίο αναφέρεται σε διάφορες διεργασίες αφαλάτωσης (Γράφημα 3-1).



Γράφημα 3-1. Τα κόστη για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού σε μονάδες διαφορετικών τεχνολογιών, ανάλογα με τη δυναμικότητα (U.S. Department of the Interior, 2003)

3.4.8 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση, την επιλογή και την εφαρμογή των τεχνολογιών αφαλάτωσης. Όλες οι διεργασίες αφαλάτωσης παράγουν ένα ρεύμα υδατικού διάλυμα εξαιρετικά υψηλής αλατότητας (αλμόλοιπο ή άλμη), του οποίου η διάθεση έχει άμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η σύνθεση του αλμόλοιπου μπορεί να διαφέρει σημαντικά, αναλόγως με τη διεργασία αφαλάτωσης, με αποτέλεσμα να διαφέρουν σημαντικά και οι εκάστοτε επιπτώσεις στο τοπικό οικοσύστημα. Επίσης περιβαλλοντικά προβλήματα μπορούν να προκύψουν άμεσα από τις διατάξεις αναρρόφησης του νερού τροφοδοσίας και από την τοποθεσία και τον τρόπο κατασκευής της εγκατάστασης αφαλάτωσης, ενώ έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετίζονται με την ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αφαλάτωσης και την ενεργειακή πηγή που αυτή εκμεταλλεύεται (Τζέν Ε. , Desalination Environmental Aspects, 2009).

Έτσι λοιπόν κάποιες βασικές παράμετροι που σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, οι οποίες πρέπει να εξεταστούν αναλυτικότερα, αφορούν:

- την τοποθεσία της εγκατάστασης
- τις διατάξεις αναρρόφησης και επεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας
- την διαχείριση και την διάθεση του αλμολοιπού
- την ενεργειακή κατανάλωση της εγκατάστασης και τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται (συμβατικές ή ανανεώσιμες)

Σε αυτό σημείο θα εξεταστούν κάποια ζητήματα που επηρεάζουν άμεσα τις παραπάνω παραμέτρους.

3.4.8.1 Τοποθεσία της εγκατάστασης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η χωροθέτηση της εγκατάστασης αφαλάτωσης μπορεί να διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο αναφορικά με το περιβάλλον. Για παράδειγμα η κατασκευή της μονάδας επιφέρει σημαντικές αλλοιώσεις στο οικοσύστημα μιας περιοχής (πχ στο βυθό της υδατικής λεκάνης, της οποίας το νερό θα εκμεταλλεύεται). Επίσης η διάθεση των αποβλήτων της διεργασίας σε μια απομονωμένη και μικρή υδατική λεκάνη μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα, ειδικά σε περιπτώσεις ελλιπούς επεξεργασίας και ιδιαίτερα υψηλού χημικού φορτίου σε αυτά. Τέλος σημαντικές είναι και οι επιδράσεις στο φυσικό τοπίο και η αισθητική και ηχητική όχληση (θόρυβος παράγεται από τις αντλίες υψηλής πίεσης και από άλλα μηχανήματα που αποτελούν τη μονάδα) που μπορεί να επιφέρει μια τέτοια μονάδα σε ένα χώρο (Τζέν Ε. , Desalination Environmental Aspects, 2009). Για το λόγο αυτό οι μονάδες αφαλάτωσης πρέπει να ανεγείρονται σε χώρο που είναι αποδεκτός από την άμεσα επηρεαζόμενη κοινότητα, κατόπιν ειδικής μελέτης χωροθέτησης βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011).

3.4.8.2 Απόβλητα της διεργασίας και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τα απόβλητα της διεργασίας αποτελούνται από ρεύμα νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα (αλμολοιπο-άλμη). Η διάθεση του αλμολοιπού, είναι ζήτημα που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, καθώς είναι ένα ιδιαίτερα πυκνό διάλυμα με υψηλή περιεκτικότητα σε άλας, ενώ σε πολλές περιπτώσεις διαθέτει υψηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον, το οποίο το δέχεται (Θερμικές διεργασίες). Αυτό το ρεύμα υδατικού διαλύματος περιέχει επίσης χημικά καθαρισμού μεμβρανών και άλλες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την προ-επεξεργασία του θαλασσινού νερού, τη μετά-επεξεργασία του αφαλατωμένου νερού και την αποφυγή της διάβρωσης των εγκαταστάσεων (Τζέν Ε. , Desalination Environmental Aspects, 2009).

Πιο αναλυτική εξέταση του απόβλητου διαλύματος αυτού αποκαλύπτει ότι στις περιπτώσεις διεργασιών Μεμβρανών, όπως η Αντίστροφη Όσμωση, η περιεκτικότητα σε αλάτι είναι σχεδόν διπλάσια από εκείνη του θαλασσινού νερού, ενώ στις Θερμικές διεργασίες η περιεκτικότητα είναι περίπου 10% περισσότερη από ότι στο θαλασσινό νερό (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011). Η διαφορά αυτή οφείλεται κυρίως στην εφαρμογή πρακτικών ανάκτησης ενέργειας κατά τις διεργασίες Μεμβρανών, με την περιεκτικότητα άλατος στο απόβλητο ρεύμα άλμης να φθάνει τα 60.000-85.000 mg/l (60.000-85.000 ppm). Επίσης κατά τις Θερμικές διεργασίες το ρεύμα του αλμολοιπού

αναμιγνύεται με το νερό ψύξης, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις άλατος σε αυτό να μειώνονται σημαντικά.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία της άλμης είναι μεγαλύτερη όταν πρόκειται για Θερμικές διεργασίες σε σχέση με τις διεργασίες Μемβρανών. Συγκεκριμένα στις Θερμικές διεργασίες το μείγμα άλμης-νερού ψύξης διαθέτει 5 έως 15°C υψηλότερη θερμοκρασία από το θαλασσινό νερό, σε αντίθεση με τις διεργασίες Μемβρανών, όπου η άλμη έχει περίπου ίση θερμοκρασία με το φυσικό θαλασσινό νερό. Ένας γενικός κανόνας για τη θερμοκρασία της απορριπτόμενης άλμης, η οποία αποβάλλεται στη θάλασσα, επιτάσσει μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά 3°C σε μία ακτίνα 100 μέτρων από το σημείο διάθεσης.

Ένα ακόμα ζήτημα το οποίο επηρεάζει τη σύνθεση του αποβλήτου ρεύματος της άλμης, κυρίως στην περιεκτικότητα του σε χημικές ουσίες, δυνητικά βλαβερές για το περιβάλλον, είναι η διαδικασία της προ-επεξεργασίας του προς αφαλάτωση ύδατος. Η προ-επεξεργασία χρειάζεται σε όλες τις διεργασίες αφαλάτωσης ώστε να διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία των υποσυστημάτων αλλά και η αποδοτικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, παρόλο που οι απαιτήσεις διαφέρουν αναλόγως τη μέθοδο αφαλάτωσης. Αναλυτικότερα, στις Θερμικές διεργασίες οι απαιτήσεις προ-επεξεργασίας σχετίζονται κυρίως με την αποφυγή:

- του σχηματισμού αλάτων στους εναλλάκτες θερμότητας
- της χημικής διάβρωσης αλλά και της διάβρωσης λόγω αιωρούμενων στερεών

ενώ στις διεργασίες Μемβρανών σχετίζονται κυρίως με την αποφυγή:

- της ανάπτυξης αλάτων στις μεμβράνες
- της φραγής των μεμβρανών από τα αιωρούμενα στερεά
- της συσσώρευσης βιολογικού υλικού (μικροοργανισμών) στις μεμβράνες
- της φθοράς των μεμβρανών και την μείωση της αποδοσής τους

Η προ-επεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει χλωρίωση, αποχλωρίωση, απαερίωση, οξύνιση (με την προσθήκη οξέων), προσθήκη αντιπηκτικών και άλλων χημικών ουσιών. Πιο συγκεκριμένα, η προσθήκη χλωρίου χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου εντοπίζονται μικροοργανισμοί στο νερό τροφοδοσίας (κυρίως στα επιφανειακά ύδατα), η προσθήκη πολυμερών γίνεται για την αποφυγή της δημιουργίας αλάτων, η προσθήκη οξέων γίνεται στις διεργασίες Μемβρανών (κυρίως στην Αντίστροφη Όσμωση) για την προστασία των μεμβρανών, ενώ στις Θερμικές διεργασίες προστίθενται ουσίες για την αποφυγή φαινομένων διάβρωσης. Τέλος, κυρίως κατά τις διεργασίες μεμβρανών που γίνεται χλωρίωση του νερού, ακολουθεί αποχλωρίωση του με την χρήση κατάλληλων ουσιών. Μελετώντας τις παραπάνω χημικές ουσίες, που περιέχονται στη ροή αποβλήτων μιας διεργασίας αφαλάτωσης, η Ε. Τζέν επισημαίνει ότι συνήθως αυτές εντοπίζονται σε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις (περίπου 10 mg/l) και δεν αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα για το οικοσύστημα που τα δέχεται, εφόσον βέβαια γίνεται διάθεση τους σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες (Τζέν Ε. , Desalination Environmental Aspects, 2009).

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3-15) συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά της ροής της άλμης, που αντιστοιχούν σε διάφορες διεργασίες αφαλάτωσης.

Πίνακας 3-15. Διεργασίες αφαλάτωσης και χαρακτηριστικά των παραγόμενων ροών τους (Τζέν Ε., Desalination Environmental Aspects, 2009)

Διεργασία	Αντίστροφη Όσμωση (RO) – Υφάλμυρο νερό	Αντίστροφη Όσμωση (RO) – Θαλασσινό νερό	Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED)
Νερό τροφοδοσίας	Υφάλμυρο	Θαλασσινό	Θαλασσινό	Θαλασσινό
Ποσοστό ανάκτησης (%)	60-85	30-60	30	20
Θερμοκρασία αλμόλοιπου (°C)	Θερμοκρασία περιβάλλοντος	Θερμοκρασία περιβάλλοντος	5,5-15,5 υψηλότερη της θερμοκρασίας περιβάλλοντος	5,5-15,5 υψηλότερη της θερμοκρασίας περιβάλλοντος
Ανάμειξη αλμόλοιπου	Πιθανή, όχι τυπικά	Όχι τυπικά, αλλά γίνεται πιο συχνή	Με το αποβαλλόμενο νερό ψύξης	Με το αποβαλλόμενο νερό ψύξης
Συντελεστής τελικής συγκέντρωσης	2,5-6,7	1,4-2,5	<1,15	<1,15

3.4.8.3 Πηγές ενέργειας και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι ενεργειακές πηγές που χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία των συστημάτων αφαλάτωσης είναι δυνατό να είτε συμβατικές είτε ανανεώσιμες. Στις περιπτώσεις που η ενέργεια προέρχεται από συμβατικά δίκτυα (πχ. Ηλεκτρική ενέργεια από καύση λιγνίτη ή χρήση ντιζελογεννητριών), η έμμεση επιβάρυνση του περιβάλλοντος είναι αρκετά μεγάλη λόγω των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων των μεθόδων αφαλάτωσης και συνεπώς των αντίστοιχα υψηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και επιβλαβών για το περιβάλλον ρύπων. Αντιθέτως η χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιβαρύνει σε σαφώς μικρότερο βαθμό το περιβάλλον και έχει περιορισμένες επιβλαβείς επιπτώσεις.

Έτσι λοιπόν ο κίνδυνος της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος αυξάνεται όσο οι ενεργειακές απαιτήσεις των μονάδων αφαλάτωσης καλύπτονται από δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα για την παροχή ενέργειας. Για να γίνει ευκολότερα αντιληπτή η τάξη μεγέθους του ζητήματος αυτού αρκεί να αναλογιστεί κανένας ότι για την παραγωγή 22 εκατομμυρίων κυβικών μέτρου αφαλατωμένου νερού ανά ημέρα (δηλαδή όση ήταν η συνολική ημερήσια δυναμικότητα παραγωγής των μονάδων αφαλάτωσης το έτος 2000), απαιτούνται 203 εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου το χρόνο (περίπου 8.5 EJ/έτος ή $2.36 \cdot 10^{12}$ kWh/έτος) (Kalogiou, 2005). Σε τέτοιες περιπτώσεις, η εκπομπή Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων του θερμοκηπίου είναι σημαντική και αποτελεί ένα παράγοντα ο οποίος θα πρέπει να αναλυθεί σε βάθος.

Σύμφωνα με Αναλύσεις Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis) σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, οι εκπομπές CO₂ από τη καύση πετρελαίου υπολογίζονται, στα πλαίσια διαφορετικών μελετών, σε 742 g CO₂/kWh (Hondo, 2005), 880 gCO₂-eq/kWh (Jungbluth, 2005) και 942 gCO₂/kWh (Stoppato, 2008). Ακόμα, οι αντίστοιχες εκπομπές από την καύση άνθρακα βρίσκονται σε ακόμα μεγαλύτερα επίπεδα και έχουν εκτιμηθεί από διάφορες μελέτες σε τιμές που κυμαίνονται από 870 gCO₂-eq/kWh (Raghuvanshi et al., 2006) έως 1186 gCO₂-eq/kWh (Wang και Nakata, 2009).

Η αποφυγή των επιβλαβών αυτών εκπομπών μπορεί να γίνει, όσον αφορά τις μονάδες αφαλάτωσης, με χρήση της ενέργειας η οποία προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές και είναι συνήθως

άφθονες σε απομονωμένες περιοχές με προβλήματα ανεπάρκειας υδατικών πόρων. Έτσι λοιπόν σε πολλές περιοχές του πλανήτη έχουν αναπτυχθεί μονάδες αφαλάτωσης παράλληλα με συστήματα ΑΠΕ, τα οποία συμβάλλουν στην μικρότερη δυνατή περιβαλλοντική επιβάρυνση, ενώ ταυτόχρονα αποτελούν λύση για την οικονομία περιοχών οι οποίες δεν μπορούν να διαθέτουν μεγάλα ποσά χρημάτων για την εισαγωγή καυσίμων.

Η χρήση συστημάτων, όπως οι Ανεμογεννήτριες και τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια, προκαλούν πολύ μικρότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο περιβάλλον, κάτι που αποδεικνύεται μέσω της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, που έχει διεξαχθεί από διάφορους μελετητές. Έτσι λοιπόν, σχετικά με τις Ανεμογεννήτριες (Α/Γ), προκύπτουν ισοδύναμες εκπομπές CO₂ οι οποίες κυμαίνονται από 7.9 έως 123.7 gCO₂-eq/kWh, ενώ για τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β) κυμαίνονται από 21 έως 104 gCO₂-eq/kWh. Συγκεκριμένα για τις Α/Γ, οι Lenzen και Munksgaard (2002), προσδιόρισαν τις εκπομπές στο διάστημα από 7.9 έως 123.7 gCO₂-eq/kWh, ενώ σύμφωνα με άλλους μελετητές (Jungbluth et al., 2005) δύο ανεμογεννήτριες 2 MW και 800 kW συνδέονται με εκπομπές 13 και 11 gCO₂-eq/kWh, αντίστοιχα. Άλλες εκτιμώμενες τιμές είναι 9.7 - 16,5 gCO₂/kWh (Schleisner, 2000), 29.5 gCO₂/kWh (Hondo, 2005) και 14,8 gCO₂/kWh (Ardente et al., 2008). Επίσης, τα Φ/Β συνδέονται με εκπομπές CO₂ της τάξης των 21 έως 43 gCO₂-eq/kWh (Fthenakis et al., 2008), αναλόγως με τα υλικά που χρησιμοποιούνται, ενώ σύμφωνα με άλλους επιστήμονες οι εκπομπές αυτές μπορούν να πάρουν τιμές όπως 41.7g/kWh (Bernal - Agustin - Dufo - Lopez, 2006), 39 - 110 gCO₂-eq/kWh (Jungbluth et al., 2005), 26 - 53.4 gCO₂/kWh (Hondo, 2005) και 104 gCO₂ /kWh (Pehnt, 2006).

Οι παραπάνω τιμές, προέκυψαν στα πλαίσια διάφορων μελετών σχετικά με τις ισοδύναμες εκπομπές CO₂, που αντιστοιχούν σε διαφορετικά συστήματα παραγωγής ενέργειας από τα οποία υπάρχει δυνατότητα τροφοδοσίας των μονάδων αφαλάτωσης (Karagiannis & Soldatos, Estimation of critical CO₂ values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands, 2010). Τα στοιχεία αυτά συνοψίζονται στον Πίνακα 3-16.

Πίνακας 3-16. Εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα, που χαρακτηρίζουν διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας (Karagiannis & Soldatos, Estimation of critical CO₂ values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands, 2010)

Τεχνολογία	Εκπομπές gCO ₂ /kWh
Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρισμού από την καύση πετρελαίου	742 880 942
Φωτοβολταϊκά πάνελ	21-43 41,7 26-53,4 39-110 104
Ανεμογεννήτριες	2 9-11 11-13 14,8 9,7-16,5 29,5 7,9-123,7
Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρισμού από την καύση άνθρακα	870 880 975 850-1000 1000

Στις εκτιμώμενες εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα, που περιέχονται στον πίνακα αυτό, δεν περιέχονται αυτές που αντιστοιχούν στα συστήματα αφαλάτωσης (την κατασκευή, τη μεταφορά τους στο χώρο εγκατάστασης κλπ). Για την συνολική αποτίμηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης εξαιτίας μιας μονάδα αφαλάτωσης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ισοδύναμες εκπομπές CO₂ που αντιστοιχούν, τόσο στα υποσυστήματα της μονάδας, όσο και στο σύστημα παροχής ενέργειας. Ενδεικτικά είναι τα στοιχεία που προέκυψαν από Μελέτη του Κύκλου Ζωής μονάδας αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με χρήση διαφορετικών συστημάτων παροχής ενέργειας, στο χώρο του Αιγαίου πελάγους, από τους Καραγιάννη και Freire (2009) (Πίνακας 3-17). Στην περίπτωση, που η μονάδα τροφοδοτείται από το συμβατικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, οι ισοδύναμες εκπομπές είναι περίπου 925 gCO₂/kWh, ενώ στις περιπτώσεις χρήσης Φωτοβολταϊκών πλαισίων ή Ανεμογεννητριών, οι εκπομπές μειώνονται σε 150 και 24 gCO₂/kWh, αντίστοιχα. Δηλαδή η χρήση Α/Γ, έχει τις μικρότερες συνέπειες όσον αφορά το περιβάλλον (Karagiannis & Soldatos, Estimation of critical CO₂ values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands, 2010).

Πίνακας 3-17. Εκπομπές CO₂, από μια μονάδα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης, με χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας (Karagiannis & Soldatos, Estimation of critical CO₂ values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands, 2010)

Τεχνολογία	Εκπομπές CO ₂ (kg/kWh)
Αφαλάτωση-Συμβατικό δίκτυο παραγωγής ενέργειας	0,913-0,940
Αφαλάτωση-Ανεμογεννήτριες	0,024
Αφαλάτωση-Φωτοβολταϊκά	0,150

Από την παραπάνω ανάλυση γίνεται αντιληπτή η μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωση και οι μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που αυτή συνεπάγεται. Βέβαια υπάρχουν δυνατότητες μείωσης αυτών των συνεπειών, οι οποίες δεν είναι άλλες από τη χρήση ΑΠΕ για την τροφοδότηση των μονάδων αφαλάτωσης.

3.4.9 Σύνοψη της σύγκρισης των διεργασιών αφαλάτωσης

Ανακεφαλαιώνοντας τα ζητήματα που αναφέρθηκαν στην ενότητα αυτή παρατίθεται ο συγκεντρωτικός Πίνακας 3-18, ο οποίος περιέχει τη συγκριτική σύνοψη των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων, που συνδέονται με τις βασικότερες από τις διεργασίες αφαλάτωσης. Κατά βάση, περιέχονται συγκριτικές πληροφορίες, σχετικά με την ποιότητα του παραγόμενου νερού, την ικανότητα παραγωγής αφαλατωμένου νερού, την ενεργειακή κατανάλωση, το κόστος αλλά και άλλες σημαντικές παραμέτρους στις οποίες διαφέρουν οι διεργασίες αφαλάτωσης.

Πίνακας 3-18. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διεργασιών αφαλάτωσης (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)

Διεργασία αφαλάτωσης	Ανάκτηση και ποιότητα παραγόμενου νερού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
----------------------	---	---------------	---------------

RO	<p>30-60% (ενός σταδίου) >60% (περισσότερων σταδίων)</p> <p><500 ppm (SW) <200 ppm (BW)</p>	<p>Σχετικά μικρή ενεργειακή κατανάλωση</p> <p>Σχετικά μικρό κόστος επένδυσης</p> <p>Απλή λειτουργία και γρήγορη εκκίνηση</p> <p>Απουσία νερού ψύξης</p> <p>Μεγάλη παραγωγή ανά καταλαμβανόμενο χώρο</p> <p>Αφαίρεση μικροβιακού φορτίου νερού</p> <p>Διαρθρωτικός σχεδιασμός</p> <p>Συντήρηση χωρίς πλήρη διακοπή της λειτουργίας</p>	<p>Υψηλό κόστος χημικών και μεμβρανών</p> <p>Ευαισθησία σε αλλαγές της ποιότητας του νερού τροφοδοσίας</p> <p>Απαραίτητη η εκτενής προπεξεργασία</p> <p>Μηχανικές αστοχίες λόγω υψηλής πίεσης</p> <p>Απαιτήση εξειδικευμένου προσωπικού Χρόνος ζωής των μεμβρανών 5-7 έτη</p> <p>Ανεπιθύμητη συσσώρευση μικροοργανισμών στις μεμβράνες (Biofouling)</p>
ED	<p>85-94%</p> <p>140-600 ppm</p>	<p>Κατανάλωση ενέργειας ανάλογη του αφαιρούμενου άλατος</p> <p>Διάρκεια ζωής των μεμβρανών >7-10 έτη</p> <p>Λειτουργία σε χαμηλές πιέσεις</p>	<p>Κατάλληλη για νερό τροφοδοσίας έως 12000 ppm</p> <p>Απαιτείται περιοδικός και συχνός καθαρισμός των μεμβρανών</p> <p>Προκαλούνται συχνά διαρροές στις μεμβράνες</p> <p>Δεν αφαιρούνται οι βακτηριακοί μικροοργανισμοί και απαιτείται ειδική μεταπεξεργασία</p>
MSF	<p>25-50% (σε μονάδες υψηλής θερμοκρασίας με ανακύκλωση)</p> <p><50 ppm</p>	<p>Δυνατότητα πολύ μεγάλης δυναμικότητας</p> <p>Καταξιωμένη και αξιόπιστη</p> <p>Η ακαριαία εξάτμιση έναντι του σταδιακού βρασμού μειώνει τη διάβρωση</p> <p>Ελάχιστες απαιτήσεις προπεξεργασίας</p> <p>Παραγόμενο νερό υψηλής ποιότητας</p> <p>Διαδικασία και κόστος σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας</p> <p>Αντιμετωπίζει φυσιολογικά επίπεδα βιολογικού μολυσματικού φορτίου του νερού τροφοδοσίας</p> <p>Συνδυασμός με εργοστάσια παραγωγής ενέργειας για εξασφάλιση της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας (συμπαγωγή)</p>	<p>Υψηλό κόστος επένδυσης</p> <p>Υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις</p> <p>Μεγάλο σχετικά αποτύπωμα (έκταση και υλικά)</p> <p>Προβλήματα διάβρωσης, ειδικά σε υλικά χαμηλότερης ποιότητας</p> <p>Αργή εκκίνηση λειτουργίας</p> <p>Πλήρης διακοπή της λειτουργίας κατά τη συντήρηση</p> <p>Απαιτήση για προσωπικό υψηλής τεχνικής κατάρτισης</p> <p>Χαμηλό ποσοστό ανάκτησης νερού</p>

MED	0-65% <10 ppm	<p>Επίτευξη μεγάλων οικονομικών κλίμακας</p> <p>Ελάχιστες απαιτήσεις προπεξεργασίας</p> <p>Αξιόπιστη διεργασία με ελάχιστες απαιτήσεις σε προσωπικό</p> <p>Συνδυασμός με εργοστάσια παραγωγής ενέργειας για εξασφάλιση της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας (συμπαραγωγή)</p> <p>Παραγόμενο νερό πολύ υψηλής ποιότητας</p>	<p>Υψηλή ενεργειακή κατανάλωση</p> <p>Υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας</p> <p>Απαιτήση για κατασκευαστικά υλικά υψηλής ποιότητας για αντοχή στη διάβρωση</p> <p>Απαιτήση ψύξης και ανάμειξης του παραγόμενου νερού πριν τη χρήση του</p>
VCD	~ 50% <10 ppm	<p>Εξελιγμένη μέθοδος με μικρές απαιτήσεις σε χημικά</p> <p>Οικονομική για νερό υψηλής αλατότητας (>50.000 ppm)</p> <p>Χαμηλότερες οικονομίες κλίμακας (έως δυναμικότητα 10.000 m³/day)</p> <p>Σχετικά χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση</p> <p>Χαμηλότερη θερμοκρασία άρα και λιγότερη διάβρωση</p> <p>Χαμηλότερο κόστος επένδυσης και λειτουργίας</p> <p>Κινητά υποσυστήματα τα οποία προσδίδουν ευελιξία</p>	<p>Κατά την εκκίνηση απαιτείται περίσσεια θερμικής ενέργειας, για τη δημιουργία ατμού</p> <p>Περιορίζεται σε μικρότερες μονάδες</p> <p>Ο συμπιεστής απαιτεί συχνή και εξειδικευμένη συντήρηση</p>

Επιγραμματικά, τα πλεονεκτήματα των διεργασιών Μεμβρανών, έναντι των Θερμικών διεργασιών είναι τα εξής:

- Μικρότερο κόστος επένδυσης και μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις
- Μικρότερο αποτύπωμα (γη και υλικά) και μεγαλύτερη ποσότητα παραγόμενου νερού αναλογικά με τον καταλαμβανόμενο χώρο
- Μεγαλύτερα ποσοστά ανάκτησης (μεγαλύτερη ποσότητα αφαιρούμενου νερού από την ίδια ποσότητα νερού τροφοδοσίας)
- Διαρθρωτικός σχεδιασμός που επιτρέπει μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα σε μεταβολές της παραγωγικότητας και μεγαλύτερη ευελιξία κατά τη συντήρηση
- Λιγότερο ευάλωτες διατάξεις σε διάβρωση και σχηματισμό αλάτων, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας (θερμοκρασίες περιβάλλοντος)
- Οι μεμβράνες αφαιρούν σε ικανοποιητικό βαθμό το μολυσματικό φορτίο του νερού

Αντιθέτως τα πλεονεκτήματα των Θερμικών διεργασιών, συγκριτικά με τις διεργασίες Μεμβρανών είναι τα παρακάτω:

- Ευρύτερα αναγνωρισμένες και καταξιωμένες διεργασίες αφαλάτωσης
- Παραγόμενο νερό καλύτερης ποιότητας
- Απαιτήση για λιγότερο ενδεδειγμένη και προσεκτική παρακολούθηση της λειτουργία τους
- Μεγαλύτερη ανοχή σε μεταβολές της ποιότητας/περιεκτικότητας του νερού τροφοδοσίας
- Απουσία του υψηλού κόστους της αντικατάστασης των μεμβρανών

Εν κατακλείδι, αναφέρεται, πως η μέθοδος της Αντίστροφης Όσμωσης έχει γενικά επικρατήσει στην αφαλάτωση του υφάλμυρου αλλά και του θαλασσινού νερού λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους επένδυσής της και της σχετικά χαμηλής ενεργειακής της κατανάλωσης. Η μέθοδος αυτή παρέχει αξιοπιστία σε όλο το εύρος της δυναμικότητας παραγωγής, είτε πρόκειται για λίγα ή αρκετά κυβικά μέτρα ανά ημέρα, παρουσιάζοντας παράλληλα μια εύκολη, σχετικά με τις άλλες μεθόδους, διαδικασία κατασκευής.

3.5 Χρήση ΑΠΕ στην αφαλάτωση – Προσαρμογή ΑΠΕ

3.5.1 Εισαγωγή

Από την μέχρι τώρα ανάλυση των δεδομένων, που σχετίζονται με την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, γίνεται αντιληπτός ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζει το ζήτημα της ενέργειας. Όπως ήδη αναφέρθηκε, σε προηγούμενη ενότητα, οι διεργασίες αφαλάτωσης χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα ενεργοβόρες, με προφανείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όταν τροφοδοτούνται ενεργειακά από συμβατικά δίκτυα ενέργειας (χρήση λιγνίτη, ντιζελογεννητριών κλπ). Επίσης σε περιπτώσεις απομονωμένων περιοχών, όπως είναι τα ελληνικά νησιά, η σύνδεση στο κεντρικό δίκτυο ενέργειας δεν είναι πάντοτε εφικτή, με αποτέλεσμα η ενεργειακή τροφοδοσία να γίνεται από μικρά τοπικά δίκτυα περιορισμένων δυνατοτήτων, τα οποία δύσκολα θα μπορούσαν να καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις μια μονάδας αφαλάτωσης.

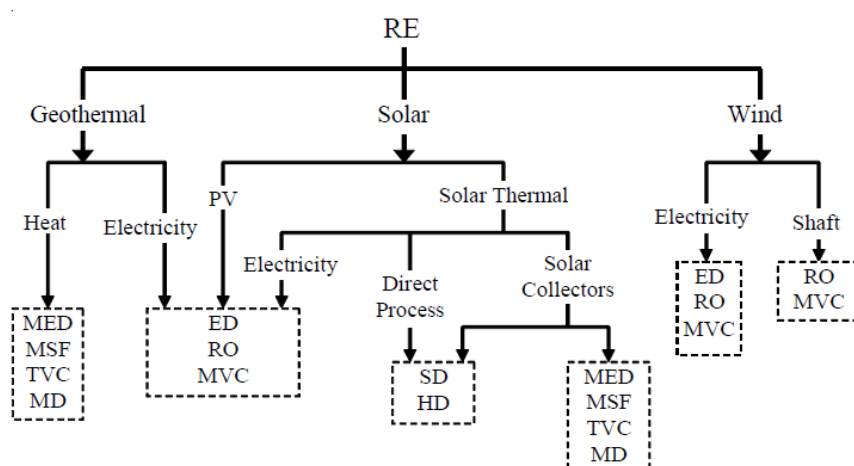
Με γνώμονα τα παραπάνω επιχειρείται ανάλυση των δυνατοτήτων χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τόσο μεμονωμένα, όσο και σε συνδυασμούς υβριδικών συστημάτων, για την τροφοδοσία των διεργασιών αφαλάτωσης, ενώ διερευνάται και η επίπτωση που έχει η χρήση τέτοιων συστημάτων στο κόστος του αφαλατωμένου νερού.

3.5.2 Κατάλληλοι συνδυασμοί ΑΠΕ – Αφαλάτωσης

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) θεωρούνται οικονομικές στη λειτουργία, δεδομένου ότι η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείτε είναι άφθονη στη φύση και δωρεάν (Ενεργειακό Γραφείο Του-Αιγαίου, 2009-2010). Επίσης, η εκμετάλλευσή τους δεν προκαλεί σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως είναι η παραγωγή επιβλαβών αερίων εκπομπών (π.χ. CO₂). Έτσι λοιπόν, η αφαλάτωση ύδατος με τη χρήση συστημάτων ΑΠΕ, είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία θεωρείται βιώσιμη σε πολλές περιπτώσεις απομονωμένων περιοχών οι οποίες αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η διαρκής ανάπτυξη της τεχνολογίας που συνδυάζει την αφαλάτωση με τις ΑΠΕ και η δημιουργία αρκετών τέτοιων μονάδων, ανά τον κόσμο, οι οποίες λειτουργούν με επιτυχία. Τα λειτουργικά δεδομένα και η εμπειρία, η οποία έχει αποκτηθεί από

αυτές τις μονάδες, επιτρέπει πλέον την λειτουργία συστημάτων Αφαλάτωσης με ΑΠΕ, υπό όρους αυξημένης αξιοπιστίας και μειωμένου κόστους σε σχέση με το παρελθόν. Σε θεωρητικό επίπεδο τα συστήματα αυτά παρέχουν αμείωτη δυνατότητα εφαρμογής σε διάφορες περιοχές, ενώ οι βασικές πηγές ενέργειας που αξιοποιούν είναι η Ηλιακή, η Αιολική και σε μικρότερο βαθμό η Γεωθερμική (Kalogiou, 2005).

Η τεχνολογία αξιοποίησης των ΑΠΕ και η τεχνολογία αφαλάτωσης είναι διαφορετικές και ο συνδυασμός τους μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Η ενέργεια που παράγεται από συστήματα ΑΠΕ και αξιοποιείται από τις διεργασίες αφαλάτωσης είναι η Θερμική, η Μηχανική και η Ηλεκτρική. Στο σχήμα του Διαγράμματος 3-16 περιλαμβάνονται οι συνηθέστεροι τρόποι συνδυασμού συστημάτων παραγωγής αυτών των μορφών ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές με τις υπάρχουσες διεργασίες αφαλάτωσης.



Διάγραμμα 3-16. Πιθανοί συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών ΑΠΕ (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007)

Δεν είναι όμως όλοι οι συνδυασμοί των τεχνολογιών αφαλάτωσης και συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, δυνατόν να χρησιμοποιηθούν εύκολα στην πράξη. Γενικότερα για την επιλογή κατάλληλου συστήματος ενεργειακής τροφοδότησης μιας μονάδας αφαλάτωσης ακολουθείται η εξής λογική: Συνδυάζονται τα συστήματα παραγωγής θερμικής ενέργειας (π.χ. συστήματα αξιοποίησης της Ηλιακής Θερμικής Ενέργειας και της Γεωθερμίας) με τις Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης και τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρομηχανικής ενέργειας (π.χ. Φωτοβολταϊκά πλαίσια και Ανεμογεννήτριες) με διαδικασίες αφαλάτωσης που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ. Βάσει της παραπάνω λογικής οι ακόλουθοι συνδυασμοί είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως σε περιπτώσεις που επιλέγονται ως ενεργειακές πηγές οι ανανεώσιμες (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007):

- ✓ Αντίστροφη Όσμωση (RO), Ηλεκτροδιάλυση (ED) ή Απόσταξη με Συμπίεση Ατμών (VC), οι οποίες τροφοδοτούνται από Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β) ή Ανεμογεννήτριες (Α/Γ).
- ✓ Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF), Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED ή MEB), οι οποίες τροφοδοτούνται από Ηλιακή Θερμική Ενέργεια ή Γεωθερμική ενέργεια.

Παρόλα αυτά, ο βέλτιστος συνδυασμός θα πρέπει να μελετάται κάθε φορά σε σχέση με σημαντικές τοπικές παραμέτρους της περιοχής εγκατάστασης, όπως οι γεωγραφικές συνθήκες, οι

διαθέσιμες πηγές ενέργειας και το κόστος τους, οι διαθέσιμες πηγές ύδατος προς αφαλάτωση (υφάλμυρο ή θαλασσινό ή μολυσμένο), οι απαιτούμενες ποσότητες αφαλάτωσης και γενικότερα οι διατιθέμενες υποδομές της περιοχής εγκατάστασης (συμπεριλαμβανομένου του δικτύου ηλεκτροδότησης). Επίσης, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και κάποιες γενικότερες παράμετροι, όπως η απαιτούμενη αντοχή του συστήματος, οι απαιτήσεις συντήρησης (συνήθως στις απομονωμένες περιοχές οι απαιτήσεις συντηρήσεις είναι μικρές), καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος για την αποφυγή προβλημάτων και την εξασφάλιση αξιοπιστίας στις συχνά δύσκολες συνθήκες που αντιμετωπίζουν τα συστήματα αυτά σε απομονωμένες περιοχές.

Στον Πίνακα 3-19, παρουσιάζονται οι καταλληλότεροι συνδυασμοί αφαλάτωσης - ΑΠΕ, βάσει κάποιων επιλεγμένων χαρακτηριστικών της εγκατάστασης. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι και άλλοι συνδυασμοί θα μπορούσαν να γίνουν, βάσει των δεδομένων στοιχείων του πίνακα, παρόλα αυτά έχουν επιλεγθεί οι δημοφιλέστεροι. Είναι σαφές ότι τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μικρών εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, σε περιοχές με έντονα επίπεδα ηλιοφάνειας. Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, μέσω Ανεμογεννητριών είναι προτιμότερη λύση λόγω των μικρότερων απαιτήσεων χώρου που αυτές διαθέτουν. Αυτές οι συνθήκες συνήθως συναντώνται σε νησιωτικές περιοχές, όπου ο χώρος είναι περιορισμένος, ο άνεμος είναι δυνατός και οι επίπεδοι χώροι για φιλοξενία Φωτοβολταϊκών κυψελών είναι περιορισμένοι (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007).

Πίνακας 3-19. Πιθανοί συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών ΑΠΕ, βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007)

Νερό τροφοδοσίας	Παραγόμενο νερό	Πηγή ΑΠΕ	Μέγεθος συστήματος (m ³ /day)			Κατάλληλος συνδυασμός
			Μικρό (1-50)	Μεσαίο (50-250)	Μεγάλο >250	
Υφάλμυρο	Απόσταγμα	Ηλιακή	•			Ηλιακή Απόσταξη
	Πόσιμο	Ηλιακή	•			Φ/Β-RO
	Πόσιμο	Ηλιακή	•			Φ/Β-ED
	Πόσιμο	Αιολική	•			Αιολική-RO
	Πόσιμο	Αιολική	•	•		Αιολική-ED
Θαλασσινό	Απόσταγμα	Ηλιακή	•	•		Ηλιακή Απόσταξη
	Απόσταγμα	Ηλιακή			•	Ηλιοθερμική-MED
	Απόσταγμα	Ηλιακή		•	•	Ηλιοθερμική-MED
	Πόσιμο	Ηλιακή	•			Φ/Β-RO
	Πόσιμο	Ηλιακή	•			Φ/Β-ED
	Πόσιμο	Αιολική	•			Αιολική-RO
	Πόσιμο	Αιολική	•	•		Αιολική-ED
	Πόσιμο	Αιολική	•	•	•	Αιολική-MVC
	Πόσιμο	Γεωθερμική		•	•	Γεωθερμική-MED
Πόσιμο	Γεωθερμική		•	•	Γεωθερμική-MED	

Ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης των δυνατών συνδυασμών διεργασιών αφαλάτωσης-ΑΠΕ αφορά τη δυνατότητα που αυτοί παρέχουν σχετικά με την χωροθέτηση των συστημάτων τους. Έτσι λοιπόν προκύπτουν οι παρακάτω δύο κατηγορίες (Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007):

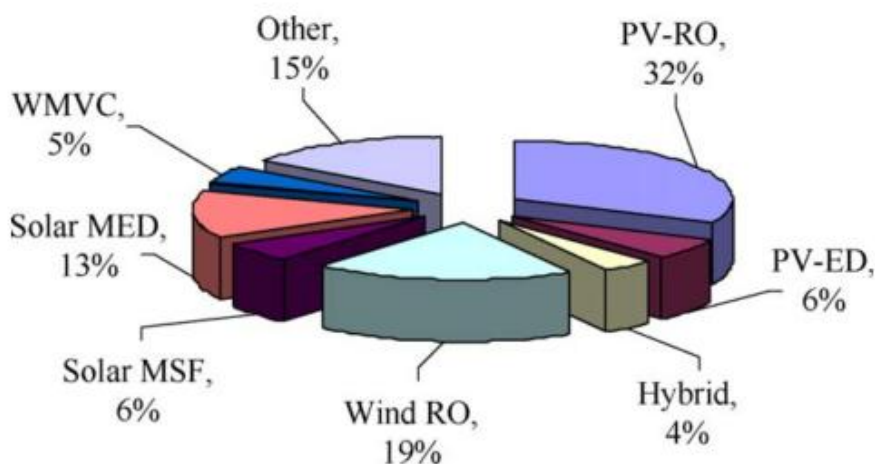
1. Διατάξεις που απαιτούν την ύπαρξη των συστημάτων αφαλάτωση και των συστημάτων ΑΠΕ στον ίδιο χώρο:

- ✓ Συνδυασμός Μηχανικής ενέργειας Α/Γ – MVC
- ✓ Συνδυασμός Ηλιακής Θερμικής Ενέργειας – TVC
- ✓ Συνδυασμός Ηλιακής Θερμικής Ενέργειας – MSF
- ✓ Συνδυασμός Ηλιακής Θερμικής Ενέργειας – MED
- ✓ Συνδυασμός Ηλιακής Θερμικής Ενέργειας - SD
- ✓ Συνδυασμός Γεωθερμικής ενέργειας (Θερμότητα) – TVC
- ✓ Συνδυασμός Γεωθερμικής ενέργειας (Θερμότητα) – MSF
- ✓ Συνδυασμός Γεωθερμικής ενέργειας (Θερμότητα) – MSF
- ✓ Συνδυασμός Γεωθερμικής ενέργειας (Θερμότητα) – MED

2. Διατάξεις που δεν απαιτούν την ύπαρξη των συστημάτων αφαλάτωση και των συστημάτων ΑΠΕ στον ίδιο χώρο:

- ✓ Συνδυασμός Ηλεκτρικής ενέργειας Α/Γ – MVC
- ✓ Συνδυασμός Ηλεκτρικής ενέργειας Α/Γ – RO
- ✓ Συνδυασμός Ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β – RO
- ✓ Συνδυασμός Ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β – MVC
- ✓ Συνδυασμός Ηλεκτρικής ενέργειας Γεωθερμίας – MVC
- ✓ Συνδυασμός Ηλεκτρικής ενέργειας Γεωθερμίας - RO

Από την παραπάνω ανάλυση καθίσταται σαφές ότι υπάρχουν πολλά κριτήρια που καθορίζουν την επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού αφαλάτωσης με κάποια από τις ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές, τα οποία μάλιστα διαφέρουν σημαντικά αναλόγως με την περιοχή της εγκατάστασης. Για το λόγο αυτό υπάρχει ένα μεγάλο εύρος εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν ΑΠΕ, οι οποίες διαφοροποιούνται, τόσο ως προς την τεχνολογία αφαλάτωσης, όσο και ως προς την επιλεγμένη πηγή ενέργειας, αναλόγως με τις κάθε φορά επικρατούσες συνθήκες εφαρμογής. Στο Γράφημα 3-2 αποτυπώνεται, η κατανομή των πραγματικών μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, ανά τον κόσμο.



Γράφημα 3-2. Η κατανομή των μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, βάσει της τεχνολογίας τους ^(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)

Από τα στοιχεία αυτά, φαίνεται ότι ο δημοφιλέστερος συνδυασμός αφορά την Αντίστροφη Όσμωση και την ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια (32%), ενώ υψηλά είναι και τα ποσοστά της Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ (19%). Επίσης σημαντική είναι και η συμμετοχή της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων, όσο και της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης, σε συνδυασμό με την Ηλιακή ενέργεια σε αυτά τα συστήματα, με ποσοστά 13% και 6% αντίστοιχα. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι το 4% των συστημάτων αυτών είναι Υβριδικά, χρησιμοποιώντας περισσότερες από μία τεχνολογίες, είτε αφαλάτωσης, είτε ΑΠΕ, ενώ υπάρχει και η κατηγορία των Λοιπών συστημάτων (15%), στην οποία ανήκουν και τα συστήματα που κάνουν χρήση Γεωθερμικής ενέργειας (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009).

3.5.3 Το κόστος του παραγόμενου νερού από συστήματα Αφαλάτωσης με ΑΠΕ

Παρόλο που δεν υπάρχουν εκτενείς μελέτες σχετικά με το κόστος του παραγόμενου νερού από συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ, οι τιμές που θεωρητικά υπολογίζονται είναι κατά πολύ υψηλότερες από αυτές των συμβατικών εγκαταστάσεων οι οποίες τροφοδοτούνται από το συμβατικό δίκτυο παροχής ενέργειας (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007).

Μια τάξη μεγέθους για το κόστος του παραγόμενου νερού, ανάλογα με την δυναμικότητα και ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας, φαίνεται στον Πίνακα 3-20.

Πίνακας 3-20. Κόστος παραγόμενου νερού ανάλογα με την αλμυρότητα και τη πηγή ενέργειας
(Μανωλάκος, 2012)

Τύπος νερού	Πηγή Ενέργειας	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	Συμβατική	0,21-1,06
	Φ/Β	4,5-10,32
	Γεωθερμία	2
Θαλασσινό	Συμβατική	0,35-2,70
	Άνεμος	1-5
	Φ/Β	3,14-9

Επίσης χαρακτηριστικά είναι τα μεγέθη του κόστους παραγόμενου νερού από διάφορες μονάδες αφαλάτωσης με ΑΠΕ, σε παγκοσμια κλίμακα (Πίνακας 3-21).

Πίνακας 3-21. Τυπικό κόστος παραγόμενου νερού από μονάδες αφαλάτωσης που κάνουν χρήση ΑΠΕ (Γξέν Ε., Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010)

Εγκατάσταση	Ισχύς ΑΠΕ	Δυναμικότητα Αφαλάτωσης (m ³ /day)	Ειδικό κόστος νερού (€/m ³)
SW Solar thermal MED, Almeria	500 m2	72	2,5-3
SW PV RO, Pojo Izquierdo	4,8 kWp PV	9,6	9
SW Wind RO, Pojo Izquierdo	15 kW WG	19	3-5
SW PV RO, Lampedusa	100 kWp PV	120	~6
SW Gethermal MED, Milo Island	61 °C	80	<1
SW Wind RO, Loughborough University UK	2,5 kW WG	12	1,75
SW Wind RO, Milos Island	Grid	2300	1,8

BW Hybrid RO, Maagan	600 W WG, 3,5 kWp PV	3	7,5
-------------------------	-------------------------	---	-----

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να αναρωτηθούμε αν το κόστος θα πρέπει να είναι καταλυτικός παράγοντας για την επιλογή τέτοιων συστημάτων, από τη στιγμή που η ύπαρξη τους θα έλυνε ουσιαστικά το πρόβλημα της υδροδότησης απομονωμένων περιοχών που αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας. Ταυτόχρονα, η ύπαρξη συστημάτων ΑΠΕ στις μονάδες αφαλάτωσης αποτελεί ανακούφιση του πολύπαθου περιβάλλοντος το οποίο καταστρέφεται από τις επικίνδυνες εκπομπές αερίων που συνδέονται με την παραγωγή και την κατανάλωση συμβατικής ενέργειας (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007).

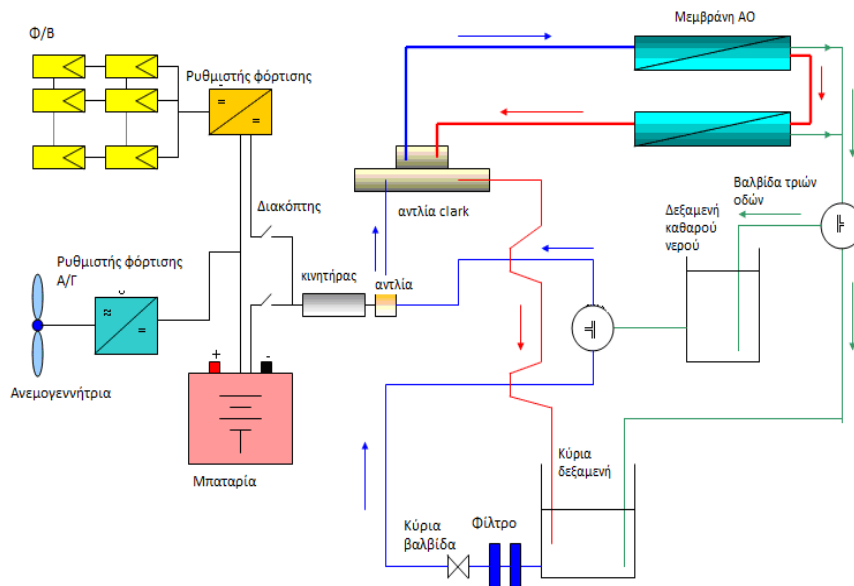
3.5.4 Αυτόνομα και συνδεδεμένα στο δίκτυο, συστήματα αφαλάτωσης - ΑΠΕ

Ένας παράγοντας σημαντικός για την επιλογή τεχνολογίας αφαλάτωσης, άλλα και πηγής ενεργειακής τροφοδοσίας είναι ο τύπος σύνδεσης των δύο τεχνολογιών μεταξύ τους. Έτσι λοιπόν διακρίνουμε τα αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης και τα συνδεδεμένα στο κεντρικό δίκτυο παροχής (μη - αυτόνομα συστήματα).

3.5.4.1 Αυτόνομα Συστήματα

Στα πλήρως αυτόνομα συστήματα η μονάδα ΑΠΕ διοχετεύει την ενέργεια που παράγει αποκλειστικά στη μονάδα αφαλάτωσης, με αποτέλεσμα το νερό να αφαλατώνεται με ενέργεια που παράγεται από το ίδιο το σύστημα. Με αυτό τον τρόπο, ούτε η μονάδα ΑΠΕ, ούτε η μονάδα αφαλάτωσης είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011). Στα συστήματα αυτά η λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταπεξέρχεται στη διακοπτόμενη ενεργειακή τροφοδοσία που οφείλεται στην φύση των ΑΠΕ. Με άλλα λόγια, η μονάδα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένη με συστήματα αποθήκευσης της επιπλέον ενέργειας, αλλά και συστήματα εξομάλυνσης της ενεργειακής παροχής, ώστε να μπορεί να λειτουργεί ομαλά και συνεχόμενα, εάν κάτι τέτοιο είναι (Tzen & Morris, 2003). Επίσης πολλές φορές τα αυτόνομα συστήματα χρησιμοποιούν ταυτόχρονα περισσότερες από μια διατάξεις αξιοποίησης ανανεώσιμων (π.χ. Φ/Β και Α/Γ) ή μη (π.χ. ντιζελογεννήτριες) ενεργειακών πηγών, ώστε να εξασφαλίζουν σε κάποιο βαθμό την συνεχή και αδιάκοπη λειτουργία τους αυξάνοντας ταυτόχρονα την αξιοπιστία τους (Υβριδικά συστήματα) (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007).

Τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν αυτά τα συστήματα, τα καθιστούν ιδανικά για χρήση σε απομονωμένες περιοχές με έλλειψη νερού και ταυτόχρονα υψηλό αιολικό και ηλιακό δυναμικό, όπως τα περισσότερα από τα νησιά του Αιγαίου. Η διάταξη ενός τυπικού αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης, σε τέτοιες περιοχές, αποτελείται από τη Μονάδα εκμετάλλευσης ΑΠΕ (Α/Γ, Φ/Β), το ρυθμιστή φόρτισης, τη διάταξη για την αποθήκευση της ενέργειας και το μετατροπέα ισχύος. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι ως διεργασία αφαλάτωσης επιλέγεται συνήθως η Αντίστροφη Όσμωση, κυρίως λόγω των μικρών ενεργειακών απαιτήσεων που έχει (Παπαδάκης, 2010). Στο Διάγραμμα 3-17, παρατίθεται η αναπαράσταση ενός τέτοιου συστήματος.



Διάγραμμα 3-17. Αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης συνδεδεμένο με Φ/Β και Α/Γ

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή της λειτουργίας ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης (island mode), χωρίς σύνδεση με το υφιστάμενο δίκτυο, δεν αποτελεί προτεραιότητα καθώς συνδέεται με ανεπαρκή λειτουργία και συνήθως γίνεται υπερδιαστασιολόγηση όλων των συστημάτων, ώστε να επιτευχθεί η κάλυψη των αναγκών. Αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία προβλημάτων χωροθέτησης, τη σημαντική αύξηση του κόστους της εγκατάστασης και τέλος τη δημιουργία λειτουργικά πολύπλοκων συστημάτων (ΙΤΑ, 2008). Παρόλα αυτά, τα αυτόνομα συστήματα αποτελούν συχνά τη μοναδική λύση για περιοχές που δεν συνδέονται με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά διαθέτουν τοπικά και «αδύναμα» δίκτυα, όπως είναι κάποια νησιά του Αιγαίου.

3.5.4.2 Συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας

Στα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα η μονάδα αφαλάτωσης καθώς και η μονάδα ΑΠΕ συνδέονται στο δίκτυο. Η ενεργειακή παροχή της μονάδας ΑΠΕ διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η μονάδα αφαλάτωσης τροφοδοτείται από το δίκτυο. Δηλαδή, η ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο για τη λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης ισοδυναμεί με την ενέργεια που παράγεται από την αντίστοιχη μονάδα ΑΠΕ. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ισορροπία παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας, άρα ενεργειακή αυτονομία των έργων και χαμηλή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Με κάπως απλοϊκό τρόπο θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι οι ΑΠΕ αναπληρώνουν στο δίκτυο την ενέργεια που καταναλώνουν τα συστήματα αφαλάτωσης για να λειτουργήσουν.

Οι μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με αυτό τον τρόπο διακρίνονται από αξιοπιστία, παράγοντας αφαλατωμένο νερό συνεχώς και όχι μόνο όταν τα φυσικά φαινόμενα το επιτρέπουν, όπως συμβαίνει στα αντίστοιχα αυτόνομα συστήματα με τον άνεμο και τον ήλιο. Ουσιαστικά, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε το σύστημα αφαλάτωσης και το σύστημα ΑΠΕ, ως ανεξάρτητα μεταξύ τους (Κάραλης & Ζούλιας, 2008). Ωστόσο, η παραγόμενη ενέργεια και η καταναλισκόμενη δεν πρέπει να είναι δυο μεγέθη ανεξάρτητα καθώς η νομοθεσία επιβάλλει την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ τους (Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου, 2011).

3.5.4.3 Σύγκριση των συστημάτων

Ακολουθεί εν συνεχεία έμμεση σύγκριση των αυτόνομων και των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο συστημάτων αφαλάτωσης, μέσω της συνοπτικής αναφοράς των πλεονεκτημάτων και τα μειονεκτημάτων των πρώτων, πάντοτε υπό το πρίσμα των δυνατοτήτων που υπάρχουν στα άνδρα ελληνικά νησιά του Αιγαίου (Ελληνικός Σύνδεσμος Αφαλάτωσης-Επεξεργασίας Νερού, 2010).

Μειονεκτήματα

1. Αναπόφευκτη υπερδιαστασιολόγηση των αυτόνομων συστημάτων

Για τη συντριπτική πλειοψηφία των ελληνικών νησιών οι μονάδες αφαλάτωσης θα πρέπει να καλύπτουν το σύνολο ή τουλάχιστον ένα μεγάλο ποσοστό των αναγκών σε νερό. Συνεπώς, η μονάδα αφαλάτωσης και το σύστημα παροχής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να καλύπτει, τόσο την ετήσια, όσο και την ημερήσια ζήτηση αιχμής για πόσιμο νερό, ανταποκρινόμενο άμεσα στις όποιες διακυμάνσεις. Βάσει των ανωτέρω, προκειμένου να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη κάλυψη της ζήτησης νερού θα πρέπει να υπερδιαστασιολογηθούν όλα τα υποσυστήματα της εγκατάστασης (μονάδες αφαλάτωσης, μονάδες ΑΠΕ και δεξαμενές λειτουργίας – τροφοδότησης) ώστε να εξομαλύνεται η ζήτηση, δεδομένου ότι οι ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές όπως η Ηλιακή και η Αιολική παρουσιάζουν εντονότερες διακυμάνσεις τόσο σε ημερήσια όσο και ωριαία κλίμακα. Η υπερδιαστασιολόγηση αυτή έχει άμεση και σημαντική επιβάρυνση του κόστους ενώ δημιουργεί ανάγκη για ύπαρξη μεγάλων εκτάσεων Γής, για την εγκατάσταση, πράγμα το οποίο σπανίζει στα μικρά και έντονου ανάγλυφου ελληνικά νησιά.

2. Μειωμένη αξιοπιστία και διαθεσιμότητα των αυτόνομων συστημάτων

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από αυξημένη πολυπλοκότητα, γεγονός που επιβαρύνει την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητά τους. Σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχουν, συγκριτικά με τα συνδεδεμένα συστήματα, λίγες εφαρμογές αυτόνομων συστημάτων με την πλειοψηφία τους υπό πειραματική μορφή ή σε μεγέθη αρκετά μικρότερα από τα εξεταζόμενα για εφαρμογές στα ελληνικά νησιά, κάτι που υποδηλώνει και τη σχετικά μικρή εμπειρία από τη λειτουργία τέτοιων συστημάτων. Μια ακόμα παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν εξετάζεται η εγκατάσταση ενός πλήρως αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης είναι η μειωμένη ευελιξία που αυτό παρέχει σε αιφνίδια περιστατικά βλαβών. Η αδυναμία λειτουργίας των συστημάτων ΑΠΕ, συνεπάγεται αδυναμία κάλυψης της ζήτησης νερού, δεδομένης της έλλειψης μιας συμβατικής πηγής ενέργειας η οποία θα λειτουργεί έως ότου επισκευασθεί η βλάβη. Ταυτόχρονα θα πρέπει να αναλογιστεί κάποιος την περιορισμένη προσβασιμότητα αρκετών από τα ελληνικά νησιά, είτε λόγω ελλιπούς ακτοπλοϊκής σύνδεσης είτε λόγω άσχημων καιρικών συνθηκών που απαγορεύουν τις μετακινήσεις, η οποία μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες στην αποστολή ανταλλακτικών ή στη μετάβαση στο νησί ειδικευμένου τεχνικού προσωπικού, μειώνοντας έτσι την διαθεσιμότητα ενός πλήρως αυτόνομου συστήματος σε περίπτωση βλάβης.

3. Ασυμβατότητα κριτηρίων χωροθέτησης έργων

Στα αυτόνομα συστήματα απαιτείται η χωροθέτηση της μονάδας αφαλάτωσης και των συστημάτων ΑΠΕ στον ίδιο χώρο. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα και σε κάποιες περιπτώσεις δυσχεραίνει την υλοποίηση έργων καθώς τα κριτήρια χωροθέτησης μονάδων αφαλάτωσης και μονάδων ΑΠΕ είναι συχνά αντικρουόμενα. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι οι μονάδες αφαλάτωσης

πρέπει να τοποθετούνται σε όσο το δυνατόν πιο προστατευμένες από πλευράς ανέμου περιοχές για την προστασία των υποδομών υδροληψίας ή κατά το δυνατόν εγγύτερα στους οικισμούς με τις βασικές καταναλώσεις νερού, δεδομένα προφανώς ασύμβατα με τη χωροθέτηση Ανεμογεννητριών.

4. Μειωμένος βαθμός εκμετάλλευσης δυναμικού ΑΠΕ

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της ζήτησης νερού στα ελληνικά νησιά, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, είναι ο εποχικός χαρακτήρας, που αυτή παρουσιάζει. Συγκεκριμένα, η θερινή ζήτηση νερού είναι πολλαπλάσια της χειμερινής, λόγω της έντονης τουριστικής δραστηριότητας. Όπως και προηγουμένως αναφέρθηκε το γεγονός αυτό προκαλεί την υπερδιαστασιολόγηση της μονάδα αφαλάτωσης αλλά και της μονάδας ΑΠΕ δημιουργώντας εκτός των άλλων αδυναμία εκμετάλλευσης του ανανεώσιμου δυναμικού κατά την χειμερινή περίοδο. Παραδείγματος χάριν, το αιολικό δυναμικό της χειμερινής περιόδου στα ελληνικά νησιά είναι ιδιαίτερα υψηλό, ωστόσο λόγω της αισθητά μειωμένης ζήτησης νερού το χειμώνα, σε ένα αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης το δυναμικό αυτό δεν θα μπορούσε να αξιοποιηθεί πλήρως, την ώρα που σε ένα αντίστοιχο συνδεδεμένο με το δίκτυο σύστημα αφαλάτωσης, η παραπάνω ενέργεια της χειμερινής περιόδου θα διοχετευόταν στο δίκτυο ηλεκτροδότησης και θα αξιοποιούνται πλήρως.

Πλεονεκτήματα

1. Μοναδική λύση σε κορεσμένα ή απομακρυσμένα ηλεκτρικά δίκτυα, με αδυναμία τροφοδότησης ενεργοβόρων δραστηριοτήτων όπως η αφαλάτωση

Η δυνατότητα των αυτόνομων συστημάτων να μην απαιτούν σύνδεση σε κάποιο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς παράγουν μόνα τους την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία τους, αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα για την εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης σε περιοχές όπως τα απομονωμένα ελληνικά νησιά, όπου δεν υπάρχει κάλυψη κεντρικού δικτύου ή το τοπικό δίκτυο έχει περιορισμένες δυνατότητες, ενώ το κόστος χρήσης του είναι ιδιαίτερα υψηλό. Με άλλα λόγια δεδομένης της κατάστασης των δικτύων ηλεκτροδότησης των περιοχών αυτών, τα αυτόνομα συστήματα φαντάζουν ως η μοναδική λύση.

2. Ευκολότερη αδειοδότηση των αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης

Δεδομένου ότι οι αυτόνομες μονάδες αφαλάτωσης δεν εμπλέκονται στο ηλεκτρικό σύστημα του εκάστοτε νησιού, δεν απαιτείται αδειοδότηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε αποφεύγεται η σχετικά πολύπλοκη και χρονοβόρα αδειοδοτική διαδικασία δίνοντας έτσι δυνατότητα για ταχύτερη περάτωση του έργου.

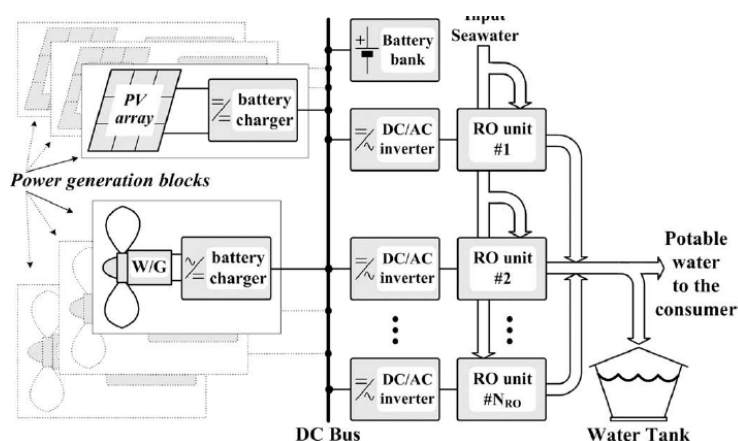
3.5.5 Υβριδικά συστήματα

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η παραγωγή ενέργειας σε αυτόνομα συστήματα, μπορεί να στηρίζεται στη συνεργασία ενεργειακών πηγών διαφόρων ειδών, όπου η κάθε πηγή λειτουργεί συμπληρωματικά των υπολοίπων. Το σύστημα σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται υβριδικό, καθώς αποτελείται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών.

Αυτή η παράλληλη χρήση συστημάτων ενεργειακής τροφοδότησης αυξάνει την αξιοπιστία και την διαθεσιμότητα, καθώς σε περιπτώσεις βλάβης ή γενικά, αδυναμίας παροχής ενέργειας από κάποια πηγή, χρησιμοποιούνται οι εφεδρικές, οπότε το σύστημα δεν τίθεται εκτός λειτουργίας. Επίσης, η χρήση παραπάνω από μιας πηγών ενέργειας αυξάνει την ευελιξία και την συνεχή παραγωγή της

μονάδας. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας. Ασφαλώς, υπάρχει και μια αύξηση στο κόστος επένδυσης και εγκατάστασης της μονάδας.

Συνήθως οι πηγές που επιλέγονται για να λειτουργήσουν παράλληλα είναι η αιολική και η ηλιακή, ενώ δεν αποκλείεται και η ύπαρξη μη-ανανεώσιμων πηγών, όπως για παράδειγμα οι γεννήτριες, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007). Ειδικότερα, στα αυτόνομα υβριδικά Φωτοβολταϊκά συστήματα, η συνεργασία της Φ/Β γεννήτριας γίνεται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη ντίζελ ή με Ανεμογεννήτριες (Διάγραμμα 3-18) ή και με τα δύο. Θα πρέπει να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι συχνά η οικονομική σύγκριση του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας ενός υβριδικού σε σχέση με το αντίστοιχο αποκλειστικά, για παράδειγμα, Φωτοβολταϊκό σύστημα, είναι θετική υπέρ του υβριδικού συστήματος (Ενεργειακό Γραφείο Του-Αιγαίου, 2009-2010).



Διάγραμμα 3-18. Το παράδειγμα ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση και ενέργεια από Φωτοβολταϊκά και Ανεμογεννήτριες (Koutroulis & Kolokotsa, 2010)

3.5.6 Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τόσο για την ενεργειοδότηση των διεργασιών αφαλάτωσης, όσο και γενικότερα, είναι σημαντικά και σχετίζονται με τα ακόλουθα ζητήματα (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007):

- Ο σημαντικότερος ίσως παράγοντας που συνηγορεί στην χρήση ΑΠΕ αφορά την αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος, για την οποία σε μεγάλο βαθμό ευθύνεται η χρήση ορυκτών καυσίμων όπως το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και ο λιγνίτης, με τις υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση απειλεί ολοένα και περισσότερο τον πλανήτη μας και μπορεί να περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση καθαρών πηγών ενέργειας. Άλλωστε, το πρωτόκολλο του Κιότο επιτάσσει τη σημαντική μείωση αυτών των εκπομπών, για διάφορες χώρες του κόσμου μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα και η παράβαση του επιφέρει αυστηρές ποινές στους «παραβάτες». Συνειδητοποιούμε λοιπόν ότι οι ΑΠΕ φαντάζουν ιδανική λύση για την αφαλάτωση, μιας και η ενέργεια που αυτή καταναλώνει είναι ιδιαίτερα υψηλή.
- Οι απομονωμένες και απομακρυσμένες άνυδρες περιοχές, όπως τα νησιά του Αιγαίου πελάγους, συχνά διαθέτουν υψηλά επίπεδα ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών όπως ο δυνατός άνεμος και η έντονη ηλιοφάνεια, ενώ η τροφοδοσία από το συμβατικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι προβληματική ή ακόμη και αδύνατη σε πολλές περιπτώσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ΑΠΕ

εκπροσωπούν τον καλύτερο τρόπο ενεργειακής τροφοδοσίας αυτόνομων συστημάτων ασφαλάτωσης, για την επίλυση των προβλημάτων λειψυδρίας.

- Συνήθως σε αυτές τις άνυδρες νησιωτικές περιοχές, η πιο έντονη ζήτηση νερού, που οφείλεται κυρίως στον τουρισμό, συμπίπτει χρονικά με την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα πηγών ενέργειας, όπως ο ήλιος, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του χρόνου. Έτσι λοιπόν, οι ΑΠΕ παρέχουν σε μεγάλο βαθμό τη δυνατότητα κάλυψης της αυξημένης ζήτησης ενέργειας από μια μονάδα ασφαλάτωσης, εφόσον η λειτουργία τους τη δεδομένη στιγμή χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση.
- Τόσο τα συστήματα ασφαλάτωσης, όσο και τα συστήματα ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από έντονα τοπικό χαρακτήρα και αυτάρκεια. Με την εγκατάσταση, επομένως, τέτοιων συστημάτων σε μικρές και απομονωμένες σχετικά κοινωνίες επιτυγχάνονται πολλαπλά κοινωνικοοικονομικά οφέλη, καθώς ενισχύεται σε μεγάλο βαθμό η τοπική οικονομία, μέσω της χρησιμοποίησης τοπικών πόρων και ανθρώπινου δυναμικού. Επίσης, θα πρέπει να γίνει σαφές ότι σε πολλές περιπτώσεις απομονωμένων περιοχών τα συστήματα ΑΠΕ είναι πολύ πιο εύκολα στη λειτουργία και τη συντήρηση τους από τα συμβατικά συστήματα παροχής ενέργειας.
- Η χρήση ΑΠΕ επιτρέπει την ποικιλομορφία στη χρήση πηγών ενέργειας και ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση των διάφορων περιοχών, τόσο σε τοπικό, όσο και σε εθνικό επίπεδο. Συγκεκριμένα η Ελλάδα, με τα μεγάλα «αποθέματα» ΑΠΕ, όπως ο ήλιος και ο άνεμος θα μπορούσε κάποια στιγμή στο μέλλον με τις κατάλληλες εφαρμογές εναλλακτικών συστημάτων ενεργειοδότησης να σταματήσει να εξαρτάται σε τόσο μεγάλο βαθμό από ξένες χώρες, οι οποίες την προμηθεύουν με συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο.

3.5.7 Λόγοι της μέχρι τώρα χαμηλής χρήσης/διείσδυσης των ΑΠΕ στην ασφαλάτωση

Παρόλα αυτά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η διείσδυση των ΑΠΕ στις εφαρμογές ασφαλάτωσης που υπάρχουν ανά τον κόσμο είναι πολύ μικρή, αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για ανατροπή αυτής της κατάστασης. Σύμφωνα με στοιχεία που υπάρχουν το νερό που παράγεται από μονάδες ασφαλάτωσης που κάνουν χρήση ΑΠΕ αντιπροσωπεύει μόλις το 0.02% της συνολικής παραγωγής. Οι αιτίες για αυτή την μικρή διείσδυση των ΑΠΕ είναι ποικίλες και συχνά συνδέονται μεταξύ τους. Οι σημαντικότερες από αυτές αναφέρονται στη συνέχεια:

- Η χρήση ΑΠΕ στην ασφαλάτωση ουσιαστικά αφορά τη σύζευξη δύο διαφορετικών τεχνολογιών, αυτή της ενεργειακής μετατροπής και αυτή της ασφαλάτωσης. Παρόλο που και οι δύο αυτές τεχνολογίες θεωρούνται ώριμες σε κάποιο βαθμό, υπάρχουν ακόμα σημαντικά περιθώρια βελτίωσης, ειδικά όσον αφορά την τεχνολογία των συστημάτων ΑΠΕ, σε θέματα που αφορούν την απόδοση, το μέγεθος, αλλά και το κόστος.
- Η εκμετάλλευση των ΑΠΕ, αλλά και η λειτουργία μονάδων ασφαλάτωσης απαιτούν ακριβές εγκαταστάσεις. Επί του παρόντος, οι τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται τις ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές δεν θεωρούνται πλήρως ώριμες και για το λόγο αυτό πολλά από τα εξαρτήματα των συστημάτων αυτών είναι ιδιαίτερα ακριβά. Παρόλο που το κόστος των συστημάτων αυτών μειώνεται διαρκώς, υπάρχουν ακόμα πολλές περιπτώσεις που η εμπορική χρήση τους παραμένει ασύμφορη.

- Οι ανανεώσιμες πηγές είναι απεριόριστες και δεν εξαντλούνται, εν τούτοις, ο εφήμερος και περιοδικός χαρακτήρας τους θέτει περιορισμούς στην μέγιστη αξιοποίηση τους. Επίσης, η γεωγραφική κατανομή των ΑΠΕ, δεν αναλογεί πάντοτε στην έλλειψη νερού σε τοπικό επίπεδο, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία σε αρκετές περιπτώσεις η χρήση συμβατικών πηγών.
- Σε πολλές περιπτώσεις απομονωμένων περιοχών με έλλειψη νερού, οι υποδομές που διατίθενται χαρακτηρίζονται ως ανεπαρκείς με αποτέλεσμα να μην μπορεί να υποστηριχθεί η εγκατάσταση και η λειτουργία συστημάτων υψηλής τεχνολογίας, όπως τα συστήματα εκμετάλλευσης των ΑΠΕ. Πιο συγκεκριμένα, σε τέτοιες περιπτώσεις, υπάρχει κίνδυνος μη αποτελεσματικής λειτουργίας των μονάδων, ελλείψει αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης, αλλά και γενικότερα υποστηρικτικών συστημάτων (Mathioulakis, Belessiotis, & Delyannis, 2007).

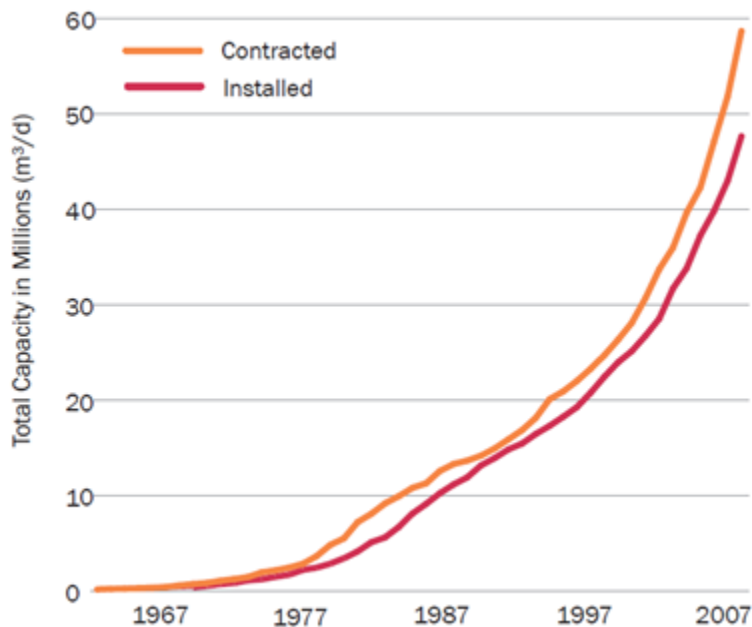
Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η χρήση των ΑΠΕ αυξάνει κατά πολύ το κόστος της επένδυσης, ιδιαίτερα μάλιστα σε περιπτώσεις αυτόνομων υβριδικών συστημάτων. Παραταύτα, το υψηλό κόστος της χρήσης ΑΠΕ, αντισταθμίζεται από τα σημαντικότερα οφέλη που συνδέονται με τη χρήση τέτοιων καθαρών πηγών. Έτσι λοιπόν, μειώνεται η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και οι σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτή συνεπάγεται, μειώνεται το κόστος για την αγορά συμβατικών καυσίμων, το οποίο μάλιστα διαρκώς αυξάνεται, ενώ τέλος, μετριάζεται σε κάποιο βαθμό η ενεργειακή εξάρτηση από συγκεκριμένες χώρες.

Κλείνοντας αυτό το κομμάτι, θα ήταν σημαντικό να τονιστεί η σημαντική δυνατότητα που παρέχουν τα συστήματα ΑΠΕ, κατά τη λειτουργία τους με μονάδες αφαλάτωσης, για την εγκατάσταση αυτόνομων μονάδων παραγωγής πόσιμου νερού σε περιοχές απομονωμένες, όπως τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου. Τα μέρη αυτά, τα οποία δεν μπορούν εύκολα να υποστηρίξουν την εγκατάσταση συμβατικών μονάδων αφαλάτωσης, με τα περιορισμένων δυνατοτήτων δίκτυα που διαθέτουν, φαίνεται να στηρίζουν την βιωσιμότητα των κοινωνιών τους στην παράγωγη νερού από τη θάλασσα, μέσω αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης.

3.6 Καταγραφή των μονάδων αφαλάτωσης ανα τον κόσμο

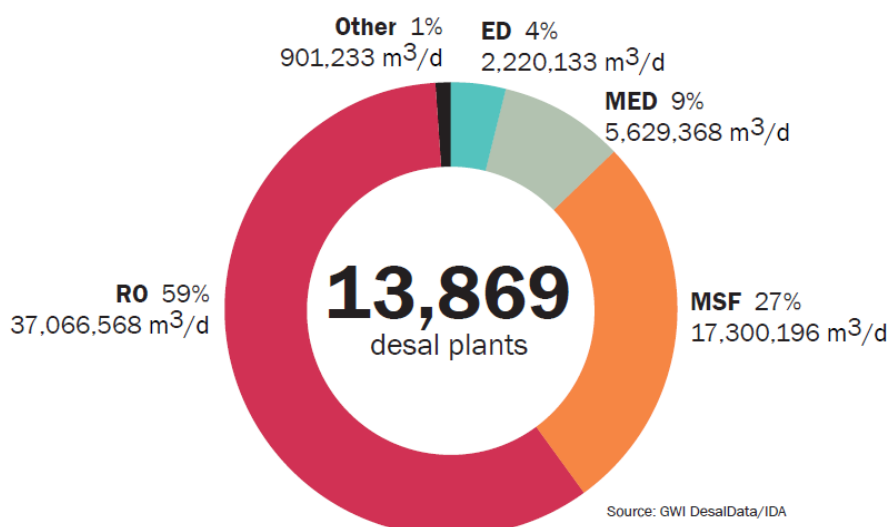
3.6.1 Η παγκόσμια δυναμικότητα αφαλάτωσης

Η παγκόσμια δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης κατά το έτος 2000, υπολογίζεται περίπου σε $22 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ (Seawater desalination using renewable energy sources). Η διαχρονική ανάπτυξη των συστημάτων αφαλάτωσης παγκοσμίως ακολουθεί την πορεία, που αποτυπώνεται στο Γράφημα 3-3, το οποίο περιέχει την εξέλιξη στη δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης, ανά τον κόσμο, από το έτος 1966 έως το έτος 2007. Από στοιχεία, τα οποία καλύπτουν και τους έξι πρώτους μήνες του έτους 2008, υπολογίζεται ότι παγκοσμίως η ημερήσια συνολική δυναμικότητα των εγκατεστημένων μονάδων φτάνει τα $52.333.950 \text{ m}^3/\text{day}$, ενώ αν ληφθούν υπόψη και οι συμβολαιοποιημένες (contracted) μονάδες που θα λειτουργήσουν μελλοντικά η τιμή αυτή φτάνει τα $62.750.220 \text{ m}^3/\text{day}$ (IDA, 2008).



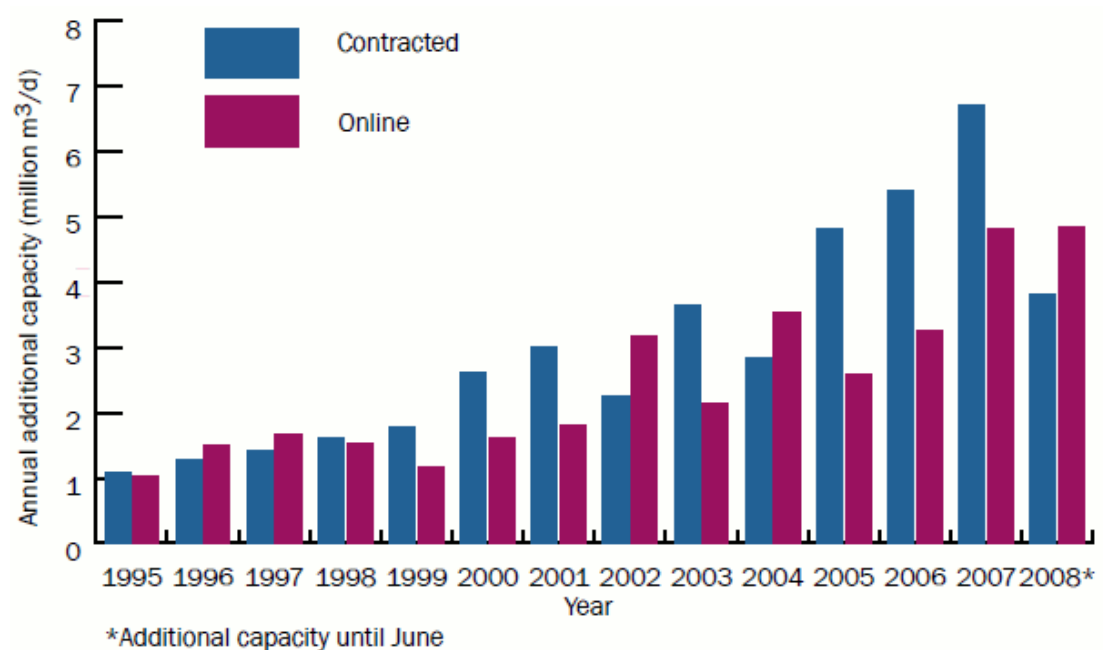
Γράφημα 3-3. Η δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης, παγκοσμίως, από το έτος 1966 έως το 2007 (IDA, 2008)

Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία την περίοδο αυτή λειτουργούσαν παγκοσμίως περίπου 14.000 μονάδες αφαλάτωσης, διαφόρων τεχνολογιών, με κυρίαρχη αυτή της Αντίστροφης Όσμωσης (Γράφημα 3-4) (IDA, 2008).



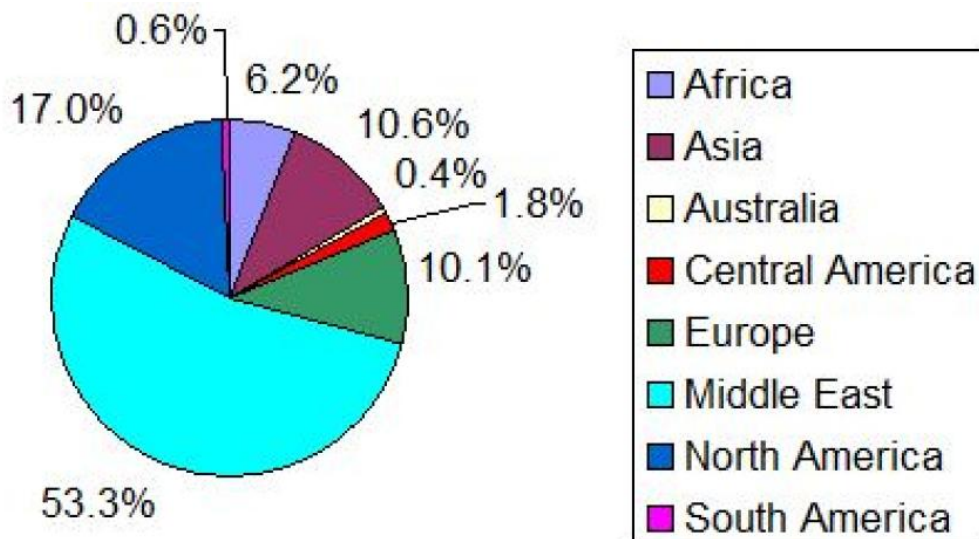
Γράφημα 3-4. Οι μονάδες αφαλάτωσης ανά τον κόσμο βάσει της τεχνολογίας αφαλάτωσης (IDA, 2008)

Βάσει νεότερων στοιχείων, υπολογίζεται ότι το έτος 2011 η συνολική δυναμικότητα ήταν περίπου $67 \cdot 10^6$ m³/day, ενώ το 2012 φτάνει περίπου τα $79 \cdot 10^6$ m³/day (Voutchkov, 2012). Με την πάροδο των ετών, γενικότερα, παρατηρείται σημαντική αύξηση στην ετήσια προστιθέμενη δυναμικότητα, τόσο των λειτουργούντων μονάδων αφαλάτωσης, όσο και αυτών που προγραμματίζεται η κατασκευή τους (συμβολαιοποιημένων-contracted). Για παράδειγμα, η ετήσια νέα (συμβολαιοποιημένη-contracted) δυναμικότητα των μονάδων αφαλάτωσης, αυξήθηκε από $1,1 \cdot 10^6$ m³/d, το 1995, σε $6,7 \cdot 10^6$ m³/d, το έτος 2007. Δηλαδή η ετήσια αύξηση της ποσότητας αφαλάτωσης νερού παγκοσμίως, εξαπλασιάστηκε κατά τα έτη 1995-2007 (Γράφημα 3-5) (GWI, 2008).



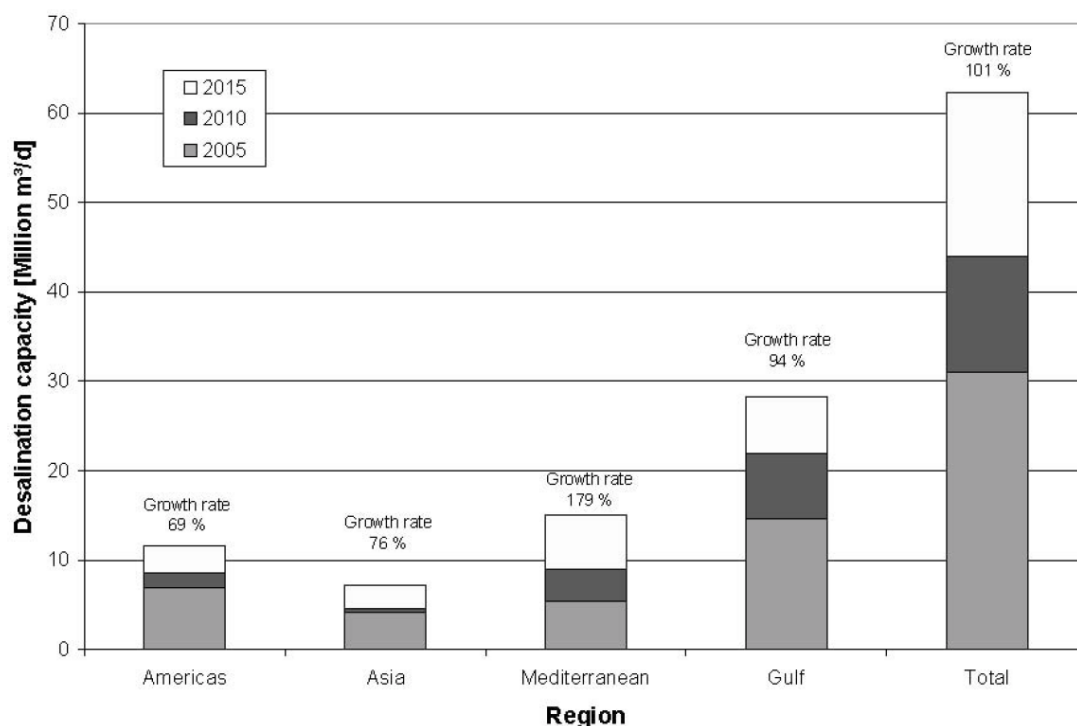
Γράφημα 3-5. Εξαπλασιασμός της ετήσιας αγοράς αφαλάτωσης μέσα σε 12 χρόνια (1995-2005)
(GWI, 2008)

Σήμερα (έτος 2012), υπολογίζεται ότι λειτουργούν συνολικά στον κόσμο 16.000 μονάδες αφαλάτωσης. Από αυτές το 60% χρησιμοποιεί την τεχνολογία της Αντίστροφης Όσμωσης ($40 \cdot 10^6$ m³/d), το 34% χρησιμοποιεί Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης ($23 \cdot 10^6$ m³/d), ενώ σε ένα ποσοστό 4% και 2% χρησιμοποιείται η τεχνολογία της Ηλεκτροδιάλυσης και οι λοιπές διεργασίες αφαλάτωσης, αντίστοιχα (Voutchkon, 2012). Οι μονάδες αυτές εντοπίζονται σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Η περιοχή με τις περισσότερες μονάδες αφαλάτωσης είναι η Μέση Ανατολή (Περιοχή του Κόλπου-Gulf Region), όπου η χαμηλή τιμή των ορυκτών καυσίμων επιτρέπει τη μεγάλη χρήση μονάδων αφαλάτωσης, οι οποίες είναι αρκετά ενεργοβόρες. Ακολουθούν οι περιοχές της Μεσογείου, της Αμερικής αλλά και της Ασίας (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007). Όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο Γράφημα 3-6, περίπου το 53,3% της παγκόσμιας παραγωγής νερού από συστήματα αφαλάτωσης εντοπίζεται στη Μέση Ανατολή, το 17,6% στην Βόρεια Αμερική, το 10,6% στην Ασία και το 10,1% στην Ευρώπη. Μικρότερα είναι τα ποσοστά που καταγράφονται στην Αφρική, την Αυστραλία, τη Νότια αλλά και Κεντρική Αμερική.



Γράφημα 3-6. Η παγκόσμια παραγωγή των μονάδων αφαλάτωσης ανά περιοχή του πλανήτη (στοιχεία του 2010) (Clayton, 2011)

Οι περιοχές του Κόλπου θα συνεχίζουν και μελλοντικά να αποτελούν τη μεγαλύτερη αγορά για τα συστήματα αφαλάτωσης, λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της αντικατάστασης πολλών παλαιών εργοστασίων. Προβλέπεται μάλιστα σε αυτές τις περιοχές να παρατηρηθεί διπλασιασμός της δυναμικότητας έως το 2015. Οι περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο, μάλιστα, προβλέπεται ότι θα σημειώσουν τη μεγαλύτερη αύξηση (179 %) στην ποσότητα του νερού που παράγουν από αφαλάτωση, ενώ μικρότερη θα είναι η αύξηση αυτή στην Ασία (76 %) και την Αμερική (69%) (Γράφημα 3-7) (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007).



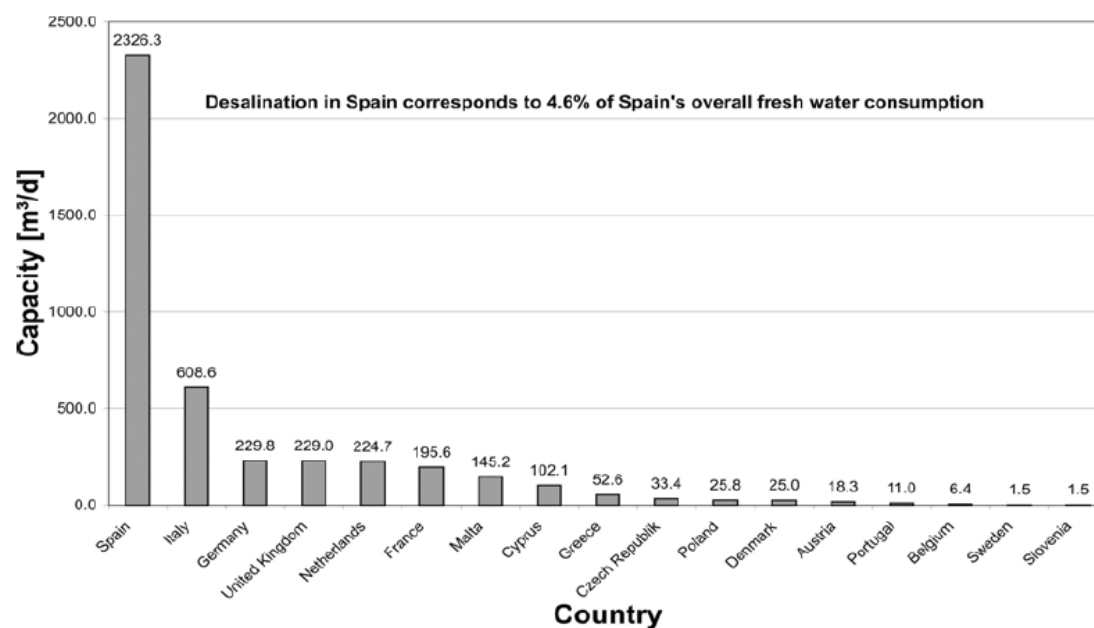
Γράφημα 3-7. Η αναμενόμενη αύξηση της παραγωγής αφαλατωμένου νερού, ανά περιοχή, έως το 2015 (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)

Μια πιο επικεντρωμένη έρευνα στις ποσότητες του νερού που παράγονται σε διάφορες χώρες του κόσμου, καταλήγει στις 10 χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή αφαλατωμένου νερού στον κόσμο (στοιχεία έως τους έξι πρώτους μήνες του έτους 2008). Όπως παρατηρείται από το σχετικό Πίνακα 3-22 οι 10 χώρες αυτές παράγουν το 71% της παγκόσμιας ποσότητας αφαλατωμένου νερού (IDA, 2008).

Πίνακας 3-22. Οι 10 χώρες με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα αφαλάτωσης στον κόσμο (IDA, 2008)

Χώρα	Παραγωγή αφαλατωμένου νερού (m ³ /day)	Ποσοστό επί της παγκόσμιας ποσότητας αφαλατωμένου νερού (%)
Saudi Arabia	10.759.693	17
United Arab Emirates (UAE)	8.428.456	13
USA	8.133.415	13
Spain	5.249.536	8
Kuwait	2.876.625	5
Algeria	2.675.958	4
China	2.259.741	4
Qatar	1.7128.86	3
Japan	1.493.158	2
Australia	1.184.812	2
ΣΥΝΟΛΟ	44.774.280	71

Συγκεκριμένα στην Ευρώπη, βάσει στοιχείων του έτους 2004, η δυναμικότητα αφαλάτωσης κατανέμεται μεταξύ των διαφόρων χωρών, όπως παρουσιάζεται στο Γράφημα 3-8. Η μεγαλύτερη παραγωγή νερού μέσω αφαλάτωσης καταγράφεται στην Ισπανία, ενώ ακολουθούν με πολύ χαμηλότερα ποσοστά η Ιταλία, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Η Ελλάδα, τη δεδομένη χρονική στιγμή, παρουσιάζει μια ημερήσια δυναμικότητα 52,6 m³/day και παρουσιάζει την ένατη μεγαλύτερη δυναμικότητα (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007).



Γράφημα 3-8. Η δυναμικότητα της αφαλάτωσης στη Ευρώπη (Μόνο οι μονάδες με δυναμικότητα μεγαλύτερη των 700 m³/day έχουν καταγραφεί) (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens, & Melin, 2007)

3.6.2 Οι μεγαλύτερες μονάδες αφαλάτωσης στον κόσμο

Η πλειοψηφία των μεγάλων, υπό λειτουργία ή υπό κατασκευή, μονάδων αφαλάτωσης, χρησιμοποιούν ως νερό τροφοδοσίας το θαλασσίνο και εντοπίζονται, όπως ήδη αναφέρθηκε, κατά

κύριο λόγο, στην περιοχή της Μέσης Ανατολής. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η μονάδα “Jebel Ali” στο Dubai, η οποία έχει τη δυνατότητα παραγωγής 600.000 m³/day. Τη μεγαλύτερη παραγωγή αφαλατωμένου νερού από μια αυτόνομη μονάδα, επιτυγχάνει η εγκατάσταση MSF “Shuaiba 3”, στις ανατολικές ακτές της Σαουδικής Αραβίας, η οποία τροφοδοτεί με νερό 880.000 m³/day τις πόλεις “Jeddah”, “Makkah” και “Taif” (Εικόνα 3-12). Ιδιαίτερος μεγάλης δυναμικότητας είναι και η μονάδα “Ras Al-Zour”, επίσης στη Σαουδική Αραβία, η οποία έχει τη δυνατότητα αφαλάτωσης 800.000 m³/day (Henthorne, 2012). Οι μονάδες, που αναφέρθηκαν, περιέχονται στον πίνακα του Παραρτήματος Α, στον οποίο περιλαμβάνονται οι 100 μονάδες αφαλάτωσης με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα στον κόσμο (βάσει στοιχείων του 2005). Ενδεικτικά στον Πίνακα 3-23, παρατίθενται οι 20 μεγαλύτερες από αυτές (Gleick, David Katz, & Lee., 2006).



Εικόνα 3-12. Η μονάδα αφαλάτωσης MSF “Shuaiba 3”

Πίνακας 3-23. Οι 20 μονάδες αφαλάτωσης με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα στον κόσμο (βάσει στοιχείων του 2005) (Gleick, David Katz, & Lee., 2006)

Χώρα, Τοποθεσία	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Νερό τροφοδοσίας	Προγραμματισμένο έτος λειτουργίας
Saudi Arabia SA, Shuaiba III	880,000	SEA	2007
Saudi Arabia SA, Ras Al-Zour	800,000	SEA	2007
Saudi Arabia SA, Al Jobail II Ex	730,000	SEA	2007
UAE AE, Jebel Ali M	600,000	SEA	2011
Kuwait KW, Al-Zour North	567,000	SEA	2007
UAE AE, Shuweihat	455,000	SEA	2004
UAE AE, Shuweihat 2	454,600	SEA	2006
USA US, CA SanFrancisco	454,200	SEA	2008
UAE AE, Fujairah II	454,000	SEA	2007
UAE AE, Qidfa	454,000	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Al Jobail	408,600	SEA	2007
Israel IL, Ashkelon	395,000	SEA	2004
Saudi Arabia SA, Shuaiba III	390,908	SEA	2003
UAE AE, Jebel Ali L-2	363,200	SEA	2007
USA US, TX Pt. Comfort	340,650	SEA	2006
UAE AE, Jebel Ali L-1	317,800	SEA	2005
UAE AE, Jebel Ali N	300,000	SEA	2013
Kuwait KW, Sulaibya	300,000	WASTE	2003
India IN, Minjur Chennai	300,000	SEA	2006
UAE AE, Taweelah B III	295,490	SEA	2008

Δεδομένου ότι η τεχνολογία της Αντίστροφης Όσμωσης αποτελεί την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αφαλάτωσης, με μεγάλες προοπτικές εξοικονόμησης ενέργειας και παραγωγής νερού σε ικανοποιητικές τιμές κόστους, παρατίθενται οι Πίνακες 3-24 και 3-25, στους οποίους αναφέρονται μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης της εν λόγω τεχνολογίας, οι οποίες λειτουργούν ή βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της (Poseidon Resources Corporation, 2010).

Πίνακας 3-24. Μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης ανά τον κόσμο (Poseidon Resources Corporation, 2010)

Εγκατάσταση/Περιοχή	Δυναμικότητα (mgd)	Δυναμικότητα (m ³ /day)
Tampa Bay Desalination Plant, USA	25,00	94.635,29
Point Lisas, Trinidad	28,80	109.019,86
Almeria, Spain	13,20	49.967,44
Las Palmas – Telde	9,20	34.825,79
Larnaca, Cyprus	14,20	53.752,85
Muricia, Spain Design-Bid-Build	17,20	65.109,08
The Bay of Palma/Palma de Mallorca	16,60	62.837,84
Dhekelia, Cyprus	10,60	40.125,36
Marbella – Malaga, Spain	14,50	54.888,47

Πίνακας 3-25. Μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης, υπό σχεδιασμό/κατασκευή, ανά τον κόσμο (Poseidon Resources Corporation, 2010)

Εγκατάσταση/Περιοχή	Δυναμικότητα (mgd)	Δυναμικότητα (m ³ /day)
Fujairah, UAE	45	170.343,53
Carboneras – Almeria, Spain	32	121.133,18
Ashkelon, Israel	35,4 expandable to 75	134.003,58
Singapore	36	136.274,82
Cartagena – Mauricia, Spain	17,2	65109,08
Campo de Cartagena – Mauricia, Spain	37	140060,24
Almeria, Spain	13,2	49967,44
Alicante, Spain	13,2	49967,44

3.6.3 Παραδείγματα συστημάτων αφαλάτωσης με ενέργεια από ΑΠΕ

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες αρκετά συστήματα αφαλάτωσης τα οποία κάνουν χρήση ενέργειας που προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές έχουν κατασκευαστεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Η πλειοψηφία αυτών των συστημάτων κατασκευάστηκε με σκοπό περισσότερο την έρευνα και όχι τόσο την παραγωγή πόσιμου νερού προς κατανάλωση. Σήμερα, οι περισσότερες από αυτές τις μονάδες βρίσκονται σε λειτουργία, ενώ πλέον διαρκώς αυξανόμενος είναι και ο αριθμός των εγκαταστάσεων μεγάλης κλίμακας, που έχουν κατασκευαστεί για εμπορικούς σκοπούς, με δυνατότητες παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων αφαλατωμένου ύδατος. Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί, ότι η εμπειρία και η γνώση η οποία έχει αποκτηθεί, από τις ερευνητικές μονάδες, αποτελούν πολύτιμο οδηγό για το σχεδιασμό, την κατασκευή αλλά και τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ σε εμπορική κλίμακα.

Ακολούθως, αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης-ΑΠΕ, τόσο παγκοσμίως, όσο και συγκεκριμένα στην Ελλάδα, ενώ τέλος, συνοψίζονται κάποια σημαντικά ερευνητικά προγράμματα στα πλαίσια των οποίων διερευνάται το ζήτημα της αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ.

3.6.3.1 Παραδείγματα μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ σε παγκόσμιο επίπεδο

Στον Πίνακα 3-26, που ακολουθεί, αναφέρονται ενδεικτικά κάποιες χαρακτηριστικές μονάδες αφαλάτωσης που εκμεταλλεύονται ενεργειακά ανανεώσιμες πηγές και οι οποίες εντοπίζονται σε διάφορες χώρες του πλανήτη μας.

Πίνακας 3-26. Εφαρμογές αφαλάτωσης με χρήση ενέργειας από ΑΠΕ, σε διάφορα μέρη του κόσμου (Tzen & Morris, 2003)

Περιοχή εγκατάστασης	Τύπος νερού	Δυναμικότητα	Εγκατεστημένη ΑΠΕ	Έτος κατασκευής	Κόστος νερού
Abu Dhabi, UAE	SW	80 m ³ /day MED	1862 m ² , collectors	1984	8 \$/ m ³
Lampedusa, Italy	SW	3+2 m ³ /day RO	100 kWp PV	1990	~6,5
Univ. of Almeria, Spain	BW	2,5 m ³ /day RO	23,5 kWp PV	1990	-
Maagan Michel, Israel	SW	0,4 m ³ /day RO	3,5 kWp PV, 0,6 kW W/T+3 kW diesel	1997	-
ITC, Gran Canaria	SW	50 m ³ /day MVC	230 kW W/T	1988	~3,5
Almeria, Spain, CIEMAT, DLR	SW	3 m ³ /day MED	6,5 MWht collectors	1988	-
Syros Island, Greece	SW	900 m ³ /day RO	500 kW W/T	1998	-
Kimolos Island Greece	SW	80 m ³ /day MED	Geothermal 61°C	2000	-
CRES, Greece	SW	130 lt/hr RO	4 kWp PV, 1 kW W/T	2002	-

SW: seawater (θαλασσινό νερό)

BW: brackishwater (υφάλμυρο νερό)

Πιο συγκεκριμένα, στο Abu Dhabi λειτουργεί από το 1984 Ηλιακή Μονάδα Πολλαπλής Εξάτμισης, δυναμικότητας νερού 80 κ.μ/ημέρα, η οποία τροφοδοτείται από θαλασσινό νερό. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιεί για την ενεργειακή της τροφοδοσία 1064 ηλιακούς συλλέκτες συνολικής επιφάνειας 1862 τ.μ. Στην Almeria (Ισπανία), από το 1988 βρίσκεται εγκατεστημένη, επίσης, Ηλιακή Μονάδα Πολλαπλής Εξάτμισης, 252 συλλεκτών με επιφάνεια 500 τ.μ συνολικά. Η μονάδα αφαλάτωσης αυτή έχει δυναμικότητα 3 κ.μ/ώρα (72 κ.μ/ημ) και τροφοδοτείται με θαλασσινό νερό.

Συνεχίζοντας τα παραδείγματα, αναφέρεται η Μονάδα Επανασυμπίεσης Ατμών με Α/Γ (Εικόνες 3-13, 3-14), που βρίσκεται στο Pozo Izquierdo της νήσου Gran Canaria της Ισπανίας από το 1999 με δυναμικότητα 50 κ.μ/ημέρα και ονομαστική ισχύ των 2 Α/Γ, ίση με 230kW, για την καθεμία. Επίσης, στο ίδιο μέρος βρίσκεται και Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με 64 Φ/Β πάνελ ισχύος 4.80 kWp και η δυναμικότητα της είναι 0.4 κ.μ/ώρα (9,6 κ.μ/ημ.). Η μονάδα αυτή διαθέτει ακόμα σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας χωρητικότητας 19kWh. Άξια αναφοράς, είναι και η Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Φ/Β (Εικόνες 3-15, 3-16) στην νήσο Lampedusa, της Ιταλίας, η οποία κατασκευάστηκε το 1990. Σε αυτή την εγκατάσταση η δυναμικότητα είναι 3+2 κ.μ/ώρα (120 κ.μ/ημ), ενώ συναντάμε 2272 Φ/Β πάνελ (ονομαστικής ισχύος 100 kWp) και μία μονάδα αποθήκευσης ενέργειας χωρητικότητας 2×2000 Ah. Επιπλέον, στην περιοχή Maagan Michel του Ισραήλ υπάρχει Υβριδική Εγκατάσταση Αντίστροφης Όσμωσης με ενέργεια από Φ/Β, Α/Γ και συμπληρωματικά μια

Γεννήτρια Diesel, ονομαστικής ισχύος 3,5 kWp, 0,6 kW και 3 kW, αντίστοιχα. Η μονάδα παράγει 0,4 κ.μ. νερού ανά ώρα (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010).



Εικόνα 3-13. Εγκατάσταση μονάδας VC, στην Ισπανία (Gran Canaria) (Tzen & Morris, 2003)



Εικόνα 3-14. Αιολικό πάρκο και εγκατάσταση αφαλάτωσης στη νήσο Gran Canaria, της Ισπανίας (Tzen & Morris, 2003)



Εικόνα 3-15. Εγκατάσταση PV-RO, στην Ιταλία (Lampedusa) (Tzen & Morris, 2003)



Εικόνα 3-16. Το σύστημα μπαταριών στην εγκατάσταση στη νήσο Lampedusa, της Ιταλίας (Tzen & Morris, 2003)

Τέλος, θα αναφερθούμε σε δύο μονάδες που χρησιμοποιούν αποκλειστικά την ενέργεια Φ/Β, τις οποίες δεν περιέχει ο παραπάνω πίνακας, αυτή της νήσου Ruegen της Γερμανίας (1995) και αυτή της περιοχής Aqaba της Ιορδανίας (2004/5). Στη Μονάδα Επανασυμπίεσης Ατμών με Α/Γ (Ονομαστικής Ισχύος 300 KW), της Γερμανίας, η δυνατότητα παραγωγής νερού είναι 12.5 κ.μ/ώρα, (300 κ.μ/ημ), ενώ στην Ιορδανία λειτουργεί Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Φ/Β (140 στον αριθμό, Ονομαστικής Ισχύος 16.8 kWp), με δυνατότητα παραγωγής πόσιμου νερού 3.4 κ.μ/ώρα. Σύνοψη των μονάδων, οι οποίες τροφοδοτούνται με ενέργεια από Φ/Β συστήματα γίνεται στον Πίνακα 3-27, που ακολουθεί (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010).

Πίνακας 3-27. Μονάδες Αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ενέργεια από Φ/Β συστήματα (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010)

Τοποθεσία	Τύπος νερού	Δυναμικότητα Αντίστροφης Όσμωσης	Εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β	Έτος λειτουργίας
El Hamrawein, Egypt	BW	10 m ³ /hr	20 kWp	1986
Hassi Khebi, Algeria	BW	0,95 m ³ /hr	2,6 kWp	1988
Univ. of Almeria, Spain	BW	2,5 m ³ /hr	23,5 kWp	1988
Lampedusa island, Italy	SW	3+2 m ³ /hr	100 kWp	1990
Lipari island, Italy	SW	2 m ³ /hr	63 kWp	1991

Sadous Riyadh Region, Saudi Arabia	BW	600 lt/hr	10,89 kWp	1994
St. Lucie, Florida	SW	0,6 m ³ /day	2,7 kWp	1995
Gillen Bore, Florida	BW	1,2 m ³ /day	4,16 kWp	1996
Maagan Michel Israel	BW	0,4 m ³ /hr	3,5 kWp Φ/B, 0,6 kW A/Γ+3 kW diesel	1997
Pozo Izquierdo, Gran Canaria island, DESSOL	SW	3-4 m ³ /day	4,8 kWp	1998/2000
Sadous village, Saudi Arabia	BW	600 lt/hr	10,08 kWp	2001
CREST, UK	SW	3 m ³ /day	2,4 kWp	2001/02
CRES, Greece	SW	130 lt/hr	4 kWp, 1 kW A/Γ	2002
White Cliffs, New Southern Wales, Australia	BW	500 lt/day	150 Wp	2003
Aqaba, Jordan	BW	3,4 m ³ /hr	16,8 kWp	2004
Ksar Gillene, Tunisia, ADIRA project	BW	2,1 m ³ /hr	10,5 kWp	2006
Benhsaine, Morocco, ADIRA	BW	1 m ³ /hr	4,8 kWp	2006/07
Msain, Morocco, ADIRA project	BW	1 m ³ /hr	3,9 kWp	2006/07

3.6.3.2 Παραδείγματα μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ στην Ελλάδα

Όσον αφορά τις μονάδες αφαλάτωσης με ΑΠΕ, οι οποίες εντοπίζονται στον Ελλαδικό χώρο, αρχικά αναφέρουμε τη μονάδα Μονάδα Επανασυμπίεσης Ατμών με Α/Γ η οποία βρίσκεται εγκατεστημένη στη Σύμη, από το έτος 2009. Η μονάδα της Σύμης έχει δυναμικότητα παραγωγής 450 κ.μ./ημέρα και τροφοδοτείται με ενέργεια από Α/Γ ονομαστικής ισχύος 750 kW. Ακόμα, στη νήσο Κίμωλο εντοπίζεται Μονάδα Πολλαπλής Εξάτμισης με Γεωθερμική Ενέργεια, με έτος κατασκευής το 2000 (Εικόνες 3-17, 3-18). Η εν λόγω μονάδα διαθέτει 1 γεώτρηση βάθους 188μ. και είναι μονάδα χαμηλής ενθαλπίας (61°C), ενώ μπορεί να παράγει 80 κ.μ. νερό ανά ημέρα. Στην Κερατέα, επίσης, το έτος 2002 εγκαταστάθηκε μια Υβριδική Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης, με Α/Γ και Φ/B (Εικόνα 3-19). Η δυναμικότητα αυτής της υβριδικής μονάδας ανέρχεται σε 130 λίτρα/ώρα (3 κμ/ημ.), ενώ διαθέτει Α/Γ και Φ/B (ονομαστικής ισχύος 900 W και 4 kWp, αντίστοιχα) και μία μονάδα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας χωρητικότητας 1850Ah/100h (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010).



Εικόνα 3-17. Γεωθερμική αντλία στην εγκατάσταση αφαλάτωσης στην Κίμωλο (Tzen & Morris, 2003)



Εικόνα 3-18. Τμήμα της εγκατάστασης MED δυναμικότητας 30 m³/ημέρα, στην Κίμωλο (Tzen & Morris, 2003)



Εικόνα 3-19. Εγκατάσταση Αντίστροφης Όσμωσης, δυναμικότητας 130 lt/ώρα, στην Κερατέα (Tzen & Morris, 2003)

Σε αυτό το σημείο, κλείνοντας το κομμάτι των εγκατεστημένων συστημάτων αφαλάτωσης με ΑΠΕ στην Ελλάδα, χρήσιμη κρίνεται η εκτενέστερη αναφορά των πολύ σημαντικών περιπτώσεων της νήσου Μήλου και Ηρακλείας, στις οποίες λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης με ΑΠΕ για την κάλυψη αναγκών πόσιμου νερού (στην περίπτωση της Μήλου καλύπτεται το 100% της ζήτησης πόσιμου νερού).

Η μονάδα αφαλάτωσης στη νήσο Μήλο

Από το καλοκαίρι του 2007 έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί στη Μήλο, μονάδα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης, δυναμικότητας αρχικά 1.120 m³/ημέρα, η οποία επεκτάθηκε σε 2.240 m³/ημέρα το 2008 και τελικά σε 3.360 m³/ημέρα το 2009. Το έργο κατασκευάστηκε από την εταιρεία Αιολική Μήλου Α.Ε. και είχε προϋπολογισμό 3,5 εκ. ευρώ (Γερασίμου, Ιούνιος 2010). Η μονάδα έχει σχεδιαστεί ώστε να καλύπτει το 100% των αναγκών του νησιού. Έτσι λοιπόν αποτελείται από τρεις όμοιες υπομονάδες αφαλάτωσης (Εικόνα 3-20), δυναμικότητας 1.250 m³/ημέρα. Η κάθε υπομονάδα περιέχει 2 συστοιχίες αντίστροφης όσμωσης δυναμικότητας 560 m³/ημέρα και 42 μεμβρανών υψηλής απόρριψης, έκαστη (Εικόνα 3-21). Η άντληση του θαλασσινού νερού γίνεται μέσω 4 αντλιών ικανότητας αναρρόφησης 70 m³ /ώρα, η καθεμία. Το αντλούμενο νερό δέχεται προ-επεξεργασία και αποθηκεύεται προσωρινά σε δεξαμενή εξισορρόπησης της παροχής. Αυτός ο σχεδιασμός προσδίδει στο σύστημα ευελιξία, αξιοπιστία και αυξημένη διαθεσιμότητα (ΙΤΑ, 2008).



Εικόνα 3-20. Οι βασικές εγκαταστάσεις της μονάδας αφαλάτωσης στη Μήλο (Γερασίμου, Ιούνιος 2010)



Εικόνα 3-21. Άποψη του εσωτερικού της μονάδας αφαλάτωσης (ΙΤΑ, 2008)

Το νερό που παράγεται αποθηκεύεται, αρχικά, σε μια δεξαμενή πόσιμου νερού χωρητικότητας 100 m³ (Εικόνα 3-22) και στη συνέχεια μεταφέρετε σταδιακά, μέσω 3 όμοιων αντλιών υψηλής πίεσης, σε 4 δεξαμενές χωρητικότητας 3.000 m³, οι οποίες βρίσκονται σε ψηλό σημείο και συνδέονται με το δίκτυο ύδρευσης της Μήλου (Εικόνα 3-23). Το απομένον αλμόλογο, απορρίπτεται στη θάλασσα, σε κατάλληλο σημείο που έχει προσδιορισθεί μέσω ειδικής μελέτης. Το κόστος του νερού για το Δήμο Μήλου ανέρχεται στα 1,8 €/m³ (Υφαντής, 2010).



Εικόνα 3-22. Δεξαμενή πόσιμου νερού χωρητικότητας 100 m³ (ΙΤΑ, 2008)



Εικόνα 3-23. Οι 4 δεξαμενές λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης, χωρητικότητας 3.000 m³ (ΙΤΑ, 2008)

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της μονάδας προέρχεται από μία ανεμογεννήτρια ισχύος 850 kW ρυθμισμένη στα 600 kW, που εγκαταστάθηκε, για το σκοπό αυτό, στο αιολικό πάρκο της θέσης Κουτσούνοραχη της Μήλου (Εικόνα 3-24), εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό μηδενική επιβάρυνση στο περιβάλλον.



Εικόνα 3-24. Η ανεμογεννήτρια μέσω της οποίας τροφοδοτείται με ρεύμα η μονάδα αφαλάτωσης, στη θέση Κουτσούνοραχη Μήλου (ΙΤΑ, 2008)

Η μονάδα αφαλάτωσης αυτή, η οποία εκμεταλλεύεται την αιολική ενέργεια, παράγει υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό σε χαμηλή τιμή και έτσι συμβάλλει στην αυτονομία του νησιού, στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του αλλά και στη γενικότερη ανάπτυξη του. Ταυτόχρονα, λόγω της αποκλειστικής χρήσης ΑΠΕ, επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Η μονάδα αφαλάτωσης στη νήσο Ηρακλεία

Από το 2007 βρίσκεται στην Ηρακλεία μια πλωτή μονάδα αφαλάτωσης (Εικόνα 3-25) με χρήση της μεθόδου της Αντίστροφης Όσμωσης, η οποία χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της μόνο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: τον άνεμο για την κυρίως λειτουργία του πλωτού εργοστασίου, μέσω μιας μικρής ανεμογεννήτριας των 30 kW και επικουρικά τον ήλιο, μέσω φωτοβολταϊκού συστήματος, το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει ως εναλλακτική πηγή τα συστήματα ελέγχου-τηλεχειρισμού, σε περίπτωση που υπάρχει πρόβλημα με την ανεμογεννήτρια (Εικόνα 3-26). Η κατασκευή, η οποία ζυγίζει 150 τόνους και καλύπτει έκταση μισού στρέμματος, έχει ύψος όσο μια δεκαόροφη πολυκατοικία και κόστισε 2,8 εκατ. €, ενώ διαθέτει σύστημα αυτόματου ελέγχου μέσω GPRS για την παρακολούθηση και τον τηλεχειρισμό της. Η πλατφόρμα της, εντωμεταξύ, παραμένει σταθερή ακόμη και σε αέρα 12 Μποφόρ, ώστε να δουλεύει η ανεμογεννήτρια χωρίς να επιβαρύνεται η αντοχή της. Η μονάδα αυτή έχει δυνατότητα παραγωγής 70 m³ πόσιμου νερού ανά ημέρα, ποσότητα ικανή να καλύψει τις ανάγκες 250 ατόμων. Ο τρόπος λειτουργίας της μονάδας αυτής συνοψίζεται στην Εικόνα 3-27 (ΤΑ ΝΕΑ, 2009).



Εικόνα 3-25. Πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στην Ηρακλεία (Technava SA, 2008)



Εικόνα 3-26. Άποψη του εσωτερικού της μονάδας αφαλάτωσης (Technava SA, 2008)



Εικόνα 3-27. Η λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης στην Ηρακλεία (ΤΑ ΝΕΑ, 2009)

Δυστυχώς η ιδέα μιας πλωτής μονάδας αφαλάτωσης ως λύση για τα άνυδρα νησιά αντιμετωπίζεται διστακτικά από τους αρμόδιους, μάλλον γιατί θεωρούν ότι το κόστος της είναι υψηλό και όχι άδικα από τη στιγμή που μια σταθερή συμβατική μονάδα αφαλάτωσης παραγωγής 1.000 m³ πόσιμου νερού ανά ημέρα κοστίζει 1 εκατ. ευρώ, ενώ μια αντίστοιχη πλωτή στοιχίζει γύρω στα 4 εκατ. ευρώ., με τη διαφορά όμως, ότι στο κόστος αυτό δεν συνυπολογίζεται η δαπάνη για ηλεκτρικό ρεύμα. Σε βάθος δεκαετίας για την παραγωγή 3,5 m³ νερού ανά ημέρα, το κόστος του ηλεκτρισμού για τη μεν σταθερή ανέρχεται σε 8 εκατ. ευρώ, ενώ για την πλωτή είναι μηδενικό (ΤΑ ΝΕΑ, 2009). Επίσης ένας ακόμα παράγοντας, ο οποίος πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη υπέρ των πλωτών μονάδων αφαλάτωσης αλλά και των μονάδων, οι οποίες τροφοδοτούνται ενεργειακά από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, είναι η περιβαλλοντικά φιλική λειτουργία τους και η δυνατότητα παραγωγής καθαρού πόσιμου νερού που παρέχουν σε μέρη που δεν είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

3.6.4 Ερευνητικά προγράμματα για την αφαλάτωση με ΑΠΕ

Ένας σημαντικός αριθμός ερευνητικών προγραμμάτων παγκοσμίως έχουν επικεντρωθεί στην διερεύνηση των διαφορετικών τεχνολογιών, στα ευρύτερα πλαίσια της αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ. Τα αποτελέσματα αυτών των προγραμμάτων πρέπει να εξετάζονται πολύ προσεκτικά ώστε να εντοπίζονται και να αξιολογούνται υποσχόμενες για εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα τεχνολογίες, με σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού μέσω της αφαλάτωσης. Επίσης, αυτό που είναι πολύ σημαντικό, με τα εν λόγω προγράμματα, είναι η δυνατότητα που παρέχεται στα διάφορα κράτη για επαφή και επικοινωνία με τους παρόχους αυτών των τεχνολογιών, ώστε να είναι η εφικτή η μεταφορά της τεχνογνωσίας από το ερευνητικό επίπεδο στην πράξη. Μερικά από τα χαρακτηριστικότερα σχετικά προγράμματα αναφέρονται στην συνέχεια (Εμμανουηλίδης, 2011):

- ADIRA (www.adira.info): Το πρόγραμμα αυτό παρουσιάζει μονάδες αφαλάτωσης τροφοδοτούμενες από ανανεώσιμες ενεργειακά πηγές, οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα για παραγωγή πόσιμου νερού σε πληθυσμούς απομονωμένων και απομακρυσμένων περιοχών. Στα πλαίσια του προγράμματος αυτού έχει εκδοθεί ένα εγχειρίδιο το οποίο καλύπτει πρακτικά ζητήματα όπως η επιλογή, ο σχεδιασμός, η εγκατάσταση και η λειτουργία τέτοιων συστημάτων.
- ADU-RES (www.adu-res.org): Το πρόγραμμα αυτό έχει κάνει πολύ σημαντική έρευνα στην κατεύθυνση των αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης, κάνοντας έτσι εφικτή την πρακτική εφαρμογή τέτοιων συστημάτων σε πολλά ευρωπαϊκά νησιά.

- RO-Solar-Rankine project (<http://rosolar.aua.gr>): Στα πλαίσια του προγράμματος αυτού μία νέα τεχνολογία έχει αναπτυχθεί, η οποία έχει ήδη βρει λειτουργική εφαρμογή μέσω μίας πρωτότυπης εγκατάστασης, η οποία συνδυάζει την ηλιακή θερμική ενέργεια και την τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης. Η έως τώρα λειτουργία αυτής της εγκατάστασης είναι εύρυθμη και τα αποτελέσματα από αυτή θα χρησιμοποιηθούν για πρακτικές μελλοντικές εφαρμογές σε νησιωτικές περιοχές.
- Στην Ελλάδα στα πλαίσια του προγράμματος για τον ανταγωνισμό του Γ'ΚΠΣ 2000-2006, ενισχύθηκαν οι καινοτόμες ενεργειακές επενδύσεις στα νησιά. Η τρίτη κατηγορία της Πράξης 6.3.2 ονομάστηκε "Αφαλάτωση" και στα πλαίσιά της χρηματοδοτήθηκαν τέσσερα έργα (Μάιος 2006) αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με συνολικό προϋπολογισμό 8.387.185 ευρώ.
- Στην Ισπανία το Institute of Technology (ITC, SA) των Καναρίων Νήσων ερευνά τα ζητήματα της αφαλάτωσης με ΑΠΕ από το 1995 έχοντας ολοκληρώσει αρκετά πιλοτικά προγράμματα που αξιολογούν την απόδοση διαφορετικών τεχνολογικών συνδυασμών. Υπάρχουν τρεις ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται με ενέργεια από ανεμογεννήτριες στις Κανάριες Νήσους. Το Ινστιτούτο αυτό εμπλέκεται στο πρόγραμμα DEREDES (<http://www.telingsoft.com/deredes/index.html>), μία εθνική πρωτοβουλία σε συνεργασία την εταιρεία BEFESA και τα Ερευνητικά Κέντρα PSA και La Laguna University με σκοπό το σχεδιασμό και την υλοποίηση αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης για τρία διαφορετικά σενάρια ζήτησης νερού.

Η εμπειρία και τα ερευνητικά αποτελέσματα από αυτά τα προγράμματα, αλλά και από παρόμοια που εφαρμόζονται σε παγκόσμιο επίπεδο, παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την ανάπτυξη της τεχνολογίας της αφαλάτωσης με ΑΠΕ, σε πρακτικές εφαρμογές για την παραγωγή πόσιμου ύδατος σε κλίμακα κατάλληλη για την επίλυση προβλημάτων έλλειψης ύδατος.

3.6.5 Ενεργειακή και οικονομική αποτίμηση των μονάδων αφαλάτωσης που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία

Όπως πιο αναλυτικά αναφέρεται στο κεφάλαιο 4, που ακολουθεί, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρείται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση του ζητήματος της ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αφαλάτωσης αλλά και του κόστους του παραγόμενου νερού. Από την έρευνα αυτή συγκεντρώθηκαν, μεταξύ άλλων, στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης και κόστους, τα οποία αφορούν καταγεγραμμένα λειτουργικά δεδομένα εγκατεστημένων (και στις περισσότερες περιπτώσεις εμπορικά εκμεταλλεύσιμων) μονάδων αφαλάτωσης, από διάφορες περιοχές του κόσμου.

Κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας των στοιχείων αυτών (η οποία αναφέρεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4), προέκυψε ο Πίνακας Γ-3, του Παραρτήματος Γ, ο οποίος περιέχει συνολικά 107 καταγεγραμμένες μονάδες αφαλάτωσης και συνοδευτικά στοιχεία για την ειδική ενεργειακή κατανάλωση (σε kWh/m³) που παρουσιάζουν αυτές αλλά και το κόστος του νερού που παράγουν ή σε κάποιες περιπτώσεις το λειτουργικό κόστος τους (σε \$ 2012/m³). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε αρκετές περιπτώσεις τα στοιχεία που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για τις λειτουργούσες μονάδες αφαλάτωσης είναι ελλιπή και περιέχουν ασάφειες, ενώ αρκετές φορές στοιχεία που αφορούν τις ίδιες

μονάδες αφαλάτωσης διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό, αναλόγως τη μελέτη και τον ερευνητή. Για το λόγο αυτό θα περιοριστούμε στην χρήση των στοιχείων για την εξαγωγή της γενικότερης τάσης, τόσο της καταναλισκόμενης ενέργειας, όσο και του κόστους, που αφορά τις πραγματικές μονάδες αφαλάτωσης, ενώ θα εντοπιστούν και οι μονάδες με τη μεγαλύτερη και μικρότερη ενεργειακή κατανάλωσης και κόστος.

Αρχικά, από το σύνολο των μονάδων, απομονώνονται αυτές για τις οποίες είναι γνωστή η ειδική ενεργειακή κατανάλωση (21 μονάδες). Έτσι λοιπόν, υπολογίζεται μια μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση 15,13 kWh/m³, ενώ η ελάχιστη είναι 3 kWh/m³ και καταγράφεται στη μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Ανάκτηση Ενέργειας, δυναμικότητας 500 m³/day “Club Lanzarote Plant” (Playa Blanca, Spain) και η μέγιστη είναι 67,90 kWh/m³ και καταγράφεται στη μονάδα MED-Ηλιακών συλλεκτών, δυναμικότητας 72 m³/day “Almeria, CIEMAT” (Spain) (Πίνακας 3-28).

Πίνακας 3-28. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση πραγματικών μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (kWh/m³)

Τύπος νερού	Ειδική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
SW	15,13	67,90	3,00	21

Εν συνεχεία, μελετήθηκαν οι μονάδες για τις οποίες είναι γνωστό το ειδικό συνολικό κόστος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (Πίνακας 3-29). Για την ακρίβεια, εξετάστηκαν 35 μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, από τις οποίες προκύπτει ένα μέσο κόστος 4,08 \$/m³. Η μέγιστη τιμή κόστους είναι 34,47 \$/m³ και παρουσιάζεται στην ερευνητική μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης 3,12 m³/day στο Λαύριο (ΚΑΠΕ, Ελλάδα), ενώ η ελάχιστη καταγραμμένη τιμή των 0,47 \$/m³, αντιστοιχεί σε μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης στη Σιγκαπούρη. Η αμέσως μεγαλύτερη τιμή κόστους (1,21 \$/m³) που συναντάται και η οποία ανήκει σε μονάδα γνωστής δυναμικότητας, προέρχεται από την εγκατάσταση Αντίστροφης Όσμωσης 2000 m³/day στη Σύρο (Ελλάδα).

Πίνακας 3-29. Το ειδικό Συνολικό Κόστος πραγματικών μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (\$/m³)

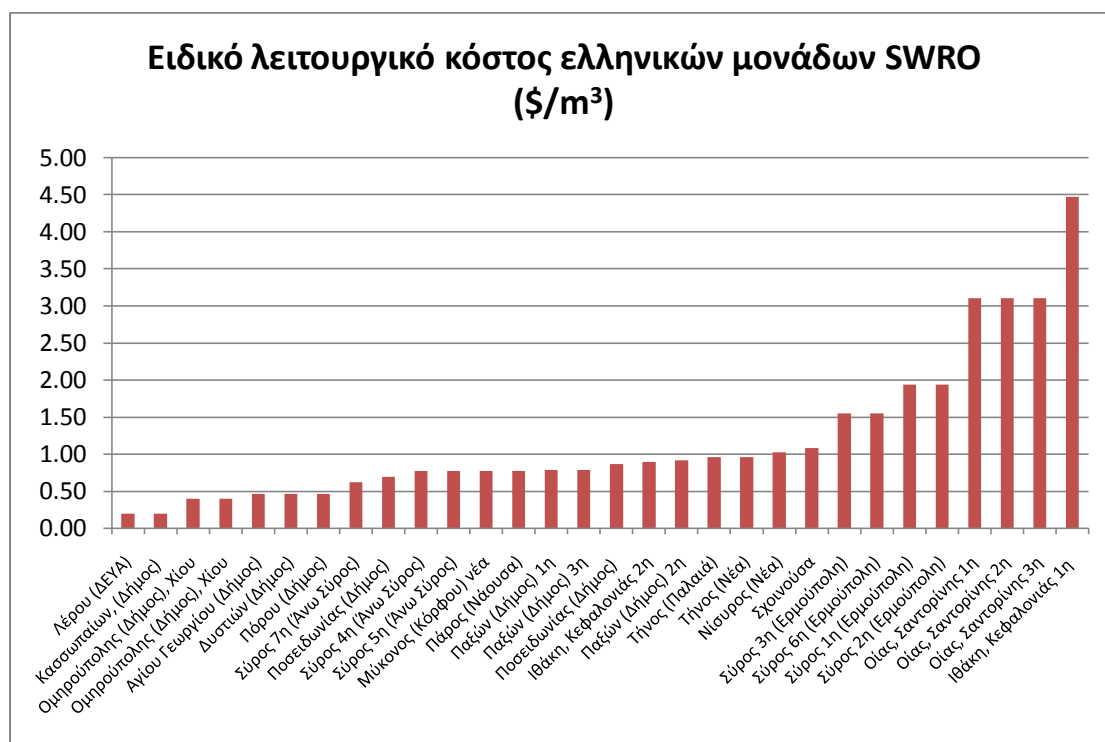
Τύπος νερού	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
SW	4,08	34,47	0,47	35

Τελικά, εξετάζεται το λειτουργικό κόστος που καταγράφεται από μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης στην Ελλάδα (Πίνακας 3-30). Οι 30 αυτές μονάδες εντοπίζονται στα ελληνικά νησιά και το μέσο λειτουργικό τους κόστος είναι 1,20 \$/m³. Ειδικότερα η μονάδα 4800 m³/day της Λέρου διαθέτει ένα ελάχιστο λειτουργικό κόστος 0,20 \$/m³, ενώ η μονάδα της Ιθάκης σημειώνει το μέγιστο λειτουργικό κόστος των 4,47 \$/m³. Η διακύμανση του λειτουργικού κόστους μεταξύ των προαναφερθέντων μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (τεχνολογίας Αντίστροφης Όσμωσης), αποτυπώνεται στο Γράφημα 3-9.

Πίνακας 3-30. Το Ειδικό Λειτουργικό Κόστος ελληνικών μονάδων SWRO (\$/m³)

Ειδικό Λειτουργικό Κόστος (\$/m ³)				
--	--	--	--	--

Τύπος νερού	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	Σύνολο δεδομένων
SW	1,20	4,47	0,20	30



Γράφημα 3-9. Το Ειδικό Λειτουργικό Κόστος ελληνικών μονάδων SWRO

4. Ενεργειακή κατανάλωση και κόστος νερού των κυριότερων συστημάτων αφαλάτωσης

4.1 Εισαγωγή

Από την έως τώρα ανάλυση, γίνεται αντιληπτός ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζει το ζήτημα της ενέργειας στην αφαλάτωση του νερού. Η ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης κρίνεται ως μία ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση και την επιλογή κατάλληλου συστήματος αφαλάτωσης, καθώς κοστίζει τόσο από οικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής άποψης. Με άλλα λόγια, η παράμετρος της ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αφαλάτωσης επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό το κόστος του αφαλατωμένου νερού, αποτελώντας σε πολλές περιπτώσεις μέχρι και το 60% του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης, ενώ ευθύνεται περισσότερο από κάθε άλλη παράμετρο για τις αρνητικές επιπτώσεις των συστημάτων αφαλάτωσης στο περιβάλλον, λόγω της έμμεσης εκπομπής βλαβερών ουσιών από τα συμβατικά δίκτυα παροχής ενέργειας.

Πιο αναλυτικά, το συνολικό κόστος αφαλάτωσης νερού υπολογίζεται από το άθροισμα του συνόλου των επιμέρους τιμών κόστους ενός συστήματος αφαλάτωσης και διαίρεση αυτού του ποσού με τη συνολική ποσότητα παραγόμενου νερού (Ειδικό συνολικό κόστος νερού). Τα επιμέρους κόστη των διεργασιών αφαλάτωσης επιμερίζονται στο **κόστος επένδυσης** και το **κόστος λειτουργίας και συντήρησης**. Το **κόστος επένδυσης** περιλαμβάνει το κόστος των οικοπέδων, των κτιρίων και του εξοπλισμού (άμεσα κόστη), καθώς και το κόστος μεταφοράς, ασφάλισης, κατασκευών, νομικών αμοιβών και των απρόβλεπτων δαπανών. Το **κόστος λειτουργίας και συντήρησης** διαχωρίζεται σε κόστος ενέργειας, συντηρήσεων, επισκευών, εργατικών/προσωπικού, χημικών, αναλωσίμων, ανταλλακτικών και ανακατασκευών που απαιτούνται στη διάρκεια των ετών. Στον Πίνακα 4-1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συνήθης κατανομή του κόστους και το χαρακτηριστικά μεγάλο μερίδιο που διαθέτει το ενεργειακό κόστος, τόσο στα συστήματα Θερμικών διεργασιών όσο και στα συστήματα Μembranών. Τα στοιχεία του πίνακα προέρχονται από δύο αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις συμβατικών συστημάτων αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης και Εξάτμισης Πολλαπλής Επίδρασης, στην περιοχή της Λιβύης, δυναμικότητας 10 mgbd η καθεμία. Όπως παρατηρείται, το μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους λειτουργίας και συντήρησης, κατέχεται από το κόστος ενέργειας (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010).

Πίνακας 4-1. Τα ποσοστά κόστους για συμβατικά συστήματα αφαλάτωσης RO και MSF, δυναμικότητας 10 mgbd (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)

Μέθοδος αφαλάτωσης	Κόστος επένδυσης (%)	Κόστος ενέργειας (%)	Κόστος συντήρησης και επισκευών (%)	Αντικατάσταση μεμβρανών (%)	Εργατικό κόστος (%)	Κόστος χημικών (%)
RO (Μεμβράνες)	31	26	14	13	9	7
MSF (Θερμικές)	42	41	8	0	7	2

Από τα παραπάνω αναφερόμενα συμπεραίνεται, ότι για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του ζητήματος του κόστους της αφαλάτωσης είναι απαραίτητη, πρωτίστως, η εξέταση της παραμέτρου της

ενέργειας που καταναλώνεται από τα συγκρινόμενα συστήματα αφαλάτωσης. Ένας ακόμα πολύ σημαντικός λόγος για τον οποίο μια διερεύνηση του κόστους αφαλάτωσης και μια σύγκριση μεταξύ των διεργασιών αφαλάτωσης, θα πρέπει να βασιστεί κατά κύριο λόγο σε στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης, έγκειται στο γεγονός ότι η ενεργειακή κατανάλωση αποτελεί αντιπροσωπευτικότερο κριτήριο σύγκρισης των συστημάτων, σε σχέση με το καθαρό κόστος του νερού. Αυτό συμβαίνει γιατί το κόστος και γενικότερα τα οικονομικά μεγέθη των συστημάτων αφαλάτωσης, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό, από τις συγκεκριμένες παραμέτρους και συνθήκες που επικρατούν στην κάθε φορά εξεταζόμενη περίπτωση, ενώ η καθαρή κατανάλωση ενέργειας δεν επηρεάζεται τόσο από αυτές. Για να γίνουν πιο σαφή τα παραπάνω αναφέρεται, ως παράδειγμα, ότι ένα συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης το οποίο λειτουργεί σε μια πετρελαιοπαραγωγό χώρα (π.χ. Κουβέιτ), παρουσιάζει μικρότερο κόστος παραγόμενου νερού από την περίπτωση που το ίδιο ακριβώς σύστημα λειτουργεί σε μια χώρα με εισαγόμενους ενεργειακούς πόρους (π.χ. Ελλάδα), καθώς το κόστος της ενέργειας είναι χαμηλότερο στην πρώτη περίπτωση. Η κατανάλωση και στις δύο περιπτώσεις είναι ουσιαστικά η ίδια. Πολύ απλοϊκά, μπορεί να γραφεί ότι τα στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης αποτελούν έναν καλύτερο κριτή των συστημάτων αφαλάτωσης απ' ό,τι τα στοιχεία του κόστους νερού, καθώς τα πρώτα κατέχουν μεγάλο μερίδιο στη διαμόρφωση των δευτέρων, ενώ ταυτόχρονα χαρακτηρίζουν αμεσότερα και αντιπροσωπευτικότερα το εξεταζόμενο σύστημα.

Για όλους αυτούς τους λόγους θα εξεταστούν εκτενώς τόσο τα στοιχεία ενέργειας όσο και τα στοιχεία κόστους που είναι συνυφασμένα με τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης ώστε, αφενός μεν να εξαχθούν αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα, αφετέρου δε να προσεγγιστεί η τάξη μεγέθους και το γενικότερο επίπεδο κόστους αφαλάτωσης του νερού. Για το σκοπό αυτό, στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια συγκέντρωσης, ταξινόμησης και παρουσίασης ενός αρκετά μεγάλου αριθμού δεδομένων που απεικονίζουν την ειδική ενεργειακή κατανάλωση και το ειδικό συνολικό κόστος του παραγόμενου νερού, των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων συστημάτων αφαλάτωσης. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται τόσο από γενικές εκτιμήσεις και έρευνες όσο και από λειτουργικά στοιχεία εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης. Εν συνεχεία, τα στοιχεία επεξεργάζονται (κεφάλαιο 5) για τη συγκριτική αποτίμηση των συστημάτων αφαλάτωσης, τα οποία μπορούν να βρουν εφαρμογή στον Ελλαδικό χώρο, για την επίλυση υπάρχοντων αλλά και μελλοντικών προβλημάτων έλλειψης νερού. Με αυτό τον τρόπο επιδιώκεται να αποκτηθεί μια πληρέστερη και συνολικότερη εικόνα για τις δυνατότητες εγκατάστασης τέτοιων μονάδων, σε περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας.

4.2 Η ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης στον Κόσμο και στην Ελλάδα

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του **Α. Καλογήρου (2005)**, σε μελέτη του οποίου υπολογίστηκε η πρωτογενής θερμική ενέργεια που αντιστοιχεί στις μεθόδους αφαλάτωσης (Πίνακας 4-2), η διεργασία αφαλάτωσης με τις μικρότερες ενεργειακές ανάγκες είναι η Αντίστροφη Όσμωση με σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας (60 kJ/kg). Επίσης σχετικά χαμηλή είναι η ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης (144 kJ/kg), ενώ οι Θερμικές διεργασίες παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές (149,4 kJ/kg για την Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης, 192 kJ/kg για την Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών και 338,4 kJ/kg παραγόμενου νερού για την Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων) (Kalogirou, 2005).

Πίνακας 4-2. Ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης (Kalogirou, 2005)

Μέθοδος Αφαλάτωσης	Θερμική Ενέργεια (kJ/kg)	Μηχανική Ενέργεια (kWh/m ³)	Πρωταρχική θερμική ενέργεια (kJ/kg) ^a
MSF	294	2,5-4 (3,7) ^b	338,4
MEB	123	2,2	149,4
VC	-	8-16 (16)	192
RO	-	5-13 (10)	120
ER-RO	-	4-6 (5)	60
ED	-	12	144
Solar Still	2330	0,3	2333,6

a Ο βαθμός απόδοσης παραγωγής ηλεκτρισμού ισούται με 30%

b Η τιμή στην παρένθεση χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της Συνολικής ενέργειας (τελευταία στήλη)

Χαρακτηριστικά είναι επίσης τα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης συστημάτων αφαλάτωσης, που παρέχονται από τους **E. Τζέν και Richard Morris (2003)**. Σύμφωνα με αυτά, τα συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης απαιτούν 5.9 kWh/m³, χωρίς ανάκτηση ενέργειας και 3–4 kWh/m³, με ανάκτηση ενέργειας. Αντίστοιχα, τα συστήματα Ηλεκτροδιάλυσης καταναλώνουν 1.22 kWh/m³ (υφάλμυρο νερό τροφοδοσίας με συγκέντρωση 3000 ppm και τελική παραγωγή νερού συγκέντρωσης 500 ppm). Η κατανάλωση αυτή αυξάνεται με τα έτη λειτουργίας των συστημάτων (μετά από 2,5 χρόνια είναι κατά 50% μεγαλύτερη). Ακόμα αναφέρεται ότι τα συστήματα Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών, παρουσιάζουν ενεργειακή κατανάλωση από 8,5 έως 16 kWh/m³, αναλόγως τη δυναμικότητα και το μέγεθος της μονάδας. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι αναφέρονται στις ονομαστικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής των αντίστοιχων μονάδων (Tzen & Morris, 2003). Ανάλογα, ο **Δ. Ασημακόπουλος το 2001** αναφέρεται στην ενεργειακή κατανάλωση των διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης επισημαίνοντας τις τιμές στις οποίες αυτή κυμαίνεται τόσο για το θαλασσινό, όσο και για το υφάλμυρο νερό (Πίνακας 4-3).

Πίνακας 4-3. Ενεργειακή κατανάλωση των κύριων διεργασιών αφαλάτωσης (Assimacopoulos, 2001)

Τύπος νερού	Μέθοδος Αφαλάτωσης	Θερμική Ενέργεια (kJ/kg)	Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh/m ³)
Θαλασσινό	MSF	190-290	4-6
	MED	150-290	2,5-3
	VC	-	8-12
	RO με ανάκτηση ενέργειας	-	4-6
	RO χωρίς ανάκτηση ενέργειας	-	13-15
Υφάλμυρο	RO	-	1-3
	ED	-	1,5-4

Στην ίδια μελέτη, αναφέρονται κάποια στοιχεία λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση - Α/Γ στη Σύρο (1998), της οποίας η δυναμικότητα κυμαίνεται από 60 έως 900 m³/day, αναλόγως με το διαθέσιμο άνεμο, με μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση 200 kW (Assimacopoulos, 2001). Μια ακόμα δημοσιευμένη έρευνα των **I. Karagiannis και P. Soldatos (2010)**, υποστηρίζει ότι η ενέργεια που θεωρητικά απαιτείται για την αφαλάτωση 1m³ νερού είναι περίπου 4 kWh, για μικρής δυναμικότητας μονάδες (1-20 m³/day), ενώ για μεγαλύτερης δυναμικότητας μονάδες η τιμή αυτή μειώνεται σε 2,5 kWh/m³ (Karagiannis & Soldatos, Estimation of critical CO2 values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands, 2010).

Συνεχίζοντας την καταγραφή, αναφέρεται η μελέτη των **A. Eltawil, Zhao Zhengming και Liqiang Yuan (2009)**, σύμφωνα με την οποία η κατανάλωση ενέργειας (Μηχανική, Θερμική και Συνολική) των κυριότερων μεθόδων αφαλάτωσης, συνοψίζεται στον παρακάτω Πίνακα 4-4.

Πίνακας 4-4. Ενεργειακές απαιτήσεις των διεργασιών αφαλάτωσης (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)

Μέθοδος Αφαλάτωσης	Κατανάλωση Μηχανικής Ενέργειας (kWh/m ³)	Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας (kWh/m ³)	Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m ³)
MSF	3,25-3,75	6,75-9,75	10,5-13
MED	2,5-2,9	4,5-6,5	7,4-9
MED-TVC	2-2,5	6,5-12	9-14
MVC	9,5-17	-	9,5-17
BWRO ^a	1-2,5	-	1-2,5
SWRO ^b	4,5-8,5	-	4,5-8,5

a. Sea Water Reverse Osmosis

b. Brackish Water Reverse Osmosis

Ακόμα, στην εν λόγω μελέτη, επισημαίνεται ότι η κυρίαρχη μέθοδος αφαλάτωσης είναι η Αντίστροφη Όσμωση με συνηθισμένες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης μεταξύ 6 και 10 kWh/m³, ενώ στις περιπτώσεις Αντίστροφης Όσμωσης με ανάκτηση ενέργειας αυτές οι τιμές κυμαίνονται, μεταξύ 4 και 6 kWh/m³. Στην περίπτωση μάλιστα που αφαλατώνεται υφάλμυρο νερό η ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης είναι παρόμοια με αυτή της Ηλεκτροδιάλυσης, με τιμή μεταξύ 0,5 και 2,5 kWh/m³ (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009) Όσον αφορά την ίδια τεχνολογία οι τιμές ενεργειακής κατανάλωσης που καταγράφονται, στα πλαίσια της μελέτης της τεχνολογίας PV/RO των **K. Bourouni, T. Ben M'Barek και A. Al Taeeb (2011)**, είναι της τάξης των 0,89 kWh/m³ (Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeeb, 2011). Οι γενικές ενεργειακές απαιτήσεις των διεργασιών αφαλάτωσης αναφέρονται και σε έρευνα των **Veera Gnanaswar Gude et. al (2010)**, η οποία αφορά την αφαλάτωση με ΑΠΕ. Οι τιμές που καταγράφονται σε αυτή την περίπτωση είναι αυτές που περιέχονται στον Πίνακα 4-5, οι οποίες αφορούν Θερμικές διεργασίες όπως η ηλιακή αφαλάτωση (MESS), η MSF, η MED, η MVC και η MED-TVC, αλλά και διεργασίες Μembrανών, όπως η RO και η ED.

Πίνακας 4-5. Ενεργειακές απαιτήσεις διαφορετικών διεργασιών αφαλάτωσης (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)

Μέθοδος Αφαλάτωσης	MESS	MSF	MED	MVC	MED-TVC	RO	ED
Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας (kJ/kg)	1500	250-300	150-220	-	220-240	-	-
Κατανάλωση Μηχανικής Ενέργειας (kWh/m ³)	-	3,5-5	1,5-2,5	11-12	1,5-2	5-9	2,6-5,5
Συνολική Ισοδύναμη Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (kWh/m ³)	72	15-25	8-21	11-12	21,5-22	5-9	2,6-5,5

Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι η ενεργειακή κατανάλωση ενός συστήματος PV/RO, δυναμικότητας 3,9 m³/day είναι 3,5 kWh/m³, ενώ αναφέρεται και η μικρότερη καταγεγραμμένη τιμή

κατανάλωσης, τέτοιων συστημάτων, η οποία είναι 1,1-1,8 kWh/m³. Εκτενής αναφορά στη μελέτη αυτή γίνεται και στα υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης, ξεκινώντας με το παράδειγμα μιας μονάδας MSF, στο Kuwait, 4500 m³/day, η ενεργειακή κατανάλωση της οποίας είναι 290 kJ/kg, χωρίς να συνδέεται με εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, και 160 kJ/kg σε συνθήκες συμπαραγωγής. Τέλος, η ενεργειακή κατανάλωση και άλλων υβριδικών συστημάτων καταγράφεται στον Πίνακα 4-6. (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010).

Πίνακας 4-6. Η εξοικονόμηση ενέργειας μέσω υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)

Υβριδικό Σύστημα Αφαλάτωσης	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m ³)
SWRO/MED (LT-TVC)	14300,00	9,58
SWRO/BPT/MED (LT-TVC)	14800,00	9,23
SWRO/BPT/SWRO	14700,00	9,34
MVC/MED (LT-TVC)	19000,00	7,27
SWRO	11000,00	12,5

Οι **S. Bouguecha, B. Hamrouni και M. Dhahbia (2005)**, μελέτησαν τρία συστήματα αφαλάτωσης, ένα Ηλιακής Αφαλάτωσης (15 kg/day), ένα Αντίστροφης Όσμωσης με Φωτοβολταϊκά (2,03-2,38 m³/h) και ένα Απόσταξης Μεμβράνης με Γεωθερμία (17 kg/day), μετρώντας την ενεργειακή κατανάλωση σε 1500 kJ/kg, 82 kJ/kg και 111 kJ/kg, αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες πειραματικές τιμές για τα συστήματα αυτά είναι 180-240, 4-18 και 40-50 kJ/kg (Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005). Άλλη μια αναφορά σε πραγματικά δεδομένα γίνεται στην δημοσίευση των **Hazim Mohameed Qiblawey και Fawzi Banat (2008)**. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται στοιχεία από τη δεκατριών ετών λειτουργία μιας μονάδας MSF, δυναμικότητας 85 m³/day και ενεργειακής κατανάλωσης 43.8 kcal/kg, για την αφαλάτωση νερού 55000 ppm (Qiblawey & Banat, 2008). Παρομοίως, στα πλαίσια μελέτης των **Ali A. Al-Karaghoulι και L.L. Kazmerski (2010)**, για την τεχνολογία PV/ED, δίνονται στοιχεία για τις μονάδες αφαλάτωσης στην πόλη Tanote (Rajasthan, India) και στην περιοχή Spencer Valley (New Mexico, USA). Στην πρώτη περίπτωση, για νερό συγκέντρωσης 5000 ppm, απαιτείται 1 kWh/kg αφαιρούμενου άλατος (περίπου 5 kWh/kg παραγόμενου νερού), ενώ στη δεύτερη μονάδα δυναμικότητας 2,8 m³/day, για την αφαλάτωση νερού 1000 ppm, απαιτούνται 0,82 kWh/kg. Σύμφωνα πάντα με την ίδια έρευνα, η θεωρητική ενεργειακή απαίτηση της Αντίστροφης Όσμωσης, για θαλασσινό νερό είναι περίπου 5 kWh/m³ με ανάκτηση ενέργειας, ενώ μπορεί να υπερβαίνει τα 15 kWh/m³, χωρίς ανάκτηση ενέργειας. Οι αντίστοιχη ενέργεια που απαιτείται για υφάλμυρο νερό είναι 1-3 kWh/m³. Τα στοιχεία αυτά αφορούν την παραγωγή νερού συγκέντρωσης 300-500 ppm. Τελικά, η μελέτη αναφέρεται στην τεχνολογία της Ηλεκτροδιάλυσης, η οποία παρουσιάζει θεωρητική κατανάλωση 1,5-4 kWh/m³, για την παραγωγή νερού 500 ppm από νερό τροφοδοσίας 1500-3000 ppm (Ali, Karaghoulι, & Kazmerski, 2010).

Προχωρώντας με την ταξινόμηση των δεδομένων της βιβλιογραφίας παρατίθεται μια σειρά πινάκων με γενικά στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης διαφόρων διεργασιών αφαλάτωσης, τα οποία εντοπίζονται σε αναφορές σημαντικών ερευνών σχετικά με το ζήτημα της αφαλάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, ο Πίνακας 4-7 περιέχει στοιχεία της θερμικής και ηλεκτρικής κατανάλωσης που παρουσιάζουν οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες αφαλάτωσης, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στα πλαίσια

του συμποσίου «Αιγαίο – Νερό – Βιώσιμη Ανάπτυξη» (6-7 Ιουλίου 2001), από την Ε. Τζέν (Τζέν Ε., Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου, 2001).

Πίνακας 4-7. Η κατανάλωση ενέργειας στην αφαλάτωση (Τζέν Ε., Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου, 2001)

Τεχνολογία	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας
MSF	Θερμική Ηλεκτρική	290 kJ/kg 4-6 kWh/m ³
MED	Θερμική Ηλεκτρική	270 kJ/kg 2.5-3 kWh/m ³
VC	Ηλεκτρική	8-15 kWh/m ³
SWRO BWRO	Ηλεκτρική	3 - 15 kWh/m ³ 0.5 - 3 kWh/m ³
ED	Ηλεκτρική	1.5-4 kWh/m ³ (1500-3500 ppm TDS)

Αντίστοιχα είναι και τα στοιχεία του Πίνακα 4-8, που παρουσιάζονται σε εργασία του **Π. Κουκουτσάκη (2007)**, βάσει των οποίων η μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση παρουσιάζεται συνήθως στις Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης. Συγκεκριμένα, για τη μέθοδο της Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών, τα στοιχεία προέρχονται από μία μονάδα παραγωγής 2.500 m³/ημέρα (Κουκουτσάκης, 2007).

Πίνακας 4-8. Ισοδύναμη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ορισμένων διεργασιών αφαλάτωσης (Κουκουτσάκης, 2007)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh/m ³)
Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)	10-14,5
Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (MED)	6-9
Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (VC)	7-15
Αντίστροφη Όσμωση (RO)	4-6 με ανάκτηση ενέργειας 7-13 χωρίς ανάκτηση πίεσης

Επίσης, ο **Wangnick K. (2004)**, στο διεθνή κατάλογο που συνέταξε για τις υπάρχουσες μονάδες αφαλάτωσης το έτος 2004, παραθέτει τον Πίνακα 4-9, στον οποίο μεταξύ άλλων αναφέρονται τα στοιχεία θερμικής και ηλεκτρικής κατανάλωσης των κυρίαρχων τεχνολογιών αφαλάτωσης (Wangnick, 2004).

Πίνακας 4-9. Χαρακτηριστικά μεγέθη των διαφόρων διεργασιών αφαλάτωσης (Wangnick, 2004)

Τεχνολογία	MSF	MED	MED-TVC	MVC	RO	ED
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	<120	<70	<70	<70 ^a	<45	<45
Τύπος Ενέργειας	Ατμός (θερμική)	Ατμός (θερμική)	Ατμός (θερμική)	Μηχανική (ηλεκτρική)	Μηχανική (ηλεκτρική)	Μηχανική (ηλεκτρική)
Κατανάλωση θερμικής ενέργειας (kWh/m ³)	12	6	21	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/m ³)	3,5	1,5	1,5	8-14	4-7 ^b	1 ^c
Τυπική αλατότητα	30000-100000	30000-100000	30000-100000	30000-50000	1000-45000	100-3000

νερού τροφοδοσίας (ppm)						
Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	<10	<10	<10	<10	<500	<500
Τυπική δυναμικότητα (m ³ /day)	5000- 70000	500- 12000	100- 25000	10-2500	1-10000	1-12000

a Εξαιρούνται κάποιες περιπτώσεις προσθήκης οξέων, όπου η θερμοκρασία ανέρχεται σε 100 °C

b Θαλασσίνο νερό, αλλιώς χαμηλότερη τιμή

c Υπολογισμένο για νερό τροφοδοσίας 1500 ppm (αύξηση 0,5 kWh για κάθε 1000 ppm αύξηση)

Μια ακόμα αναφορά στο ζήτημα της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης της Αντίστροφης Όσμωσης (RO) αλλά και της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (MED), γίνεται σε προβολή των **Γ. Κάραλη και Μ. Ζούλια** σχετικά με «Πilotικό πρόγραμμα με μονάδα αφαλάτωσης και παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ», στην ημερίδα «ENERΓΕΙΑ- ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ» (ΚΕΔΚΕ, 18 Απριλίου 2008). Τα στοιχεία αυτά περιέχονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-10. Ενεργειακές ανάγκες της Αντίστροφης Όσμωσης και της Πολυβάθμιας Εξάτμισης
(Κάραλης & Ζούλιας, 2008)

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική ενεργειακή κατανάλωση
Αντίστροφη Όσμωση (RO) για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με σύστημα ανάκτησης ενέργειας	5 KWh/m ³
Αντίστροφη Όσμωση (RO) για αφαλάτωση θαλασσινού νερού χωρίς σύστημα ανάκτησης ενέργειας	12 KWh/m ³
Αντίστροφη Όσμωση (RO) για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού	2 KWh/m ³
Πολυβάθμια Εξάτμιση (MED)	Ηλεκτρική ενέργεια: 3 KWh/m ³ Θερμική ενέργεια: 290 KJ/Kgr

Επίσης, ενδιαφέρουσα είναι και η παρουσίαση του **Α. Μπελέτη (2010)**, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ProDes, στην οποία περιέχονται γενικά στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης της αφαλάτωσης, ανάλογα με την δυναμικότητα παραγωγής (μικρότερη και μεγαλύτερη των 100 m³/ημέρα) και ανεξάρτητα με τη χρησιμοποιούμενη διεργασία (Πίνακας 4-11). Από αυτά, παρατηρείται ότι για παραγωγή μικρότερη των 100 m³/ημέρα, η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται όσο αυξάνεται η δυναμικότητα, ενώ για παραγωγή μεγαλύτερη των 100 m³/ημέρα, η ενεργειακή κατανάλωση παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως της δυναμικότητας (Μπελέτης, 2010).

Πίνακας 4-11. Η ενεργειακή κατανάλωση σε συστήματα αφαλάτωσης με παραγωγή μικρότερη και μεγαλύτερη των 100 m³/ημέρα (Μπελέτης, 2010)

Συστήματα με παραγωγή <100 m ³ /ημέρα		
Παραγωγή (m ³ /ημέρα)	(m ³ /ώρα)	Ενέργεια (kWh/m ³)
2	0,1	30
6	0,26	11,5
20	0,9	6,9
75	3,3	6,3
100	4,4	4,7
Συστήματα με παραγωγή >100 m ³ /ημέρα		
100	4,4	3
250	11	3
500	22	3

1000	44	3
------	----	---

Κατά τη διεξαγωγή του σεμιναρίου του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, στα πλαίσια του προγράμματος «**Promotion of Renewable Energies for Water Production through Desalination (ProDes)**», στις **29 Οκτωβρίου 2009**, παρουσιάζονται στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης υπό λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης, ανά τον κόσμο. Συγκεκριμένα, η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας PV/RO υφάλμυρου νερού στην πόλη Aqaba (Jordan), δυναμικότητας 50 m³/day (18250 m³/year), είναι 3.6 kWh/m³ (Τζέν Ε. , PV Membrane Processes, 2009), ενώ η μονάδα MED, με εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας (παραβολικά κάτοπτρα) και δυναμικότητα 3 m³/hr (72 m³/day), για αφαλάτωση θαλασσινού νερού στην πόλη Almeria (Spain), χαρακτηρίζεται από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 3,3–5 kWh/m³ και από κατανάλωση θερμικής ενέργειας 57,5-70 kWh/m³ (Τζέν Ε. , Solar Thermal Desalination, 2009). Επιπροσθέτως αναφέρεται η περίπτωση της μονάδας WG/MVC θαλασσινού νερού, στη νήσο Pozo Izquierdo (Gran Canaria, Spain) με δυναμικότητα 50 m³/day και ενεργειακή κατανάλωση 16 kWh/m³, καθώς και η ίδιας τεχνολογίας μονάδα στη νήσο Ruegen (Germany), παραγωγικότητας 300 m³/day με κατανάλωση που κυμαίνεται από 9-20 kWh/m³ (Τζέν Ε. , Wind Desalination, 2009). Στην εξέταση πραγματικών περιπτώσεων προστίθενται τα στοιχεία, που αναφέρονται από τον **Α. Γερασίμου (2010)**, πρόεδρο και διευθύνοντα συμβούλου του Ομίλου εταιρειών ΙΤΑ, για τη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ στη νήσο Μήλο (Ελλάδα) δυναμικότητας 3360 m³/day με κατανάλωση 2,5 kWh/m³, μόνο για τη μονάδα αφαλάτωσης και 4 kWh/m³, συνολικά (συμπεριλαμβανομένων των αντλιών του συστήματος) (Γερασίμου, Ιούνιος 2010). Παραμένοντας στον Ελλαδικό χώρο, πληροφορούμαστε από τους **S.A. Avlonitis, K. Kouroumbas και N. Vlachakis (2003)**, ότι σε αρκετές μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού Αντίστροφης Όσμωσης υπολογίζεται μια μέση κατανάλωση περίπου 5 kWh/m³. Μάλιστα αναφέρονται κάποιες συγκεκριμένες μονάδες στη Σαντορίνη, την Ιθάκη, τη Σύρο και τη Μύκονο, τα στοιχεία των οποίων περιέχονται στον Πίνακα 4-12, που ακολουθεί.

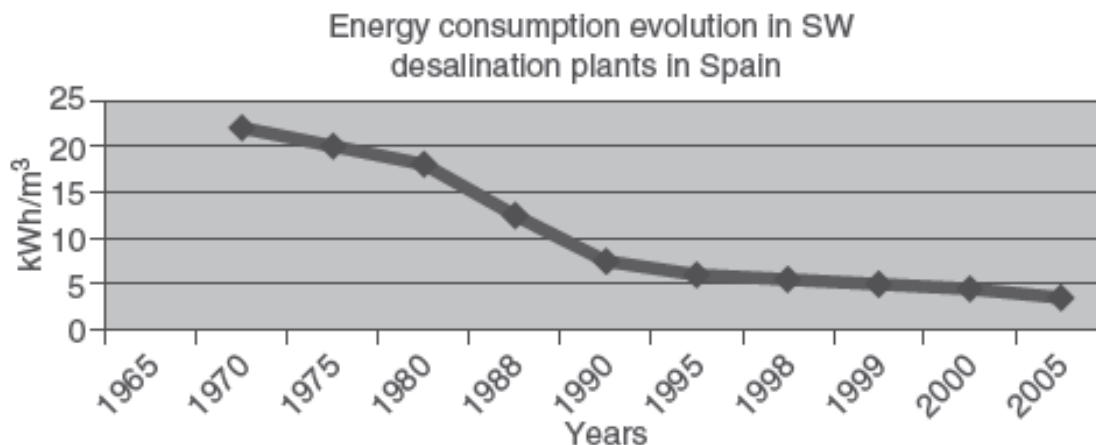
Πίνακας 4-12. Ειδική ενεργειακή κατανάλωση για μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης θαλασσινού νερού, στη Ελλάδα (Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants, 2003)

Τοποθεσία Μονάδας	Δυναμικότητα (m ³)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
Οία	12000	4,6
Οία	5400	4,65
Οία	9000	5,28
Τος	14880	3,02
Ιθάκη	9275	9,38
Σύρος	17856	6,16
Μύκονος	15000	8,36

Στην εν λόγω μελέτη αναφέρεται επίσης, πως το θεωρητικό μηχανικό έργο για την αφαλάτωση νερού ανεξαρτήτως μεθόδου, είναι 1 kWh/m³. Στην πραγματικότητα οι τιμές κατανάλωσης για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού εντοπίζονται μεταξύ 0,9834 και 12,87 kWh/m³. Παρόλα αυτά, σε μονάδα αφαλάτωσης MSF στο Kuwait η κατανάλωση υπολογίστηκε μεταξύ 22,2 και 40 kWh/m³, ενώ και σε πολλές περιπτώσεις συμπαραγωγής η κατανάλωση εντοπίστηκε στα υψηλά επίπεδα των 16-22 kWh/m³. Εξετάζοντας τώρα τις διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης για σταθερή δυναμικότητα 31.822 m³/day προκύπτουν οι εξής τιμές ενεργειακής κατανάλωσης: 51,7 kWh/m³ για

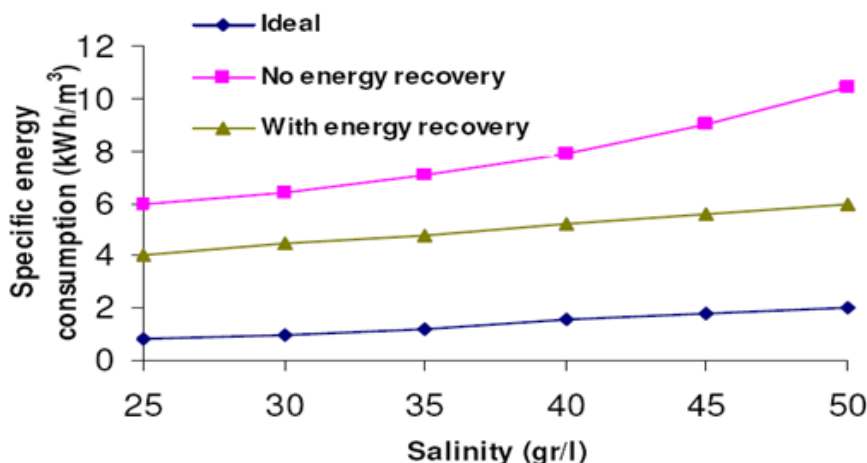
MSF, 45 kWh/m³ για MED και 6,7-8 kWh/m³ για RO. Πιο συγκεκριμένα, για την RO, σε μια τυπική εγκατάσταση αφαλάτωσης 28.3875 m³/day, η κατανάλωση είναι 6,76 kWh/m³, ενώ με την εγκατάσταση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (RO-ER) η κατανάλωση υπολογίστηκε σε 5,09 kWh/m³. Πολύ σημαντική είναι και η παρατήρηση των συγγραφέων σχετικά με τη μεγάλη διαφορά που παρατηρείται στην κατανάλωση μεταξύ Θερμικών διεργασιών και διεργασιών Μembranών. Ουσιαστικά, η ενέργεια στην περίπτωση των Θερμικών μεθόδων ισοδυναμεί με την ενέργεια του καυσίμου, ενώ στις διεργασίες Μembranών αντιστοιχεί σε ηλεκτρική ενέργεια, για την παραγωγή της οποίας καταναλώνεται πολλαπλάσια ενέργεια καυσίμου, με συνήθη βαθμό απόδοσης περίπου 0,3. Έτσι λοιπόν, η ενέργεια που καταναλώνεται ουσιαστικά στην περίπτωση της Αντίστροφης Όσμωσης είναι τριπλάσια της καταγραφόμενης, αλλά ακόμα και σε αυτή την περίπτωση παραμένει μικρότερη από τις αντίστοιχες τιμές των Θερμικών διεργασιών. Επιπλέον στοιχεία για την Αντίστροφη Όσμωση αναφέρουν ενεργειακή κατανάλωση μεταξύ 3,7 και 5,3 kWh/m³, ενώ αναφέρεται και η περίπτωση μονάδας αυτής της τεχνολογίας στη Δανία, όπου απαιτείται προθέρμανση του σχεδόν παγωμένου νερού, με αποτέλεσμα να καταναλώνονται περίπου 8,3 kWh/m³. Τέλος, σε μονάδες Αντίστροφης Όσμωσης με μικρή δυναμικότητα (<100 m³/day), το κόστος εγκατάστασης συστημάτων ανάκτησης ενέργειας είναι απαγορευτικά υψηλό και για το λόγο αυτό η κατανάλωση είναι σε υψηλότερα επίπεδα (10 kWh/m³) (Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants, 2003).

Επιστρέφοντας σε λειτουργικά στοιχεία υπαρχουσών μονάδων, αναφέρονται τα στοιχεία που καταγράφονται από τους **J. Jaime Sadhwani και Jose M. Veza (2007)**, σχετικά με τις εγκαταστάσεις Las Palmas III-IV και Sureste, στις Κανάριες Νήσους της Ισπανίας, που χρησιμοποιούν την τεχνολογία RO με ανάκτηση ενέργειας. Η μονάδα Las Palmas III-IV, ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1989 με δυναμικότητα 36.000 m³/day, την οποία αυξήθηκε σε 80.300 m³/day το έτος 2006. Αντίστοιχα, η ενεργειακή της κατανάλωση μειώθηκε από 6,16 σε 4,40 kWh/m³. Όσον αφορά τη μονάδα Sureste, ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1993 με 10.000 m³/day και κατέληξε το 2006 να παράγει 33.000 m³/day, με ταυτόχρονη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας από 5,75 σε 4,40 kWh/m³. Η μείωση της ενέργειας που απαιτείται σε αυτές τις περιπτώσεις αποδίδεται κυρίως στη χρήση τεχνολογικά νέων και εξελιγμένων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας, η εγκατάσταση των οποίων επιτρέπει την ιδιαίτερα αποδοτική ενεργειακή λειτουργία μονάδων ακόμα και σε περιπτώσεις μονάδων μικρής δυναμικότητας. Τέτοια είναι η περίπτωση της μονάδας Club Lanzatore (Playa Blanca, Spain), δυναμικότητας 500 m³/day, η οποία με τη χρήση τέτοιων συστημάτων επιτυγχάνει κατανάλωση μόλις 3 kWh/m³. Χαρακτηριστική είναι άλλωστε και η καμπύλη της ενεργειακής κατανάλωσης στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού με RO, στη διάρκεια των ετών 1965 έως 2006 στην Ισπανία, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω Γράφημα 4-1 (Sadhwani & Veza, 2008).



Γράφημα 4-1. Η εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης των μονάδων αφαλάτωσης στην Ισπανία (Sadhvani & Veza, 2008)

Από σχετική παρουσίαση του Δ. Μανωλάκου (2012), πληροφορούμαστε ότι αρχικά η ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης ήταν υψηλή, δηλαδή 12-15 kWh/m³. Η ενεργειακή κατανάλωση αυτή μπορεί να μειωθεί με αύξηση της παραγόμενης ποσότητας νερού ανά ποσότητα νερού τροφοδοσίας (Ανάκτηση νερού), κάτι που όμως οδηγεί σε χειρότερη ποιότητα παραγόμενου νερού, αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας, η οποία επίσης οδηγεί σε χειρότερη ποιότητα και τέλος με εγκατάσταση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας από την άλμη, κάτι που από ότι φαίνεται αποτελεί την καλύτερη λύση. Μία εικόνα για το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας από αυτά τα συστήματα προκύπτει από το παρακάτω γράφημα (Μανωλάκος, 2012).



Γράφημα 4-2. Η διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης σε συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης, βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας (Μανωλάκος, 2012)

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η διαχρονική πρόοδος της αφαλάτωσης με Αντίστροφη Όσμωση, η οποία περιέχεται στον Πίνακα 4-13. Σημειώνεται ότι, η μείωση στη ενεργειακή κατανάλωση οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των συστημάτων ανάκτησης ενέργειας.

Πίνακας 4-13. Η πρόοδος στην αφαλάτωση Αντίστροφης Όσμωσης (Μανωλάκος, 2012)

	Δεκαετία		
	1980	1990	2000
Ανάκτηση νερού (%)	25	40-50	55-65
Πίεση λειτουργίας	70	83	97

(bar)			
Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	500	300	<200
Ειδική κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ³)	12	6	2-5

Στην ίδια παρουσίαση γίνεται επίσης σύγκριση της ενεργειακής κατανάλωσης τριών διεργασιών αφαλάτωσης (MSF, MED, RO). Τα δεδομένα αυτά περιέχονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-14. Κατανάλωση των διεργασιών αφαλάτωσης MSF, MED και RO (Μανωλάκος, 2012)

Τεχνολογία	Θερμική ενέργεια (kJ/kg)	Ηλεκτρική ενέργεια (kWh/m ³)
MSF	333	4
MED	263	2
RO	-	4

Κλείνοντας τη βιβλιογραφική αναφορά, όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση, πρέπει να αναφερθούν κάποιες ακόμα σημαντικές έρευνες. Οι **Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis και V. Belessiotis (2008)**, εξέτασαν πειραματικά ένα σύστημα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με ανάκτηση ενέργειας, το οποίο τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά αλλά δεν περιλαμβάνει μπαταρίες και το συγκρίνουν με ίδιο σύστημα το οποίο όμως περιλαμβάνει μπαταρίες. Η ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης είναι ανεξάρτητη της ύπαρξης μπαταριών ή της ενεργειακής πηγής και υπολογίζεται περίπου ίση με 4,5 kWh/m³ (Mohamed, Papadakis, Mathioulakis, & Belessiotis, 2008). Στη μελέτη «**Economic feasibility of alternative designs of a PV-RO desalination unit for remote areas in the United Arab Emirates**» των **A.M. Helal, S.A. Al-Malek, E.S. Al-Katheeri (2008)**, δημιουργείται ένα μοντέλο προσομοίωσης αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης Reverse osmosis (RO) δυναμικότητας 20 m³/day και εξετάζονται 3 περιπτώσεις τροφοδοσίας του συστήματος (αποκλειστικά από γεννήτρια Diesel, υβριδικό σύστημα από γεννήτρια και φωτοβολταϊκά, και αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά χωρίς μπαταρίες). Η μέση ενεργειακή κατανάλωση που υπολογίζεται για αυτό το σύστημα αφαλάτωσης είναι σε όλες τις περιπτώσεις περίπου 7,74 kWh/m³ (Helal, Al-Malek, & Al-Katheeri, 2008). Μία ακόμη μελέτη που ερευνά ένα μοντέλο προσομοίωσης συστήματος αφαλάτωσης RO με σύστημα ανάκτησης ενέργειας, Clark pump, τροφοδοτούμενο αποκλειστικά από Α/Γ χωρίς μπαταρίες υλοποιείται από τους **Marcos S. Miranda και David Infield (2002)**. Η αφαλάτωση λειτουργεί ανάλογα με τη παρεχόμενη ισχύ από την Α/Γ, με μέση δυναμικότητα 8,5 m³/day, ενώ υπολογίζεται και μια μέση τιμή για την ενεργειακή κατανάλωση της τάξεως των 3,4 kWh/m³ (Miranda & Infield, 2002). Τέλος, οι **Essam Sh. Mohamed και G. Papadakis (2003)** εξετάζουν μια μονάδα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με ένα υβριδικό σύστημα από Α/Γ και Φ/Β. Η κατανάλωση της μονάδας υπολογίζεται σε 12 kWh/m³ (Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004).

4.3 Το κόστος των συστημάτων αφαλάτωσης στον Κόσμο και στην Ελλάδα

Ξεκινώντας τη βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με το κόστος της αφαλάτωσης, παρατίθεται το ενδεικτικό εύρος του κόστους εξοπλισμού, που ορίζεται ως ο λόγος του κόστους

επένδυσης προς την ημερήσια δυνατότητα παραγωγής, για τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης, σύμφωνα με τον **A. Kalogirou (2005)**. Τα στοιχεία αυτά περιέχονται στον Πίνακα 4-15. (Kalogirou, 2005).

Πίνακας 4-15. Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης βάσει του Κόστους Εξοπλισμού (Kalogirou, 2005)

Τεχνολογία αφαλάτωσης	MSF	MEB	VC	RO	Solar Still
Μέγεθος εγκατάστασης	Μεσαία-μεγάλη	Μικρή-μεσαία	Μικρή	Μικρή-μεγάλη	Μικρή
Επεξεργασία θαλασσινού νερού	Αναστολέας διάβρωσης αντιαφρώδες χημικό	Αναστολέας διάβρωσης	Αναστολέας διάβρωσης	Αποστειρωτής πήξης οξειδωτικό οξύ	-
Κόστος Εξοπλισμού (€/m ³)	950-1900	900-1700	1500-2500	900-2500 αλλαγή μεμβρανών κάθε 4-5 χρόνια	800-1000

* Οι μικρότερες τιμές αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις και το αντίστροφο

Οι **D. Voivontas, K. Misirlis, E. Manoli, G. Arampatzis, D. Assimacopoulos και A. Zervos (2001)**, ανέπτυξαν ένα εργαλείο λογισμικού για την εύρεση της καταλληλότερης τεχνολογίας ΑΠΕ, για την τροφοδότηση μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού δυναμικότητας 1000 m³/day. Οι τεχνολογίες αφαλάτωσης που εξετάζονται είναι αυτές της Αντίστροφης Όσμωσης (RO), της Συμπίεσης Ατμών (VC) και της Ηλεκτροδιάλυση (ED), ενώ οι τεχνολογίες ΑΠΕ είναι τα Φωτοβολταϊκά και οι Ανεμογεννήτριες. Στον Πίνακα 4-16, που ακολουθεί περιέχεται το ειδικό κόστος επένδυσης, αναλωσίμων, εργασίας και συντήρησης για τη μονάδα αφαλάτωσης αλλά και το κόστος ενέργειας που προκύπτει για τις επιλεγθείσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως αυτά υπολογίζονται στην προηγούμενη μελέτη (Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001).

Πίνακας 4-16. Κόστος επένδυσης και λειτουργίας διαφορετικών συστημάτων ΑΠΕ-αφαλάτωσης (Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)

Διαδικασία αφαλάτωσης	Αρχική επένδυση (€/m ³)	Αναλώσιμα (€/m ³)	Εργασία (€/m ³)	Συντήρηση (€/m ³)
Αντίστροφη Όσμωση	1600	0,25	0,2	0,05
Συμπίεση ατμών	2500	0,15	0,2	0,08
Ηλεκτροδιάλυση	328	0,13	0,2	0,01
Τεχνολογία ΑΠΕ	Εξοπλισμός (€/kWh)	Εγκατάσταση (€/kWh)		Συντήρηση (€/kWh)
Ανεμογεννήτριες	750	500		32
Φωτοβολταϊκά	4000	153		10

Βάσει των στοιχείων αυτών, υπολογίζεται το συνολικό κόστος παραγόμενου νερού και οι αναμενόμενες τιμές πώλησης του νερού, για κάθε έναν από τους συνδυασμούς αφαλάτωσης – ΑΠΕ (Πίνακας 4-17).

Πίνακας 4-17. Συνολικό κόστος και οι αναμενόμενες τιμές πώλησης του νερού, για συνδυασμούς αφαλάτωσης-ΑΠΕ (Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)

Συνδυασμός ΑΠΕ-αφαλάτωσης	Κόστος νερού (€/m ³)	Αναμενόμενη τιμή πώλησης νερού (€/m ³)
RO/WG/grid	1,5	1,68
RO/WG	1,69	1,87

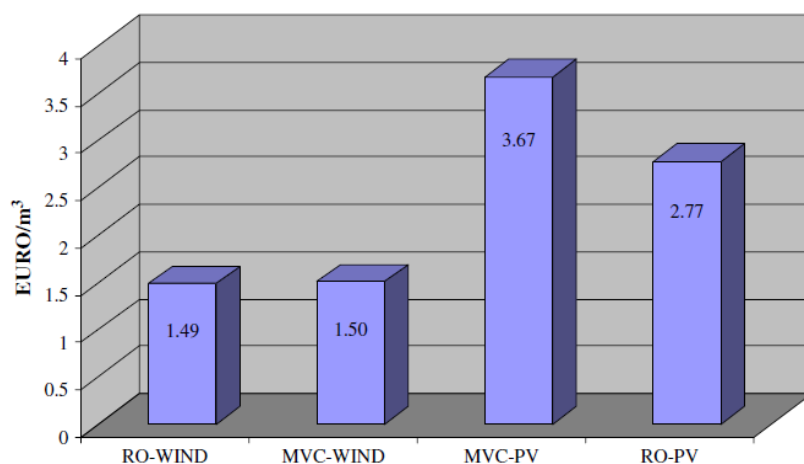
VC/WG/grid	2,13	2,42
VC/WG	2,44	2,74
PV/grid	3,15	3,78
PV	3,14	3,76

Το κόστος εγκατάστασης αλλά και το κόστος παραγωγής νερού κάποιων συστημάτων αφαλάτωσης, αναφέρονται επίσης, από τον **Raphael Semiat (2000)**, σε συνδυασμό με το πραγματικό κόστος των αντίστοιχων τεχνολογιών, που καταγράφεται σε εγκατεστημένα συστήματα (Πίνακας 4-18). Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία το κόστος εγκατάστασης και παραγωγής της MSF τεχνολογίας είναι αρκετά υψηλό. Οι τεχνολογίες RO και MED, παρουσιάζουν παρόμοια επίπεδα κόστους ενώ η μονάδα MED (MWD tower), παρουσιάζει κόστος σημαντικά χαμηλότερο, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με το κόστος της εγκατάστασης RO (Tampa bay), κάτι που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στους ευνοϊκούς χρηματοδοτικούς όρους και το χαμηλό κόστος ηλεκτρισμού (Semiat, 2000).

Πίνακας 4-18. Σύγκριση κόστους εγκατάστασης και παραγωγής για διάφορες τεχνικές αφαλάτωσης (Semiat, 2000)

Τεχνολογία	MSF	MSF (Singapore)	MED	MED (MWD tower)	VC	RO	RO (Tampa bay)
Κόστος Εγκατάστασης (\$/m ³ /day)	1200-1500	2300	900-1000	660	950-1000	700-900	1000-1350
Κόστος παραγόμενου νερού (\$cents/m ³)	110-125	150	75-85	46	87-95	68-92	45-56

Σύμφωνα τώρα με το πρόγραμμα προσομοίωσης που αναπτύχθηκε από τους **C. Koroneos, A. Dompros και G. Roumbas (2007)** μελετάται τεχνοοικονομικά η συνεργασία μεθόδων αφαλάτωσης όπως η RO και η MVC με Α/Γ και Φ/Β. Στο Γράφημα 4-3 παρουσιάζονται τα υπολογιζόμενα κόστη παραγωγής πόσιμου νερού των συνδυασμών αυτών, για δυναμικότητα παραγωγής 500 m³/day. Τα συστήματα RO-Α/Γ και MVC-Α/Γ παράγουν νερό συγκρίσιμου κόστους (1,49 €/m³ και 1,50 €/m³ αντίστοιχα), ενώ το νερό με το υψηλότερο κόστος παράγεται από την τεχνολογία MVC-Φ/Β (3,67 €/m³) (Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007).



Γράφημα 4-3. Υπολογιζόμενο ειδικό κόστος παραγωγής σε € μονάδας όγκου νερού 500 m³/day για διάφορους συνδυασμούς ΑΠΕ- μεθόδων αφαλάτωσης (Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007)

Μια ακόμα ενδελεχής μελέτη του κόστους που παρουσιάζουν τα συστήματα αφαλάτωσης είναι αυτή των **C. Karagiannis και Petros G. Soldatos (2008)**, στην οποία καταγράφεται το κόστος του αφαλατωμένου νερού όταν διαφοροποιείται το νερό τροφοδοσίας, η προέλευση της ενεργειακής τροφοδότησης, η μέθοδος αφαλάτωσης και ο συνδυασμός των διάφορων τεχνολογιών (π.χ. υβριδικά). Η μελέτη σχετικά με την επίδραση του νερού τροφοδοσίας καταλήγει στον Πίνακα 4-19, ο οποίος περιέχει το κόστος αφαλάτωσης για θαλασσινό και υφάλμυρο νερό αναλόγως του μεγέθους της μονάδας αφαλάτωσης, αναξαρτήτως από την πηγή ενέργειας και τη διεργασία αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 4-19. Κόστος νερού ανάλογα με το νερό τροφοδοσίας και το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)

Νερό τροφοδοσίας	Μέγεθος μονάδας (m ³ /day)	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	<1000	0,63–1,06
	5000–60000	0,21–0,43
	<1000	1,78–9,00
	1000–5000	0,56–3,15
Θαλασσινό	12000–60000	0,35–1,30
	>60000	0,40–0,80

Στη συνέχεια, εξετάζεται το κόστος αφαλάτωσης βάσει του είδους της ενέργειας που χρησιμοποιείται, η οποία μπορεί να είναι συμβατική (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κλπ) ή να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές (Αιολική, Ηλιακή, Γεωθερμική κλπ). Έτσι λοιπόν, προκύπτουν τα δεδομένα του Πίνακα 4-20 για το κόστος αφαλάτωσης βάσει της ενεργειακής πηγής και της προέλευσης του νερού αφαλάτωσης, ανεξάρτητα της τεχνολογίας αφαλάτωσης και της δυναμικότητας της μονάδας.

Πίνακας 4-20. Κόστος νερού με χρήση διαφορετικών ενεργειακών πηγών και διαφορετικών τύπων νερό τροφοδοσίας (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)

Νερό τροφοδοσίας	Ενεργειακό σύστημα	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	Συμβατικό	0,21–1,06
	Φωτοβολταϊκό	4,50–10,32
	Γεωθερμικό	2,00
Θαλασσινό	Συμβατικό	0,35–2,70
	Ανεμογεννήτρια	1,00–5,00
	Φωτοβολταϊκό	3,14–9,00
	Ηλιακοί συλλέκτες	3,50–8,00

Ένα ακόμα ζήτημα το οποίο εξετάζεται σε αυτή τη μελέτη είναι αυτό της τεχνολογίας αφαλάτωσης. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν ως προς το κόστος παραγόμενου νερού τόσο οι Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης, όσο και οι διεργασίες Μεμβρανών (RO), σε συνδυασμό με το μέγεθος της μονάδας αλλά και την αλατότητα του νερού τροφοδοσίας. Όσον αφορά τις Θερμικές διεργασίες προέκυψε ο Πίνακας 4-21, ενώ σχετικά με τη διεργασία της Αντίστροφης Όσμωσης, προέκυψε ο Πίνακας 4-22. Η έρευνα επισημαίνει ότι η Αντίστροφη Όσμωση είναι η κυρίαρχη μέθοδος αφαλάτωσης, κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρων υδάτων, αν και τα τελευταία χρόνια η χρήση της έχει επεκταθεί και στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει πλέον εφαρμογή και σε εγκαταστάσεις μεγάλου μεγέθους, που μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν μόνο θερμικές διεργασίες. Αυτό συμβαίνει γιατί η μέθοδος αυτή παρουσιάζει τις μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις, οι οποίες μπορούν να μειωθούν ακόμα περισσότερο με χρήση καινοτόμων τεχνολογιών ανάκτησης ενέργειας. Οι χαμηλές αυτές ενεργειακές απαιτήσεις έχουν άμεση επίδραση στο κόστος του

παραγόμενου νερού, το οποίο στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι μικρότερο του κόστους νερού από τις Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης.

Πίνακας 4-21. Κόστος αφαλάτωσης νερού στις Θερμικές διεργασίες βάσει του μεγέθους της μονάδας (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)

Μέθοδος αφαλάτωσης	Μέγεθος μονάδας (m ³ /day)	Κόστος (€/m ³)
MSF	<100	2,00-8,00
	12000-55000	0,76-1,20
	>91000	0,42-0,81
MED	23000-528000	0,42-1,40
VC	1000-1200	1,61-2,13

Πίνακας 4-22. Κόστος αφαλάτωσης νερού στις διεργασίες Μembranών (Αντίστροφη Όσμωση) βάσει του τύπου του νερού τροφοδοσίας (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)

Νερό τροφοδοσίας	Μέγεθος μονάδας (m ³ /day)	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	<20	4,50-10,32
	20-1200	0,62-1,06
	40000-46000	0,21-0,43
Θαλασσινό	<100	1,20-15,00
	250-1000	1,00-3,14
	1000-4800	0,56-1,38
	15000-60000	0,38-1,30
	100000-320000	0,36-0,53

Η έρευνα αυτή κλείνοντας εξετάζει το κόστος που προκύπτει από υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης. Παραδείγματος χάριν, δύο μικρά συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης δυναμικότητας 3 m³/day, που χρησιμοποιούν συνδυαστικά Φωτοβολταϊκά και Ανεμογεννήτριες, για την αφαλάτωση υφάλμυρου και θαλασσινού νερού, παράγουν νερό κόστους 7,53 €/m³ και 23 €/m³, αντίστοιχα. Επίσης, για μεγαλύτερα συστήματα δυναμικότητας 300 m³/day, τα οποία χρησιμοποιούν Φωτοβολταϊκά και Ανεμογεννήτριες συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρισμού, το κόστος μειώνεται σε 2,43 €/m³. Τελικά, αναφέρεται ότι από το συνδυασμό δύο τεχνολογιών αφαλάτωσης, των MED και VC, σε μια μονάδα δυναμικότητας 36000 m³/day, προκύπτει νερό κόστους 0,59 €/m³ (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008).

Σε έρευνα των **K. Bourouni, T. Ben M'Bare και A. Al Taeab (2011)** γίνεται εκτενής αναφορά του κόστους που συναντάται σε συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης, αναλόγως με τον τύπο του νερού τροφοδοσίας και την πηγή ενεργειακής τροφοδοσία. Τα δεδομένα αυτά συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα (Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeab, 2011).

Πίνακας 4-23. Το κόστος νερού από συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης με ενεργειακή τροφοδοσία από ΑΠΕ (Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeab, 2011)

Σύστημα	Νερό τροφοδοσίας	Δυναμικότητα μονάδας (m ³ /day)	Κόστος νερού (\$/m ³)
RO/PV/battery	Θαλασσινό	12	27
		120	7,4
	Υφάλμυρο	250	6,7
RO/PV	Θαλασσινό	1,5	2,95
RO/WG/battery	Υφάλμυρο	250	2,7
RO/WG/grid	Θαλασσινό	300	1,8
RO/PV/grid	Θαλασσινό	300	1,9

Μία ακόμα, πολύ σημαντική μελέτη, που αφορά το ζήτημα που εξετάζουμε, είναι αυτή των **Veera Ganeswar Gude, Nagamany Nirmalakhandan και Shuguang Deng (2010)**, οι οποίοι διερεύνησαν σε βάθος το ζήτημα του κόστους νερού που παράγεται από τα βασικότερα συστήματα αφαλάτωσης. Πιο αναλυτικά, αναφέρεται το κόστος παραγόμενου νερού που προκύπτει από την υβριδοποίηση των συστημάτων αφαλάτωσης και το οποίο στην περίπτωση ενός συστήματος RO-MD, όπου η άλμη από το σύστημα RO, αποτελεί το τροφοδοτικό διάλυμα του συστήματος MD, είναι 1,25 \$/m³, ενώ το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται σε 116 \$/m³. Αν το σύστημα διέθετε μόνο την τεχνολογία RO, τότε το κόστος παραγωγής θα ήταν επίσης 1,25 \$/m³, ενώ εάν διέθετε μόνο την MD το αντίστοιχο κόστος θα ήταν 1,32 \$/m³. Δηλαδή στην περίπτωση του συνδυασμού των τεχνολογιών παράγεται διπλάσια ποσότητα νερού, σε τιμή περίπου ίση με αυτή της RO ή μικρότερη από αυτή της MD. Συνεχίζοντας, οι συγκεκριμένοι ερευνητές επισημαίνουν την δυσκολία μιας οικονομικής αποτίμησης του κόστους παραγωγής και επένδυσης των συστημάτων αφαλάτωσης, καθώς τα στοιχεία επηρεάζονται από παράγοντες όπως το κόστος ενέργειας, υλικών και εργασίας, τα οποία διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων περιοχών των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης. Επίσης το κόστος επηρεάζεται από παράγοντες όπως η τεχνολογία της αφαλάτωσης, η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας και οι διάφορες οικονομικές παράμετροι, που επικρατούν στην περιοχή της εγκατάστασης την εξεταζόμενη κάθε φορά χρονική στιγμή. Με δεδομένα τα παραπάνω, συλλέγονται στοιχεία για το κόστος εγκατάστασης και παραγωγής, το οποίο σχετίζεται με τις επικρατούσες τεχνολογίες αφαλάτωσης, δυναμικότητας μεταξύ 200 και 40.000 m³/day (Πίνακας 4-24).

Πίνακας 4-24. Κόστος επένδυσης και παραγωγής για διεργασίες αφαλάτωσης με δυναμικότητα 200-40.000 m³/day (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Κόστος παραγόμενου νερού (\$/m ³)	Κόστος επένδυσης (Million \$)
MSF	200	3,8	0,75
	600	2,65	1,7
	1.200	2,25	3,2
		3,22	1,58
RO	200	3,25	0,5
	600	2,35	1,1
	1.200	2,15	2
	2.000	2	3
	3.000	1,85	4,2
MED	1200	1,6	2,3
	2000	0,825	3,25
	3.000	0,65	4,85
	20.000	1,24	35
	30.000-40.000	1,31	67
		1,08	70
MED-TVC	200	3,3	0,5

	600	2,25	1
	1.200	1,85	1,65
	2.000	1,8	2,5
	3.000	1,7	3,3
	20.000	1,55	35

Το μεγάλο εύρος που παρατηρείται στο κόστος αφαλάτωσης οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα μικρής δυναμικότητας συστήματα, τόσο συμβατικά όσο και με ΑΠΕ, απαιτούν μεγάλα κόστη επένδυσης. Αυτό το κόστος, καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μπορεί να μειωθεί σε περιπτώσεις συστημάτων υβριδικής ενεργειακής τροφοδοσίας, τα οποία χρησιμοποιούν ταυτόχρονα συμβατικές και Ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές. Συγκεκριμένα, για συστήματα αφαλάτωσης συνδεδεμένα με ΑΠΕ, ημερήσιας δυναμικότητας 2 έως 24 m³, το κόστος αφαλάτωσης κυμαίνεται από 1,5 έως 18,75 \$/m³. Για παράδειγμα, όταν ηλιακοί συλλέκτες τροφοδοτούν με ενέργεια μικρές μονάδες αφαλάτωσης, το κόστος υπολογίζεται σε 4-10 \$/m³, κάτι το οποίο κάνει βιώσιμη τη λειτουργία τέτοιων μονάδων σε απομονωμένες περιοχές με προβλήματα λειψυδρίας, στις οποίες το κόστος μεταφοράς νερού είναι αρκετά υψηλό. Η αξία του νερού αυξάνεται ιδιαίτερα σε περιοχές όπου παρουσιάζεται έλλειψη, τόσο σε αυτό, όσο και στην απαιτούμενη ενέργεια για την παραγωγή του. Η εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ για την τροφοδοσία τέτοιων συστημάτων αφαλάτωσης, μπορεί να εγγυηθεί την παραγωγή του απαιτούμενου νερού, μειώνοντας ταυτόχρονα και το κόστος. Στον Πίνακα 4-25, συγκεντρώνονται στοιχεία για το κόστος αφαλάτωσης, συναρτήσει του μεγέθους της μονάδας, αλλά και της χρησιμοποιούμενης ενεργειακής πηγής. Από τα δεδομένα του πίνακα συμπεραίνεται πως οι διεργασίες Μembrανών χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές και μεσαίες μονάδες, ενώ οι Θερμικές διεργασίες χρησιμοποιούνται πρωτίστως σε μονάδες μεγάλης δυναμικότητας. Στην περίπτωση πολύ μικρών μονάδων (< 100 m³/day), το κόστος αφαλάτωσης είναι μεγάλο τόσο για συμβατικές πηγές όσο και για ΑΠΕ. Αντιθέτως, όταν η δυναμικότητα μεγαλώνει, το κόστος μειώνεται. Το υψηλό κόστος είναι δυνατόν να μειωθεί, όπως αναφέρθηκε ξανά, μέσω υβριδικών συστημάτων, καθώς τέτοιες τεχνολογίες είναι κατάλληλες για μεγάλες εγκαταστάσεις. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι διεργασίες Μembrανών αποδίδουν καλύτερα όταν συνδυάζονται με Θερμικές διεργασίες και το αντίθετο. Πρόσθετα, σημειώνεται πως όταν τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούνται με ΑΠΕ, βελτιστοποιούνται οι συνολικές οικονομίες του συστήματος και επιτυγχάνεται βέλτιστη λειτουργία του. Για παράδειγμα, μια διεργασία αφαλάτωσης MSF που εφαρμόζεται σε μια μονάδα αφαλάτωσης 528.000 m³/day, παράγει νερό με κόστος 0,42 \$/m³, τη στιγμή που αν συνδυαστεί με τη διεργασία της RO, το κόστος μειώνεται κατά 15%. Τέλος, σε περιπτώσεις συμπαραγωγής, όπως αυτές που περιέχονται στον Πίνακα 4-25, το κόστος μπορεί να είναι επίσης αρκετά χαμηλό έως και 0,08 \$/m³ (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010).

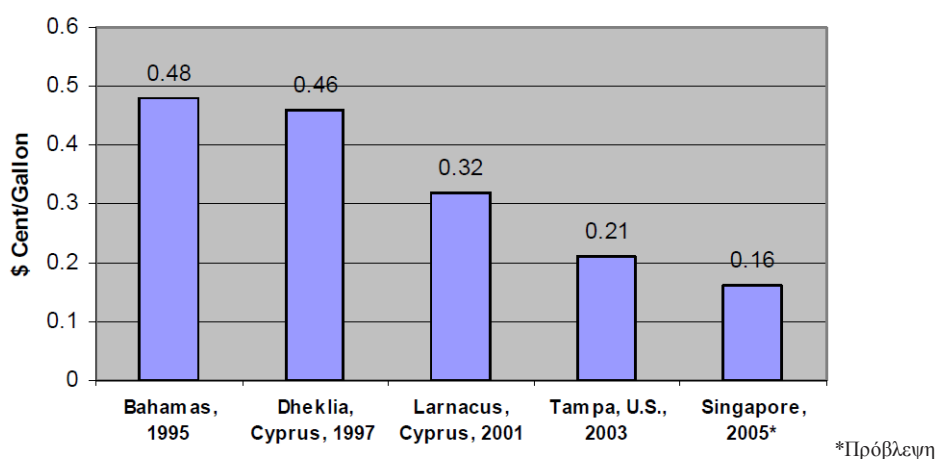
Πίνακας 4-25. Κόστη διεργασιών αφαλάτωσης αναλόγως της δυναμικότητας και της ενεργειακής πηγής (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)

Διεργασία αφαλάτωσης	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ενεργειακή πηγή	Κόστος ενέργειας (\$/kWh)	Κόστος αφαλάτωσης νερού (\$/m ³)
Οικιακής κλίμακας εφαρμογές				
SD	0,006	Ηλιακή	-	12,53

SD	0,009	Ηλιακή	-	10
SD	0,8	Ηλιακή	-	12,5
SD	1	Ηλιακή	-	12
ME-SD	1	Ηλιακή	-	50
RO	1	Φ/Β	-	12,05
RO	1	Φ/Β	-	3,73
MD	0,1	Ηλιακή	-	15
MD	0,5	Ηλιακή	-	18
MD	1	Γεωθερμική	-	130
MSF	1	Ηλιακή	-	2,84
SD	5	Ηλιακή	-	0,52-2,99
ED	5	Ηλεκτρική	-	5
RO	10	Ηλεκτρική	-	4
MED	<100	Συμβατική	-	2,5-10
MVC	375	Συμβατική	-	2,9-3,8
Μικρής κλίμακας εφαρμογές				
RO	250	Συμβατική (diesel generator)	0,07	3,21
RO	300	Συμβατική (diesel generator)	0,06	1,82
RO	350	Συμβατική (diesel generator)	0,07	1,36
RO	500	Συμβατική (diesel generator)	0,06	2,94
RO	500	Συμβατική (diesel generator)	0,06	1,42
RO	500	Συμβατική (diesel generator)	0,06	1,25
RO	500	Συμβατική (diesel generator)	0,06	2,57
RO	600	Συμβατική (diesel generator)	0,06	2,95
MVC	1000	Συμβατική	-	1,51
MVC	1000-1200	A/Γ	-	2-2,6
MVC	1200	Συμβατική	-	3,22
VC	3000	Συμβατική	-	0,7
MED	10000	Συμβατική	-	0,88
MED	12000-55000	Συμβατική	-	0,95-1,95
MSF	20000	Συμβατική (natural gas)	-	2,02
Μεγάλης κλίμακας εφαρμογές				
MSF (DUAL PURPOSE)	20000	Συμβατική (natural gas)/ατμός	0,0001	0,08
RO	2000	Συμβατική (diesel generator)	0,06	2,23
RO	5000	Συμβατική (diesel generator)	0,06	1,54
RO	10000	Συμβατική (diesel generator)	0,05	1,18
RO	20000	Συμβατική (diesel generator)	0,05	1,04
RO	50000	Συμβατική (diesel generator)	-	0,86
RO	95000	Συμβατική	-	0,83
RO	100000	Συμβατική	-	0,43
RO	100000-320000	Συμβατική	-	0,45-0,66
MED	91000-320000	Συμβατική	-	0,52-1,01
MSF	23000-528000	Συμβατική	-	0,52-1,75

Σε μελέτη των **S. Bouguecha, B. Hamrouni και M. Dhahbi (2005)**, η οποία αναφέρθηκε προηγουμένως, αναλύθηκε η λειτουργία τριών συστημάτων αφαλάτωσης, ένα Ηλιακής Αφαλάτωσης (15 kg/day), ένα Αντίστροφης Όσμωσης με Φωτοβολταϊκά (2,03-2,38 m³/h) και ένα Απόσταξης Μembrάνης με Γεωθερμία (17 kg/day). Το κόστος του παραγόμενου νερού για κάθε ένα σύστημα υπολογίστηκε σε 0,05 \$/L, 0,08 \$/L και 0,13 \$/L, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι παρόλη τη χαμηλή θερμοδυναμική απόδοση που γενικά χαρακτηρίζει το σύστημα της ηλιακής αφαλάτωσης, το κόστος του είναι κατά πολύ μικρότερο από το κόστος νερού στην περίπτωση της Αντίστροφης Όσμωσης με Φωτοβολταϊκά, αλλά και της Απόσταξης Μembrάνης με Γεωθερμία. Δηλαδή, σε απομονωμένες περιοχές με έλλειψη νερού και πλούσιο σε ηλιοφάνεια κλίμα, η ηλιακή αφαλάτωση μοιάζει να αποτελεί ιδανική λύση για την παραγωγή πόσιμου νερού (Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005). Περισσότερα στοιχεία για τη χρήση ηλιακής θερμικής ενέργειας παρέχονται από τους **Hazim Mohameed Qiblawey και Fawzi Banat (2008)**. Το σύστημα που αναφέρουν χρησιμοποιεί την τεχνολογία MSF, με παραβολικά κάτοπτρα, τα οποία παράγουν θερμική ενέργεια με τη μορφή ατμού. Μια τυπική τέτοια μονάδα χρησιμοποιεί 48 kW για την παραγωγή 450 L/day σε τρία στάδια. Οι συλλέκτες (περίπου 45 m²) κοστίζουν περίπου 10000 \$, ενώ το νερό που παράγεται κοστίζει 7,9 \$/m³. Μια ακόμα τεχνολογία εκμετάλλευσης της ηλιακής θερμικής ενέργειας στην αφαλάτωση είναι σε συνδυασμό με την τεχνολογία MED. Σχετικά στοιχεία για μονάδες δυναμικότητας 500 έως 5000 m³/day, αποκαλύπτουν κόστος που κυμαίνεται από 3,2 έως 2 \$/m³, ενισχύοντας την άποψη ότι το κόστος αφαλάτωσης μειώνεται όσο αυξάνεται η δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης (Qiblawey & Banat, 2008).

Μια ακόμα, πολύ αναλυτική, έρευνα συγκέντρωσης στοιχείων σχετικά με το κόστος που αποδίδεται στην αφαλάτωση, είναι αυτή των **Ulrich Ebensperger και Phyllis Isley (2005)**. Όπως καταγράφεται από πραγματικές μονάδες αφαλάτωσης, το κόστος της Αντίστροφης Όσμωσης, κατά το έτος 2005, φαίνεται να έχει μειωθεί στο ένα τρίτο του κόστους του 1995 (Γράφημα 4-4).



Γράφημα 4-4. Το μοναδιαίο κόστος νερού από εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης κατά τα έτη 1995-2005 (Ebensperger & Isley, 2005)

Η μείωση αυτή, δεν οφείλεται μονάχα στην ραγδαία εξέλιξη της εν λόγω τεχνολογίας κατά τα έτη αυτά, αλλά και στην επίτευξη οικονομικών κλίμακας λόγω της αύξησης του μεγέθους τέτοιων μονάδων. Το μέγεθος της επίδρασης, που οι παραπάνω παράγοντες έχουν στο κόστος αφαλάτωσης,

είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, καθώς λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα. Σχετικά με το γράφημα αναφέρεται, πως καθώς το κόστος μειώνεται στο 1/3 της τιμής του, το μέγεθος (δυναμικότητα) των μονάδων σχεδόν δεκαπλασιάζεται στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Στον Πίνακα 4-26, ο οποίος περιέχει το κόστος αφαλάτωσης μονάδων διαφορετικής τεχνολογίας κατά το έτος 2001, φαίνεται ξεκάθαρα η μείωση του κόστους που λαμβάνει χώρα με την αύξηση της δυναμικότητας (πρέπει να ξεκαθαριστεί ότι τα στοιχεία του πίνακα αυτού αναφέρθηκαν για πρώτη φορά σε μελέτη των **Mohamed A. Eltawil, Zhao Zhengming, Liqiang Yuan το έτος 2009**). Τα μεγέθη, που αναφέρονται, τονίζεται ότι δεν αντιπροσωπεύουν το σύνολο των μονάδων παρόμοιων χαρακτηριστικών, καθώς το συνολικό κόστος του νερού εξαρτάται από τοπικούς παράγοντες, όπως το κόστος ενέργειας και επένδυσης.

Πίνακας 4-26. Μοναδιαίο κόστος παραγωγής νερού μονάδων αφαλάτωσης διαφορετικών τεχνολογιών, κατά το έτος 2001 (Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)

Τύπος συστήματος: Δυναμικότητα (mgpd)	Μοναδιαίο κόστος παραγωγής νερού (\$/gallon)
Πρωτοποριακές διεργασίες	
MEE-VS / 90,53	0,182
MEE-ABS / 2,5	0,133
MVC	
0,03	1,894
0,13	1,220
1,06	0,939
1,20	0,920
5,28	0,174
RO	
5,28 (single stage)	0,242
5,28 (two stage)	0,288
0,03	0,898
1,06	0,750
1,20	0,489
9,99	0,413
10,56	0,314
12,00	0,258
30,00	0,208
MSF	
7,13 (dual purpose)	0,292
7,13 (single purpose)	0,621
8,45 (gas turbine, waste boil heater)	0,545
7,13	0,595
9,99	0,473
MEE	
6,00 (dual purpose)	0,330
6,00 (single purpose)	0,739
6,00	0,529
6,00	0,470
9,99	0,409
9,99	0,496
MEE-TVC	
5,85 (single purpose)	0,886
5,85 (dual purpose)	0,496
5,85	0,587

Περαιτέρω ανάλυση γίνεται σχετικά με τον επιμερισμό του κόστους, σε κόστος επένδυσης, κόστος ενέργειας και κόστος χημικών (Πίνακας 4-27).

Πίνακας 4-27. Επιμερισμός του συνολικού κόστους, για διαφορετικές διεργασίες αφαλάτωσης
(Ebensperger & Isley, 2005)

Διεργασία αφαλάτωσης	Δυναμικότητα	Κόστος επένδυσης	Ειδικό κόστος επένδυσης	Κόστος ενέργειας	Ειδικό κόστος ενέργειας	Ειδικό κόστος χημικών	Συνολικό ειδικό κόστος
	mgpd	\$/year	Cent\$/g/day	\$/year	Cent\$/g/day	Cent\$/g/day	Cent\$/g/day
RO	0,3	924000	0,048	1710000	0,018	0,042	0,107
RO	8,4	53300000	0,086	6261000	0,002	0,125	0,213
RO	10	49700000	0,068	4300000	0,001	0,027	0,096
RO	25	98000000	0,054	5475000	0,001	0,020	0,074
MVC	0,3	894000	0,046	152000	0,002	0,008	0,056
MVC	0,3	1586000	0,069	140000	0,001	0,008	0,078
MVC	5,3	56000000	0,145	2690000	0,001	0,019	0,166
MSF	8,4	72600000	0,118	11539000	0,004	0,078	0,200
MSF	10	60500000	0,083	4300000	0,001	0,009	0,093
MSF	12	76817000	0,088	12453000	0,003	0,022	0,112
MEE	6	35050000	0,080	3719000	0,002	0,023	0,105
MEE	8,4	67200000	0,109	12059000	0,004	0,078	0,191
MEE	10	70400000	0,097	1000000	0,000	0,009	0,106
MEE-TVC	6	34650000	0,079	5658000	0,003	0,022	0,104
MEE-VS	90	187100000	0,028	13650000	0,000	0,015	0,044

Τελικά, παρουσιάζεται το γνωστό παράδειγμα της πραγματικής μονάδας Αντίστροφης Οσμωσης στην περιοχή Tampa Bay (USA), η οποία με αρχική παραγωγή 25 mgpd θεωρείται η μεγαλύτερη εγκατάσταση αυτού του είδους στην Αμερική. Η μονάδα αυτή ξεκίνησε τη λειτουργία της το 2003, με κόστος παραγωγής νερού 0,0025\$/gallon, το οποίο θεωρείτο από τα χαμηλότερα της εποχής του. Στη συνέχεια, το κόστος αυτό μειώθηκε ακόμα, φθάνοντας τα 0,0019 \$/gallon, τιμή συγκρίσιμη με το κόστος για την εκμετάλλευση των υπόγειων νερών της περιοχής (0,001 \$/gallon) (Ebensperger & Isley, 2005).

Σε αυτό το σημείο, παρατίθεται μια πιο γενική προσέγγιση του ζητήματος που εξετάζεται, όπως αυτή αναφέρεται από τον **Α. Μπελέτη (2010)**. Σύμφωνα με αυτή, το κόστος αφαλάτωσης νερού αναλόγως τη δυναμικότητα του συστήματος, ανεξαρτήτως όμως της διεργασίας αφαλάτωσης, κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 2,6 €/m³. Παρατηρείται μάλιστα ότι το κόστος αυτό είναι αντιστρόφως ανάλογο της δυναμικότητας παραγωγής, ενώ για δυναμικότητα μεγαλύτερη των 100 m³/ημέρα το κόστος παραμένει περίπου σταθερό στην τιμή των 0,5 €/m³ (Πίνακας 4-28) (Μπελέτης, 2010).

Πίνακας 4-28. Το κόστος νερού σε συστήματα αφαλάτωσης με παραγωγή μικρότερη και μεγαλύτερη των 100 m³/ημέρα (Μπελέτης, 2010)

Παραγωγή		Κόστος (€/m ³)
(m ³ /ημέρα)	(m ³ /ώρα)	
Συστήματα με παραγωγή <100 m³/ημέρα		
2	0,1	2,6
6	0,26	1,1
20	0,9	0,75
75	3,3	0,7
100	4,4	0,58
Συστήματα με παραγωγή >100 m³/ημέρα		
100	4,4	0,5
250	11	0,5
500	22	0,5
1000	44	0,5

Παραμένοντας στη γενικότερη εξέταση του ζητήματος του κόστους, ο **Δ. Μανωλάκος** αναφέρει σε παρουσίαση του, πως το κόστος της αφαλάτωσης αναλόγως με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται και τον τύπο του προς αφαλάτωση ύδατος διαρθρώνεται όπως στον Πίνακα 4-29. Από

τα δεδομένα αυτά φαίνεται καθαρά πως στις περισσότερες περιπτώσεις το κόστος αφαλάτωσης με συμβατικές ενεργειακές πηγές είναι αρκετά χαμηλότερο του κόστους αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ. Επίσης ως προς τις ΑΠΕ, οικονομικότερη φαίνεται να είναι η αιολική ενέργεια, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και η γεωθερμική για την αφαλάτωση υφάλμυρου ύδατος (Μανωλάκος, 2012).

Πίνακας 4-29. Κόστος αφαλάτωσης αναλόγως με την πηγή ενέργειας και τον τύπο τροφοδοτούμενου ύδατος (Μανωλάκος, 2012)

Τύπος νερού	Πηγή Ενέργειας	Κόστος (€/m ³)
Υφάλμυρο	Συμβατική	0,21-1,06
	Φ/Β	4,5-10,32
	Γεωθερμία	2
Θαλασσινό	Συμβατική	0,35-2,70
	Άνεμος	1-5
	Φ/Β	3,14-9

Σε μελέτη των **Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis, E. Mathioulakis και V. Belessiotis (2008)** δοκιμάζεται πειραματικά ένα σύστημα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με ανάκτηση ενέργειας, το οποίο τροφοδοτείται από Φωτοβολταϊκά χωρίς μπαταρίες. Το σύστημα αναμένεται να παράγει 0,35 m³/day το χειμώνα με ειδική ενεργειακή κατανάλωση 4,6 kWh/m³ και κόστος 7,8 €/m³, ενώ το αντίστοιχο σύστημα με μπαταρίες, παράγει 0,6 m³/day με κόστος 8 €/m³ (Mohamed, Papadakis, Mathioulakis, & Belessiotis, 2008). Από τους **Essam Sh. Mohamed, G. Papadakis (2004)**, επίσης, αναλύθηκε και μοντελοποιήθηκε ένα υβριδικό σύστημα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ και Φ/Β και σύστημα ανάκτησης ενέργειας. Το απλοποιημένο μοντέλο προσομοίωσης που δημιουργήθηκε για την τεχνικοοικονομική ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος καταλήγει σε κόστος παραγωγής νερού 5,2 €/m³ (Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004). Μια ακόμα δημοσιευμένη μελέτη, των **Asmerom M. Gilau και Mitchell J. Small (2008)**, ασχολείται με ένα μοντέλο προσομοίωσης, συστήματος αφαλάτωσης RO παραγωγής 35m³/day, τροφοδοτούμενο από διαφορετικούς συνδυασμούς ενεργειακών συστημάτων. Οι συνδυασμοί που εξετάζονται είναι μεταξύ Ανεμογεννήτριας, Φωτοβολταϊκών και Συμβατικών Συστημάτων (Ντιζελογεννήτρια) (Πίνακας 4-30).

Πίνακας 4-30. Κόστος ενέργειας και συνολικό κόστος αφαλάτωσης για διάφορες ενεργειακές πηγές (Gilau & Small, 2008)

Ενεργειακή πηγή	Α/Γ-Μπαταρίες	Α/Γ-Φ/Β-Μπαταρίες	Α/Γ-Ντιζελ.-Μπαταρίες	Α/Γ-Φ/Β-Ντιζελ.-Μπαταρίες	Α/Γ-Ντιζελ.	Α/Γ-Φ/Β-Ντιζελ.	Φ/Β	Ντιζελ.	Φ/Β-Ντιζελ.
Κόστος Ενέργειας (\$/kWh)	0,18	0,18	0,26	0,27	0,29	0,3	0,3	0,4	0,4
Κόστος νερού (\$/m ³)	0,53	0,57	0,74	0,74	0,79	0,82	0,82	1,04	1,05

Μέσω κάποιων παρεμβάσεων στο σύστημα αφαλάτωσης (πιο αποδοτικές μεμβράνες, χρήση στροβίλου για ανάκτηση ενέργειας), η ειδική ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται στην τιμή των 2,33 kWh/m³, ενώ το χαμηλότερο κόστος παραγόμενου νερού προκύπτει για τις Α/Γ-Μπαταρία, 0,53 €/m³ και το υψηλότερο για τα Φ/Β, 1,05 €/m³ (Gilau & Small, 2008). Ένα άλλο μοντέλο προσομοίωσης ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης εξετάζεται στην περίπτωση των **A.M. Helal, S.A. Al-Malek και E.S. Al-Katheeri (2008)**. Συγκεκριμένα, εξετάζονται 3 περιπτώσεις ενεργειακής τροφοδοσίας του

συστήματος, αποκλειστικά από Ντιζελογεννήτρια, υβριδικό σύστημα από Ντιζελογεννήτρια - Φωτοβολταϊκά και αποκλειστικά από Φωτοβολταϊκά (χωρίς μπαταρίες). Από τον υπολογισμό των τεχνικοοικονομικών μεγεθών προέκυψαν οι τιμές 7,21, 7,64 και 7,34 \$/ m³ για το κόστος του παραγόμενου νερού αντίστοιχα. Δηλαδή, το χαμηλότερο κόστος νερό παράγεται από το συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης. Επίσης, όσον αφορά το κόστος ενέργειας, αυτό διαμορφώνεται σε 1,81, 2,14 και 1,31 \$/m³, αντίστοιχα. Τέλος, το κόστος εγκατάστασης είναι 14.874,29, 14.875,76 και 18.277,59 \$/m³*day. Με λίγα λόγια, το χαμηλότερο κόστος νερό παράγεται από το συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης, ενώ τα Φ/Β παρουσιάζουν το χαμηλότερο κόστος ενέργειας και ταυτόχρονα το υψηλότερο κόστος επένδυσης (Helal, Al-Malek, & Al-Katheeri, 2008). Από τους **Sultan A. Kershman, Jurgen Rheinländer, Thomas Neumann και Olaf Goebel (2005)**, ερευνάται πιθανή εγκατάσταση στην περιοχή Ras Edjer (σύνορα Λιβύας-Τυνησίας) μονάδας αφαλάτωσης RO-ER, δυναμικότητας 300 m³/day και υβριδικού συστήματος παροχής ενέργειας με Α/Γ και Φ/Β. Το σύστημα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο, ενώ σε περίπτωση άπνοιας και περιορισμένης ηλιοφάνειας, στο σύστημα παρέχουν ενέργεια μπαταρίες και μια Ντιζελογεννήτρια. Εξετάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί και εξάγονται συμπεράσματα μέσω ενός μοντέλου προσομοίωσης, τόσο για τη λειτουργία, όσο και για το ειδικό κόστος του κάθε συστήματος, για νερό τροφοδοσίας 42.000 ppm (Πίνακας 4-31).

Πίνακας 4-31. Το ειδικό κόστος παραγωγής νερού από μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού RO-ER, 300 m³/day, αναλόγως με το σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας (Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)

Σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό κόστος παραγόμενου ύδατος (€/m ³)
Συμβατικό (Εθνικό Δίκτυο)	1,41
Φ/Β50kWpeak/Εθνικό Δίκτυο	1,89
Φ/Β200kWpeak/Εθνικό Δίκτυο	2,76
Α/Γ275kW/Εθνικό Δίκτυο	2,04
Α/Γ275 kW /PV50kWpeak / Εθνικό Δίκτυο	2,43
Συμβατικό (DieselGenerator200)/ Τοπικό Δίκτυο	2,06
Φ/Β50/Συμβατικό (Diesel Generator200kW)/ Τοπικό Δίκτυο	2,23
Α/Γ275/Συμβατικό (Diesel Generator200kW)/ Τοπικό Δίκτυο	2,31

Όπως φαίνεται, το ειδικό κόστος που προέκυψε κυμαίνεται από 1,41 €/m³ (τροφοδοσία μόνο από το δίκτυο) μέχρι 2,76 €/m³ (τροφοδοσία μόνο από φωτοβολταϊκά ισχύος 200 kW) (Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005).

Συνεχίζοντας, αναφέρεται η σύγκριση, που γίνεται από τους **D. Zejli, O-K. Bouhelal, R. Benchrifia και A. Bennouna (2002)**, μεταξύ δύο συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Οι τεχνολογίες που εξετάζονται είναι η Αντίστροφη Όσμωση και η Συμπύεση Ατμών, τροφοδοτούμενες από Α/Γ ή από ένα σύστημα “Dish-Strirling”, διασυνδεδεμένα στο δίκτυο. Στόχος, είναι η παραγωγή 1.200 m³/ημέρα, η οποία αντιστοιχεί στην κατανάλωση νερού κάποιων μικρών παραθαλάσσιων χωριών νότια του Morocco, με 10.000 κατοίκους. Για μια τυχαία ηλιοφάνεια 2.000 kWh/m² και ταχύτητα αέρα 8,6 m/sec, υπολογίζονται τα κόστη των συστημάτων και συγκρίνονται με το βασικό κόστος των δύο συστημάτων που είναι 1,415 €/m³ για την Αντίστροφη Όσμωση συνδεδεμένη στο δίκτυο και 2,435 €/m³ για την Συμπύεση Ατμών, επίσης συνδεδεμένη στο δίκτυο. Από τη χρήση Α/Γ, το κόστος για την Αντίστροφη Όσμωση και τη Συμπύεση Ατμών προκύπτει 0,79 (1,119 €/m³) και 0,64 (1,548 €/m³) φορές επί το αντίστοιχο βασικό κόστος, ενώ από τη χρήση του συστήματος “Dish-

Stirling” το κόστος προκύπτει 1,93 και 2,62 φορές μεγαλύτερο του βασικού (2,728 €/m³ και 6,373 €/m³, αντίστοιχα) (Zeji, Bouhelal, Benchrif, & Bennouna, 2002). Κλείνοντας την αναφορά γενικότερων και όχι τόσο συγκεκριμένων στοιχείων κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης, αναφέρεται η μελέτη του **Neil M. Wade (2001)**, στην οποία γίνεται μια συγκριτική ανασκόπηση των μεθόδων MED, MSF και RO, οι οποίες είναι συνήθως διαθέσιμες για μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Για δυναμικότητα παραγωγής 7mgpd (31.820 m³/day) καταγράφονται τα εξής κόστη παραγωγής νερού: 1,04 \$/m³ (MSF), 0,95 \$/m³ (MED), 0,82 \$/m³ (RO), και 0,75 \$/m³ (RO-ER) (Wade, 2001).

Στη συνέχεια παρατίθενται στοιχεία λειτουργίας εγκατεστημένων μονάδων. Αξίζει να αναφέρουμε ότι αρκετοί μελετητές ασχολήθηκαν με τη συγκέντρωση τέτοιων στοιχείων, τα οποία είναι χρήσιμα για την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων σχετικά με τις διάφορες τεχνολογίες αφαλάτωσης. Για παράδειγμα, σε μελέτη τους οι **Ε. Τζέν και Richard Morris (2003)**, αναφέρονται σε λειτουργικά δεδομένα από πραγματικές μονάδες ανά τον κόσμο. Ειδικότερα, η μονάδα MED 80 m³/day στο Abu Dhabi (United Arab Emirates), που τροφοδοτείται με θερμική ενέργεια από Ηλιακούς Συλλέκτες, παράγει νερό κόστους 8 \$/m³, ενώ η μονάδα RO-PV 5 m³/hr, στη νήσο Lampedusa (Italy), αφαλατώνει νερό με κόστος 6,5 €/m³. Επίσης, αναφέρεται το κόστος από τη μονάδα MED 80 m³/day στην Almeria (Spain), που τροφοδοτείται με θερμική ενέργεια από Ηλιακούς Συλλέκτες, το οποίο είναι περίπου 3,5 €/m³ (Tzen & Morris, 2003). Συμπληρωματικά στα παραπάνω η **Ε. Τζέν** σε μεταγενέστερη παρουσίαση της στα πλαίσια συνεδρίου για τη χρήση ΑΠΕ στην αφαλάτωση (Τυνησία 26/9/2005), αναφέρει μια σειρά από στοιχεία που προέρχονται από εγκατεστημένες μονάδες (Πίνακας 4-32) (Tzen E. , 2005).

Πίνακας 4-32. Το κόστος από πραγματικές μονάδες αφαλάτωσης-ΑΠΕ ανά τον κόσμο (Tzen E. , 2005)

Τοποθεσία μονάδας	Τεχνολογία	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Κόστος παραγόμενου νερού (€/m ³)
Almeria, Spain (1993) CIEMAT	MED-Ηλιακοί συλλέκτες	72	2.5-3
Ceara, Brazil, DEE-UFC, Brazil (2000)	RO/PV/battery	6	10.32
Pozo Izquierdo, Gran Canaria ITC, Spain (1998, 2000)	RO/PV /battery	9.6	9.0
Pozo Izquierdo, Gran Canaria ITC, Spain (2004)	RO/ WG /battery	19.2	3-5
Loughborough Univ., U.K. CREST, U.K. (2003)	RO/ WG	12	1.78
Lavrion, Greece CRES, Greece (2001)	RO/WG/PV/battery	3.12	23
Maagan, Israel (1999)	RO/WG/PV/battery	3	7.53

Πρόσθετα δεδομένα κόστους από πραγματικές μονάδες Αντίστροφης Όσμωσης, παρατίθενται και στην Ημερίδα «Αειφόρος ανάπτυξη των νησιών του Αιγαίου: Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων» (Σύρος, 19 Ιουνίου 2010) (Πίνακας 4-33) (Τζέν E. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010).

Πίνακας 4-33. Το κόστος νερού από μονάδες αφαλάτωσης ανα τον κόσμο (Τζέν Ε., Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)

Τοποθεσία μονάδας	Έτος κατασκευής/λειτουργίας της μονάδας	Κόστος παραγόμενου νερού (€/m ³)
Ashkelon, Israel	2002	0,54
Ashkelon, Israel	2003	0,53
Ashkelon, Israel	2004	0,55
Ashkelon, Israel	2005	0,62
Bahamas	2003	1,48
Carlsbad, California	2005	0,77
Dhekelia, Cyprus	1996	1,09
Dhekelia, Cyprus	2003	1,43
Eilat, Israel	1997	0,74
Hamma, Algiers	2003	0,84
Larnaca, Cyprus	2000	0,75
Larnaca, Cyprus	2003	0,85
Larnaca, Cyprus	2001	0,85
Moss Landing, CA (Cal Am)	2005	1,28
Moss Landing, CA (Poseidon Resources)	2005	0,96
Perth, Australia	2005	0,92
Singapore	2002	0,46
Singapore	2003	0,45
Sydney, Australia	-	1,11
Tampa bay, Florida	1999	0,46-0,58
Tampa bay, Florida	2003	0,55
Tampa bay, Florida	2003	0,58
Tampa bay, Florida	-	0,66
Trinidad	-	0,73
Trinidad	2003	0,74

Το ενδεικτικό κόστος του παραγόμενου νερού από τις μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης είναι 0,25-0,50 €/m³, για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και 0,5-2 €/m³, για αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Επισημαίνεται, ακόμα, ότι το κόστος λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης που βρίσκονται στα ελληνικά νησιά κυμαίνεται από 0.30 έως 2 €/ m³. Η πλειονότητα μάλιστα των μονάδων αυτών χρησιμοποιούν την τεχνολογία της Αντίστροφης Όσμωσης. Πιο συγκεκριμένα στοιχεία για τις μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης της χώρας μας αναφέρει η εισήγηση του **Ν. Αγγελάκη** στην Ημερίδα «Νερό και κλιματικές αλλαγές», δίκτυο «Μεσόγειος SOS» (28Μαρτίου 2008, Ηράκλειο Κρήτης) (Πίνακας 4-34).

Πίνακας 4-34. Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης στην Ελλάδα και το αντίστοιχο κόστος (Αγγελάκης, 2008)

Μονάδα	Έτος Κατασκευής	Τύπος	Δυναμικότητα (m ³ /hr)	Αρχικό Κόστος (10 ⁶ €)	Λειτουργικό Κόστος (€/m ³)
Σύρος 1 ^η (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800	0,589	1,25
Σύρος 2 ^η (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800	1,482	1,25
Σύρος 3 ^η (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	2×250	0,346	1,00
Σύρος 4 ^η (Ανω Σύρος)	2000	RO (SW)	250	0,215	0,50
Σύρος 5 ^η (Ανω Σύρος)	2002	RO (SW)	500	0,400	0,50
Σύρος 6 ^η (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	4×500	0,313	1,00

Σύρος 7 ^η (Ανω Σύρος)	2005	RO (SW)	2×500	1,000	0,40
Σχοινούσα	2004	RO (SW)	100	0,120	0,70
Μύκονος (νέα)	2001	RO (SW)	3×650	1,276	0,50
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO (SW)	1200	0,415	0,50
Τήνος (Παλαιά)	2001	RO (SW)	500	0,434	0,62
Τήνος (Νέα)	2005	RO (SW)	500	0,376	0,62
Οίας, Σαντορίνης 1 ^η	1994	RO	220	-	2,00
Οίας, Σαντορίνης 2 ^η	2000	RO	320	0,211	2,00
Οίας, Σαντορίνης 3 ^η	2002	RO	160	-	2,00
Σίφνος	2002	RO (BW)	500	0,224	3,50
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2000	RO (BW)	600	0,205	0,30
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	3×1000	0,710	0,26
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	500	0,200	0,26
Νίσυρος (Παλαιά)	1991	RO	300	0,572	-
Νίσυρος (Νέα)	2002	RO	350	0,295	0,66
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 1 ^η	1981	RO	620	0,264	2,88
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 2 ^η	2003	RO	520	0,587	0,58
Λέρου(ΔΕΥΑ)	2001	RO	200	0,074	0,13
Κασσωπαίων (Δήμος)	2001	RO	500	0,117	0,13
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 2	2002	RO (SW)	2×250	0,464	0,56
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 2	2005	RO (SW)	2×500	0,574	0,45
Αγίου Γεωργίου (Δήμος)	2002	RO	500	0,102	0,30
Παξών (Δήμος) 1 ^η	2005	RO	330	0,260	0,51
Παξών (Δήμος) 2 ^η	2005	RO	150	0,162	0,59
Παξών (Δήμος) 3 ^η	2007	RO (SW)	250	0,211	0,51
Δυστιών (Δήμος)	2006	RO (SW)	400	0,200	0,30
Σίφνος (Δήμος)	2007	RO (SW)	250	-	-
Ίος (Δήμος)	2003	RO (SW)	1000	-	-
Ιθάκη (Δήμος)	2005	RO (SW)	200	0,220	-
Οινουσών (Δήμος)	2005	RO (SW)	500	-	-
Πόρου (Δήμος)	2006	RO (SW)	1000	0,200	0,30

Στα παραπάνω στοιχεία προστίθεται η περίπτωση της μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ, δυναμικότητας 3360 m³/day στο Δήμο Μήλου με κόστος 1,80 €/m³ (Γερασίμου, Ιούνιος 2010), ενώ όσον αφορά τη μονάδα αφαλάτωσης MED στη Μήλο, που εκμεταλλεύεται τη γεωθερμική ενέργεια, το κόστος καταγράφεται από την **Ε. Τζέν** σε λιγότερο από 1€/m³ (Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010).

Στην εξέταση πραγματικών περιπτώσεων προστίθενται τα στοιχεία, που αναφέρονται από τους **A. Ali, Al. Karaghoulí και L.L. Kazmerski (2010)**, για διάφορες λειτουργούσες μονάδες αφαλάτωσης με ΑΠΕ (Πίνακας 4-35).

Πίνακας 4-35. Το κόστος από πραγματικές μονάδες αφαλάτωσης-ΑΠΕ ανά τον κόσμο (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)

Τοποθεσία μονάδας	Τεχνολογία	Δυναμικότητα	Κόστος παραγόμενου νερού (\$/m ³)
Hazeg, Sfax, Tunisia	SD	40-50 L/hr	25,3
Heelafar Rahab Oman	RO/PV	5 m ³ /day	6,25
Solar Flow, Australia	RO/PV	0,4 m ³ /day	10-12
Hassi-Kheba, Algeria	RO/PV	0,95 m ³ /day	10
Ksir Ghilen, Tunisia	RO/PV	50 m ³ /day	7,25
Coite Pedreiras	RO/PV	0,25 m ³ /day	14,9
Mesquite, Nevada	RO/PV	1,5 m ³ /day	3,6
ITC Canarias Island, Spain	RO/PV	3 m ³ /day	13

Η μελέτη αυτή συνεχίζει με τη σύγκριση του κόστους του παραγόμενου νερού από συστήματα αφαλάτωσης RO και MSF, τα οποία τροφοδοτούνται ενεργειακά τόσο από συμβατικό σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και νερού, όσο και από ηλιακό σύστημα ή από το συνδυασμό των συστημάτων αυτών (Πίνακας 4-36). Τα μεγέθη του παρακάτω πίνακα αναφέρονται σε μονάδα δυναμικότητας 1 m³/day και συντελεστές εκμετάλλευσης για το συμβατικό και το ηλιακό σύστημα, 90 και 75%, αντιστοίχως. Από τα δεδομένα αυτά, συμπεραίνεται ότι το συμβατικό σύστημα RO παράγει χαμηλότερου κόστους νερό σε σχέση με το συμβατικό σύστημα MSF, ενώ για τα συστήματα που βασίζονται σε ηλιακά συστήματα, το οικονομικότερο αποδεικνύεται η τεχνολογία MSF σε συνδυασμό με το υβριδικό συμβατικό και ηλιακό σύστημα ενέργειας.

Πίνακας 4-36. Το κόστος νερού από συστήματα αφαλάτωσης RO και MSF, συμβατικής και ηλιακής ενεργειακής τροφοδοσίας (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)

Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)			
Παράμετροι	Συμβατικό σύστημα	Μερικός ηλιακό σύστημα	Ηλιακό σύστημα
Ετήσια παραγωγή (m ³)	328	274	274
Κόστος παραγωγής νερού (\$/m ³)	1,75	1,79	2,84
Αντίστροφη Όσμωση (RO)			
Παράμετροι	Συμβατικό σύστημα	Μερικός ηλιακό σύστημα	Ηλιακό σύστημα
Ετήσια παραγωγή (m ³)	328	274	274
Κόστος παραγωγής νερού (\$/m ³)	1,30	5,70	12,05

Εξαιτίας της μικρής δυναμικότητας εγκατεστημένων μονάδων Ηλιακής Αφαλάτωσης, τα σχετικά στοιχεία κόστους επένδυσης και λειτουργίας είναι περιορισμένα. Συνήθως το κόστος παραγωγής από τέτοιες εφαρμογές είναι αρκετά υψηλό εξαιτίας της χαμηλής παραγωγικότητας και οι μονάδες αυτές βρίσκουν εφαρμογή σε απομονωμένες περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε συμβατικές ενεργειακές πηγές. Στον Πίνακα 4-37 συγκρίνεται το κόστος παραγωγής απλών και πολλαπλών ηλιακών αποστακτήρων. Όπως παρατηρείται, το κόστος στην περίπτωση των πολλαπλών αποστακτήρων είναι κατά πολύ μικρότερο από αυτό των απλών.

Πίνακας 4-37. Κόστος νερού από συστήματα Ηλιακής Αφαλάτωσης (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)

Τύπος αποστακτήρα	Παραγωγή (L/m ² *day)	Κόστος νερού (\$/m ³)
Απλός	4	23,8

Πολλαπλός	12	9,95
Πολλαπλός	20	<9*

*πρόβλεψη

Ένα ακόμα πολλά υποσχόμενο σύστημα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, που αναφέρεται, είναι αυτό των Ηλιακών Λιμνών (“Solar Ponds”), από το οποίο μπορεί να παραχθεί νερό μέσω αφαλάτωσης σε ικανοποιητικό κόστος, όταν οι συνθήκες της περιοχής της εγκατάστασης το ευνοούν. Από τη σύγκριση κόστους, που περιέχεται στον Πίνακα 4-38, μεταξύ συστήματος RO συμβατικής ενέργειας και δυο συστημάτων που τροφοδοτούνται από Ηλιακές Λίμνες (MED και RO/MED), για δυο δυναμικότητες παραγωγής (20000 και 200000 m³/day), προκύπτουν μικρές διαφορές κόστους παραγόμενου νερού. Παρόλα αυτά, το κόστος επένδυσης των ηλιακών τεχνολογιών είναι υψηλότερο σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα RO και μάλιστα αυτή η διαφορά αυξάνεται αρκετά όσο αυξάνεται η δυναμικότητα.

Πίνακας 4-38. Σύγκριση κόστους μεταξύ Αφαλάτωσης με ενέργεια από «Ηλιακές Λίμνες» και Αντίστροφης Όσμωσης με ενέργεια από συμβατικές πηγές (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)

Τύπος συστήματος	SWRO		SP-MED		SP-RO/MED	
	Δυναμικότητα (m ³ /day)					
	20000	200000	20000	200000	20000	200000
Επένδυση (Million \$)	20	160	48	380	32	250
Ειδικό κόστος εγκατάστασης (\$/m ³ *day)	1000	800	2400	1900	1600	1250
Μοναδιαίο κόστος νερού (\$/m ³)	0,77	0,66	0,89	0,71	0,79	0,65

Σχετικά με το κόστος της τεχνολογίας RO-Φ/B, για την αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, καταγράφονται τιμές 7,98-29 \$/m³, σε μονάδες παραγωγής 120-12 m³/day, ενώ για υφάλμυρο νερό καταγράφεται κόστος 7,25 \$/m³, σε μονάδα παραγωγής 250 m³/day. Επιπροσθέτως, για την τεχνολογία ED-Φ/B, σε εγκατάσταση αφαλάτωσης νερού 1500-3000 rpm μέχρι τελικού παραγώγου 500 rpm, σημειώνεται κόστος 16-5,8 \$/m³. Το βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας Φωτοβολταϊκών είναι η δυνατότητα που παρέχει για λειτουργία της σε εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας. Κλείνοντας η μελέτη αυτή, αναφέρει το κόστος για την παραγωγή νερού από μονάδες τεχνολογίας RO-A/Γ, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 7,2-2,6 \$/m³. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι σε μονάδα 250 m³/day, η οποία αφαλατώνει υφάλμυρο νερό παρατηρείται κόστος 2 €/m³, ενώ για ίδιων χαρακτηριστικών μονάδα A/Γ-ED το κόστος είναι 1,5 €/m³. Τέλος, για αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης MVC-WG με δυναμικότητα 5-12,5 m³/hr, το μέσο κόστος κυμαίνεται από 3,07-3,73 €/m³ (Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010).

4.4 Γενικά συμπεράσματα από τα συλλεχθέντα στοιχεία

Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν και παρουσιάστηκαν αφορούν τόσο θεωρητικά υπολογισμένες τιμές όσο και τιμές οι οποίες προέρχονται από λειτουργικά στοιχεία εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης, ενώ σχετίζονται τόσο με συμβατικά τροφοδοτούμενα συστήματα, όσο και με συστήματα, τα οποία τροφοδοτούνται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Στις εκτιμήσεις των στοιχείων αυτών συχνά παρατηρούνται διαφορές, ακόμα και στις περιπτώσεις που αφορούν παρόμοια συστήματα (παρόμοια δυναμικότητα, νερό τροφοδοσίας, ποιότητα παραγόμενου νερού, ενεργειακή πηγή κλπ). Η διαφορά αυτή πιθανότατα υφίσταται επειδή το κόστος και η ενεργειακή κατανάλωση, εκτός από την μεγάλη εξάρτηση τους από παραμέτρους όπως η μέθοδος αφαλάτωσης, το μέγεθος του συστήματος, η αλατότητα του προς αφαλάτωση διαλύματος, η ποιότητα του παραγόμενου νερού, το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιείται (αφορά μόνο το κόστος), επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό και από παράγοντες σχετικούς με την τοποθεσία του συστήματος και τα συγκεκριμένα κάθε φορά χαρακτηριστικά της διάταξης (κυρίως το κόστος). Ένας ακόμα λόγος, στον οποίο μπορούν να αποδοθούν αυτές οι διαφοροποιήσεις, είναι οι χρονολογικές αποκλίσεις στην εκπόνηση των διαφόρων μελετών, στη διάρκεια των οποίων λαμβάνουν χώρα σημαντικές αλλαγές τόσο στην χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, όσο και σε οικονομικά μεγέθη όπως ο πληθωρισμός. Αξίζει να σημειωθεί επίσης, πως σε αρκετές περιπτώσεις της βιβλιογραφίας, ο υπολογισμός του κόστους αφαλάτωσης, βασίζεται σε διαφορετικά δεδομένα. Παρατηρούνται, για παράδειγμα, διαφορές στα επίπεδα των επιτοκίων και στον αριθμό των ετών απόσβεσης του εξοπλισμού, ενώ κόστη, τα οποία θεωρήθηκαν από τους συγγραφείς μικρά ή χωρίς σημασία, παρελήφθησαν. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα των διαφόρων μελετών έχουν οι γενικότερες συνθήκες, στα πλαίσια των οποίων ο κάθε ερευνητής εκπονεί την έρευνα του.

Εξετάζοντας αναλυτικότερα τα στοιχεία εντοπίζονται κάποιες τάσεις, οι οποίες διαμορφώνουν το γενικότερο πλαίσιο εντός του οποίου θα διενεργηθεί στη συνέχεια η επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων αυτών, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το κόστος και την ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης, που εξετάζονται (Κεφάλαιο 5). Αρχικά, παρατηρείται μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση αλλά και στο κόστος, καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα σε άλας του προς αφαλάτωσης διαλύματος, όποια μέθοδος και αν χρησιμοποιείται. Δηλαδή, το κόστος και η απαιτούμενη ενέργεια για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού είναι αρκετά μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη για αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Ακόμα, όσο η αλατότητα του παραγόμενου νερού αυξάνεται, δηλαδή όσο υποβαθμίζεται η ποιότητα του, γενικότερα η ενεργειακή κατανάλωση αλλά και το κόστος παραγωγής μειώνονται. Επίσης, εύκολα παρατηρείται από τις γενικότερες τάσεις των στοιχείων, η μείωση, τόσο του κόστους, όσο και της καταναλισκόμενης ενέργειας με την αύξηση της δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης (οικονομίες κλίμακας). Όσον αφορά τις χρησιμοποιούμενες διεργασίες αφαλάτωσης, φαίνεται ότι οι Θερμικές είναι πιο ενεργοβόρες από τις διεργασίες Μεμβρανών και παράγουν συνήθως νερό υψηλότερου συνολικού κόστους, χωρίς αυτό να είναι απόλυτο. Το κόστος αρχικής επένδυσης, είναι μικρότερο στα συστήματα Μεμβρανών. Από την άλλη, το κόστος λειτουργίας είναι συνήθως μεγαλύτερο στις περιπτώσεις συστημάτων αφαλάτωσης με τεχνολογία Μεμβράνης, καθώς η συντήρηση και η λειτουργία των μεμβρανών είναι αρκετά κοστοβόρες διαδικασίες. Επιπροσθέτως, σε διάφορες μελέτες αναφέρεται ότι ο συνδυασμός Θερμικών διεργασιών και διεργασιών Μεμβρανών, σε υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης, μειώνει περαιτέρω το κόστος του παραγόμενου νερού και βελτιώνει την ενεργειακή εκμετάλλευση του συστήματος. Ένα ακόμα ζήτημα, το οποίο επιδρά στο κόστος είναι αυτό της χρησιμοποιούμενης πηγής, για την ενεργειακή τροφοδοσία του συστήματος αφαλάτωσης. Εν γένει, τα συμβατικά τροφοδοτούμενα συστήματα αφαλάτωσης παράγουν νερό χαμηλότερου κόστους από τα συστήματα

αφαλάτωσης με ΑΠΕ, κάτι το οποίο οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος επένδυσης των τελευταίων, παρόλο που τα κόστη λειτουργίας και ενέργειας αυτών είναι κατά πολύ μικρότερα των συμβατικών. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερου κόστους νερό φαίνεται να παράγεται από τα Φωτοβολταϊκά και Ηλιοθερμικά συστήματα, ενώ το κόστος είναι μικρότερο στις Ανεμογεννήτριες και τα Γεωθερμικά συστήματα. Εντούτοις, ο υβριδικός συνδυασμός ενεργειακών συστημάτων, καταγράφεται ως δυνατότητα μείωσης του κόστους παραγόμενου νερού σε συστήματα αφαλάτωσης-ΑΠΕ. Τέλος, αναφέρεται ότι στις περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης τα οποία χρησιμοποιούν συνήθως μπαταρίες για την αύξηση της αυτονομίας τους, το κόστος νερού αυξάνεται λόγω των υψηλού κόστους εγκατάστασης.

5. Ενεργειακή και οικονομική αποτίμηση των συστημάτων αφαλάτωσης

5.1 Εισαγωγή

Το σύνολο των στοιχείων ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης και ειδικού συνολικού κόστους παραγόμενου νερού, που συγκεντρώθηκαν από τη διαδικασία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4), καταχωρήθηκαν σε φύλλα εργασίας του Microsoft Excel, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους και τη μεταξύ τους σύγκριση. Τα στοιχεία χωρίζονται, κατά βάσιν, σε γενικά στοιχεία ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης και γενικά στοιχεία ειδικού συνολικού κόστους, τα οποία είναι γενικά με την έννοια ότι δεν αφορούν συγκεκριμένες μονάδες αφαλάτωσης, αλλά συνολικά μια τεχνολογία αφαλάτωσης ή ειδικότερα μια συγκεκριμένη ερευνητική διάταξη ή ακόμα και γενικά στοιχεία τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε όλες τις τεχνολογίες αφαλάτωσης. Συμπληρωματικά, συγκεντρώνονται στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης και κόστους παραγωγής νερού, τα οποία αφορούν καταγεγραμμένα λειτουργικά δεδομένα εγκατεστημένων (και στις περισσότερες περιπτώσεις εμπορικά εκμεταλλεύσιμων) μονάδων αφαλάτωσης, από διάφορες περιοχές του κόσμου. Οι παραπάνω καταχωρήσεις κόστους και ενέργειας, στις περιπτώσεις που είναι εφικτό, συνοδεύονται από επιμέρους στοιχεία όπως η τεχνολογία της αφαλάτωσης, το σύστημα/τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας της διάταξης, η δυναμικότητα του συστήματος και η περιεκτικότητα σε άλας του νερού τροφοδοσίας και του παραγόμενου νερού. Το σύνολο των στοιχείων αυτών, περιέχονται στο CD, το οποίο συνοδεύει τη διπλωματική εργασία αυτή.

5.2 Επεξεργασία των στοιχείων ενεργειακής κατανάλωσης και κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης

Για την αποτελεσματικότερη σύγκριση των δεδομένων που προαναφέρθηκαν, αλλά και για τη μελέτη της συμπεριφοράς της ενεργειακής κατανάλωσης και του κόστους παραγωγής των διεργασιών αφαλάτωσης, αναλόγως με την κάθε φορά εξεταζόμενη παράμετρο (π.χ. διεργασία αφαλάτωσης, ενεργειακή πηγή, δυναμικότητα, αλατότητα νερού κλπ.), κρίνεται απαραίτητη η τροποποίηση των επιμέρους αριθμητικών δεδομένων με στόχο, αφενός μεν το σύνολο των όμοιων στοιχείων να αναφέρονται στις ίδιες μονάδες μέτρησης, αφετέρου δε τα στοιχεία κόστους να προσαρμοστούν σε σημερινές νομισματικές τιμές, ώστε να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Τελικά, με την εφαρμογή των κατάλληλων μετατροπών μονάδων, η δυναμικότητα αναφέρεται σε $\text{m}^3/\text{ημέρα}$, η περιεκτικότητα σε άλας (αλατότητα) σε ppm, η ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε kWh/m^3 και το ειδικό συνολικό κόστος σε $\$/\text{m}^3$ (τιμές 2012).

Γενικότερα, για τη μετατροπή των μονάδων μέτρησης, χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων οι εξής σχέσεις:

- ✓ $1 \text{ gallon} = 0,00378541178 \text{ m}^3$
- ✓ $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$
- ✓ ρ (πυκνότητα νερού) = $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$
- ✓ $1000 \text{ ppm} = 1 \text{ g ΑΛΑΤΟΣ}/\text{kg ΝΕΡΟΥ} = 1000 \text{ mg ΑΛΑΤΟΣ}/\text{kg ΝΕΡΟΥ} = 0,001 \text{ kg ΑΛΑΤΟΣ}/\text{kg ΝΕΡΟΥ}$
- ✓ $1 \text{ mg}/\text{L} = 1 \text{ ppm}$

- ✓ Ηλεκτρική αγωγιμότητα: micro-Siemens/cm at 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$): 1000 EC = 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ = 640 ppm

Πιο συγκεκριμένα, για τη μετατροπή των μονάδων μέτρησης της ενέργειας, χρησιμοποιούνται τα εξής:

- ✓ 1 kWh = 3600 kJ
- ✓ 1 kcal = 4,1868 kJ
- ✓ Βαθμός απόδοσης για την παραγωγή ηλεκτρισμού: 30%

Τέλος, για την προσαρμογή των οικονομικών μεγεθών σε τρέχουσες τιμές, και ειδικότερα για την μετατροπή όλων των τιμών ειδικού κόστους σε $\$/\text{m}^3$ (τιμές 2012) εφαρμόζεται η παρακάτω διαδικασία:

- ✓ Αρχικά γίνεται η παραδοχή, ότι ως έτος αναφοράς των οικονομικών μεγεθών ορίζεται το έτος δημοσίευσης/έκδοσης/προβολής του/της βιβλίου/μελέτης/έρευνας/παρουσίασης, από την οποία συλλέχθηκαν τα αντίστοιχα στοιχεία.
- ✓ Για τις τιμές ειδικού κόστους, που αναφέρονται αρχικά σε $\text{€}/\text{m}^3$:
 1. Από τα στοιχεία της ιστοσελίδας www.x-rates.com υπολογίζεται, η μέση ετήσια ισοτιμία «Ευρώ - Δολαρίου», για το έτος αναφοράς που αντιστοιχεί στις εν λόγω τιμές κόστους. Έτσι λοιπόν προκύπτει ο πίνακας ισοτιμίας που βρίσκεται στο Παράρτημα Β.
 2. Οι αρχικές τιμές ($\text{€}/\text{m}^3$) βάσει της ισοτιμίας του έτους αναφοράς μετατρέπονται σε $\$/\text{m}^3$, του αντίστοιχου έτους.
 3. Από στοιχεία του Υπουργείου Εργασίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (<http://www.bls.gov>), σχετικά με το Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (Consumer Price Index-CPI), οι τιμές αυτές προσαρμόζονται σε τρέχουσες τιμές $\$/\text{m}^3$, του έτους 2012.
- ✓ Για τις τιμές ειδικού κόστους, που αναφέρονται απευθείας σε $\$/\text{m}^3$, ακολουθείται το τρίτο βήμα που προαναφέρθηκε.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί, ότι για τις τιμές της δυναμικότητας, της περιεκτικότητας σε άλας, της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης ή του ειδικού ενεργειακού κόστους, που αναφέρονται με τη μορφή εύρους, υπολογίζεται η μέση τιμή του διαστήματος εφόσον αυτό είναι εφικτό, ώστε να διευκολυνθούν οι υπολογισμοί. Για εύρη τιμών ιδιαίτερος μεγάλα, για τη φύση του υπό εξέταση χαρακτηριστικού, δεν υπολογιστήκαν μέσες τιμές άλλα αυτά παραμένουν ως έχουν.

Παραδείγματα των καταχωρημένων στοιχείων σχετικά με την ειδική ενεργειακή κατανάλωση, το ειδικό συνολικό κόστος παραγωγής νερού και τα αντίστοιχα λειτουργικά στοιχεία πραγματικών μονάδων, παρατίθενται στους Πίνακες 5-1, 5-2 και 5-3 ενώ αναλυτικά το σύνολο των δεδομένων αλλά και των υπολογισμών, που έλαβαν μέρος, περιέχονται στα Παραρτήματα Γ (Πίνακες Γ-1, Γ-2, Γ-3) και στο CD, το οποίο συνοδεύει τη διπλωματική εργασία αυτή.

Πίνακας 5-1. Δείγμα στοιχείων ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (kg/h)	Δυναμικότητα (kg/h)	Δυναμικότητα (kg/day)	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (KJ/kg)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
ME-SD	SOLAR POWERED			15,00	0,02 ^γ	SW	1500	125,00 ^γ	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005
RO	PV	2,03-2,38 ^α	2,21 ^β	17,64 ^γ	0,02 ^γ	SW	82,00	22,78 ^γ	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005
MD	GT			17,00	0,02 ^γ	SW	11	0,92 ^γ	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005

α Γκρι χρώμα: Προτότυπες τιμές (όπως ακριβώς αναφέρονται από την πηγή)

β Πράσινο χρώμα: Μέση τιμή εύρους τιμών

γ Κόκκινο χρώμα: Υπολογισμένη τιμή

Πίνακας 5-2. Δείγμα στοιχείων ειδικού συνολικού κόστους παραγωγής νερού

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (€/m ³)	Ειδικό Συνολικό Κόστος M.T. ^{*1} (€/m ³)	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)	Ειδικό Συνολικό Κόστος TIMEΣ 2012 (\$/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
RO	WG	250 ^α	250,00	BW	2 ^α	2,00	2,65 ^γ	2,76 ^γ	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
ED	WG	250 ^α	250,00	BW	1,5 ^α	1,50	1,99 ^γ	2,07 ^γ	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
MVC	WG	5-12,5 ^α	8,75 ^β	-	3,07-3,73 ^α	3,40 ^β	4,51 ^γ	4,69 ^γ	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010

α Γκρι χρώμα: Προτότυπες τιμές (όπως ακριβώς αναφέρονται από την πηγή)

β Πράσινο χρώμα: Μέση τιμή εύρους τιμών

γ Κόκκινο χρώμα: Υπολογισμένη τιμή

Πίνακας 5-3. Δείγμα λειτουργικών δεδομένων ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης και ειδικού συνολικού κόστους παραγωγής νερού, πραγματικών μονάδων αφαλάτωσης

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (\$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
RO	PV	0,25	BW	-	3-4,7 ^α	3,85 ^β	14,90	15,49 ^γ	Coite-Pedreias, Brazil	-	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	1,50	BW	3500	1,38 ^α	1,38	3,60	3,74 ^γ	Mesquite, Nevada	2003	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	40,00	SW	-	5,5 ^α	5,5	9,50	9,88 ^γ	Lampedusa, Italy	1990	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010

α Γκρι χρώμα: Προτότυπες τιμές (όπως ακριβώς αναφέρονται από την πηγή)

β Πράσινο χρώμα: Μέση τιμή εύρους τιμών

γ Κόκκινο χρώμα: Υπολογισμένη τιμή

5.3 Συγκριτική επισκόπηση των στοιχείων

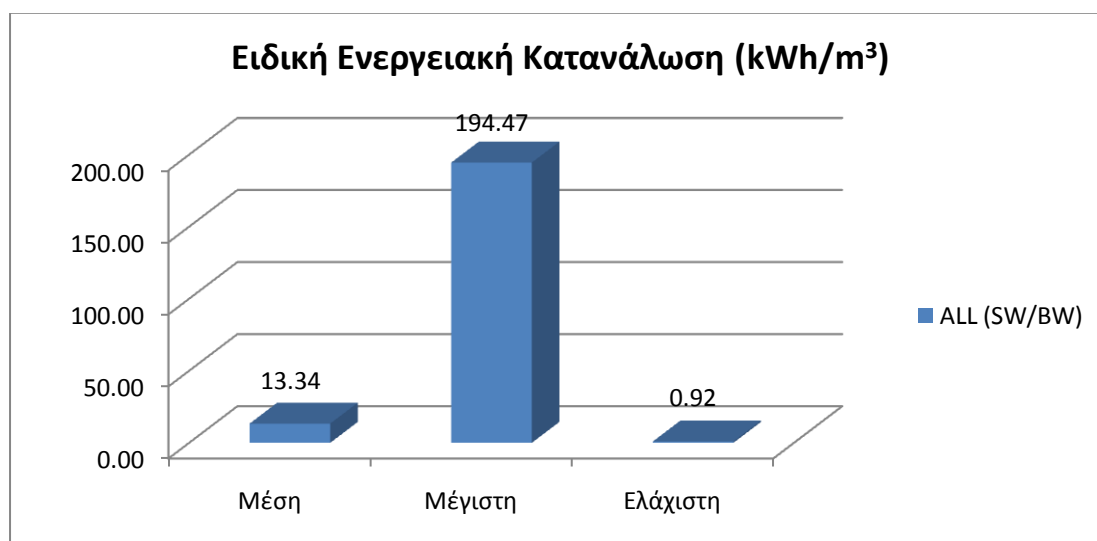
Τα επεξεργασμένα από την παραπάνω αναφερόμενη διαδικασία, χρησιμοποιούνται με σκοπό την σύγκριση των διαφόρων συστημάτων αφαλάτωσης, τόσο από άποψη ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, όσο και ειδικού κόστους, βάσει κάθε φορά διαφορετικών χαρακτηριστικών, όπως η δυναμικότητα, η περιεκτικότητα σε άλας του τροφοδοτούμενου ή του παραγόμενου ύδατος, η διεργασία αφαλάτωσης και το σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας. Για το λόγο αυτό δημιουργούνται πίνακες και διαγράμματα οι οποίοι εξετάζουν το ζήτημα της κατανάλωσης και του κόστους των διάφορων συστημάτων αφαλάτωσης, από διάφορες σκοπές.

5.3.1 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης και η επίδραση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

Από το σύνολο των 121 συγκεντρωθέντων στοιχείων για την ενεργειακή κατανάλωση των κυριότερων συστημάτων αφαλάτωσης, προκύπτει μια μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση 13,34 kWh/m³, ενώ καταγράφεται μέγιστη τιμή 194 kWh/m³ και ελάχιστη 0,92 kWh/m³ (Πίνακας 5-4, Γράφημα 5-1). Η μέγιστη αυτή τιμή αφορά την τεχνολογία της Ηλιακής Απόσταξης (Tzen & Morris, 2003).

Πίνακας 5-4. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση

Σύστημα αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
ALL (SW/BW)	13,34	194,47	0,92	121

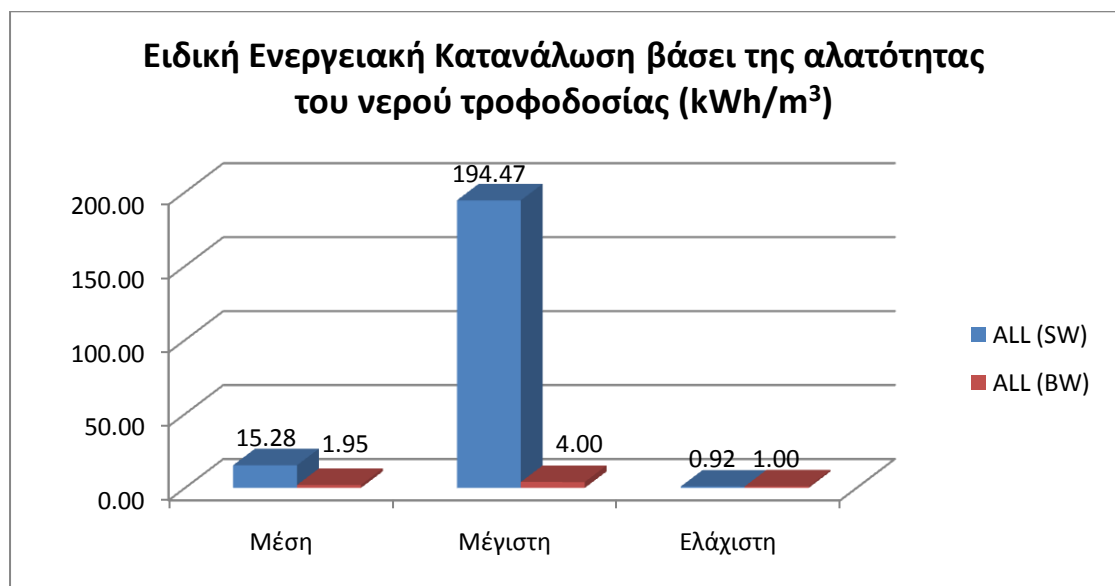


Γράφημα 5-1. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση

Πιο επισταμένη εξέταση των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού και υφάλμυρου νερού, ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας αφαλάτωσης, αποκαλύπτει τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα και του αντίστοιχου γραφήματος (Πίνακας 5-5, Γράφημα 5-2).

Πίνακας 5-5. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

Σύστημα αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
ALL (SW)	15,28	194,47	0,92	103
ALL (BW)	1,95	4,00	1,00	17



Γράφημα 5-2. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

Συγκεκριμένα, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού η μέση ειδική κατανάλωση ενέργειας είναι 15,28 kWh/m³, τη στιγμή που για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού η αντίστοιχη τιμή είναι 1,95 kWh/m³. Μεγαλύτερη είναι η διαφορά της μέγιστης ενεργειακής κατανάλωσης, αφού είναι 194 kWh/m³, όσον αφορά το θαλασσινό νερό και μόλις 4 kWh/m³, όσον αφορά το υφάλμυρο. Η ελάχιστη τιμή της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης είναι περίπου ίδια και στις δύο περιπτώσεις (~1 kWh/m³). Σε όλες τις περιπτώσεις, σημειώνεται ότι η αφαλάτωση θαλασσινού νερού απαιτεί την κατανάλωση περισσότερης ενέργειας, σε σχέση με την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού.

5.3.2 Η επίδραση της δυναμικότητας στην ειδική ενεργειακή κατανάλωση

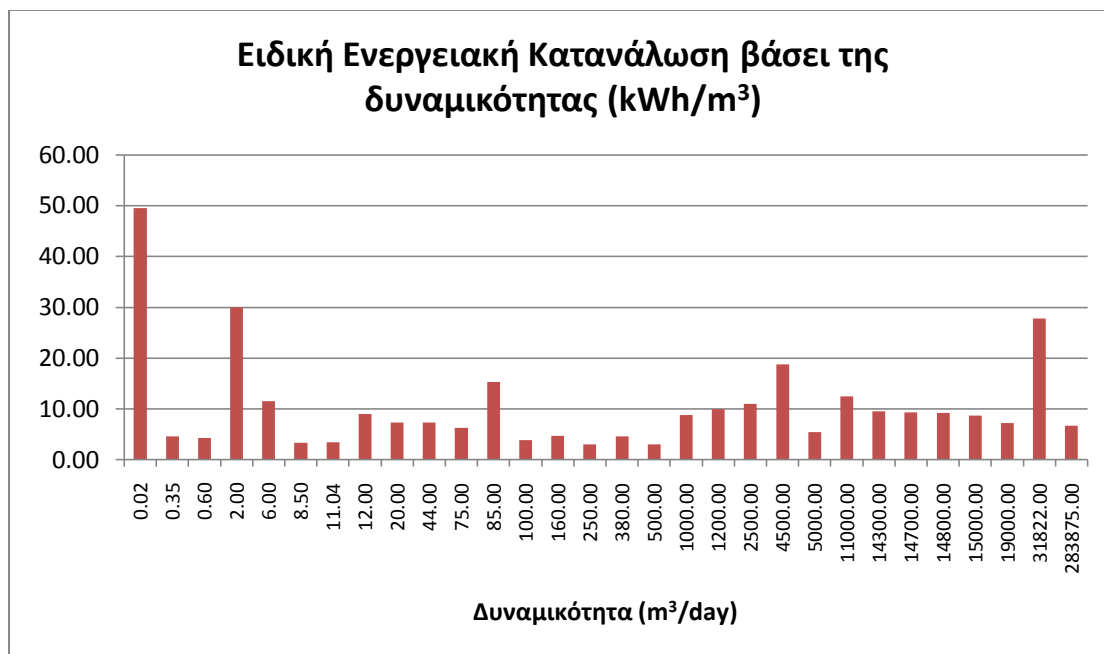
Από τα στοιχεία ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, απομονώνονται εκείνα τα συστήματα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (στις περιπτώσεις που δεν αναφέρεται τύπος νερού, το νερό θεωρείται θαλασσινό), για τα οποία υπάρχει καταγεγραμμένη η δυναμικότητα τους, ανεξαρτήτως της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας αφαλάτωσης (54 συστήματα). Εν συνεχεία, εξετάζονται εκείνα τα συστήματα που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη δυναμικότητα (όχι εύρος) και υπολογίζονται οι μέσες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης για τις όμοιες τιμές δυναμικότητας. Έτσι λοιπόν από ένα σύνολο 45 καταχωρήσεων, προέκυψε ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 5-6), ο οποίος περιέχει την ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων βάσει της δυναμικότητας (αύξουσα σειρά).

Πίνακας 5-6. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης βάσει της δυναμικότητας

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
0,02	49,56
0,35	4,60

0,60	4,30
2,00	30,00
6,00	11,50
8,50	3,40
11,04	3,50
12,00	9,00
20,00	7,32
44,00	7,33
75,00	6,30
85,00	15,28
100,00	3,85
160,00	4,71
250,00	3,00
380,00	4,59
500,00	3,00
1000,00	8,77
1200,00	10,00
2500,00	11,00
4500,00	18,75
5000,00	5,50
11000,00	12,50
14300,00	9,58
14700,00	9,34
14800,00	9,23
15000,00	8,69
19000,00	7,27
31822,00	27,85
283875,00	6,76

Μια αναπαράσταση των τιμών αυτών λαμβάνει χώρα στο Γράφημα 5-3. Από αυτό διαφαίνεται μια γενικότερη τάση μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης καθώς αυξάνεται η δυναμικότητα του συστήματος αφαλάτωσης.

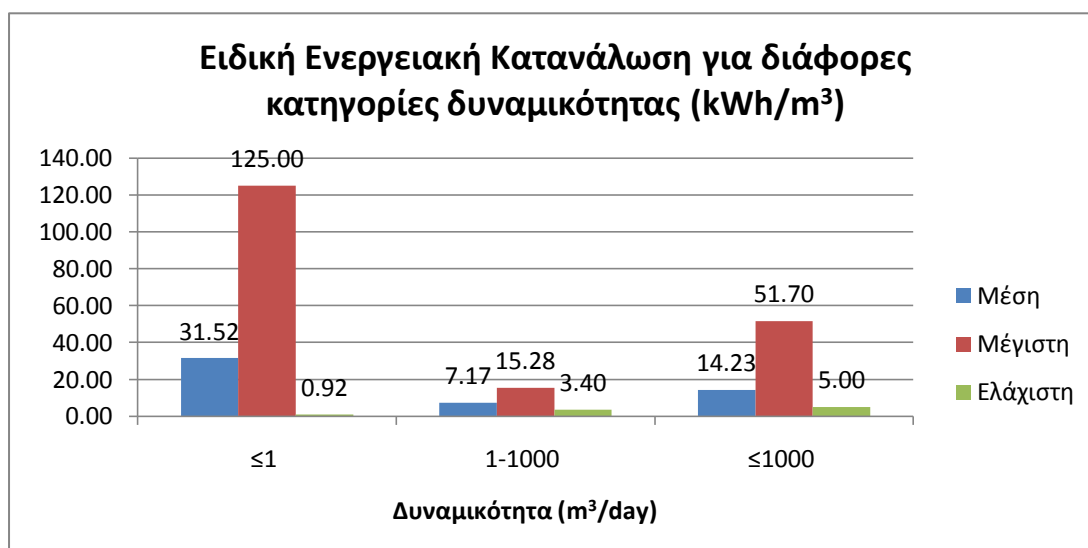


Γράφημα 5-3. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης βάσει της δυναμικότητας

Για την περαιτέρω εξέταση του ζητήματος αυτού, τα αρχικά εντοπισμένα δεδομένα δυναμικότητας (54 καταχωρήσεις), χωρίζονται στις κατηγορίες δυναμικότητας, που περιέχει ο παρακάτω πίνακας και υπολογίζεται η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη ειδική ενεργειακή κατανάλωση της κάθε κατηγορίας. Από τον πίνακα αυτό προκύπτει το Γράφημα 5-4.

Πίνακας 5-7. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης για διάφορες κατηγορίες δυναμικότητας

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
≤1	31,52	125,00	0,92	5
1-1000	7,17	15,28	3,40	9
≥1000	14,23	51,70	5,00	23



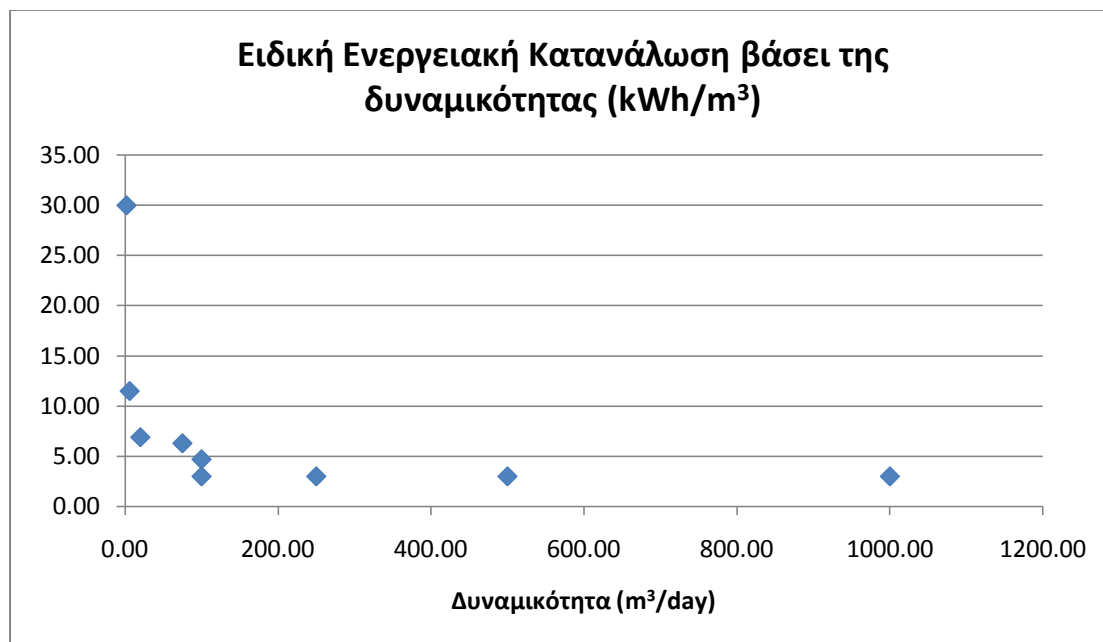
Γράφημα 5-4. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων αφαλάτωσης για διάφορες κατηγορίες δυναμικότητας

Όπως παρατηρείται, τα συστήματα παραγωγής νερού δυναμικότητας μικρότερης του 1 m³/day, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση (31,52 kWh/m³), ενώ σε αυτά τα συστήματα εντοπίζεται και η υψηλότερη καταγεγραμμένη τιμή ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης (125 kWh/m³). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει συγκεκριμένα η αναφορά που γίνεται από τον Μπελέτη Α. (Διευθυντή Πωλήσεων της εταιρείας ΤΕΜΑΚ), για τη διακύμανση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης ανεξαρτήτως διεργασίας αφαλάτωσης, συναρτήσει των ποσοτήτων παραγόμενου νερού (Πίνακας 5-8).

Πίνακας 5-8. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση συστημάτων αφαλάτωσης διαφορετικής δυναμικότητας (Μπελέτης, 2010)

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
2	30,00
6	11,50
20	6,90
75	6,30
100	4,70
100	3,00
250	3,00
500	3,00
1000	3,00

Απεικόνιση των στοιχείων αυτών (Γράφημα 5-5), αποκαλύπτει σαφή τάση μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας όσο η παραγόμενη ποσότητα αφαλατωμένου ύδατος αυξάνεται. Μάλιστα, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη πηγή, για τα συστήματα με παραγωγική ικανότητα μεγαλύτερη των 100 m³/day η ειδική ενεργειακή κατανάλωση φαίνεται να σταθεροποιείται σε μία ελάχιστη τιμή (3 kWh/m³).



Γράφημα 5-5. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση συστημάτων αφαλάτωσης διαφορετικής δυναμικότητας (Μπελέτης, 2010)

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σημαντική η εξειδίκευση της μελέτης των στοιχείων ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, ως προς τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αφαλάτωσης, ώστε να εξαχθούν πιο συγκεκριμένα και χρήσιμα συμπεράσματα.

5.3.3 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διεργασιών Μembrάνης και των Θερμικών διεργασιών

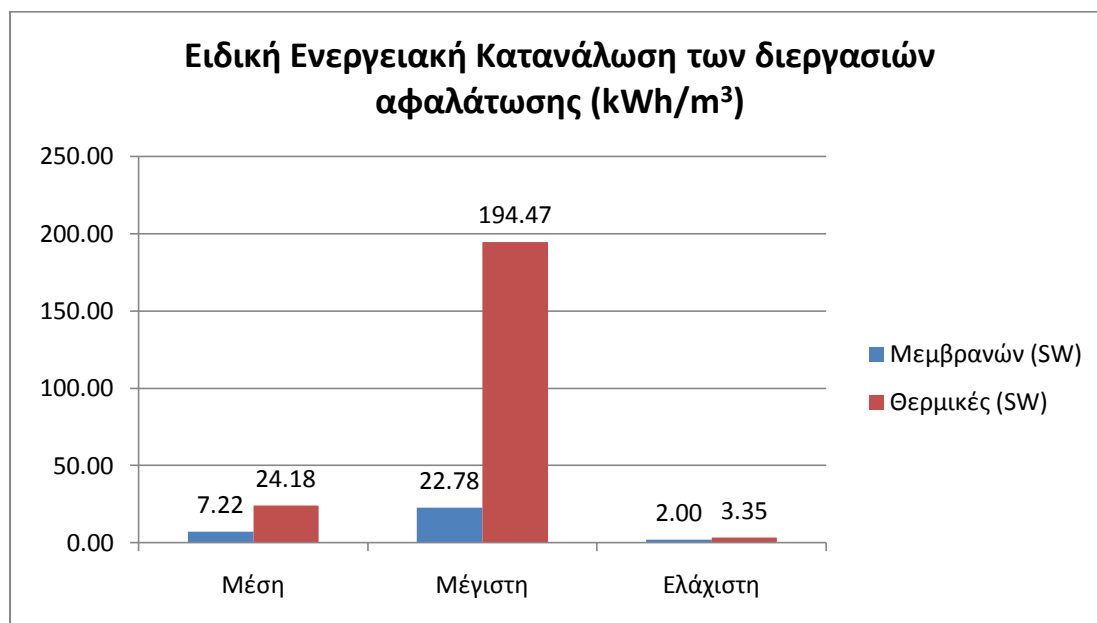
Αρχικά από τα στοιχεία που αφορούν την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, επιλέγονται διαδοχικά εκείνες οι τιμές ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, που αντιστοιχούν στις βασικότερες διεργασίες Μembrανών (Αντίστροφη Όσμωση, Ηλεκτροδιάλυση) και στις Θερμικές διεργασίες (Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων, Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης, Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών, Ηλιακή Απόσταξη). Με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται οι μέσες τιμές ειδικής κατανάλωσης ενέργειας (Πίνακας 5-9) και γίνεται το αντίστοιχο γράφημα (Γράφημα 5-6), που παρατίθενται παρακάτω.

Πίνακας 5-9. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διεργασιών αφαλάτωσης Μembrανών και των Θερμικών διεργασιών

Διεργασίες αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
Μembrανών (SW)	7,22	22,78	2,00	40
Θερμικές (SW)	24,18	194,47	3,35	49

Γίνεται φανερό ότι η ενέργεια που καταναλώνεται για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Μembrάνες είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερη της αντίστοιχης ενέργειας των Θερμικών διεργασιών. Χαρακτηριστικά η μέση ειδική καταναλισκόμενη ενέργεια των διεργασιών Μembrάνης είναι 7,22 kWh/m³, ενώ των Θερμικών διεργασιών είναι 24,18 kWh/m³. Μεγάλες διαφορές καταγράφονται και στις μέγιστες καταγεγραμμένες τιμές της ενεργειακής κατανάλωσης, με 22,78 kWh/m³ όσον αφορά τις

Μεμβράνες και 194,47 kWh/m³, όσον αφορά τις Θερμικές διεργασίες, δηλαδή η πρώτη κατηγορία παρουσιάζει μέγιστη κατανάλωση μικρότερη της μέσης κατανάλωσης της δεύτερης. Σχετικά με τις ελάχιστες καταγεγραμμένες τιμές πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές είναι μικρές, με 2 kWh/m³ όσον αφορά τις Μεμβράνες και 3,35 kWh/m³ όσον αφορά τις Θερμικές διεργασίες.



Γράφημα 5-6. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διεργασιών αφαλάτωσης Μεμβρανών και των Θερμικών διεργασιών

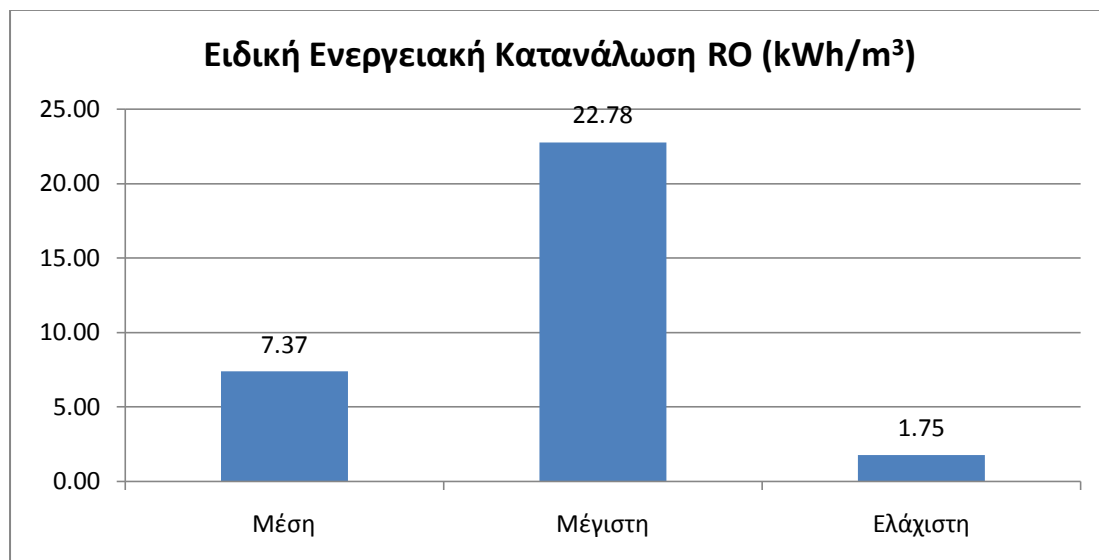
Αναλυτικότερα θα εξεταστούν οι επιμέρους βασικές τεχνολογίες αφαλάτωσης, που αποτελούν τις διεργασίες Μεμβρανών και τις Θερμικές διεργασίες, που αναφέρθηκαν.

5.3.4 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης (RO)

Από το σύνολο των 29 συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης, για αφαλάτωση τόσο θαλασσινού όσο και υφάλμυρου ύδατος, προκύπτει μια μέση ενεργειακή κατανάλωση 7,37 kWh/m³, ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη είναι 22,78 και 1,75 kWh/m³, αντίστοιχα (Πίνακας 5-10, Γράφημα 5-7).

Πίνακας 5-10. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
RO	7,37	22,78	1,75	29



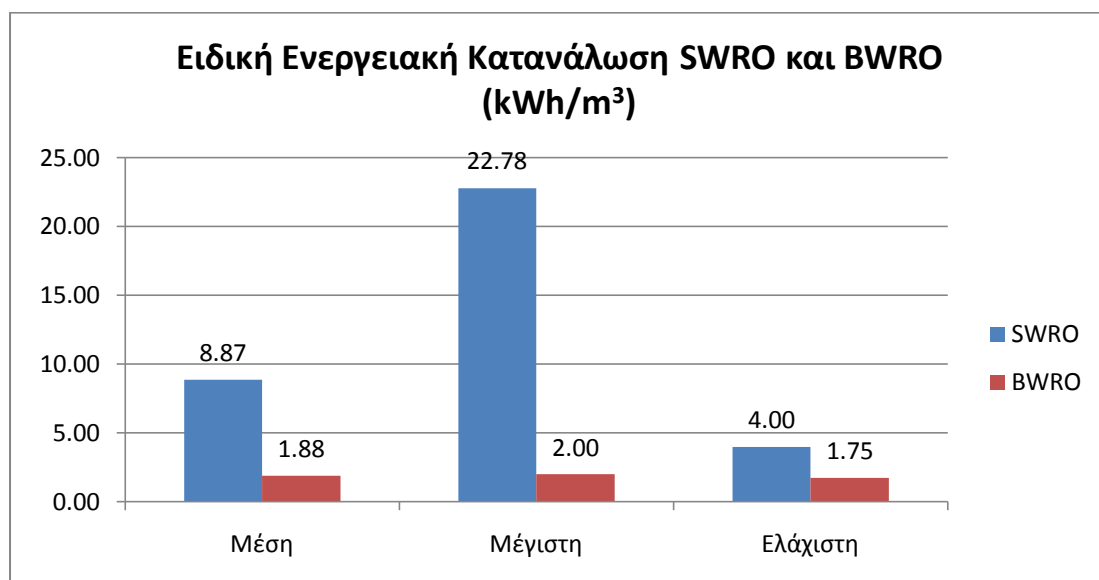
Γράφημα 5-7. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης

Πιο ειδικά, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, που είναι αυτό που ουσιαστικά ενδιαφέρει την παρούσα εργασία προκύπτει μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση 8,77 kWh/m³. Η μέση κατανάλωση ενέργειας για την αφαλάτωση υφάλμυρου ύδατος είναι πολύ χαμηλότερη λαμβάνοντας την τιμή 1,88 kWh/m³, επιβεβαιώνοντας ότι όσο αυξάνεται η αλατότητα του προς αφαλάτωση νερού τόσο αυξάνονται και οι ενεργειακές ανάγκες του συστήματος (Πίνακας 5-11).

Πίνακας 5-11. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
SWRO	8,87	22,78	4,00	22
BWRO	1,88	2,00	1,75	6

Συγκριτική επισκόπηση των παραπάνω αποτυπώνεται στο Γράφημα 5-8.



Γράφημα 5-8. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού

Επιλέγοντας τα συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης με νερό τροφοδοσίας γνωστής περιεκτικότητας σε άλας και αυτά με παραγόμενο νερό επίσης γνωστής αλατότητας, καταλήγουμε στον Πίνακα 5-12 και 5-13, αντίστοιχα.

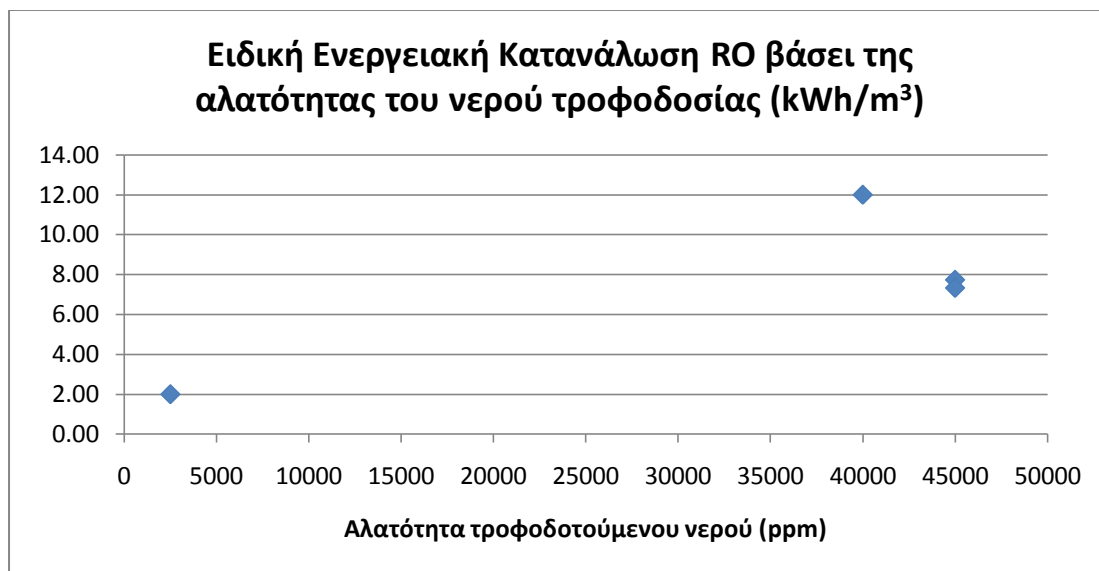
Πίνακας 5-12. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
RO	BW	2500	2,00
RO	SW	40000	12,00
RO	SW	45000	7,74
RO	SW	45000	7,33

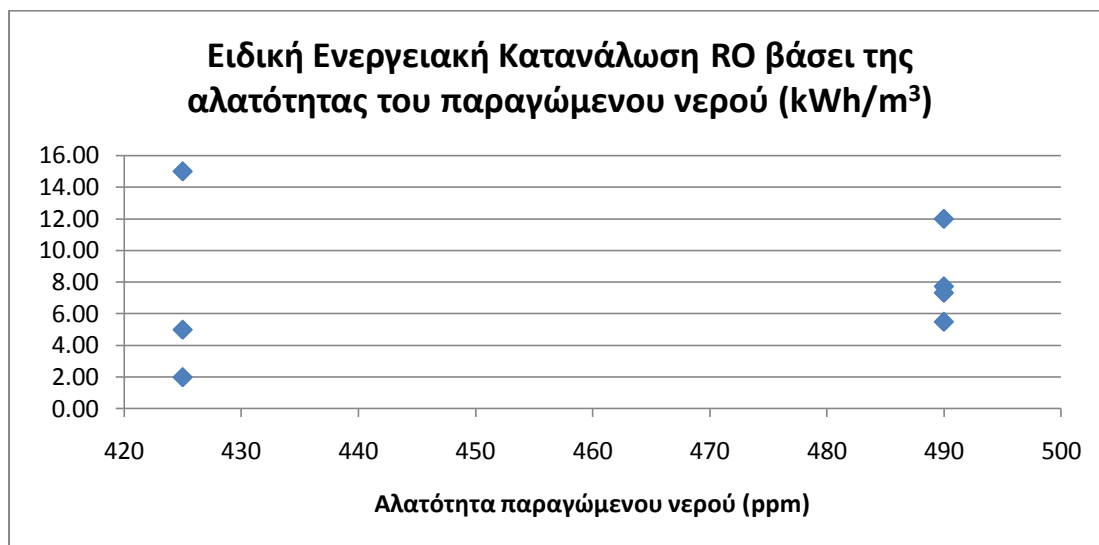
Πίνακας 5-13. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του παραγόμενου νερού

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
RO	SW	425	5,00
RO	SW	425	15,00
RO	BW	425	2,00
RO	SW	490	12,00
RO	SW	490	7,74
RO	SW	490	7,33
RO	SW	490	5,50

Η γραφική μεταφορά αυτών των στοιχείων αποκαλύπτει σε γενικές γραμμές την τάση αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης, με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άλας του νερού τροφοδοσίας (Γράφημα 5-9). Ωστόσο δεν παρατηρείται η αναμενόμενη τάση μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας, με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άλας του παραγόμενου νερού (Γράφημα 5-10) κάτι που οφείλεται στην ακαταλληλότητα των συγκεκριμένων δεδομένων. Πρέπει να σημειωθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις ο αριθμός των σχετικών στοιχείων κρίνεται ανεπαρκής για την εξαγωγή των αναμενόμενων συμπερασμάτων.



Γράφημα 5-9. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας



Γράφημα 5-10. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης βάσει της αλατότητας του παραγόμενου νερού

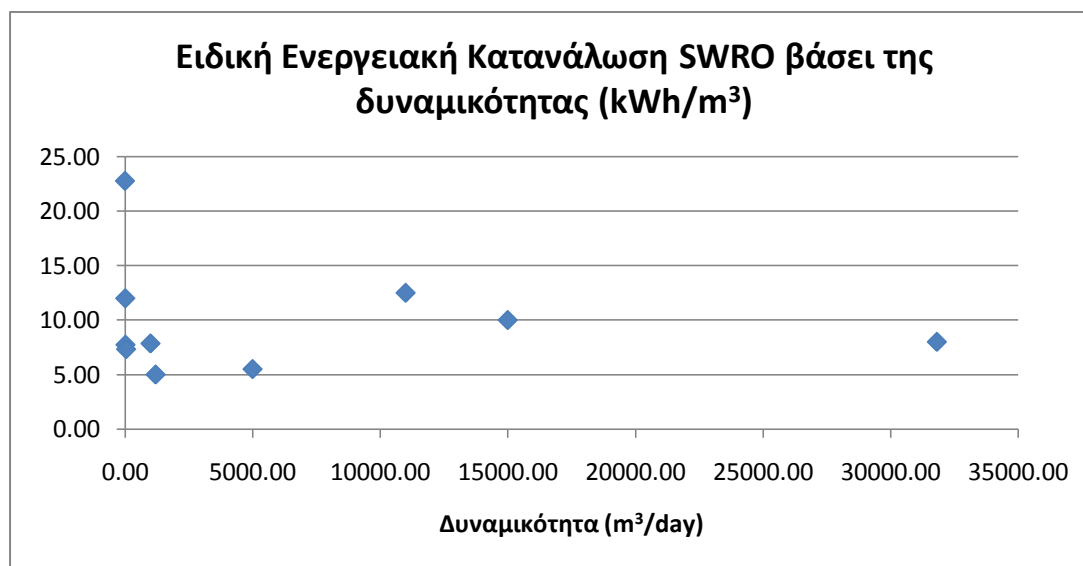
Τα στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης, αποκλειστικά για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, τα οποία αφορούν τα συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης συγκεκριμένης δυναμικότητας, περιέχονται στον Πίνακα 5-14.

Πίνακας 5-14. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση SWRO (kWh/m ³)
RO	SW	0,02	22,78
RO	SW	12,00	12,00
RO	SW	20,00	7,74
RO	SW	44,00	7,33
RO	SW	1000,00	7,85
RO	SW	1200,00	5,00

RO	SW	5000,00	5,50
RO	SW	11000,00	12,50
RO	SW	15000,00	10,00
RO	SW	31822,00	8

Από το διάγραμμα αναπαράστασης των στοιχείων αυτών (Γράφημα 5-11), διαφαίνεται η τάση μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας, όσο αυξάνεται η δυναμικότητα των υπό εξέταση συστημάτων.



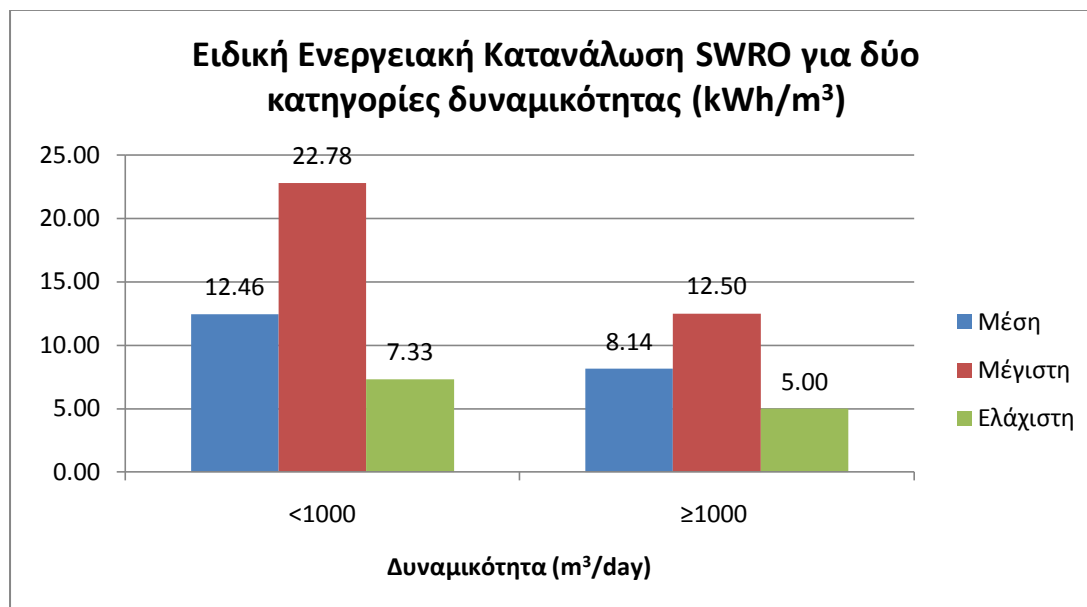
Γράφημα 5-11. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

Περαιτέρω αναζήτηση της συμπεριφοράς της ενεργειακής κατανάλωσης, βάσει της δυναμικότητας, προκύπτει από τον Πίνακα 5-15. Βάσει των καταγεγραμμένων δεδομένων δυναμικότητας, τα συστήματα αφαλάτωσης χωρίζονται σε συστήματα παραγωγής μικρότερης ή μεγαλύτερης των 1.000 m³/day και υπολογίζεται η μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση για κάθε κατηγορία, ενώ καταγράφονται και η μέγιστη και ελάχιστη αναφερόμενη τιμή της.

Πίνακας 5-15. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για δυο κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
<1000	12,46	22,78	7,33	4
≥1000	8,14	12,50	5,00	6

Όπως παρατηρείται η μέση ενεργειακή κατανάλωση των συστημάτων μικρομεσαίας δυναμικότητας (<1000 m³/day) είναι περίπου διπλάσια της δυναμικότητας των συστημάτων μεγάλης δυναμικότητας (≥1000 m³/day). Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και στις αντίστοιχες μέγιστες και ελάχιστες τιμές (Γράφημα 5-12).



Γράφημα 5-12. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για δυο κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

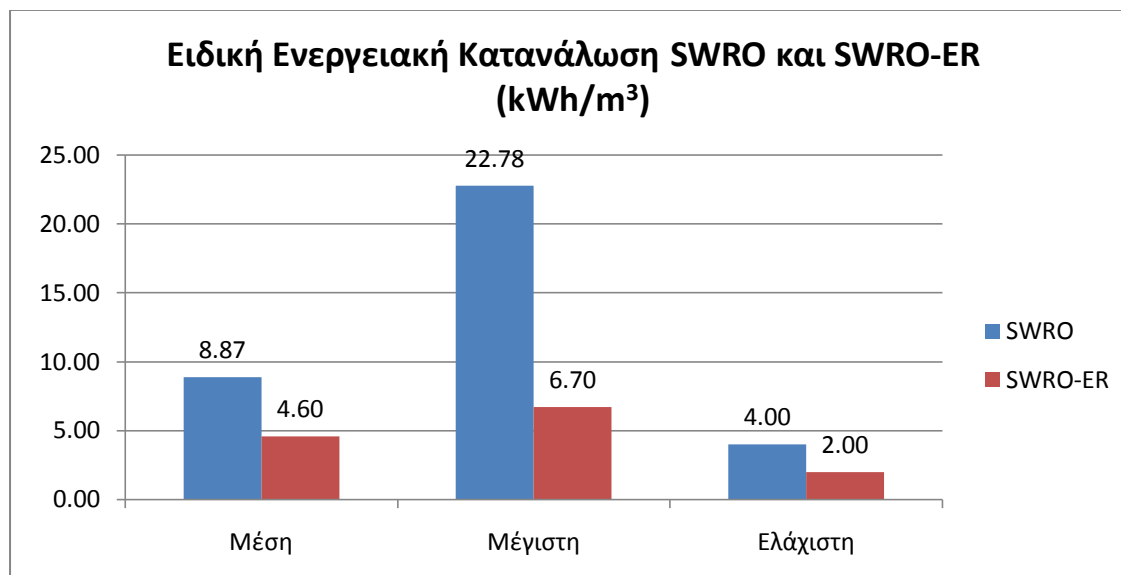
5.3.5 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης με Ανάκτηση Ενέργειας (RO-ER)

Οι διατάξεις ανάκτησης ενέργειας (Εναλλάκτες πίεσης ή Στρόβιλοι, βλ. Κεφάλαιο 3), όπως έχει ήδη αναφερθεί επιτρέπουν τη λειτουργία των συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης, με μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις. Από την εξέταση ενός συνόλου 16 τέτοιων συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, γίνεται αντιληπτό, ότι πράγματι η ειδική ενεργειακή κατανάλωση παρουσιάζει μείωση σε σχέση με τα απλά συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης, όπως αυτά αναφέρθηκαν προηγουμένως στον Πίνακα... Συγκριτική επισκόπηση των στοιχείων λαμβάνει χώρα στον Πίνακα 5-16.

Πίνακας 5-16. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού με ή χωρίς σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
SWRO	8,87	22,78	4,00	22
SWRO-ER	4,60	6,70	2,00	15

Έτσι λοιπόν, η μέση καταναλισκόμενη ενέργεια για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης με Ανάκτηση Ενέργειας παρουσιάζει την τιμή 4,55 kWh/m³, η οποία είναι μικρότερη της αντίστοιχης τιμής από απλή διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης, η οποία είναι 8,87 kWh/m³. Επίσης έντονη είναι και η διαφορά στη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης μεταξύ των δύο συστημάτων, δηλαδή αυτού με την Ανάκτηση ενέργειας και του απλού (6,70 kWh/m³ έναντι 22,78 kWh/m³ και 2 kWh/m³ έναντι 4 kWh/m³, αντίστοιχα) (Γράφημα 5-13).



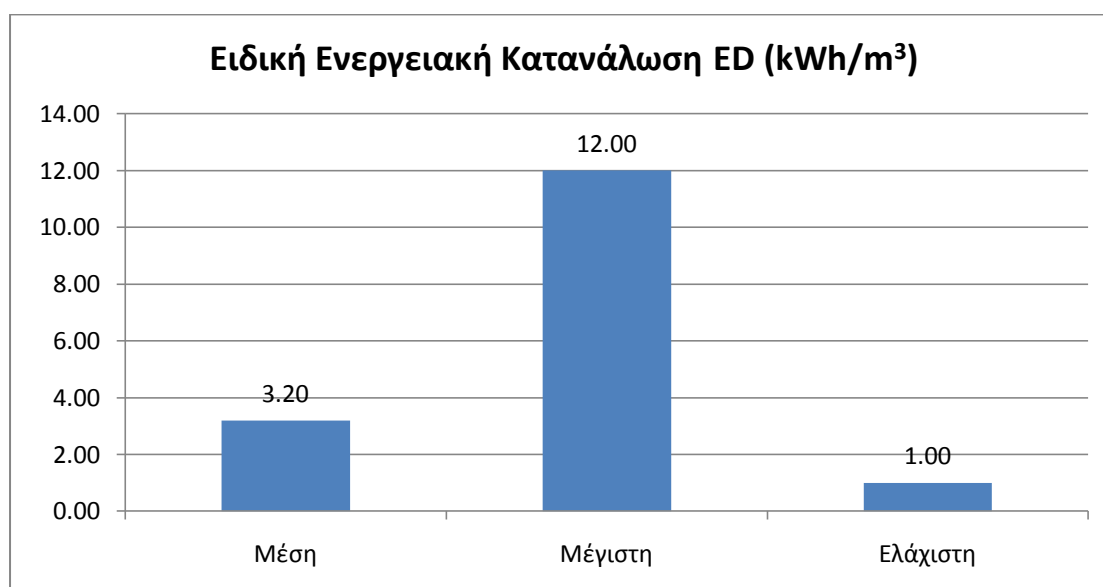
Γράφημα 5-13. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού με ή χωρίς σύστημα Ανάκτησης Ενέργειας

5.3.6 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης (ED)

Οι περισσότερες αναφορές, που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία, σχετικά με την τεχνολογία της Ηλεκτροδιάλυσης αφορούν την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Συνολικά (για κάθε τύπο νερού τροφοδοσίας), η ενεργειακή κατανάλωση της διεργασίας της Ηλεκτροδιάλυσης, παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 5-17.

Πίνακας 5-17. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
ED	3,20	12,00	1,00	11



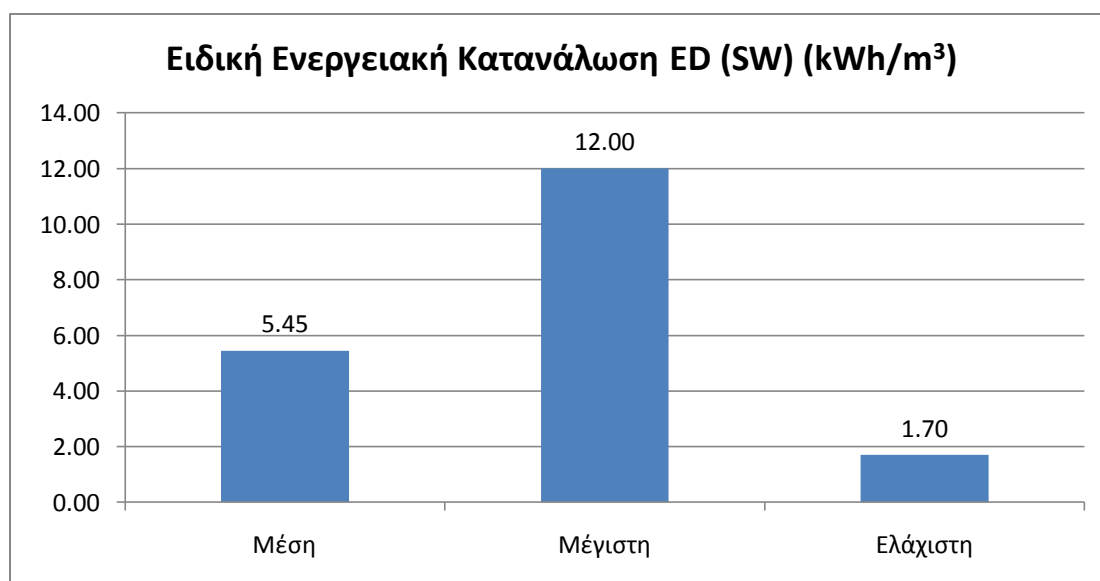
Γράφημα 5-14. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης

Συγκεκριμένα, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού μέσω της τεχνολογία της Ηλεκτροδιάλυσης, γίνεται αναφορά μόνο σε δύο περιπτώσεις στη βιβλιογραφία. Από αυτές, προκύπτουν τα στοιχεία του παρακάτω Πίνακα 5-18, με το αντίστοιχο Γράφημα 5-15.

Πίνακας 5-18. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης κατά την αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
ED (SW)	5,45	12,00	1,70	2

Η μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με την διεργασία της Ηλεκτροδιάλυσης απαιτεί μέση ενέργεια 5,45 kWh/m³, τιμή που ωστόσο βασίζεται σε μόλις δύο στοιχεία της βιβλιογραφίας και πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω.

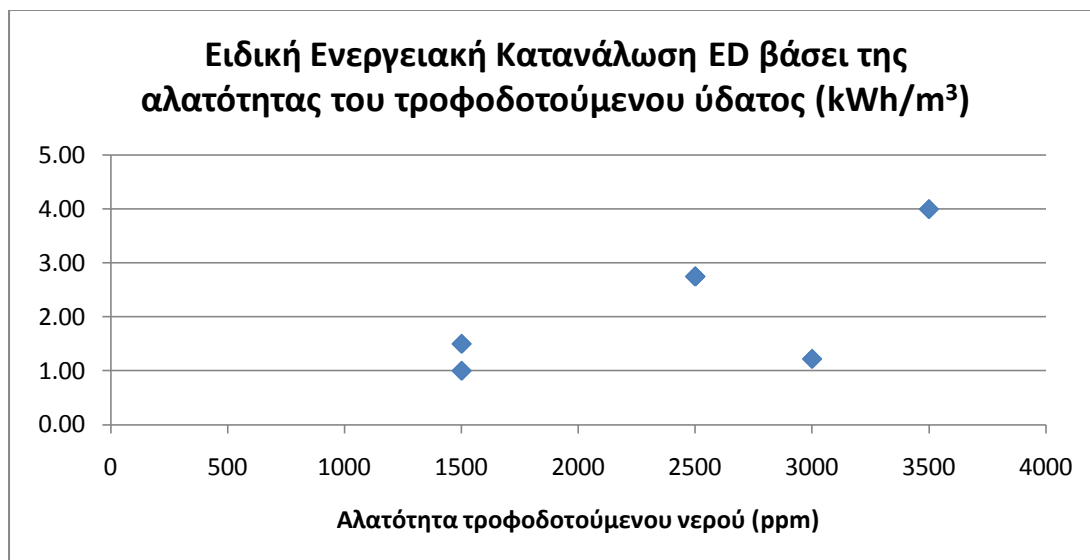


Γράφημα 5-15. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης κατά την αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Σύμφωνα με τα στοιχεία που διατίθενται για συστήματα συγκεκριμένης αλατότητας τροφοδοτούμενου νερού, παρατηρείται η τάση αύξησης της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, όσο η περιεκτικότητα του ύδατος που αφαλατώνεται αυξάνεται (Γράφημα 5-16).

Πίνακας 5-19. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
ED	1500	1,00
ED	1500	1,50
ED	2500	2,75
ED	2500	2,75
ED	3000	1,22
ED	3500	4,00



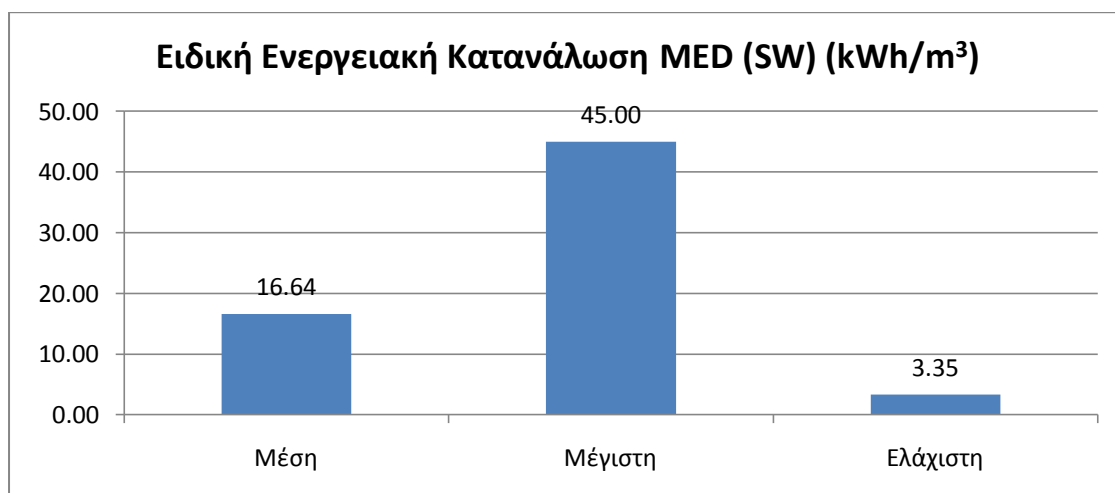
Γράφημα 5-16. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλεκτροδιάλυσης βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

5.3.7 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (MED)

Σχετικά με την ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης με Πολλαπλή Επίδραση, εντοπίζονται 14 συνολικά βιβλιογραφικές αναφορές, όλες σχετικά με την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Από αυτές υπολογίζονται η μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση (16,64 kWh/m³), ενώ καταγράφεται η μέγιστη και η ελάχιστη αναφερόμενη τιμή της, όπως αναφέρει ο Πίνακας 5-20. Γραφική αναπαράσταση των παραπάνω γίνεται στο Γράφημα 5-17.

Πίνακας 5-20. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
MED (SW)	16,64	45,00	3,35	14

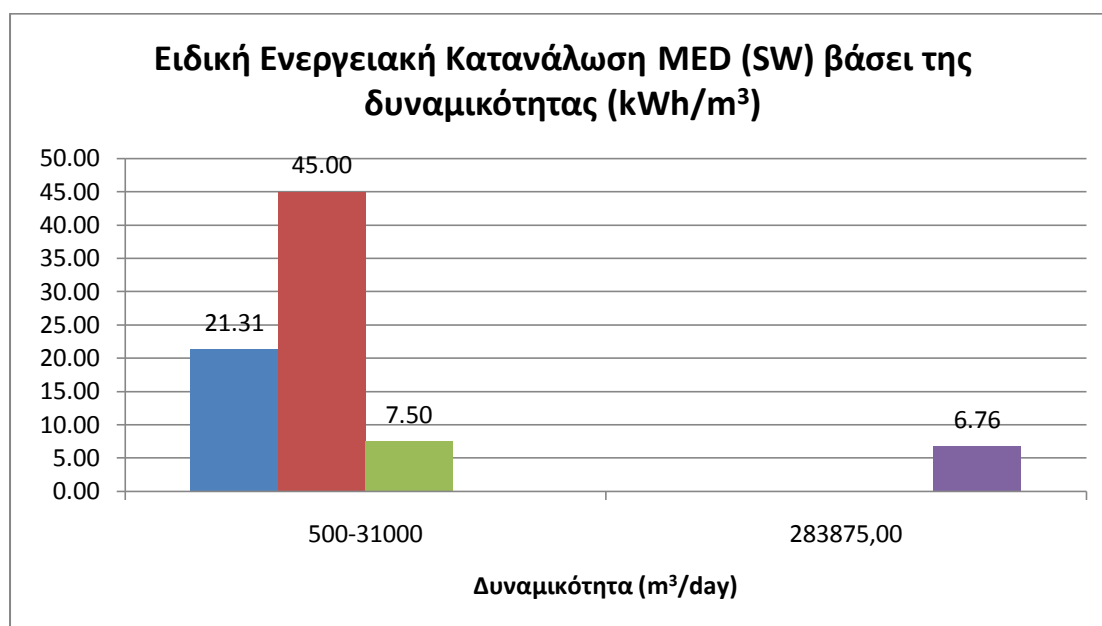


Γράφημα 5-17. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Από τις τιμές δυναμικότητας, οι οποίες καταγράφηκαν, η πλειοψηφία ανήκει στην περιοχή των 500-31.000 m³/day, ενώ υπάρχει και ένα σύστημα με πολύ μεγάλη δυναμικότητα (περίπου 280000 m³/day). Η απεικόνιση των τιμών της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, βάσει των αναφερθέντων τιμών δυναμικότητας, γίνεται στο Γράφημα 5-18, από το οποίο φαίνεται να μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση στα συστήματα αφαλάτωσης με πολύ μεγάλη παραγωγική ικανότητα. Θα πρέπει βέβαια να επισημανθεί ο μικρός αριθμός στοιχείων από τα οποία εξάγονται αυτά τα συμπεράσματα.

Πίνακας 5-21. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση MED (kWh/m ³)				Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μοναδική Τιμή	
500-31000	21,31	45,00	7,50		4
283875,00				6,76	1



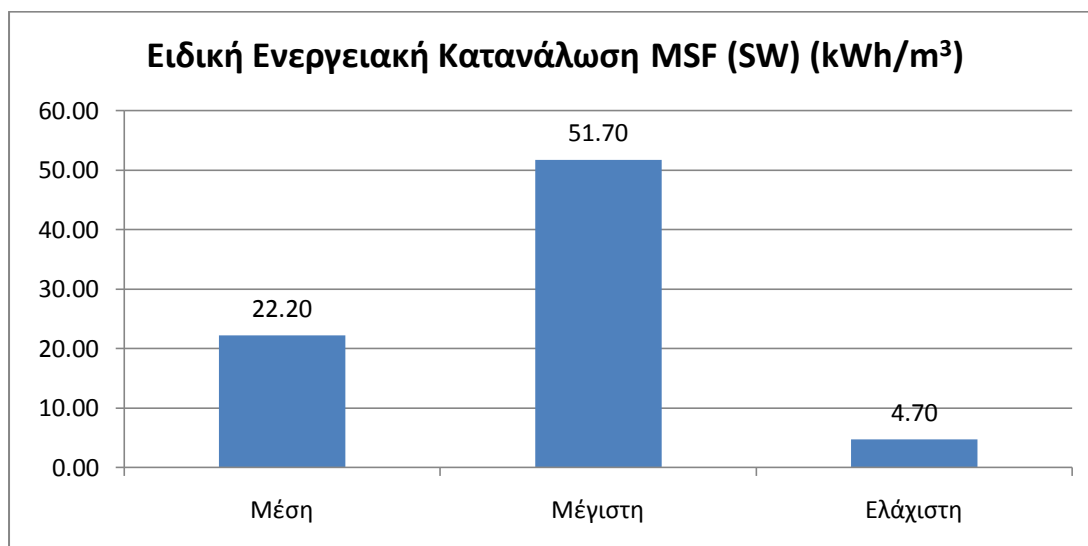
Γράφημα 5-18. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

5.3.8 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF)

Στην περίπτωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων, από την εξέταση συνολικά 15 αναφορών σχετικά με την καταναλισκόμενη ενέργεια για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, προκύπτει το Γράφημα 5-19. Η μέση υπολογιζόμενη ενεργειακή κατανάλωση αυτής της διεργασίας είναι 22,20 kWh/m³, ενώ καταγράφεται μέγιστη τιμή 51,7 kWh/m³ και ελάχιστη 4,7 kWh/m³.

Πίνακας 5-22. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
MSF (SW)	22,20	51,70	4,70	15

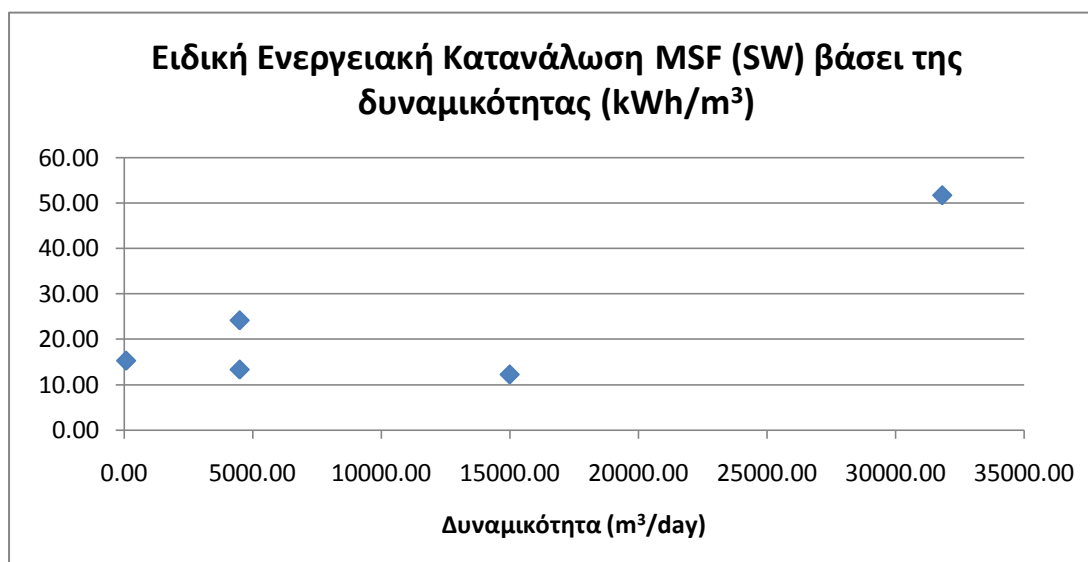


Γράφημα 5-19. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Ειδικότερα, από τη γραφική αναπαράσταση (Γράφημα 5-20) των δεδομένων της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης βάσει της δυναμικότητας (Πίνακας 5-23) προκύπτει η αντίθετη τάση από την αναμενόμενη, δηλαδή η κατανάλωση αυξάνεται όσο αυξάνεται και η δυναμικότητα (Γράφημα...). Κάτι τέτοιο μπορεί να αποδοθεί πιθανότατα στον πολύ μικρό αριθμό συγκρινόμενων στοιχείων και στην ανομοιογένεια που τα χαρακτηρίζει.

Πίνακας 5-23. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
MSF	SW	85,00	15,28
MSF	SW	4500,00	13,33
MSF	SW	4500,00	24,17
MSF	SW	15000,00	12,25
MSF	SW	31822,00	51,7

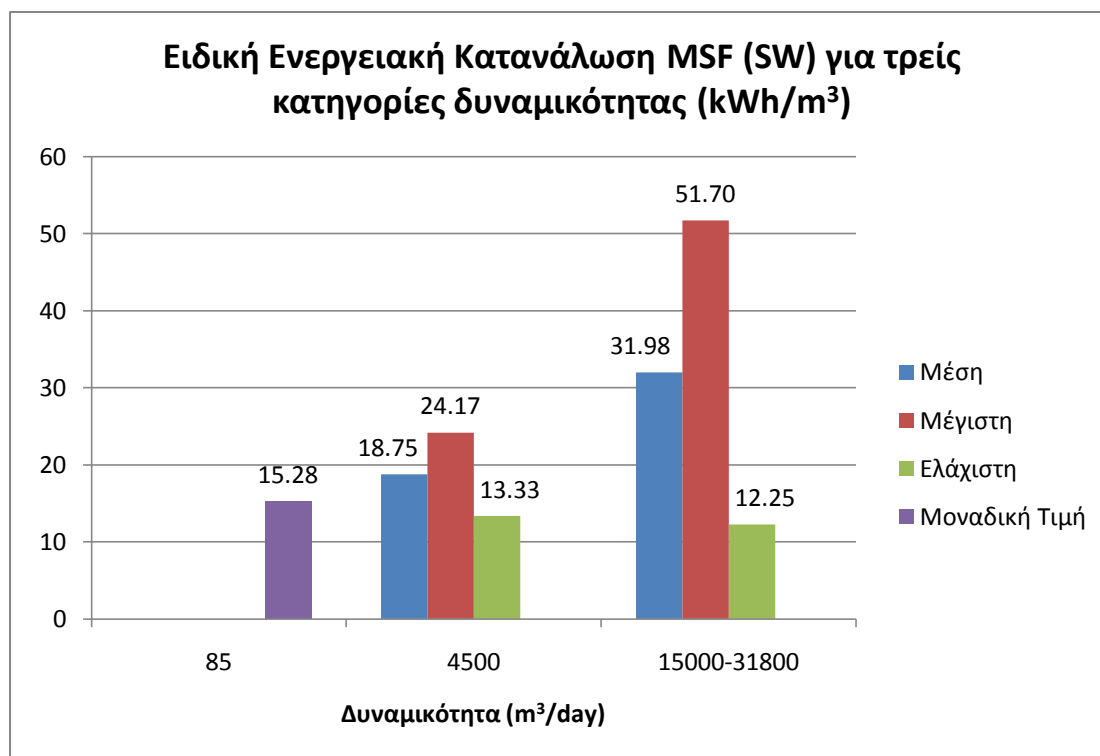


Γράφημα 5-20. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

Παρόμοιο είναι το συμπέρασμα από το διαχωρισμό των στοιχείων δυναμικότητας σε εύρη τιμών (Πίνακας 5-24, Γράφημα 5-21). Το σύστημα δυναμικότητας 85 m³/day παρουσιάζει τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τα συστήματα δυναμικότητας 4500 m³/day και 15000-31800 m³/day (15,28 kWh/m³, 18,75 kWh/m³ και 31,98 kWh/m³ αντίστοιχα). Σε όλες τις περιπτώσεις ο μικρός αριθμός δεδομένων δεν επιτρέπει την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

Πίνακας 5-24. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση MSF (SW) (kWh/m ³)				Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	Μοναδική Τιμή	
85				15,28	1
4500	18,75	24,17	13,33		2
15000-31800	31,98	51,70	12,25		2



Γράφημα 5-21. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

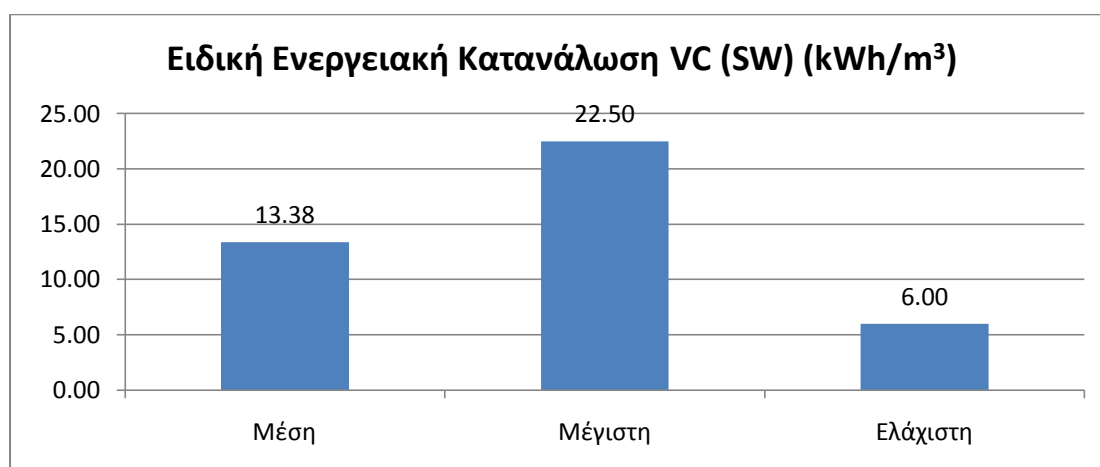
5.3.9 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών (VC)

Στο σύνολο τους τα εντοπισμένα στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης που αφορούν την Συμπύεση Ατμών, αναφέρονται στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Από αυτά τα στοιχεία, υπολογίζεται η μέση, η μέγιστη αλλά και η ελάχιστη καταναλισκόμενη ενέργεια που απαιτείται για την αφαλάτωση 1 m³ θαλασσινού νερού (Πίνακας 5-25).

Πίνακας 5-25. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
VC (SW)	13,38	22,50	6,00	17

Για την ακρίβεια, η μέση τιμή της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης είναι 13,38 kWh/m³, ενώ καταγράφονται οι μέγιστη και ελάχιστη τιμή των 22,5 kWh/m³ και 6 kWh/m³, αντίστοιχα, που προκύπτουν από ένα σύνολο 17 στοιχείων (Γράφημα 5-22).



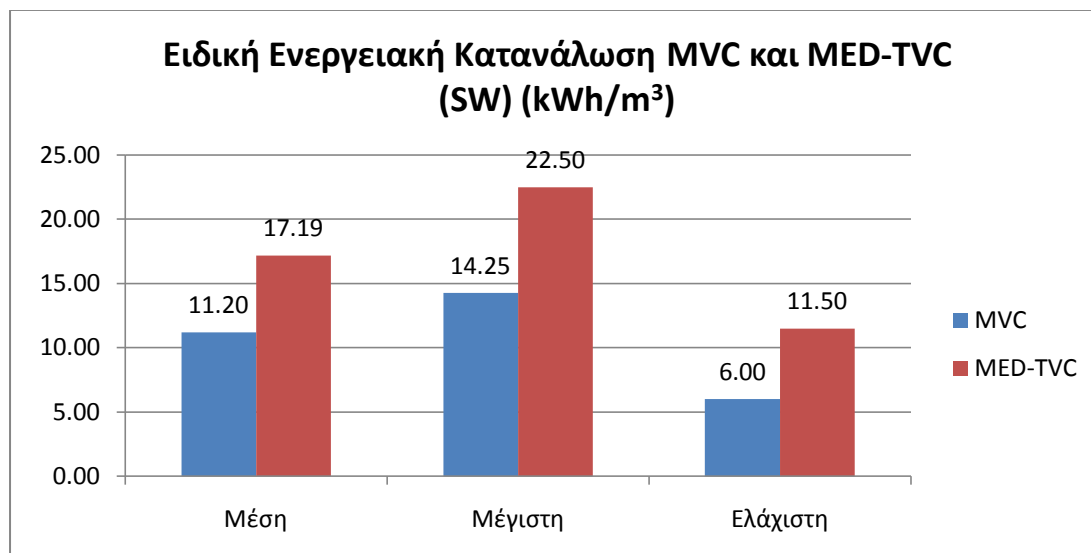
Γράφημα 5-22. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Όπως αναφέρθηκε ήδη στο κεφάλαιο 3, η Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών μπορεί να γίνει με 2 τρόπους, είτε μέσω διατάξεων μηχανικού συμπιεστή (MVC), σε συστήματα που συνήθως διαθέτουν μία βαθμίδα, είτε μέσω διατάξεων εκτίναξης ατμού μέσω ακροφύσιου (TVC), σε συστήματα τα οποία διαθέτουν περισσότερες από μια βαθμίδες (MED-TVC). Εξετάζοντας ξεχωριστά το κάθε ένα από αυτά τα συστήματα, πάντα ως προς την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, προκύπτει ο Πίνακας 5-26 μέσω των μέγιστων και ελάχιστων τιμών της καταγεγραμμένης ειδικής κατανάλωσης ενέργειας.

Πίνακας 5-26. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Μηχανικής και της Θερμικής Συμπύεσης Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
MVC (SW)	11,20	14,25	6,00	5
MED-TVC (SW)	17,19	22,50	11,50	4

Λιγότερο ενεργοβόρα παρουσιάζεται η τεχνολογία της Μηχανικής Συμπύεσης Ατμών (MVC), σε σχέση με την Θερμική Συμπύεση Ατμών Πολλαπλών Βαθμίδων (MED-TVC), με μέση τιμή ενεργειακής κατανάλωσης 11,20 kWh/m³ έναντι 17,90 kWh/m³ (Γράφημα 5-23). Διαφορά υπάρχει και στη μέγιστη αλλά και την ελάχιστη τιμή, όπου η MVC παρουσιάζει τις τιμές των 14,25 kWh/m³ και 6 kWh/m³, αντίστοιχα, έναντι της TVC με αντίστοιχες τιμές 22,5 kWh/m³ και 11,5 kWh/m³.



Γράφημα 5-23. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Μηχανικής και της Θερμικής Συμπιέσης Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

5.3.10 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Απόσταξης Μembrάνης (MD)

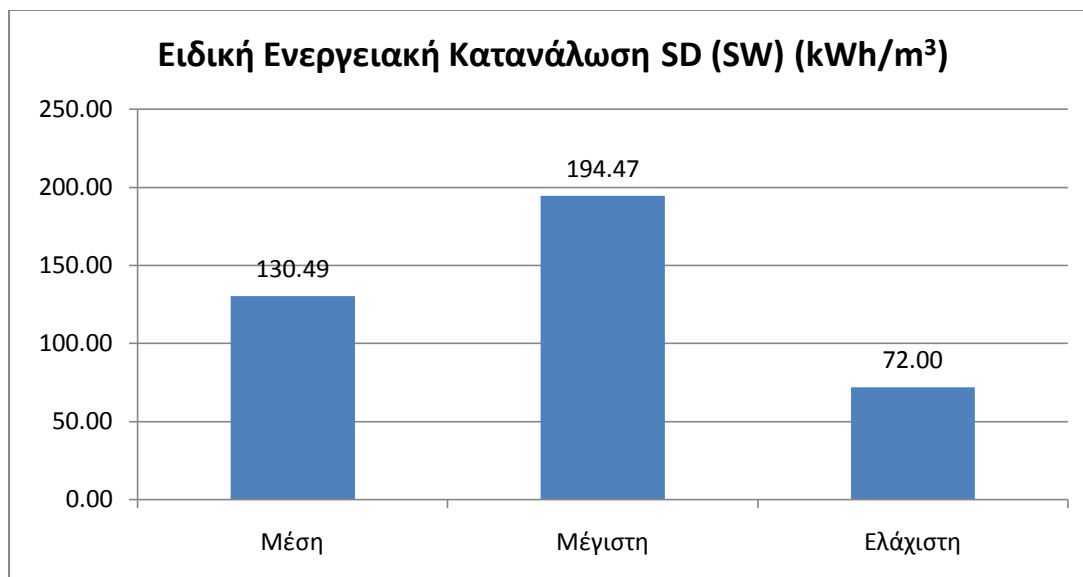
Η μοναδική αναφορά στην ειδική ενεργειακή κατανάλωση της διεργασίας της Απόσταξης Μembrάνης, η οποία αποτελεί συνδυασμό των διεργασιών Μembrανών και των Θερμικών διεργασιών, γίνεται στη μελέτη “Small scale desalination pilots powered by renewable energy sources: case studies” (Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005). Για την ακρίβεια εξετάζεται πειραματικά ένα σύστημα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού Απόσταξης Μembrάνης με Γεωθερμία δυναμικότητας 0,02 m³/day στο οποίο καταγράφεται ειδική ενεργειακή κατανάλωση 0,92 kWh/m³.

5.3.11 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλιακής Απόσταξης (SD)

Επίσης, στην περίπτωση της Ηλιακής Απόσταξης εντοπίζονται λίγα σε αριθμό δεδομένα σχετικά της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης. Από τις μόλις 3 αναφορές που καταγράφονται στη βιβλιογραφία, προκύπτει μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση 130,49 kWh/m³, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού (Πίνακας 5-27). Σε υψηλά επίπεδα βρίσκονται γενικότερα οι ενεργειακές απαιτήσεις της εν λόγω τεχνολογίας, με μέγιστη τιμή 194,47 kWh/m³ και ελάχιστη 72 kWh/m³ (Γράφημα 5-24).

Πίνακας 5-27. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
SD (SW)	130,49	194,47	72,00	3



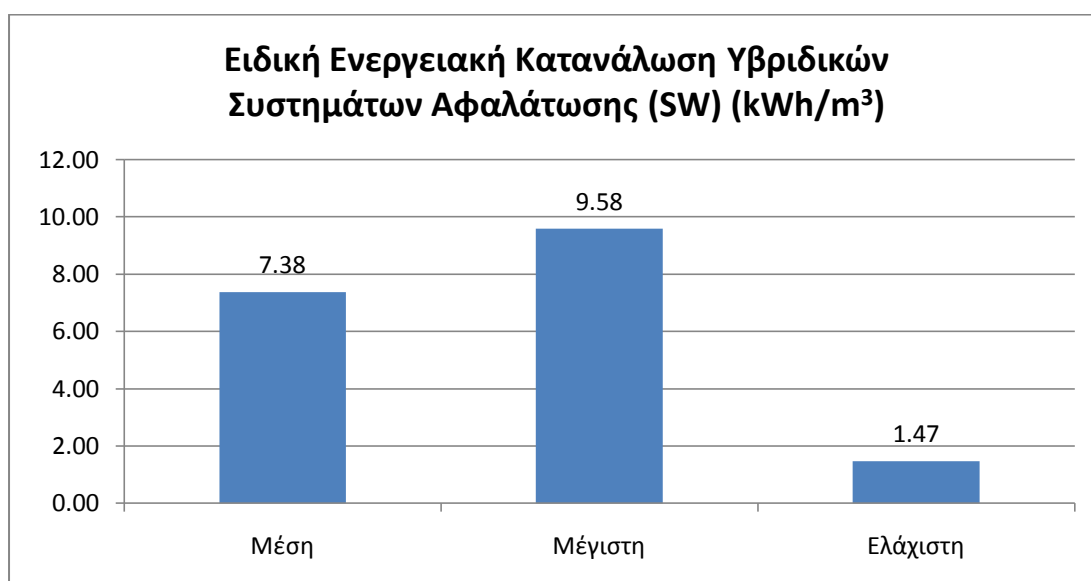
Γράφημα 5-24. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

5.3.12 Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών Συστημάτων Αφαλάτωσης (HYBRID)

Λαμβάνοντας υπ' όψιν αποκλειστικά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, μέσω υβριδικών τεχνολογιών αφαλάτωσης, προκύπτει ο Πίνακας 5-28 και το αντίστοιχο Γράφημα 5-25.

Πίνακας 5-28. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
Hybrid (SW)	7,38	9,58	1,48	5



Γράφημα 5-25. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Πρέπει να σημειωθεί ότι από τις περιπτώσεις αυτές, οι 4 αφορούν υβριδικά σύστημα Αντίστροφης Όσμωσης, ενώ αναφέρεται και η περίπτωση συστήματος MVC-TVC, με ειδική ενεργειακή κατανάλωση 7,27 kWh/m³. Αναλυτικότερη αναφορά στα υβριδικά συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης γίνεται στον Πίνακα 5-29.

Πίνακας 5-29. Υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης Αντίστροφης Όσμωσης και η ειδική ενεργειακή κατανάλωση που παρουσιάζουν

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)
RO/MED	SW	-	1,48
RO/MED (LT-TVC)	SW	14300,00	9,58
RO/BPT/MED (LT-TVC)	SW	14800,00	9,23
RO/BPT/RO	SW	14700,00	9,34

Έτσι λοιπόν, προκύπτουν οι τιμές του Πίνακα 5-30, οι οποίες αφορούν την ειδική ενεργειακή κατανάλωση των Υβριδικών συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης.

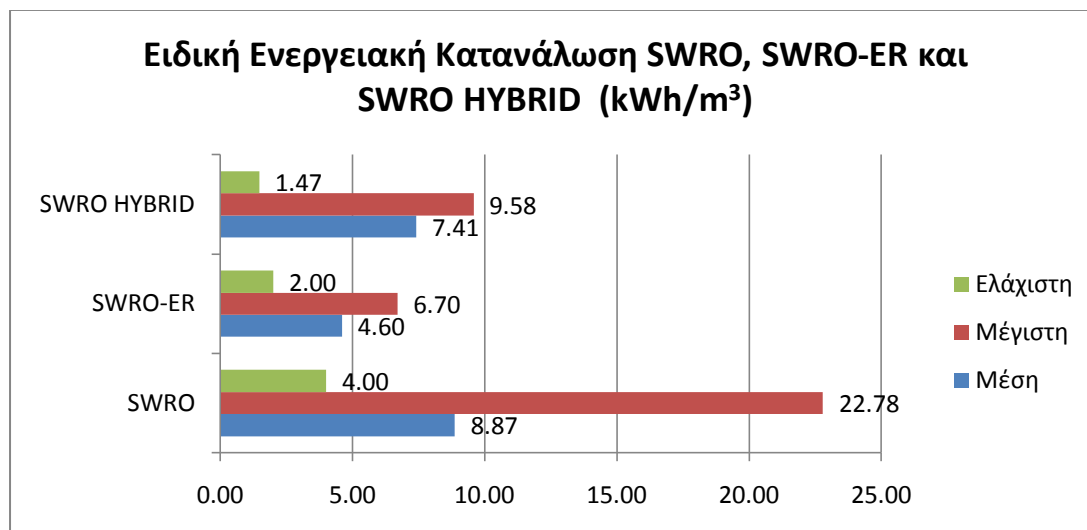
Πίνακας 5-30. Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση Υβριδικών συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
SWRO Hybrid	7,41	9,58	1,48	4

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των τιμών αυτών με τις αντίστοιχες των συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης (με ή χωρίς Ανάκτηση Ενέργεια), όπως αυτή απεικονίζεται στον Πίνακα 5-31 και το Γράφημα 5-26.

Πίνακας 5-31. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των διαφόρων συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
SWRO	8,87	22,78	4,00	22
SWRO-ER	4,60	6,70	2,00	15
SWRO HYBRID	7,41	9,58	1,48	4



Γράφημα 5-26. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των διαφόρων συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού τα υβριδικά συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης παρουσιάζουν μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση 7,41 kWh/m³ την ώρα που τα συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης καταναλώνουν κατά μέσο όρο 8,87 kWh/m³. Τη μικρότερη μέση ενεργειακή κατανάλωση, παρόλα αυτά, παρουσιάζουν τα συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης με ανάκτηση ενέργειας (4,60 kWh/m³).

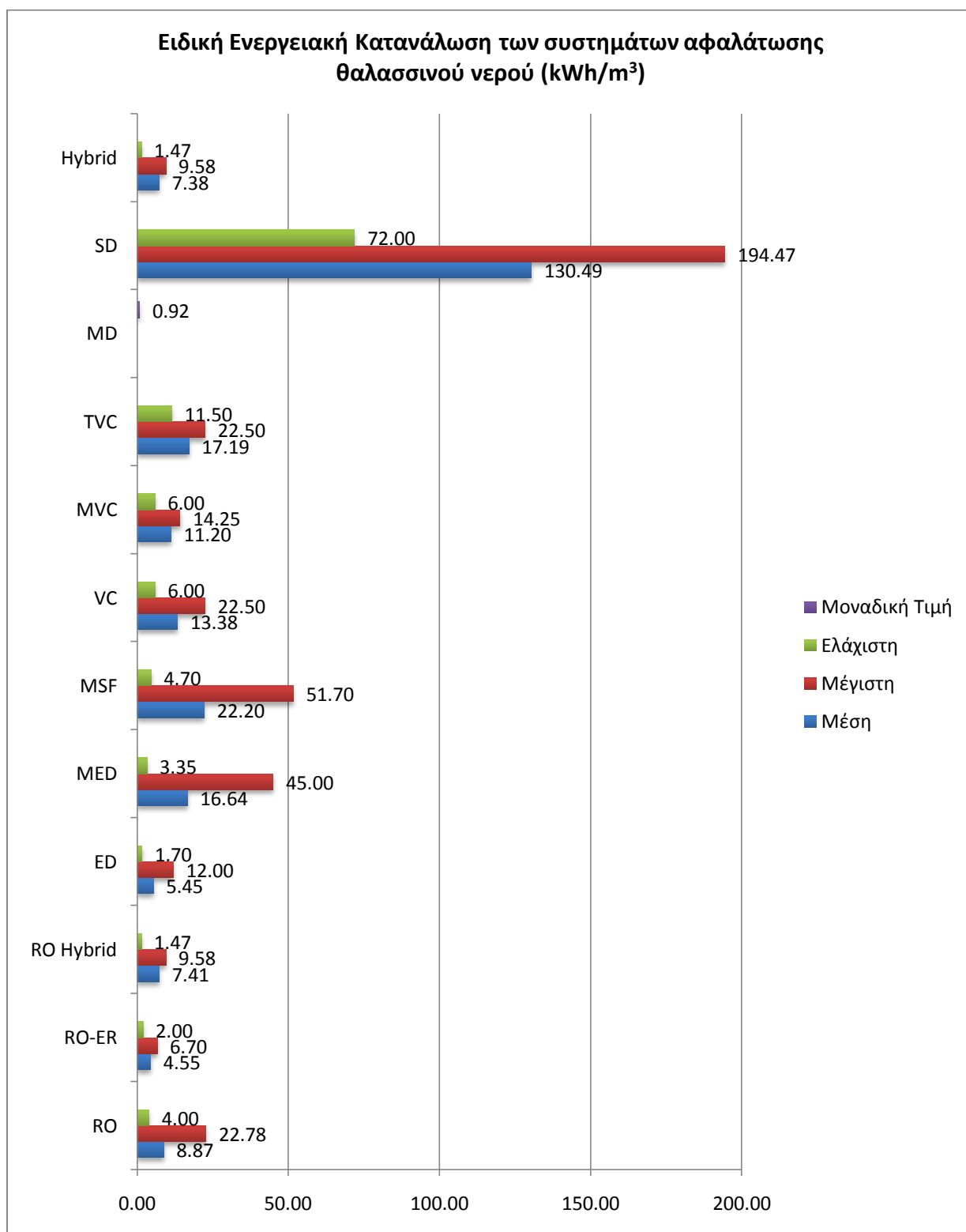
5.3.13 Σύγκριση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των διεργασιών αφαλάτωσης

Σύνοψη των υπολογισμένων τιμών ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης (μέση, μέγιστη και ελάχιστη) των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων διεργασιών/τεχνολογιών αφαλάτωσης, τα οποία παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, σχετικά με την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, περιέχονται στον Πίνακα 5-32, ενώ συγκριτική αναπαράσταση αυτών των μεγεθών παρουσιάζεται στο Γράφημα 5-27.

Πίνακας 5-32. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Ειδική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m ³)			Μοναδική Τιμή	Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη		
RO	8,87	22,78	4,00		22
RO-ER	4,55	6,70	2,00		15
RO Hybrid	7,41	9,58	1,48		4
ED	5,45	12,00	1,70		2
MED	16,64	45,00	3,35		14
MSF	22,20	51,70	4,70		15
VC	13,38	22,50	6,00		17
MVC	11,20	14,25	6,00		5
TVC	17,19	22,50	11,50		4
MD				0,92	1

SD	130,49	194,47	72,00		3
Hybrid	7,38	9,58	1,48		5



Γράφημα 5-27. Συγκριτική επισκόπηση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι μεταξύ των λιγότερο ενεργοβόρων διεργασιών αφαλάτωσης θαλασσινού νερού περιλαμβάνεται η διεργασία της Αντίστροφης Όσμωσης (μέση ενεργειακή κατανάλωση 8,87 kWh/m³ για τα απλά συστήματα, 4,55 kWh/m³ για τα συστήματα με Ανάκτηση Ενέργειας και 7,41 kWh/m³ για τα υβριδικά συστήματα). Την χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση παρουσιάζει η Ηλεκτροδιάλυση (μέση τιμή 5,45 kWh/m³), ωστόσο είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και η μέση υπολογισθείσα τιμή προκύπτει μόνο από δυο σχετικές αναφορές. Όσον αφορά τις Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης, ενεργειακά αποδοτικότερη παρουσιάζεται η Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (13,38 kWh/m³) και πιο συγκεκριμένα η Μηχανική Συμπύεση Ατμών (11,20 kWh/m³), ενώ λίγο υψηλότερες τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας παρουσιάζουν οι τεχνολογίες της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (16,64 kWh/m³) και της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων (22,20 kWh/m³). Η υψηλότερη μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση καταγράφεται στη μέθοδο της Ηλιακής Απόσταξης (130,49 kWh/m³), για την οποία ωστόσο η πηγή ενέργειας (ήλιος) είναι φυσική και άνευ κόστους, ενώ σε πολλές περιοχές της γης είναι και άφθονη.

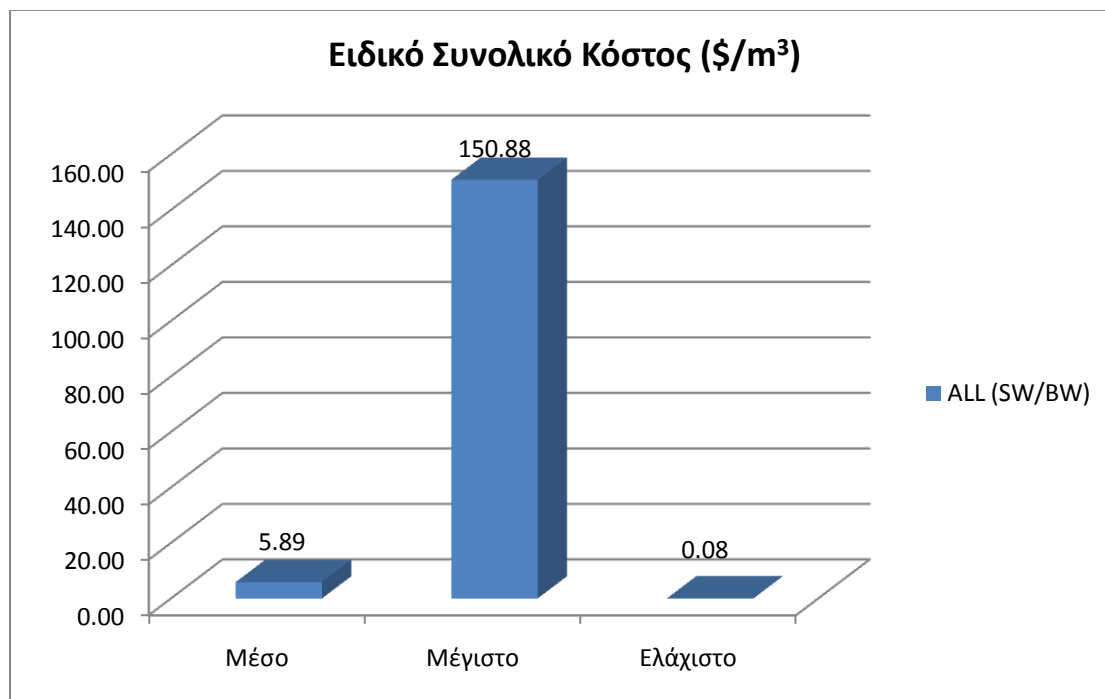
5.3.14 Το ειδικό συνολικό κόστος αφαλάτωσης και η επίδραση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

Στο παρόν κομμάτι της εργασίας αυτής εξετάζεται ένα σύνολο 235 αναφορών της βιβλιογραφίας, σχετικά με το συνολικό κόστος ανα μονάδα αφαλατωμένου νερού (1 m³). Τα στοιχεία αυτά αφορούν τις κυριότερες διεργασίες αφαλάτωσης, τόσο Θερμικές, όσο και Μεμβρανών, για τις περίπτωση υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού τροφοδοσίας. Από το σύνολο των καταγεγραμμένων στοιχείων προκύπτει ο Πίνακας 5-33.

Πίνακας 5-33. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
ALL (SW/BW)	5,89	150,88	0,08	235

Όπως φαίνεται και σχηματικά (Γράφημα 5-28), συνολικά για όλες τις διεργασίες αφαλάτωσης υπολογίζεται ένα μέσο κόστος 5,89 \$/m³. Το μέγιστο καταγεγραμμένο κόστος φτάνει τα 150,88 \$/m³, και αναφέρεται σε σύστημα Απόσταξης Μεμβράνης (MD) με Γεωθερμία (Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005), ενώ το ελάχιστο κόστος των 0,08 \$/m³ αντιστοιχεί σε μια συμβατική εγκατάσταση Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων (MSF) με συμπαραγωγή (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010).

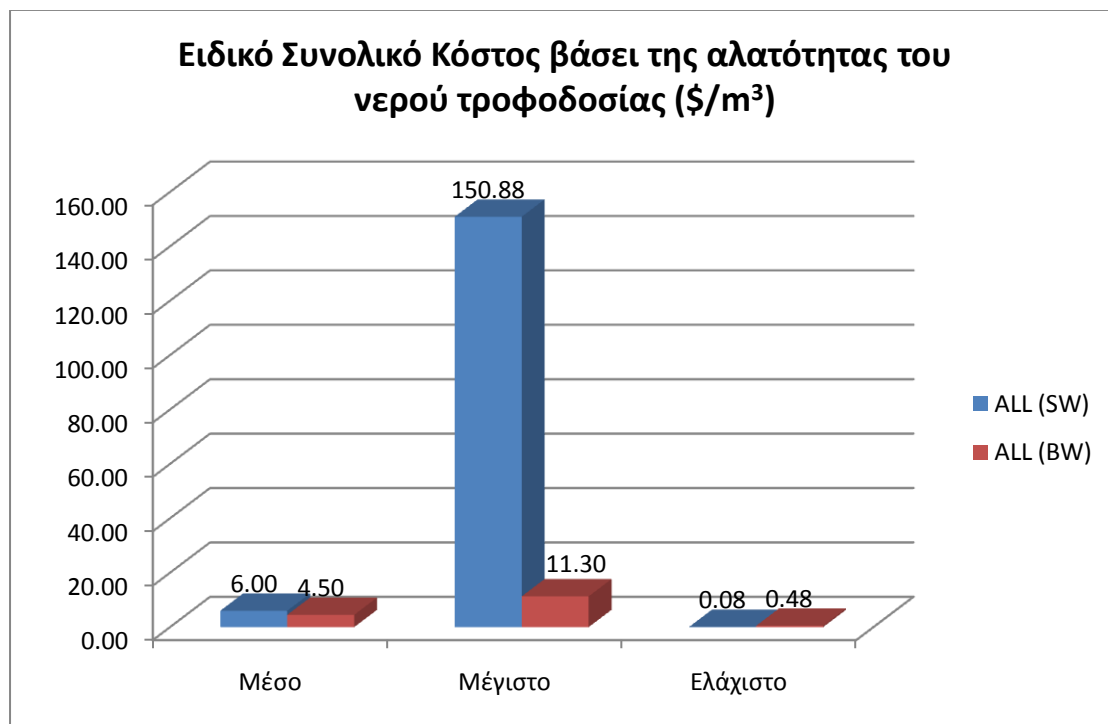


Γράφημα 5-28. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση

Όπως ακριβώς και στην περίπτωση της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, το ειδικό συνολικό κόστος αφαλάτωσης είναι σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις υφάλμυρου νερού μικρότερο αυτού των περιπτώσεων θαλασσινού νερού. Η επίδραση που έχει η περιεκτικότητα σε άλας του προς αφαλάτωση ύδατος στη διακύμανση του κόστους του παραγόμενου νερού φαίνεται από τα στοιχεία του Πίνακα 5-34 και του αντίστοιχου Γραφήματος 5-29.

Πίνακας 5-34. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

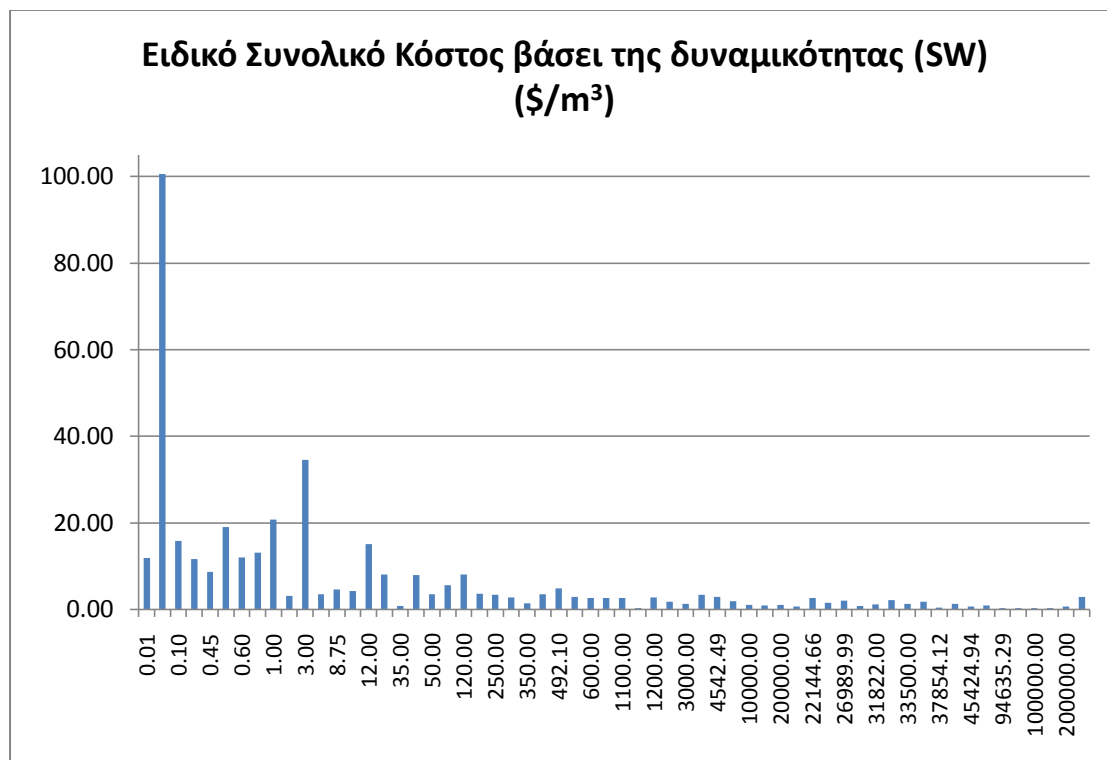
Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
ALL (SW)	6,00	150,88	0,08	218
ALL (BW)	4,50	11,30	0,48	17



Γράφημα 5-29. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση βάσει της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας

5.3.15 Η επίδραση της δυναμικότητας στο κόστος

Ένας ακόμα από τους παράγοντες στους οποίους οφείλεται η διακύμανση του κόστους κατά την αφαλάτωση είναι η δυναμικότητα παραγωγής της εξεταζόμενης διάταξης. Από το σύνολο των στοιχείων που αφορούν το κόστος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού απομονώνονται εκείνα τα συστήματα αφαλάτωσης, των οποίων η δυναμικότητα είναι καταγεγραμμένη. Κατόπιν του υπολογισμού των μέσων τιμών κόστους, για τις τιμές ίδιας δυναμικότητας, προκύπτει το παρακάτω Γράφημα 5-30. Σύμφωνα με αυτό, τα συστήματα αφαλάτωσης μικρής παραγωγικότητας φαίνεται να παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές κόστος υψηλότερο από αυτό των συστημάτων μεγαλύτερης παραγωγικής ικανότητας.

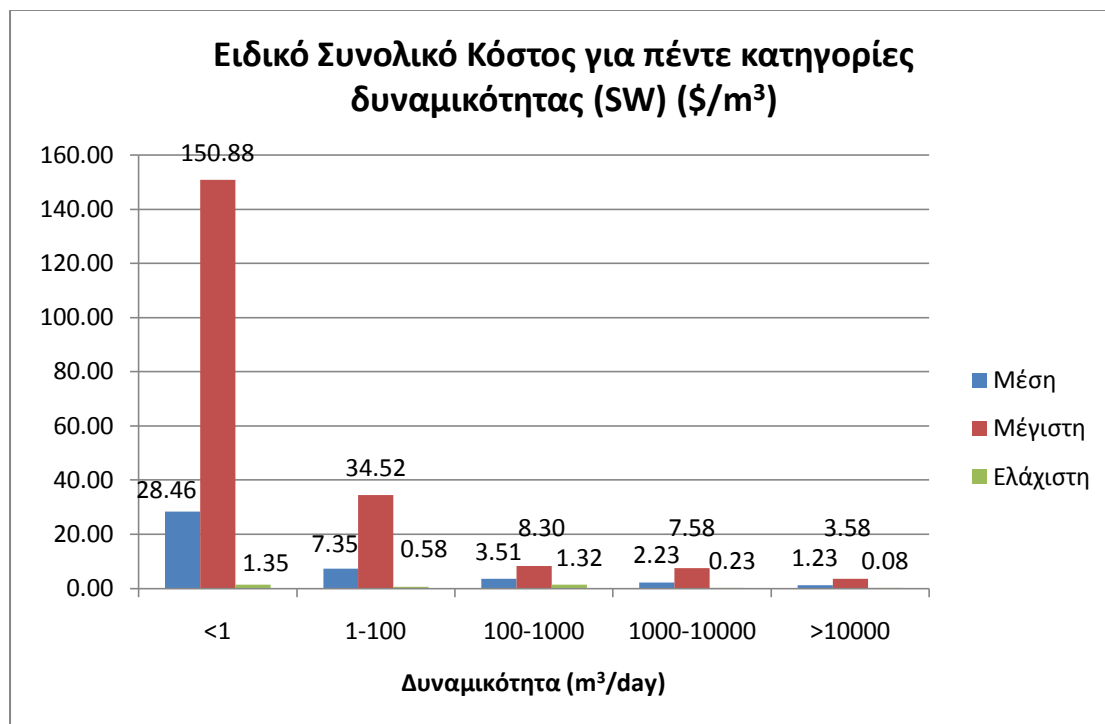


Γράφημα 5-30. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

Από το διαχωρισμό των παραπάνω τιμών δυναμικότητας σε 5 κατηγορίες (Πίνακας 5-35) και τον υπολογισμό της μέσης τιμής κόστους παραγόμενου νερού που αντιστοιχεί στην καθεμία, δημιουργείται το Γράφημα 5-31, το οποίο ενισχύει την άποψη της μείωσης του κόστους αφαλάτωσης με την αύξηση της δυναμικότητας παραγωγής μιας μονάδας αφαλάτωσης, οποιασδήποτε τεχνολογίας.

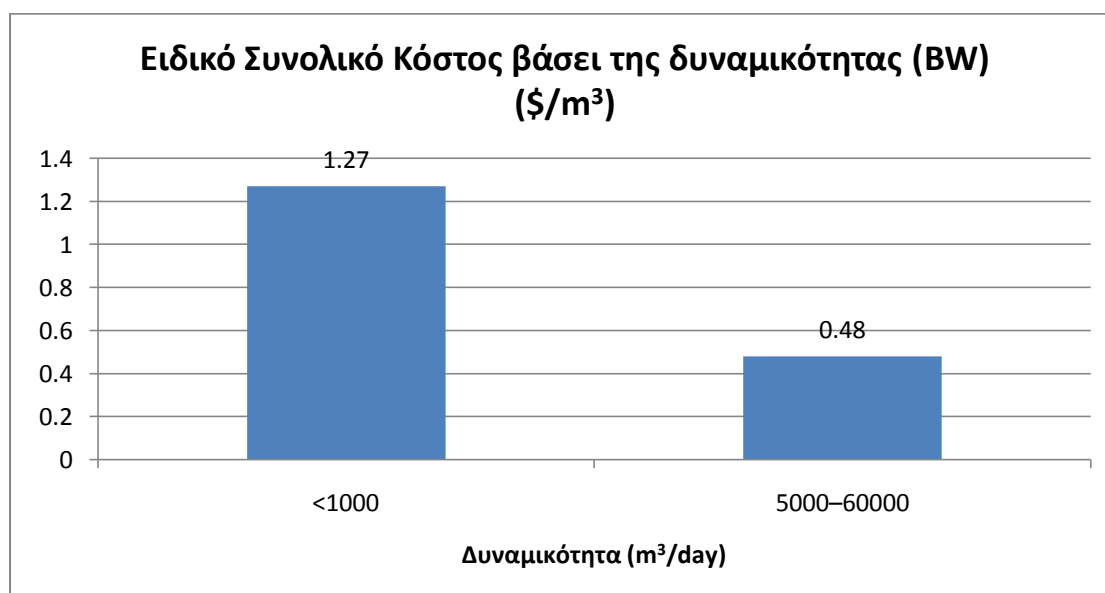
Πίνακας 5-35. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για πέντε κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέση	Μέγιστη	Ελάχιστη	
<1	28,46	150,88	1,35	23
1-100	7,35	34,52	0,58	28
100-1000	3,51	8,30	1,32	37
1000-10000	2,23	7,58	0,23	42
>10000	1,23	3,58	0,08	64

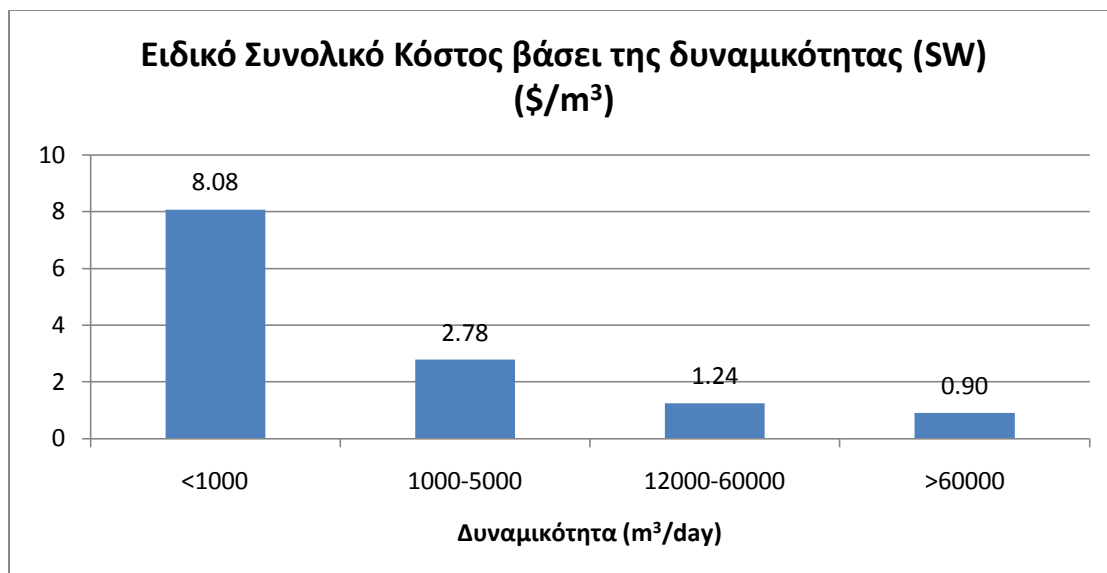


Γράφημα 5-31. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για πέντε κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Ακόμα πιο συγκεκριμένα, οι μελετητές Καραγιάννης και Σολδάτος στο Γράφημα 5-32 και 5-33, επισημαίνουν τη μείωση του κόστους με την αύξηση της δυναμικότητας τόσο για αφαλάτωση υφάλμυρου όσο και θαλασσινού νερού, αντίστοιχα.

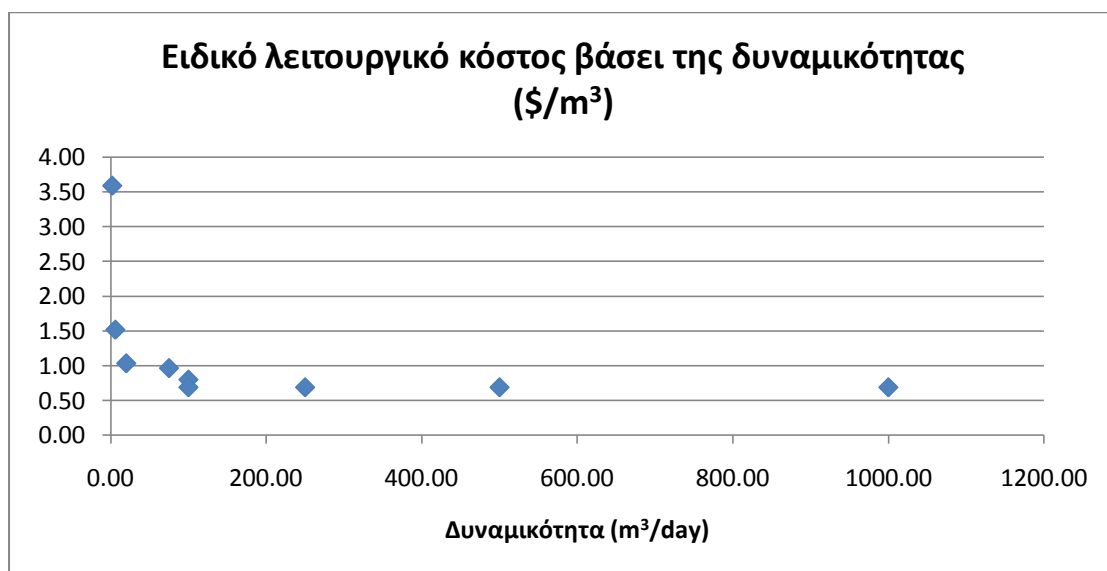


Γράφημα 5-32. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)



Γράφημα 5-33. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής (Karagiannis & Soldatos, Water desalination cost literature: review and assessment, 2008)

Επίσης, ο Μπελέτης Α. (Διευθυντής Πωλήσεων της TEMAK Α.Ε.), καταγράφοντας το λειτουργικό κόστος των συστημάτων αφαλάτωσης βάσει της δυναμικότητας, ανεξαρτήτως χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας αφαλάτωσης, καταλήγει στο Γράφημα 5-34, το οποίο υποστηρίζει επίσης το γεγονός της μείωσης του κόστους, όσο η ικανότητα παραγωγής νερού της μονάδας αυξάνεται.

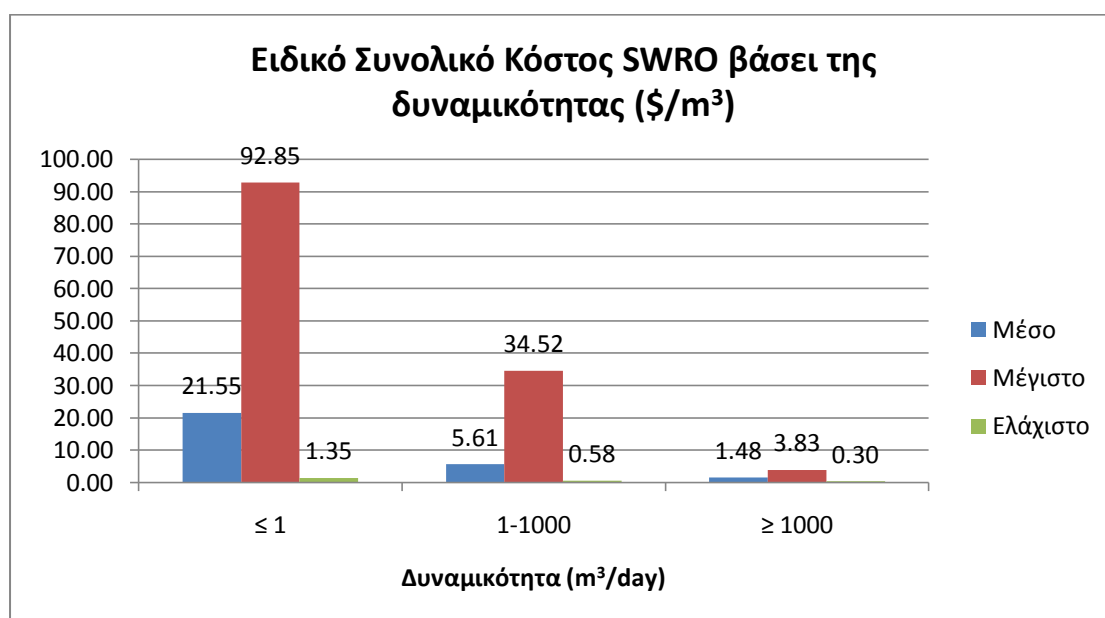


Γράφημα 5-34. Το ειδικό λειτουργικό κόστος κατά την αφαλάτωση βάσει της δυναμικότητας παραγωγής (Μπελέτης, 2010)

Παρόμοια είναι και η εικόνα που δημιουργείται από τη γραφική αναπαράσταση των στοιχείων κόστους που σχετίζονται με την αφαλάτωση θαλασσινού νερού εξειδικευμένα για τις βασικότερες διεργασίες αφαλάτωσης, όπως η Αντίστροφη Όσμωση (Γράφημα 5-35), η Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης (Γράφημα 5-36), η Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (Γράφημα 5-37), η Συμπύεση Ατμών (Γράφημα 5-38) και η Ηλιακή Αφαλάτωση (Γράφημα 5-39).

Πίνακας 5-36. Το ειδικό συνολικό κόστος Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

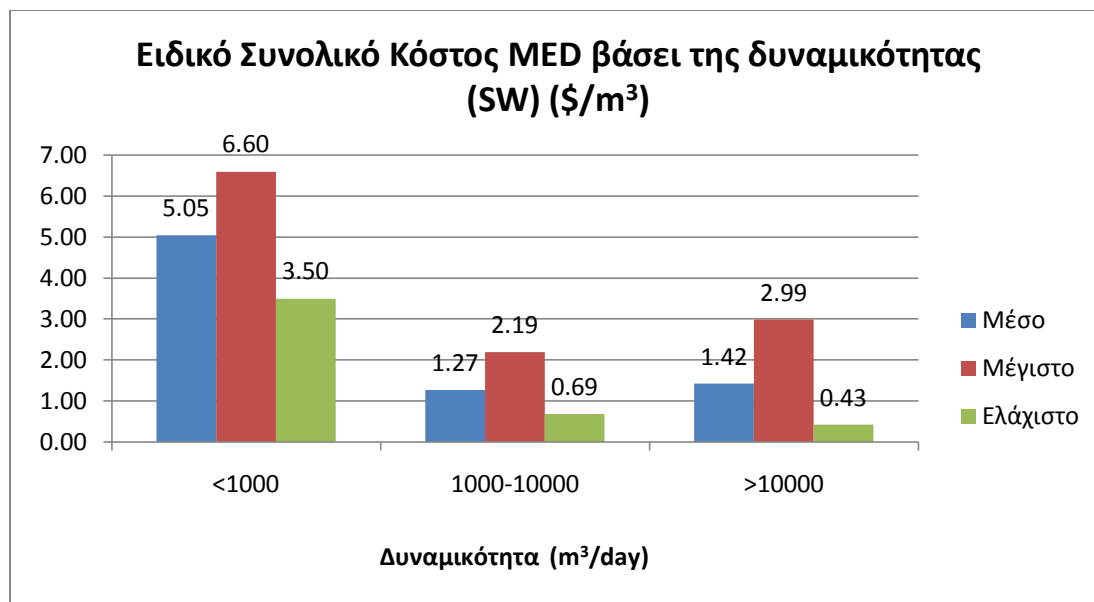
Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
≤1	21,55	92,85	1,35	6
1-1000	5,61	34,52	0,58	36
≥ 1000	1,48	3,83	0,30	36



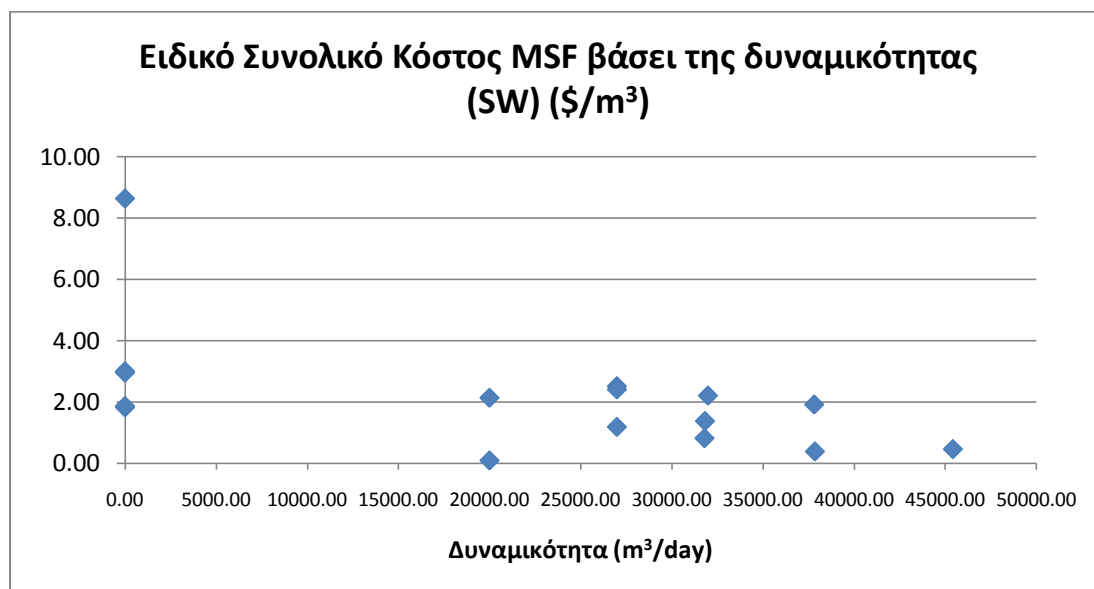
Γράφημα 5-35. Το ειδικό συνολικό κόστος της Αντίστροφης Όσμωσης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Πίνακας 5-37. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
<1000	5,05	6,60	3,50	2
1000-10000	1,27	2,19	0,69	5
>10000	1,42	2,99	0,43	19



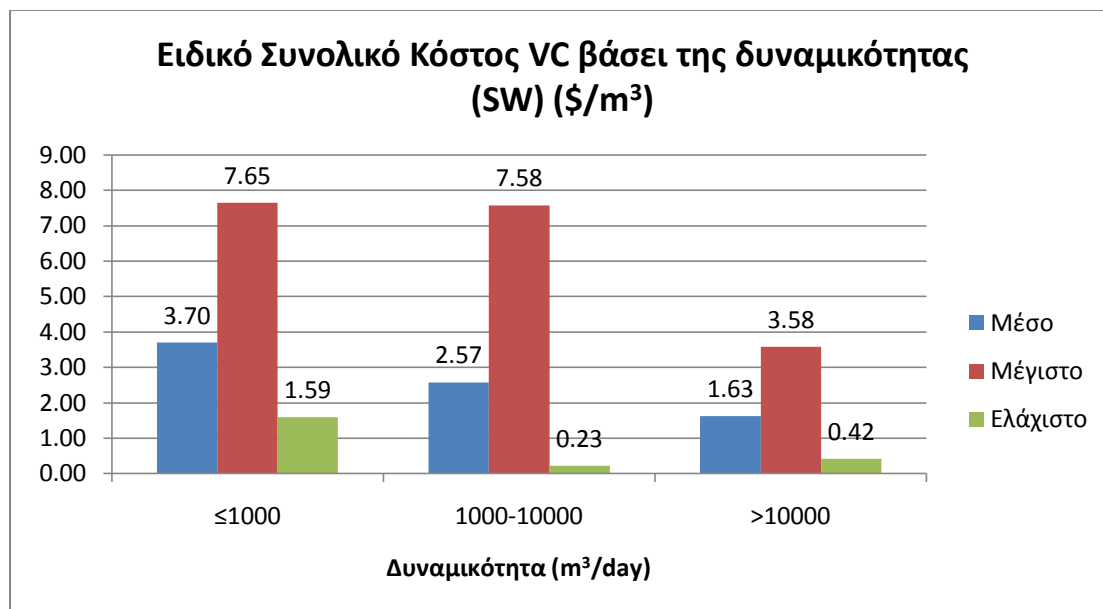
Γράφημα 5-36. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής



Γράφημα 5-37. Το ειδικό συνολικό κόστος της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού βάσει της δυναμικότητας παραγωγής

Πίνακας 5-38. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

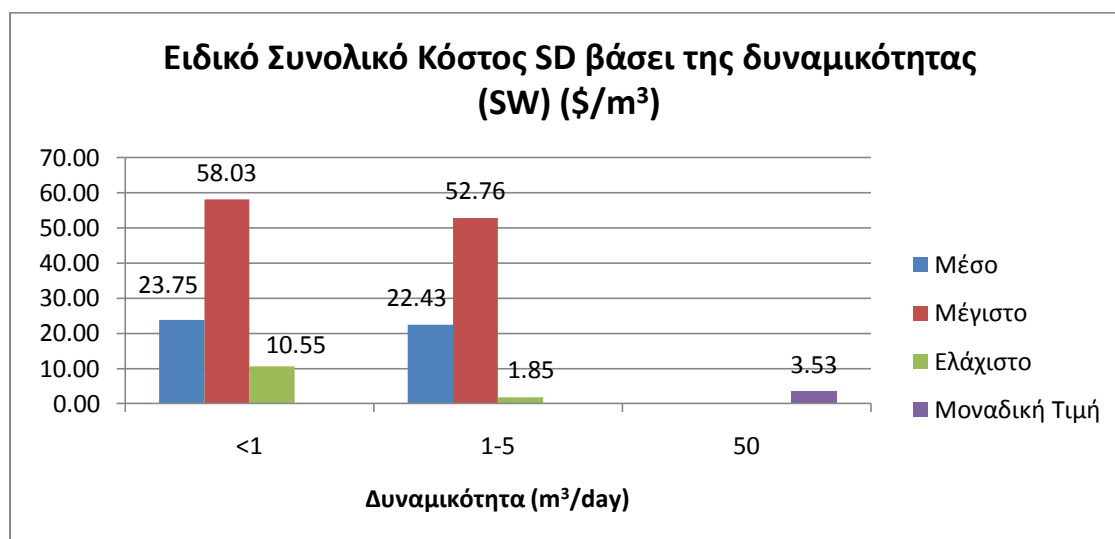
Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
≤1000	3,70	7,65	1,59	13
1000-10000	2,57	7,58	0,23	16
>10000	1,63	3,58	0,42	7



Γράφημα 5-38. Το ειδικό συνολικό κόστος της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Πίνακας 5-39. Το ειδικό συνολικό κόστος της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

Δυναμικότητα (m ³ /day)	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Μοναδική Τιμή	Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο		
<1	23,75	58,03	10,55		4
1-5	22,43	52,76	1,85		3
50				3,53	1



Γράφημα 5-39. Το ειδικό συνολικό κόστος της Ηλιακής Απόσταξης κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού για τρεις κατηγορίες δυναμικότητας παραγωγής

5.3.16 Το κόστος βάσει της διεργασίας αφαλάτωσης

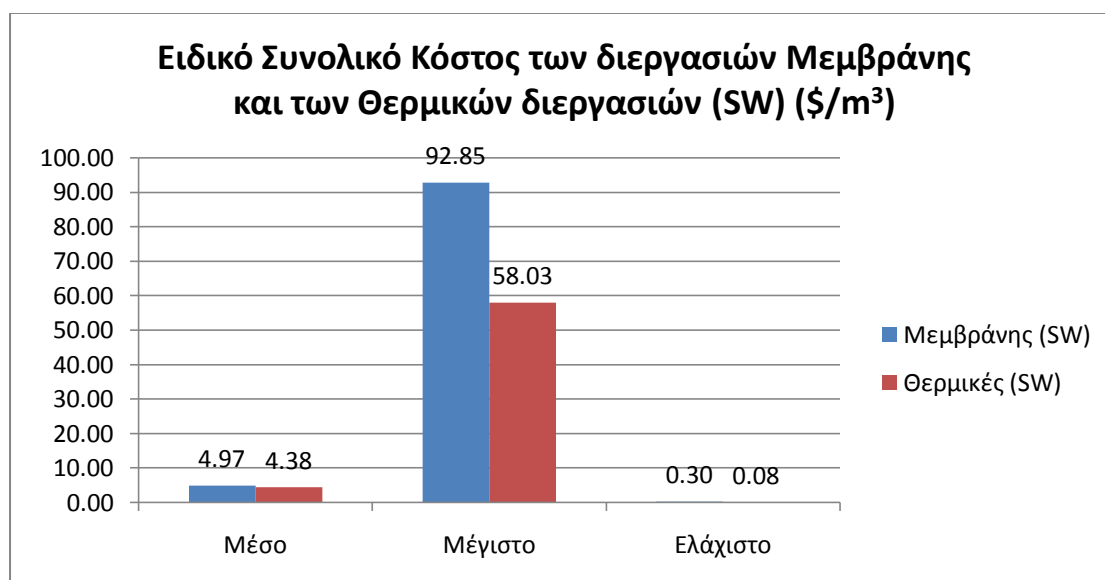
Μια ακόμα, πολύ σημαντική παράμετρος, η οποία εξετάζεται ως προς την επίδραση της στο κόστος αφαλάτωσης, είναι η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αφαλάτωσης. Αρχικά, από τα στοιχεία που αφορούν την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, επιλέγονται διαδοχικά εκείνες οι τιμές ειδικού συνολικού κόστους, που αντιστοιχούν στις βασικότερες διεργασίες Μεμβρανών (Αντίστροφη

Οσμωση, Ηλεκτροδιάλυση) και στις Θερμικές διεργασίες (Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων, Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης, Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών, Ηλιακή Απόσταξη). Με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται οι μέσες τιμές ειδικού κόστους (Πίνακας 5-40) και γίνεται το αντίστοιχο γράφημα (Γράφημα 5-40), το οποίο παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 5-40. Το ειδικό συνολικό κόστος των διεργασιών αφαλάτωσης Μembrάνης και των Θερμικών διεργασιών

Διεργασίες αφαλάτωσης	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
Μembrάνης (SW)	4,97	92,85	0,30	99
Θερμικές (SW)	4,38	58,03	0,08	100

Καθίσταται σαφές ότι το μέσο συνολικό κόστος αφαλάτωσης των δύο ειδών διεργασιών είναι περίπου ίσο, με ελάχιστα υψηλότερο το κόστος των διεργασιών Μembrάνης (4,97 \$/m³) έναντι των Θερμικών διεργασιών (4,38 \$/m³). Αυτό που επίσης παρατηρείται είναι ότι το κόστος στην περίπτωση των διεργασιών Μembrάνης κινείται μέσα σε ένα μεγαλύτερο εύρος τιμών, καθώς η ελάχιστη τιμή είναι 0,3 \$/m³ και η μέγιστη 92,85 \$/m³, ενώ το κόστος στην περίπτωση των Θερμικών διεργασιών είναι περιορισμένο στο εύρος των τιμών 0,08 – 58,03 \$/m³ (Γράφημα 5-40). Θα μπορούσε να αναφερθεί, ότι οι διεργασίες Μembrανών παρουσιάζουν λίγο υψηλότερο κόστος από τις Θερμικές διεργασίες, κάτι το οποίο αιτιολογείται από το υψηλότερο κόστος αλλαγής/συντήρησης των μεμβρανών, χημικών προεπεξεργασίας και εξειδικευμένου προσωπικού, παρόλο που το κόστος επένδυσης και ενέργειας σε αυτές παραμένει χαμηλότερο των Θερμικών διεργασιών.

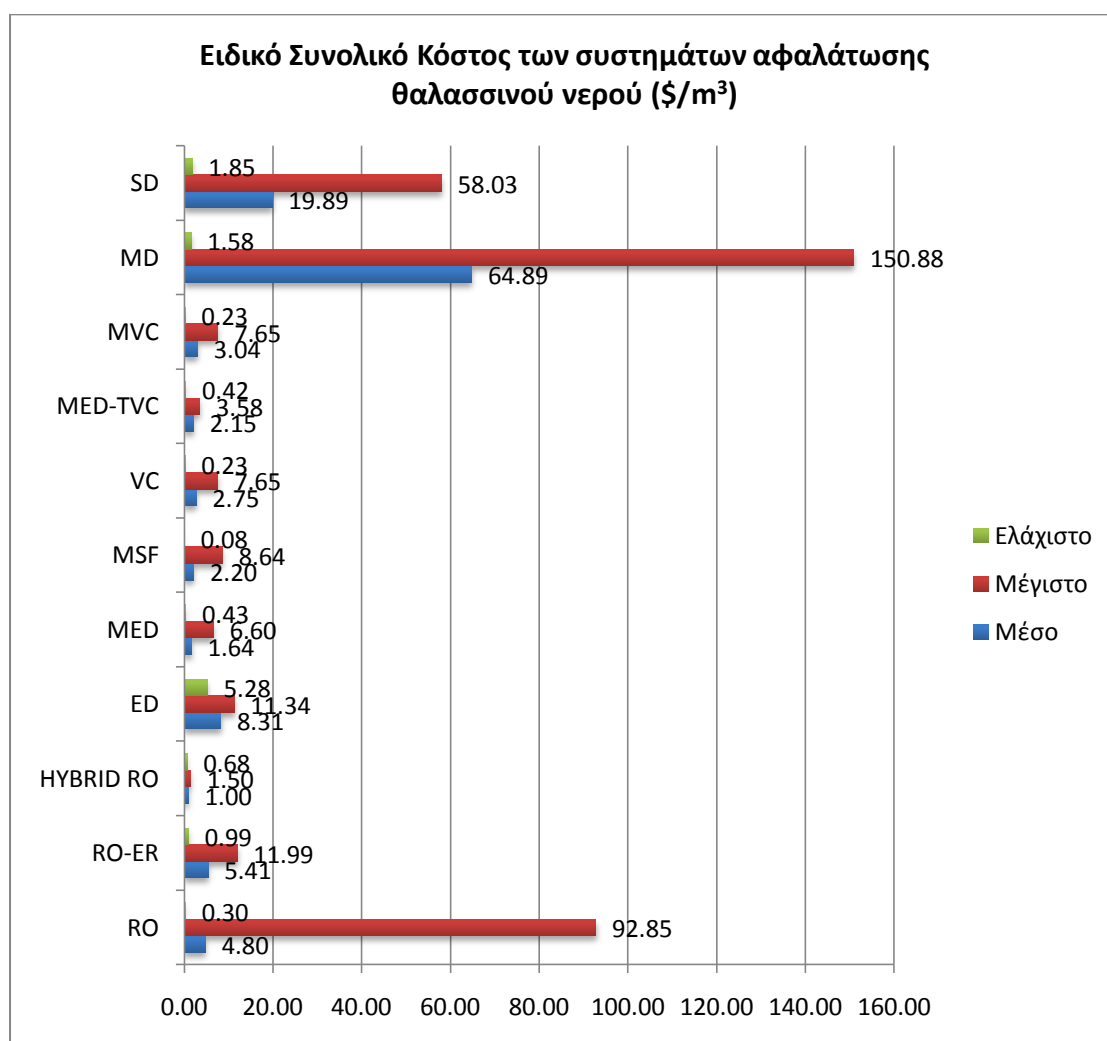


Γράφημα 5-40. Το ειδικό συνολικό κόστος των διεργασιών αφαλάτωσης Μembrάνης και των Θερμικών διεργασιών

Στη συνέχεια, εξετάζονται οι βασικότερες επιμέρους τεχνολογίες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού και υπολογίζεται για καθεμία η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ειδικού κόστους αφαλάτωσης. Τα στοιχεία αυτά περιέχονται στον Πίνακα 5-41 και αποτυπώνονται στο Γράφημα 5-41.

Πίνακας 5-41. Συγκριτική επισκόπηση του ειδικού συνολικού κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Τεχνολογία αφαλάτωσης	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
RO	4,80	92,85	0,30	82
RO-ER	5,41	11,99	0,99	15
HYBRID RO	1,00	1,50	0,68	3
ED	8,31	11,34	5,28	2
MED	1,64	6,60	0,43	28
MSF	2,20	8,64	0,08	22
VC	2,75	7,65	0,23	38
MED-TVC	2,15	3,58	0,42	10
MVC	3,04	7,65	0,23	19
MD	64,89	150,88	1,58	5
SD	19,89	58,03	1,85	12



Γράφημα 5-41. Συγκριτική επισκόπηση του ειδικού συνολικού κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

Σύμφωνα με τα παραπάνω, βάσει της μέσης τιμής ειδικού κόστους αφαλάτωσης, οικονομικότερο παρουσιάζεται το νερό που παράγεται από τα συστήματα υβριδικής τεχνολογίας

Αντίστροφης Όσμωσης (1 $\$/m^3$), ενώ ιδιαίτερος οικονομική παρουσιάζεται και η τεχνολογία της Συμπίεσης Ατμών (2,75 $\$/m^3$). Σε χαμηλά επίπεδα επίσης εντοπίζεται το κόστος του παραγόμενου νερού από την Αντίστροφη Όσμωση, με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας (4,80 $\$/m^3$ και 5,41 $\$/m^3$, αντίστοιχα), αλλά παραμένει υψηλότερο από το κόστος των Θερμικών διεργασιών της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης (1,64 $\$/m^3$) και της Ακαριαίας Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (2,20 $\$/m^3$), ενώ λίγο υψηλότερες τιμές λαμβάνει το κόστος της Ηλεκτροδιάλυσης θαλασσινού νερού (8,31 $\$/m^3$), η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαλάτωση νερού χαμηλής αλατότητας. Τέλος, το υψηλότερο κόστος καταγράφεται για το νερό που παράγεται από τις διεργασίες της Ηλιακής Απόσταξης (19,89 $\$/m^3$) και της Απόσταξης Μembrάνης (64,89 $\$/m^3$), ωστόσο ο μικρός αριθμός στοιχείων σε αυτές τις περιπτώσεις κάνουν τα συμπεράσματα ιδιαίτερος αβέβια.

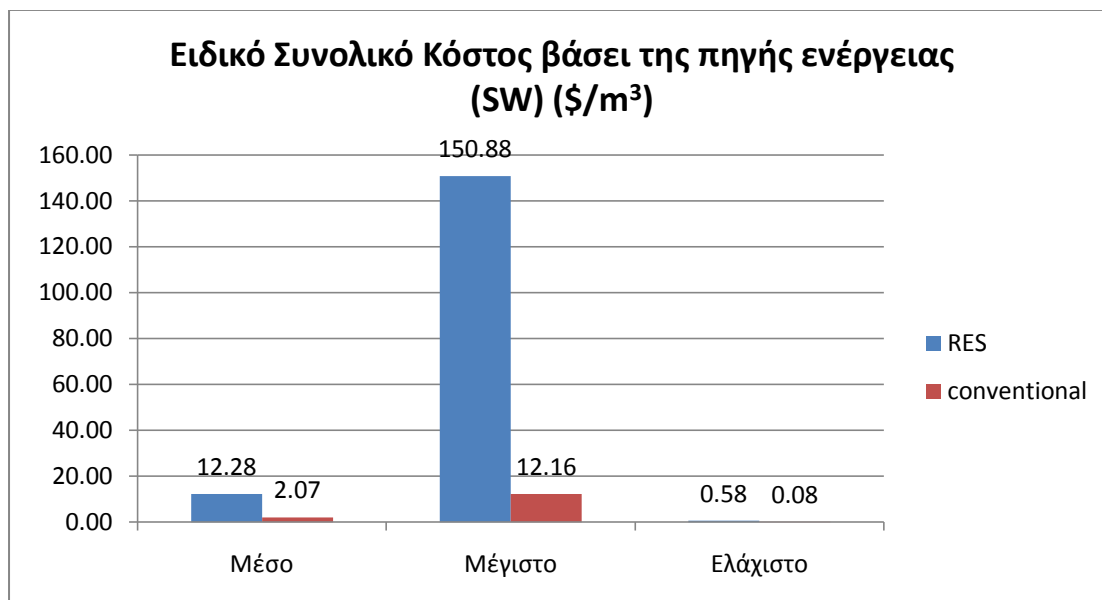
5.3.17 Το κόστος βάσει της χρησιμοποιούμενης ενεργειακής πηγής

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η έρευνα των επιπτώσεων στο κόστος του παραγόμενου νερού, που έχει η πηγή ενεργειακής τροφοδότησης των συστημάτων αφαλάτωσης. Η ενεργειακή πηγή μπορεί να είναι είτε συμβατική, είτε ΑΠΕ. Από τα δεδομένα που συγκεντρώνονται στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, εντοπίζονται τα στοιχεία κόστους από 84 συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ και από 134 συστήματα αφαλάτωσης συμβατικής ενέργειας (Πίνακας 5-42).

Πίνακας 5-42. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα με ΑΠΕ και συμβατικά συστήματα

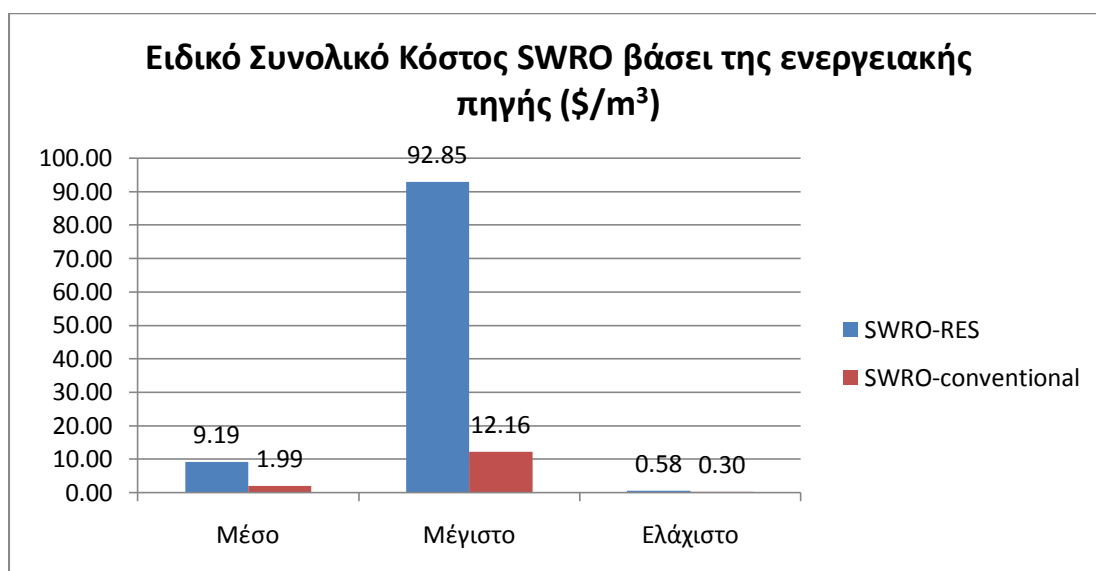
Τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος ($\$/m^3$)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
RES	12,28	150,88	0,58	84
conventional	2,07	12,16	0,08	134

Το κόστος του νερού παρουσιάζεται σε όλες τις περιπτώσεις αρκετά υψηλότερο στα συστήματα που τροφοδοτούνται από ΑΠΕ έναντι των συμβατικά τροφοδοτούμενων συστημάτων, όπως απεικονίζεται μάλιστα στο ακόλουθο γράφημα (Γράφημα 5-42). Το μέσο κόστος για την περίπτωση εκμετάλλευσης ΑΠΕ είναι 12,28 $\$/m^3$, ενώ το αντίστοιχο κόστος των συμβατικών συστημάτων είναι 2,07. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το μέγιστο κόστος στην πρώτη περίπτωση λαμβάνει την ιδιαίτερα υψηλή τιμή των 150,88 $\$/m^3$, ενώ στη δεύτερη είναι μόλις 12,16 $\$/m^3$.

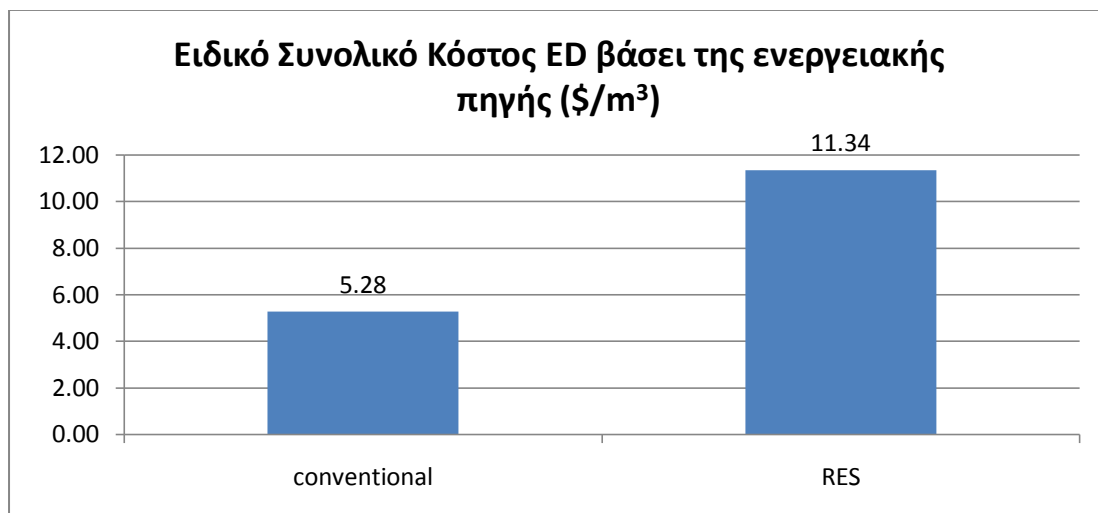


Γράφημα 5-42. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα με ΑΠΕ και συμβατικά συστήματα

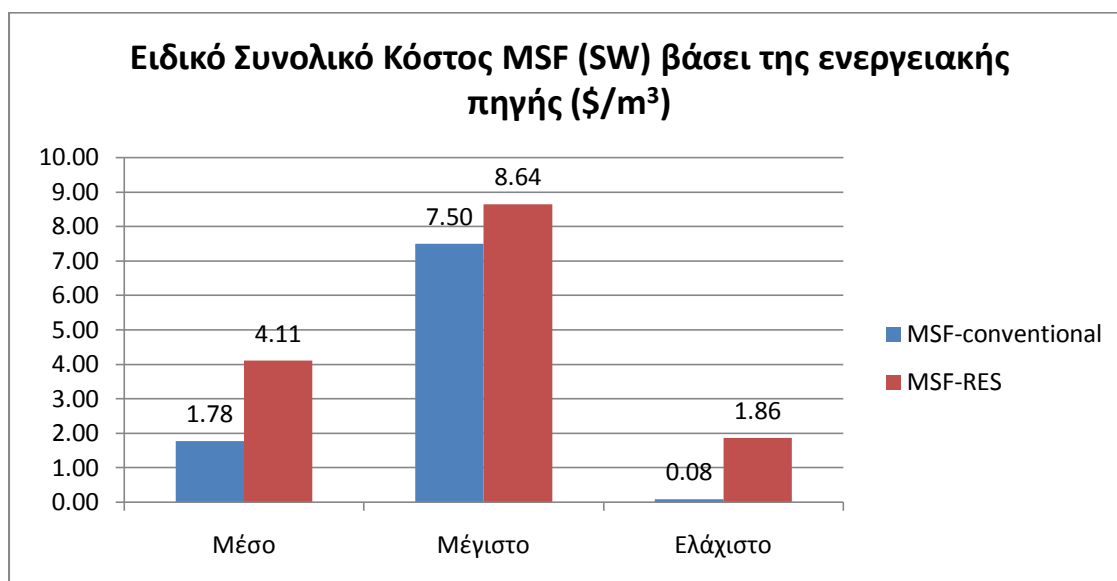
Παρόμοια είναι και η εικόνα που παρουσιάζεται εξετάζοντας μεμονωμένα το σύνολο των επιμέρους διεργασιών, όπως για παράδειγμα η Αντίστροφη Όσμωση, η Ηλεκτροδιάλυση και η Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων (Γράφημα 5-43, 5-44 και 5-45).



Γράφημα 5-43. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης με ΑΠΕ ή συμβατικές πηγές ενέργειας



Γράφημα 5-44. Ενδεικτικές τιμές του ειδικού συνολικού κόστους κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα Ηλεκτροδιάλυσης με ΑΠΕ ή συμβατικές πηγές ενέργειας



Γράφημα 5-45. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων με ΑΠΕ ή συμβατικές πηγές ενέργειας

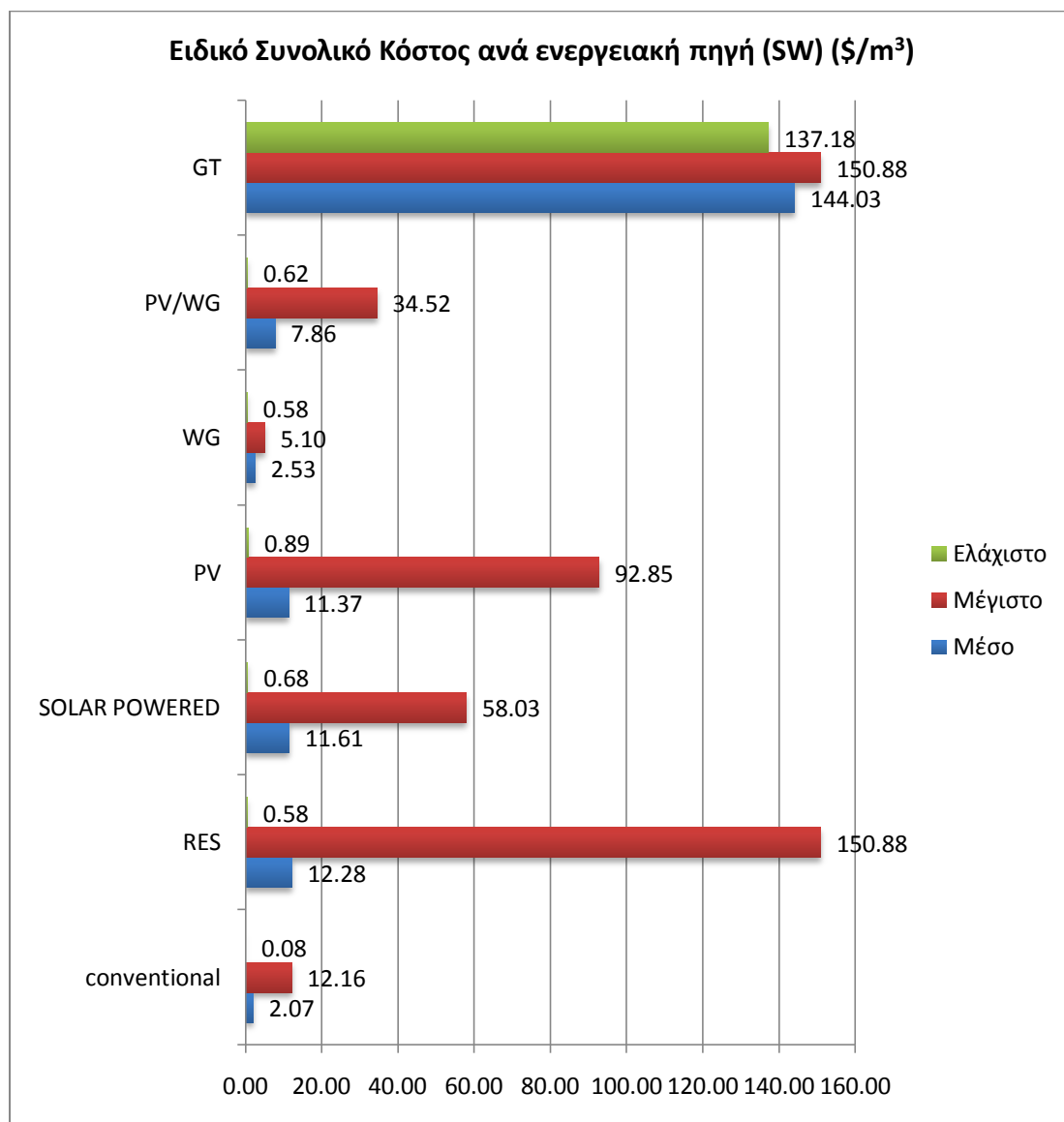
Εξετάζοντας, εν συνεχεία, το κόστος νερού όπως αυτό διαμορφώνεται ανά χρησιμοποιούμενο σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας, ανεξαρτήτως διεργασίας αφαλάτωσης, καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα δεδομένων (Πίνακας 5-43).

Πίνακας 5-43. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού ανά σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας

Ενεργειακή πηγή αφαλάτωσης	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
conventional	2,07	12,16	0,08	134
RES	12,28	150,88	0,58	84
SOLAR POWERED	11,61	58,03	0,68	29
PV	11,37	92,85	0,89	26
WG	2,53	5,10	0,58	19

PV/WG	7,86	34,52	0,62	8
GT	144,03	150,88	137,18	2

Απεικόνιση αυτών των στοιχείων γίνεται στο παρακάτω συγκριτικό γράφημα (Γράφημα 5-46).



Γράφημα 5-46. Συγκριτική επισκόπηση του ειδικού συνολικού κόστους αφαλάτωσης θαλασσινού νερού ανά σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας

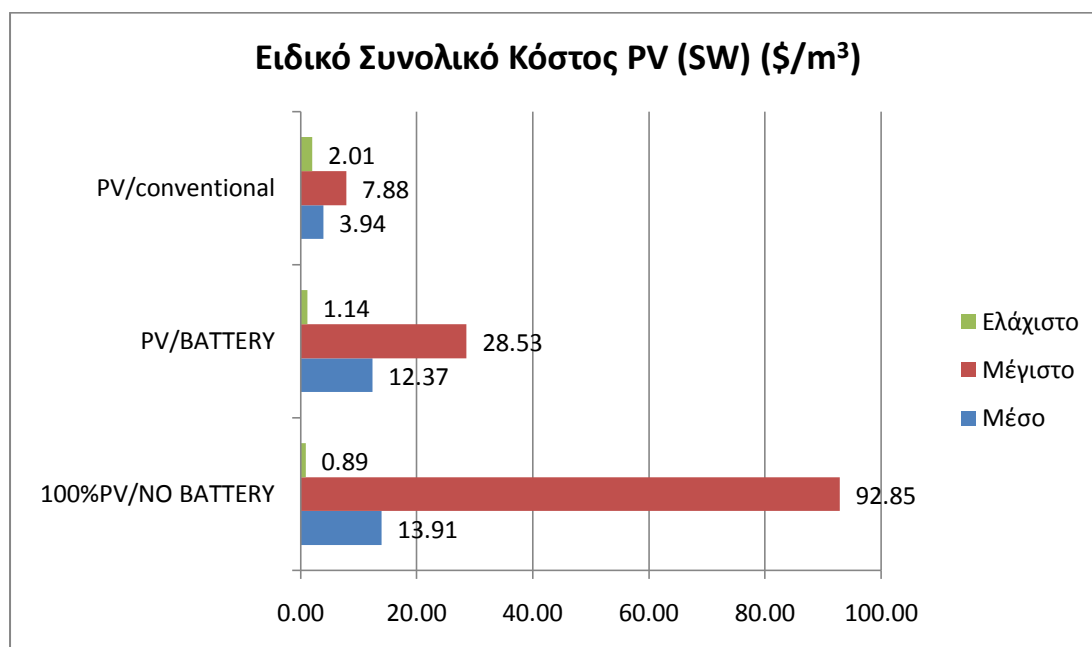
Ακριβότερο παρουσιάζεται το νερό στα συστήματα που χρησιμοποιούν ως ενεργειακή πηγή τη Γεωθερμία (μέσο κόστος 144,03 \$/m³), συμπέρασμα που όμως εξάγεται από μικρό αριθμό στοιχείων και θα μπορούσε να αμφισβητηθεί. Μάλιστα, όσον αφορά τα συστήματα αφαλάτωσης με Γεωθερμία, από στοιχεία των S. Bouguecha et. al αλλά και του Δ. Μανωλάκου, για αφαλάτωσης υφάλμυρου ύδατος, το κόστος δεν ξεπερνά τα 3 \$/m³ (Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005) (Μανωλάκος, 2012), ενώ από αναφορά της Ε. Τζέν η εγκατεστημένη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού MED-Γεωθερμίας στη Μήλο, παράγει νερό με κόστος χαμηλότερο των 1,48 €/ m³

(Τζέν Ε. , Wind Desalination, 2009). Όπως ήδη αναφέρθηκε το νερό με το χαμηλότερο κόστος προκύπτει από τα συστήματα αφαλάτωσης με συμβατική ενέργεια, όπως το πετρέλαιο, ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο (2,07 \$/m³), ενώ στα ίδια περίπου επίπεδα κυμαίνεται και το μέσο κόστος από συστήματα που εκμεταλλεύονται την ενέργεια που παράγουν οι Ανεμογεννήτριες (2,53 \$/m³). Όσον αφορά το μέσο κόστος, που συνδέεται με την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, αυτό είναι 11,35 \$/m³, εάν πρόκειται για Φωτοβολταϊκά συστήματα και 11,61\$/m³ για τα υπόλοιπα ηλιακά συστήματα παραγωγής θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος νερού από συστήματα Φωτοβολταϊκών φαίνεται να μειώνεται όταν αυτά χρησιμοποιηθούν μαζί με Ανεμογεννήτριες (7,86 \$/m³).

Περαιτέρω μελέτη του κόστους αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, ανά χρησιμοποιούμενο σύστημα ενεργειακής παροχής, αφορά τα συστήματα ΑΠΕ και το αν αυτά λειτουργούν αυτόνομα (με ή χωρίς μπαταρίες) ή διασυνδεδεμένα μαζί με συμβατική πηγή παροχής ενέργειας (κεντρικό ή τοπικό δίκτυο ή άλλη συμβατική πηγή). Ξεκινώντας με την τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών συστημάτων παροχής ενέργειας (Γράφημα 5-47), παρατηρείται σύμφωνα με το μέσο καταγεγραμμένο κόστος νερού, ότι οικονομικότερα είναι τα συστήματα Φωτοβολταϊκών, που είναι συνδεδεμένα με συμβατικές πηγές (3,94 \$/m³), όπως το δίκτυο ηλεκτρισμού, ενώ το κόστος αυξάνεται πολύ σε αυτόνομα συστήματα χωρίς μπαταρίες (13,91 \$/m³), ενδεχομένως λόγω της υπερδιαστασιολόγησης τους ώστε να είναι σε θέση να παράγουν την απαιτούμενη ενέργεια. Αρκετά υψηλό είναι και το κόστος αυτόνομων συστημάτων Φωτοβολταϊκών με μπαταρίες, καθώς οι τελευταίες κοστίζουν αρκετά.

Πίνακας 5-44. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Φωτοβολταϊκών

Σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
100%PV/NO BATTERY	13,91	92,85	0,89	16
PV/BATTERY	12,37	28,53	1,14	4
PV/conventional	3,94	7,88	2,01	6



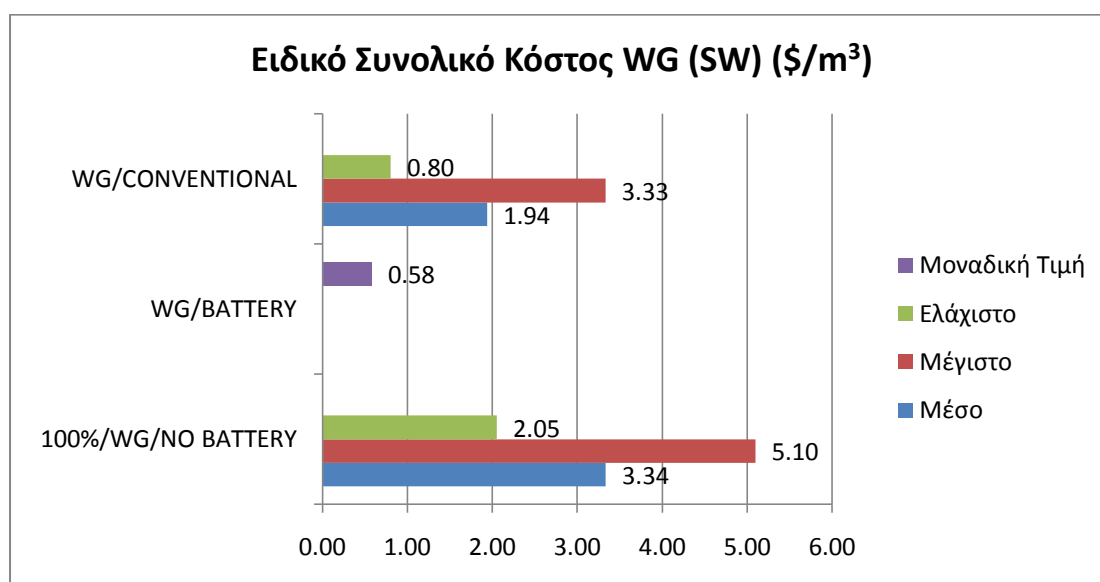
Γράφημα 5-47. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Φωτοβολταϊκών

Οι Ανεμογεννήτριες, χρησιμοποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Το κόστος του νερού που παράγεται από αυτά τα συστήματα διατηρείται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα από αυτό των Φ/Β και μάλιστα είναι συγκρίσιμο του κόστους των συμβατικών συστημάτων αφαλάτωσης. Αναλυτικότερα οι συνδυασμοί των Α/Γ φαίνονται στον Πίνακα 5-45.

Πίνακας 5-45. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών

Σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)				Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	Μοναδική Τιμή	
100%/WG/NO BATTERY	3,34	5,10	2,05		9
WG/BATTERY				0,58	1
WG/CONVENTIONAL	1,94	3,33	0,80		9

Γραφική αναπαράσταση των στοιχείων αυτών (Γράφημα 5-48) δείχνει ότι το χαμηλότερο κόστος καταγράφεται σε ένα σύστημα Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ και μπαταρία (0,58 \$/m³), όμως ελλείπει περισσότερων στοιχείων δεν γίνεται να βγουν ασφαλή συμπεράσματα. Χαμηλό είναι το κόστος στις περιπτώσεις που οι Α/Γ συνδυάζονται με συμβατικές πηγές (1,94 \$/m³), ενώ οι αυτόνομες Α/Γ χωρίς μπαταρίες συμβάλλουν σε παραγόμενο νερό υψηλότερου κόστους (3,34 \$/m³).

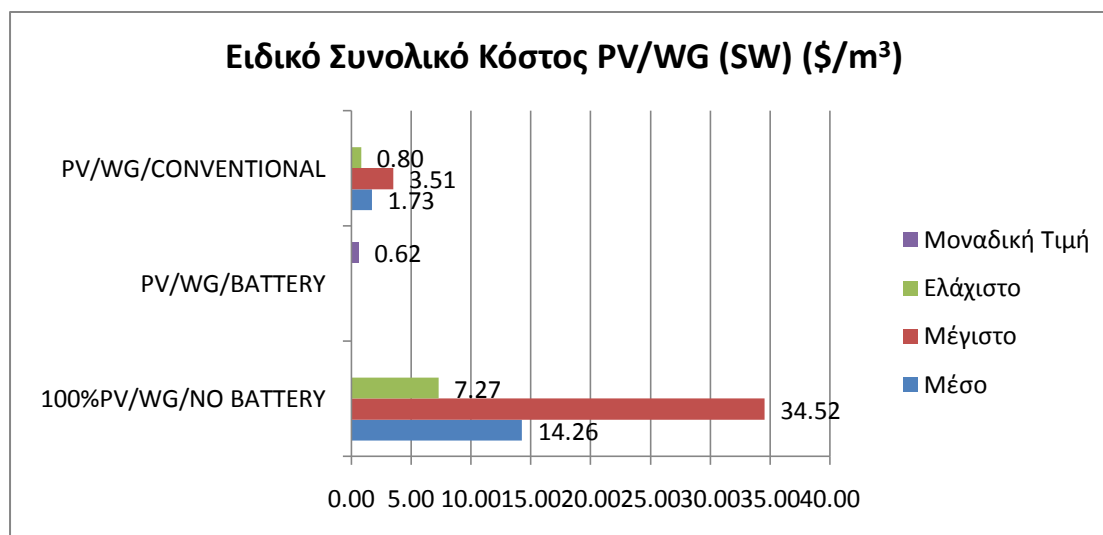


Γράφημα 5-48. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών

Από το συνδυασμό των παραπάνω τεχνολογιών ΑΠΕ σε υβριδικά συστήματα (Πίνακας 5-46, Γράφημα 5-49) για την ενεργειακή τροφοδοσία των διεργασιών αφαλάτωσης προκύπτει νερό χαμηλού μέσου συνολικού κόστους, ειδικά στις περιπτώσεις σύνδεσης με συμβατικά συστήματα (1,73 \$/m³). Αρκετά υψηλότερο είναι το κόστος από την απολύτως αυτόνομη λειτουργία (χωρίς μπαταρίες) των εν λόγω συστημάτων (14,26 \$/m³), ενώ και σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα είναι ελλιπή για το κόστος του νερού όταν χρησιμοποιούνται μπαταρίες (0,62 \$/m³).

Πίνακας 5-46. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών/Φωτοβολταϊκών

Σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Μοναδική Τιμή	Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο		
100%PV/WG/NO BATTERY	14,26	34,52	7,27		4
PV/WG/BATTERY				0,62	1
PV/WG/CONVENTIONAL	1,73	3,51	0,80		3



Γράφημα 5-49. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από σύστημα αφαλάτωσης-Ανεμογεννητριών/Φωτοβολταϊκών

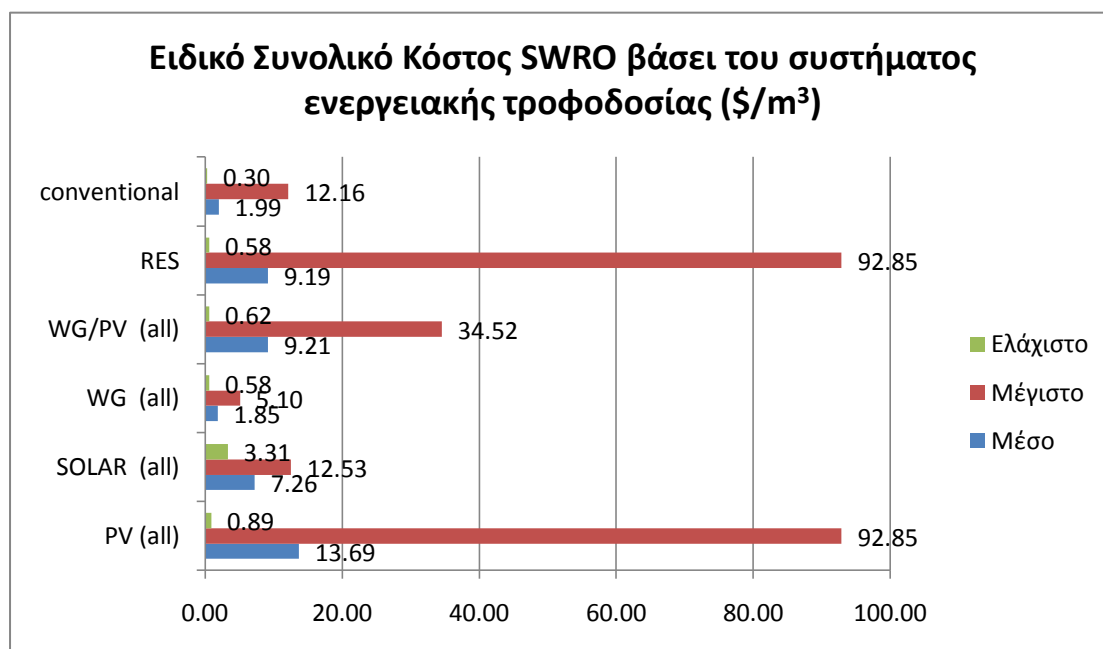
Χρήσιμη κρίνεται σε αυτό το σημείο η περαιτέρω εξειδίκευση στη διερεύνηση του κόστους σε συστήματα συγκεκριμένης τεχνολογίας αφαλάτωσης, συναρτήσει πάντοτε της πηγής ενέργειας. Εφόσον η διεργασία αφαλάτωσης παραμένει σταθερή στις περιπτώσεις που εξετάζονται, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι σε ένα μεγάλο βαθμό η διαφοροποίηση στο κόστος του αφαλατωμένου νερού, οφείλεται κυρίως στις επιπτώσεις της τεχνολογίας ενεργειακής τροφοδότησης.

Εκκινώντας από την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση, οι υπολογισμένες τιμές μέσου, μέγιστου και ελάχιστου κόστους, ανά τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας καταγράφονται στον Πίνακα 5-47.

Πίνακας 5-47. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

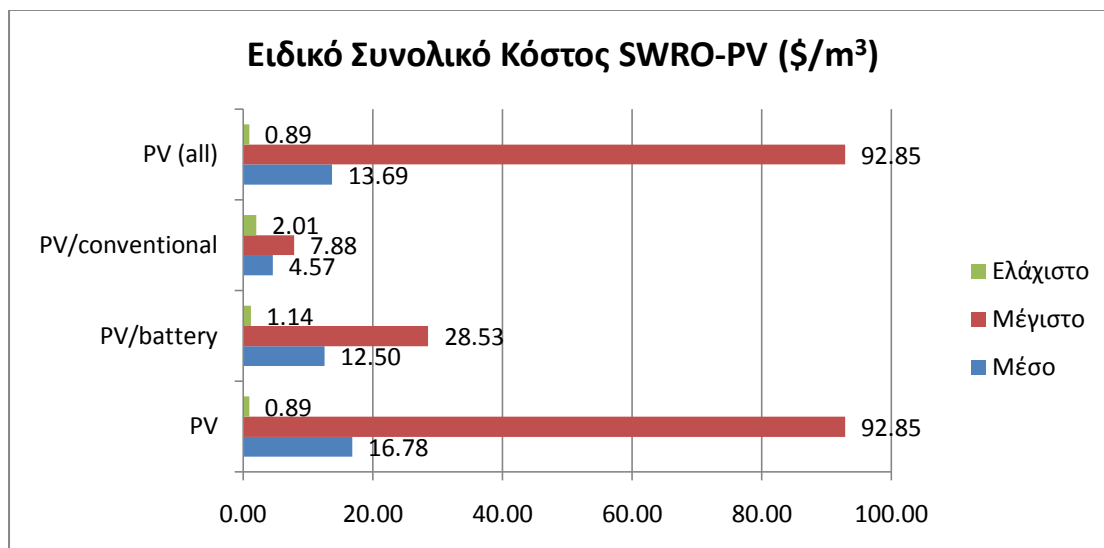
Τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	
conventional	1,99	12,16	0,30	50
RES	9,19	92,85	0,58	32
PV (all)	13,69	92,85	0,89	16
SOLAR (all)	7,26	12,53	3,31	3
WG (all)	1,85	5,10	0,58	9
WG/PV (all)	9,21	34,52	0,62	4

Όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο Γράφημα 5-50, που ακολουθεί, κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με τη μέθοδο της Αντίστροφης Όσμωσης, το κόστος του παραγόμενου ύδατος είναι χαμηλότερο στα συμβατικά συστήματα ($1,99 \text{ \$/m}^3$) και υψηλότερο στα συστήματα, με τεχνολογία ΑΠΕ ($9,19 \text{ \$/m}^3$). Πιο συγκεκριμένα, η υψηλότερη τιμή αντιστοιχεί σε αυτά τα συστήματα που χρησιμοποιούν τη Φωτοβολταϊκή τεχνολογία ($13,69 \text{ \$/m}^3$) αλλά και συνδυασμό Φ/Β και Α/Γ ($9,21 \text{ \$/m}^3$). Τα υπόλοιπα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας παρουσιάζουν ένα κόστος $7,26 \text{ \$/m}^3$. Οικονομικότερη στην εκμετάλλευση της μοιάζει να είναι η Αιολική ενέργεια, καθώς από τα σχετικά συστήματα παράγεται νερό με κόστος $1,85 \text{ \$/m}^3$, το οποίο είναι περίπου ίσο με το αντίστοιχο κόστος των συμβατικών συστημάτων.

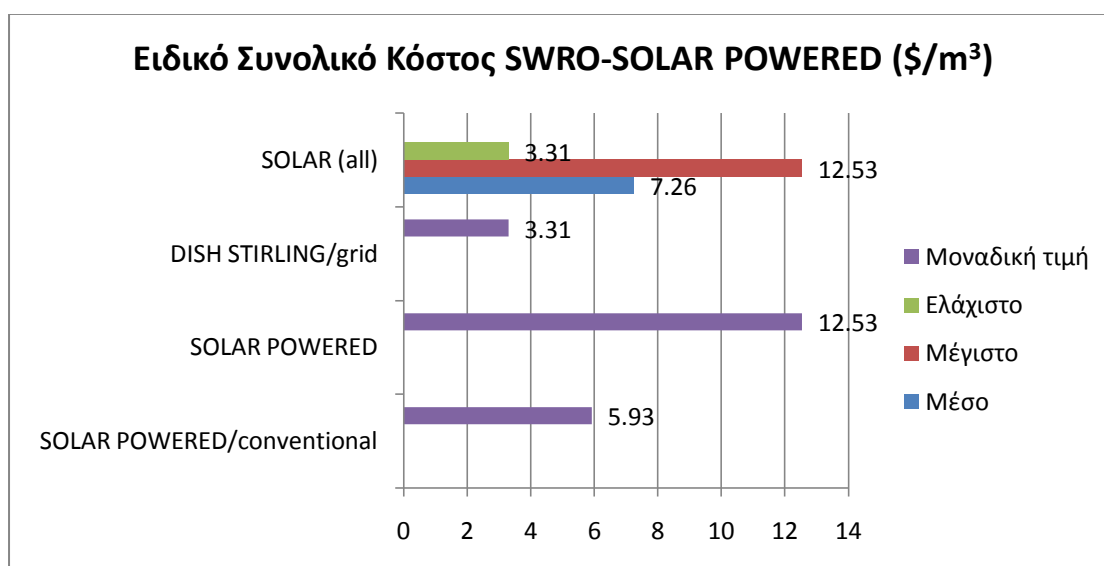


Γράφημα 5-50. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

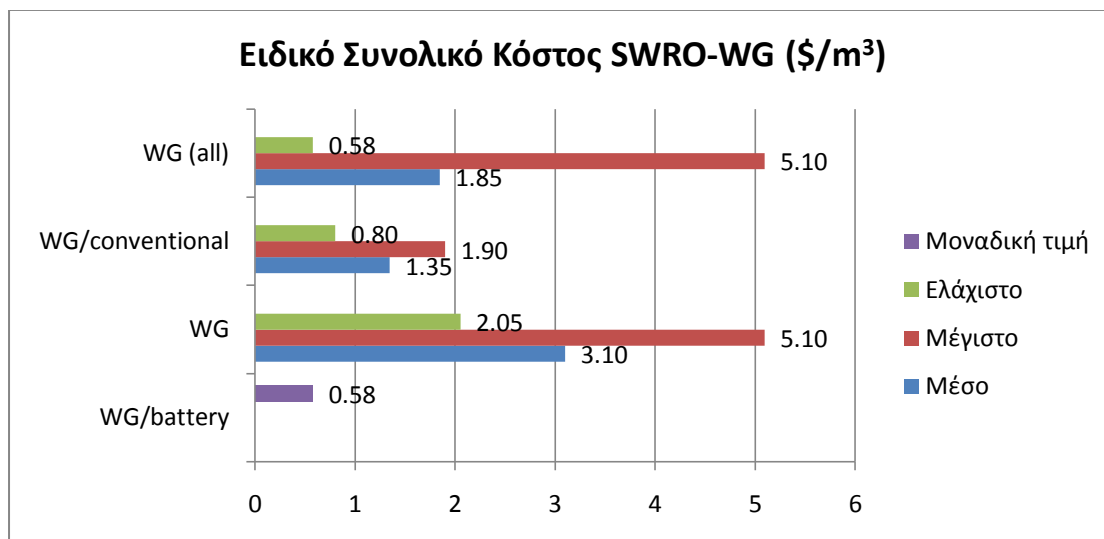
Ακόμα αναλυτικότερη ματιά για την καθεμία τεχνολογία ΑΠΕ, στα πλαίσια πάντα της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση, παρατίθεται στα Γραφήματα 5-51, 5-52, 5-53. Στα γραφήματα αυτά εξετάζονται οι διαφορετικοί τρόποι ενεργειακής τροφοδότησης του συστήματος αφαλάτωσης από την κάθε φορά εξεταζόμενη ενεργειακή τεχνολογία, όπως για παράδειγμα η απευθείας σύνδεση, η ύπαρξη μπαταριών ή ο υβριδικός συνδυασμός με συμβατικές πηγές ενέργειας.



Γράφημα 5-51. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης-Φωτοβολταϊκών



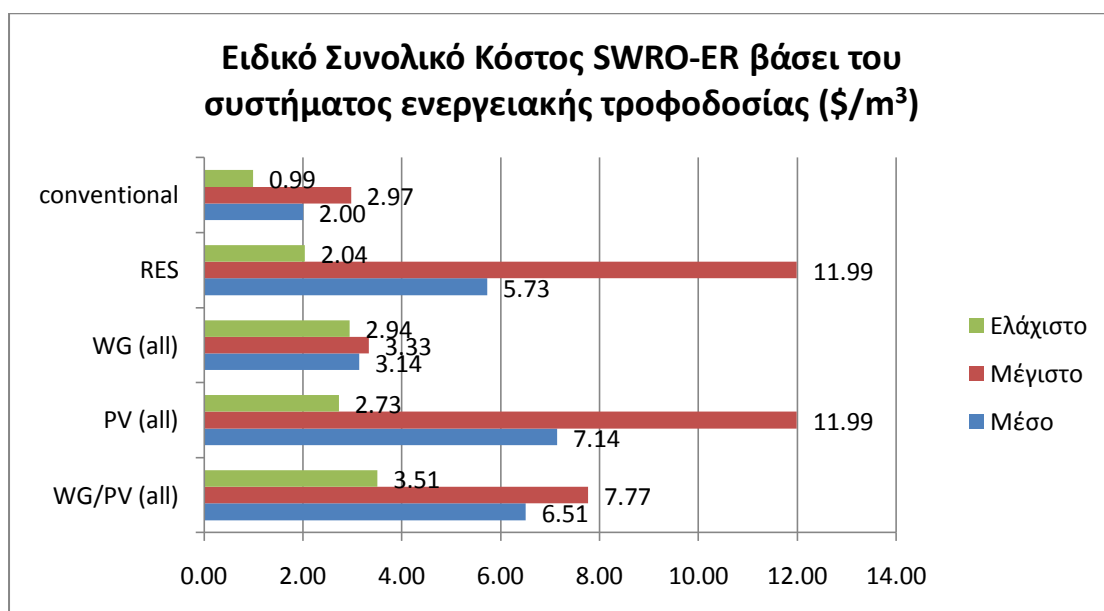
Γράφημα 5-52. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης-Ηλιακής ενέργειας (πλην Φ/Β)



Γράφημα 5-53. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης-Ανεμογεννητριών

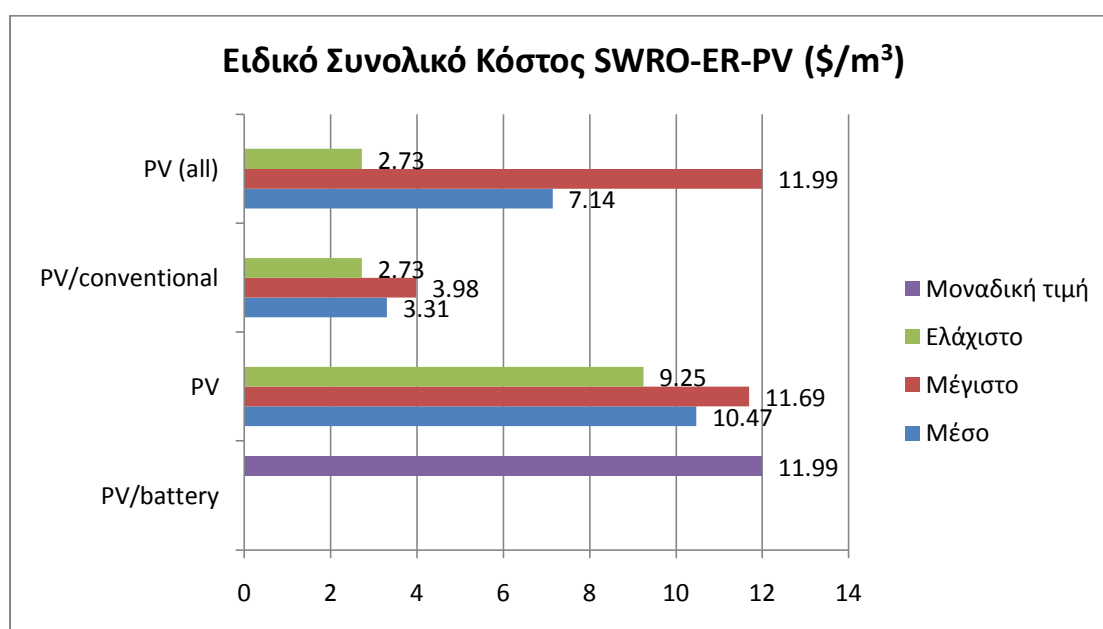
Σε όλες τις περιπτώσεις, χαμηλότερου κόστους φαίνεται να είναι το νερό που παράγεται από συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης με υβριδικά ενεργειακά συστήματα ΑΠΕ - συμβατικών πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα το κεντρικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (θερμοηλεκτρικοί σταθμοί κλπ), ντιζελογεννήτριες, συστήματα φυσικού αερίου κλπ. Από την άλλη, τα συστήματα ΑΠΕ τα οποία λειτουργούν αυτόνομα, χωρίς μπαταρίες και ανεξάρτητα από το δίκτυο, συμβάλλουν στη παραγωγή νερού με το υψηλότερο κόστος. Πιθανότατα αυτό συμβαίνει λόγω της υπερδιαστασιολόγησης, τόσο των ενεργειακών συστημάτων όσο και των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, ώστε να ανταποκρίνονται στο μέγιστο της ημερήσιας ζητούμενης παραγωγής νερού.

Αντίστοιχα στοιχεία με αυτά της Αντίστροφης Όσμωσης, σχετικά με τη διαφοροποίηση του κόστους του νερού αναλόγως με το σύστημα ενεργειακής τροφοδοσίας, ακολουθούν για την περίπτωση της Αντίστροφης Όσμωσης με Ανάκτηση Ενέργειας (Γράφημα 5-54).



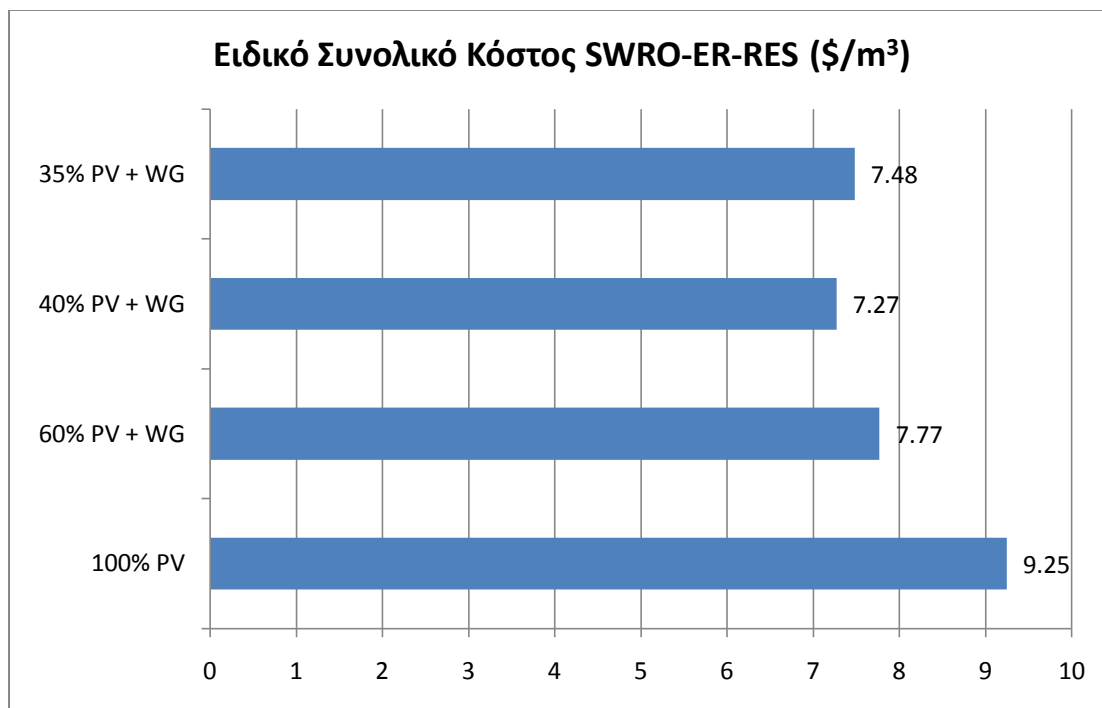
Γράφημα 5-54. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Αντίστροφη Όσμωση (με Ανάκτηση Ενέργειας) βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

Πιο αναλυτικά στοιχεία παρέχονται από τη βιβλιογραφία για την ενεργειακή τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών συστημάτων, βάσει του τρόπου που αυτά τροφοδοτούν το σύστημα αφαλάτωσης (Γράφημα 5-55). Και στην περίπτωση αυτή οικονομικότερο νερό παράγεται από συμβατικά συστήματα (2 \$/m³). Όσον αφορά τα συστήματα ΑΠΕ, οικονομικότερες κρίνονται οι Α/Γ (3,14 \$/m³) και τα Φ/Β που συνδέονται με συμβατικές πηγές (3,31 \$/m³). Υψηλότερο κόστος παρουσιάζουν για άλλη μια φορά τα συστήματα αφαλάτωσης που συνδέονται άμεσα με Φ/Β, χωρίς μπαταρίες ή υβριδική σύνδεση (10,47 \$/m³). Ακόμα πιο ακριβό είναι το νερό από το μοναδικό σύστημα αφαλάτωσης όπου τα Φ/Β συνδέονται με μπαταρίες για την αποθήκευση ενέργειας (11,99\$/m³).

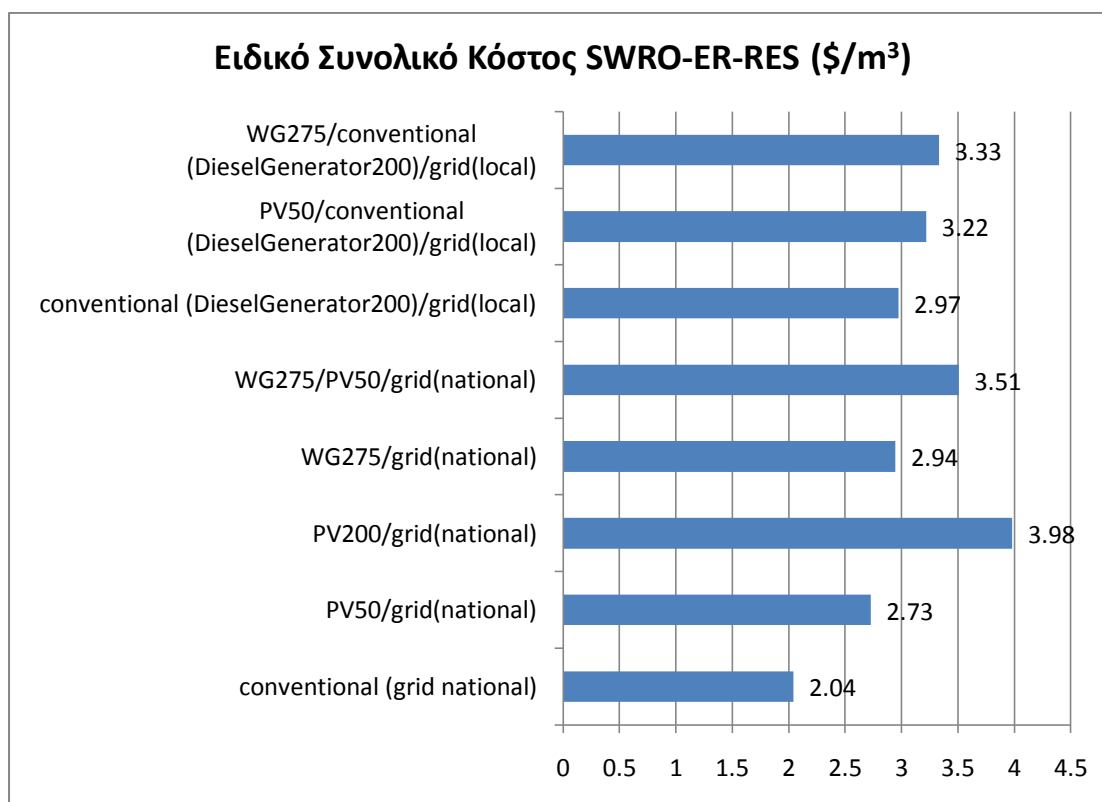


Γράφημα 5-55. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με συστήματα Αντίστροφης Όσμωσης (με Ανάκτηση Ενέργειας)-Φωτοβολταϊκών

Παραμένοντας στην ίδια τεχνολογία αφαλάτωσης αξίζει να αναφερθούν τα συμπεράσματα συγκεκριμένων και αναλυτικότερων ερευνών επάνω στο ζήτημα της διακύμανσης του κόστους νερού βάσει του συνδυασμού του χρησιμοποιούμενου συστήματος ΑΠΕ. Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται συνοπτικά στα παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 5-56 και 5-57).



Γράφημα 5-56. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού σε διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης (με Ανάκτηση Ενέργειας) 12 m³/day βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας (Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004)



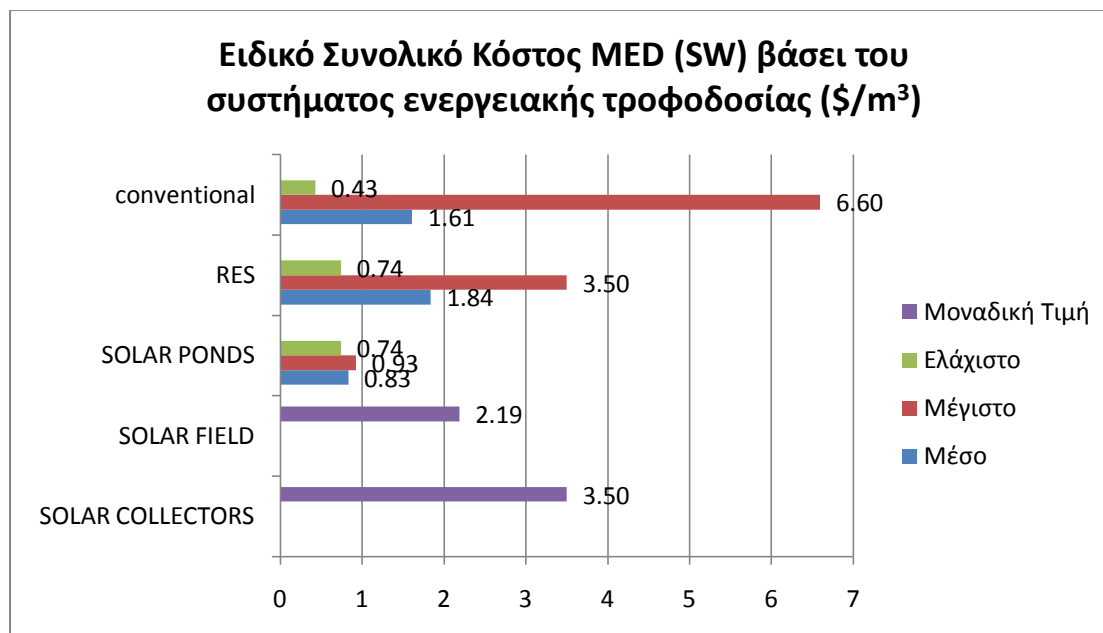
Γράφημα 5-57. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού σε διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης (με Ανάκτηση Ενέργειας) 300 m³/day βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας (Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)

Σύμφωνα με το Γράφημα 5-56, από μελέτη των Essam Sh. Mohamed και G. Papadakis (2004), σχετικά με την ενεργειακή τροφοδοσία ενός συστήματος RO-ER, αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με δυναμικότητα 12 m³/day, τα χαμηλότερο κόστος αφαλάτωσης επιτυγχάνεται όταν την ενεργειακή πηγή αποτελούν Φ/Β και Α/Γ, με μια συμμετοχή των πρώτων 40%. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με το Γράφημα 5-57, από τη μελέτη των Sultan A. Kershman, Jurgen Rheinlander, Thomas Neumann και Olaf Goebel (2005), για ένα σύστημα αφαλάτωσης RO-ER δυναμικότητας 300 m³/day, αποδεικνύεται ότι ο οικονομικότερος συνδυασμός είναι μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 275 kW συνδεδεμένη στο δίκτυο. Ο πιο ακριβός συνδυασμός αφορά τα Φ/Β συστήματα 200 kW, που συνδέονται στο κεντρικό δίκτυο παροχής ενέργειας.

Συνεχίζοντας τη μελέτη των στοιχείων του κόστους, που παράγεται από συστήματα αφαλάτωσης συγκεκριμένης τεχνολογίας αφαλάτωσης, συναρτήσει της πηγής ενέργειας, παραθέτουμε τα καταγεγραμμένα μεγέθη για την τεχνολογία της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης, κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται αποκλειστικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια. Το μέσο κόστος νερού τόσο από τροφοδοσία με συμβατικές πηγές όσο και από ΑΠΕ βρίσκεται γενικά σε χαμηλό επίπεδο (1,61 και 1,84 \$/m³, αντίστοιχα), ενώ πολλά υποσχόμενη τεχνολογία φαίνεται να είναι οι Ηλιακές Λίμνες (“Solar Ponds”), όπου συμβάλλουν σε μέσο κόστος 0,83 \$/m³. Σε όλες τις περιπτώσεις τα στοιχεία είναι λίγα σε αριθμό ώστε να εξαχθούν σίγουρα συμπεράσματα (Γράφημα 5-58).

Πίνακας 5-48. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

Τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)				Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο	Μοναδική Τιμή	
conventional	1,61	6,60	0,43		24
RES	1,84	3,50	0,74		4
SOLAR PONDS	0,83	0,93	0,74		2
SOLAR COLLECTORS				3,50	1
SOLAR FIELD				2,19	1



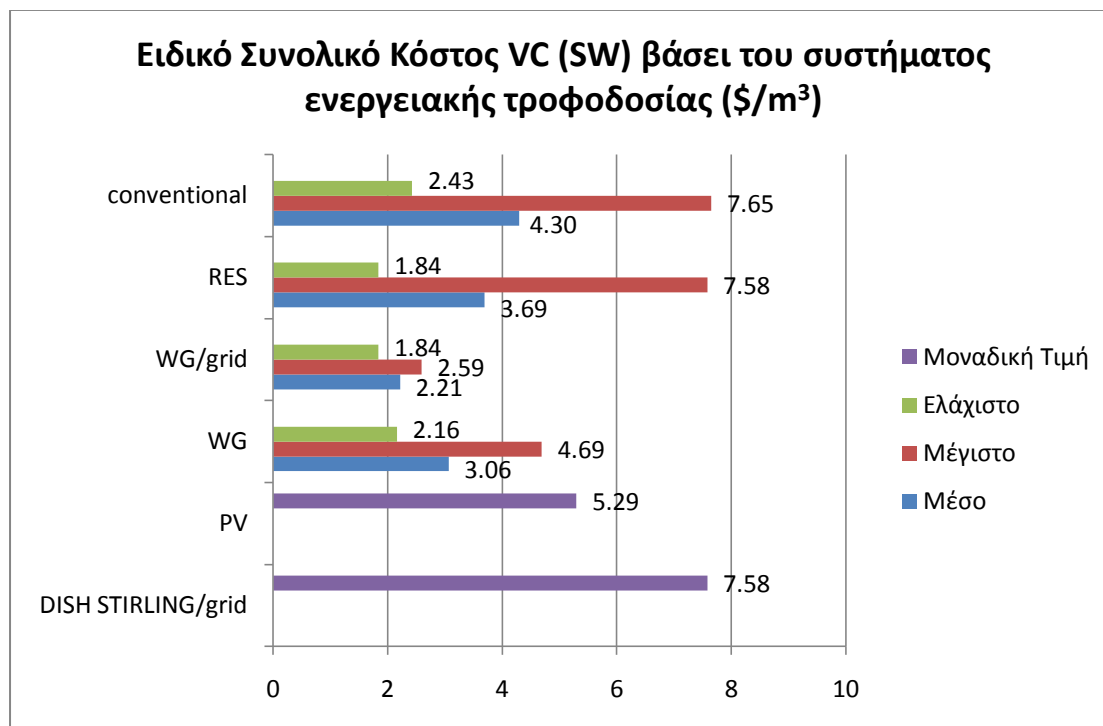
Γράφημα 5-58. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Πολλαπλής Επίδρασης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

Όσον αφορά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Ακαριαία Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων, τα παραδείγματα της βιβλιογραφίας αναφέρονται κυρίως στην ενεργειακή τροφοδοσία από συστήματα εκμετάλλευσης της Ηλιακής ενέργειας, χωρίς ωστόσο να δίνονται λεπτομέρειες σχετικά με αυτά και τη λειτουργία τους. Συνοπτικά υπολογίζεται το μέσο κόστος νερού από μονάδες συζευγμένες με ΑΠΕ, που φτάνει τα 4,11 \$/m³, ενώ η τροφοδοσία από συμβατικές πηγές ρίχνει το κόστος αυτό στα 1,78 \$/m³ (προηγούμενος, Γράφημα 5-45).

Μια ακόμα τεχνολογία που αναλύεται σχετικά με το κόστος του παραγόμενου νερού, βάσει της πηγής ενέργειας είναι η Απόσταξη με Συμπύεση Ατμών (Πίνακας 5-49, Γράφημα 5-59). Το κόστος του νερού όταν χρησιμοποιούνται συμβατικές πηγές είναι υψηλότερο από αυτό όταν χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές (4,30 και 3,69 \$/m³, αντίστοιχα). Όσον αφορά τις ΑΠΕ, φαίνεται ότι οι Α/Γ συμμετέχουν στα οικονομικότερα συστήματα αφαλάτωσης (3,06 \$/m³), ενώ ακολουθούν τα Φ/Β (5,29 \$/m³) και άλλες τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, όπως τα συστήματα Dish Stirling (7,58 \$/m³). Ωστόσο σε αυτές τις δύο τελευταίες περιπτώσεις τα στοιχεία είναι μοναδικά και δεν μπορούν να διασταυρωθούν ως προς την ακρίβεια τους.

Πίνακας 5-49. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Συμπύεσης Ατμών βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

Τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Μοναδική Τιμή	Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο		
conventional	4,30	7,65	2,43		30
RES	3,69	7,58	1,84		8
WG	3,06	4,69	2,16		4
WG/grid	2,21	2,59	1,84		2
PV				5,29	1
DISH STIRLING/grid				7,58	1

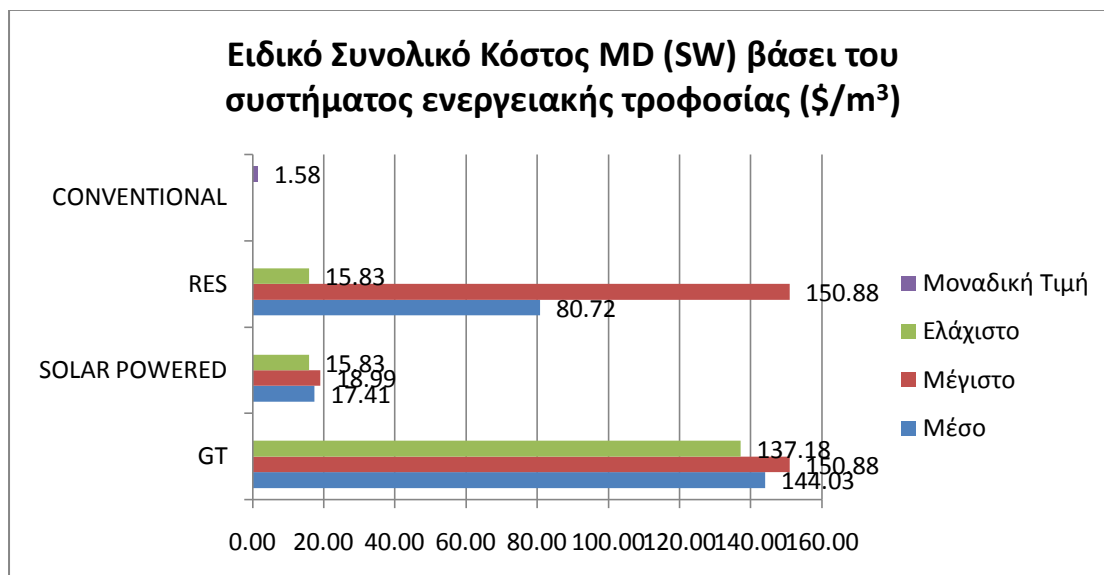


Γράφημα 5-59. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Συμπιέσης Ατμών βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

Σε τελικό στάδιο, εξετάζονται τα δεδομένα κόστους τα οποία σχετίζονται με τα συστήματα ενεργειακής τροφοδοσίας στην περίπτωση της Απόσταξης Μεμβράνης (Πίνακας 5-50, Γράφημα 5-60). Τα σχετικά στοιχεία που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία είναι λίγα σε αριθμό, ενδεχομένως λόγω της περιορισμένης χρήσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας σε σχέση με τις υπόλοιπες. Βάσει του Γραφήματος....., το κόστος από σύστημα τροφοδοτούμενο με συμβατική ενέργεια, εντοπίζεται στα 1,58 \$/m³, από μια και μοναδική πηγή (Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010). Η τροφοδοσία με ΑΠΕ αυξάνει το μέσο κόστος νερού στα 80,75 \$/m³. Ειδικότερα καταγράφονται 2 συστήματα που τροφοδοτούνται με Ηλιακή Ενέργεια και παρουσιάζουν μέσο κόστος 17,41 \$/m³ και 2 συστήματα που αξιοποιούν τη Γεωθερμική ενέργεια το μέσο κόστος των οποίων είναι 144 \$/m³, τιμή η οποία είναι πολύ υψηλή και δεν μπορεί κάποιος να λάβει ως δεδομένη για όλα τα παρόμοια συστήματα, καθώς προέρχεται από ένα πολύ μικρό αριθμό στοιχείων.

Πίνακας 5-50. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Μεμβράνης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

Τεχνολογία ενεργειακής τροφοδοσίας	Ειδικό Συνολικό Κόστος (\$/m ³)			Μοναδική Τιμή	Σύνολο δεδομένων
	Μέσο	Μέγιστο	Ελάχιστο		
CONVENTIONAL				1,58	1
RES	80,72	150,88	15,83		4
GT	144,03	150,88	137,18		2
SOLAR POWERED	17,41	18,99	15,83		2



Γράφημα 5-60. Το ειδικό συνολικό κόστος κατά την αφαλάτωση θαλασσινού νερού με Απόσταξη Μεμβράνης βάσει του συστήματος ενεργειακής τροφοδοσίας

6. Συμπεράσματα και προτάσεις

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, έγινε μια προσπάθεια αποτίμησης του ζητήματος της αφαλάτωσης, τόσο γενικά, όσο και επικεντρωμένα στο επίπεδο της καταναλισκόμενης ενέργειας και του κόστους του παραγόμενου από τα συστήματα αφαλάτωσης νερού. Για τη μελέτη αυτή αφορμή υπήρξε το πρόβλημα της λειψυδρίας που παρατηρείται σε διάφορα μέρη του πλανήτη μας, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Η χώρα μας, αν και θεωρητικά αντιμετωπίζει μικρό πρόβλημα έλλειψης υδάτινων πόρων, στην πράξη αποδεικνύεται ότι διαθέτει περιοχές, όπως η Θεσσαλία, η Δυτική Στερεά και αρκετά νησιά του Αιγαίου, που εμφανίζουν υδατική ανεπάρκεια. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να αναφέρουμε ότι μεγάλα προβλήματα λειψυδρίας παρουσιάζονται σε αρκετά νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων, όπως η Σύρος, η Θήρα, η Κίμωλος, η Αντίπαρος, η Αμοργός, η Φολέγανδρος, η Λέρος, η Κάρπαθος, η Πάτμος, η Σύμη, η Νίσυρος, οι Λειψοί και η Χάλκη. Οι μέχρι σήμερα τρόποι κάλυψης των υδατικών αυτών αναγκών, όπως η μεταφορά νερού με πλοία, παρέχουν συχνά χαμηλής ποιότητας νερό, ενώ ταυτόχρονα ζημιώνουν την οικονομία λόγω υψηλού κόστους και επιβαρύνουν το περιβάλλον, τόσο σε τοπικό επίπεδο, όσο και ευρύτερα.

Η αξιοποίηση μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού για την παραγωγή νερού ύδρευσης και άρδευσης στις παραθαλάσσιες άνυδρες περιοχές του πλανήτη μας, κρίνεται ως μια ιδιαίτερα ελπιδοφόρα πρόταση για τη λύση του υπό εξέταση ζητήματος. Η αφαλάτωση αποτελεί μια ώριμη τεχνολογία, καθώς σε παγκόσμιο επίπεδο λειτουργούν 16.000 μονάδες συνολικής δυναμικότητας $79 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$. Η αφαλάτωση πλέον αποτελεί ανταγωνιστική λύση σε σχέση με τις εναλλακτικές επιλογές, καθώς το νερό που παράγει είναι αρκετά οικονομικό στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ενεργειακές απαιτήσεις της έχουν μειωθεί αισθητά, ενώ είναι αρκετά φιλική για το περιβάλλον, ειδικά στην περίπτωση που τροφοδοτείται ενεργειακά από ΑΠΕ. Επίσης, πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η δυνατότητα συνεργασίας της αφαλάτωσης με ΑΠΕ, σε αυτόνομα συστήματα που γίνεται να λειτουργήσουν ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο ενεργειοδότησης, αποτελεί μοναδική λύση παροχής νερού σε παραθαλάσσιες, σχετικά απομονωμένες περιοχές, με αδύναμα και περιορισμένων δυνατοτήτων τοπικά δίκτυα παροχής ενέργειας.

Συγκεκριμένα στον Ελλαδικό χώρο η αφαλάτωση θα μπορούσε να επιλύσει με βιώσιμο τρόπο το πρόβλημα της λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου, κατά τους ζεστούς καλοκαιρινούς και επιβαρυνμένους με επισκέπτες μήνες του χρόνου. Με κατάλληλη κρατική μέριμνα, οι μονάδες αφαλάτωσης θα μπορούσαν να γίνουν άκρως ανταγωνιστικές σε σχέση με τις εναλλακτικές εφαρμοζόμενες επιλογές, όπως η μεταφορά νερού που κοστίζει από $4,91\text{€/m}^3$ έως $8,32\text{€/m}^3$ (στοιχεία 2007) και αποτελεί σήμερα το βασικό τρόπο κάλυψης των ελλειμματικών υδατικών ισοζυγίων των άνυδρων νησιών. Μάλιστα, η αξιοποίηση του άφθονου δυναμικού ΑΠΕ (Αιολικού και Ηλιακού), των περιοχών αυτών, για την τροφοδοσία τόσο αυτόνομων μονάδων αφαλάτωσης, όσο και υβριδικών μονάδων συνδεδεμένων στο τοπικό δίκτυο, θα μπορούσε να καταστήσει τα έργα αυτά φιλικότερα προς το περιβάλλον, χωρίς να επιβαρύνονται τα ευαίσθητα τοπικά νησιωτικά δίκτυα ηλεκτροδότησης. Επίσης, η αφαλάτωση θα μπορούσε να εφαρμοστεί ως λύση στο φαινόμενο λειψυδρίας παραθαλάσσιων περιοχών με αυξημένη γεωργική παραγωγή/εκμετάλλευση, όπως η Θεσσαλία και η Δυτική Στερεά, οι οποίες κινδυνεύουν από υπεράντληση του υπόγειου υδροφορέα τους. Η αφαλάτωση

θαλασσινού νερού θα μπορούσε να αποτελέσει πιθανή λύση ακόμη και για τα παραθαλάσσια αστικά κέντρα, όπως η Αθήνα, τα όποια πιθανότατα στο μέλλον θα αντιμετωπίσουν ελλείψεις στο βασικό αγαθό του νερού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, γίνεται σαφές ότι οι διεργασίες Μembrανών έχουν μικρότερες απαιτήσεις χώρων και εγκαταστάσεων από τις Θερμικές διεργασίες, πράγμα που τις καθιστά ιδανικές για εγκαταστάσεις σε περιοχές περιορισμένης έκτασης. Επίσης, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού αποδοτικότερες είναι οι Θερμικές διεργασίες ή η Αντίστροφη Όσμωση, ενώ για υφάλμυρο νερό χρησιμοποιούνται περισσότερο διεργασίες Μembrανών, όπως η Ηλεκτροδιάλυση. Στην περίπτωση νερού τροφοδοσίας με μολυσματικό οργανικό φορτίο, αποδοτικότερη κρίνεται η Αντίστροφη Όσμωση, χηρίζοντας όμως γενικότερης προσοχής για την αποφυγή συσσώρευσης μικροοργανισμών στις μεμβράνες της (Biofouling). Ωστόσο, και οι Θερμικές διεργασίες αφαιρούν επιτυχώς βιολογικό μολυσματικό φορτίο φυσιολογικών επιπέδων συγκέντρωσης, καθώς το νερό στις περισσότερες περιπτώσεις φθάνει σε κατάσταση βρασμού. Οι Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης παράγουν νερό με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα, σχεδόν αποσταγμένο, ενώ στις μεθόδους Μembrανών όπως η Αντίστροφη Όσμωση, το νερό που παράγεται είναι μεγαλύτερης αλατότητας, παραμένοντας παρόλα αυτά σε επιθυμητά όρια. Ακόμα, με τις Θερμικές μεθόδους είναι εφικτή η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων νερού ανά ημέρα, με εξαίρεση της Απόσταξης με Συμπύεση Ατμών (VC), που χρησιμοποιείται σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις. Από την άλλη, οι διεργασίες Μembrανών παρέχουν αξιοπιστία σε όλο το εύρος της δυναμικότητας παραγωγής, είτε πρόκειται για λίγα είτε για αρκετά κυβικά μέτρα ανά ημέρα, παρουσιάζοντας παράλληλα μια εύκολη, σχετικά με τις άλλες μεθόδους, διαδικασία κατασκευής. Από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης, η διεργασία της Αντίστροφης Όσμωσης, είναι αποδοτικότερη, ενώ οι Θερμικές διεργασίες παρουσιάζουν αρκετά υψηλότερες τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας.

Αναφορικά με το κόστος παρατηρούνται τα εξής: Οι Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης έχουν υψηλότερο κόστος επένδυσης, ενώ έχουν συνήθως χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα από τις διεργασίες Μembrανών, καθώς οι τελευταίες παρουσιάζουν μεγάλες δαπάνες για αντικατάσταση και συντήρηση των μεμβρανών, για χημικά επεξεργασίας του νερού, αλλά και για εργατικό προσωπικό. Παρόλα αυτά το κόστος ενέργειας στην περίπτωση της Αντίστροφης Όσμωσης είναι αρκετά χαμηλότερο από αυτό των Θερμικών. Τέλος, σημαντικά στοιχεία προκύπτουν από την εκτίμηση των επιπτώσεων των διεργασιών αφαλάτωσης στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, το απόβλητο αλμόλοιο των Μembrανών επηρεάζει περισσότερο το θαλάσσιο οικοσύστημα στο οποίο αποβάλλεται, καθώς έχει σχεδόν διπλάσια περιεκτικότητα σε άλας από εκείνη της θάλασσας. Αντίθετα, η περιεκτικότητα άλατος στο αλμόλοιο των Θερμικών διεργασιών είναι μόλις 10% υψηλότερη από του θαλασσινού νερού. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας με ενδεχόμενες αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον είναι η θερμοκρασία του αποβλήτου ρεύματος, η οποία είναι μεγαλύτερη όταν πρόκειται για Θερμικές διεργασίες σε σχέση με τις διεργασίες Μembrανών. Συγκεκριμένα, στις Θερμικές διεργασίες το μείγμα άλμης-νερού ψύξης έχει 5 έως 15°C υψηλότερη θερμοκρασία από το θαλασσινό νερό, σε αντίθεση με τις διεργασίες Μembrανών, όπου η άλμη έχει περίπου τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Από την επεξεργασία των συγκεντρωμένων δεδομένων κόστους και ενεργειακής αποδοτικότητας των κυριότερων συστημάτων αφαλάτωσης που απαντώνται στην σχετική βιβλιογραφία, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα :

Ανεξαρτήτως της χρησιμοποιούμενης μεθόδου αφαλάτωσης, παρατηρείται μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος αφαλάτωσης αλλά και στο κόστος του παραγόμενου νερού, όσο μειώνεται η περιεκτικότητα σε άλας του προς αφαλάτωση διαλύματος. Συγκεκριμένα, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού η μέση κατανάλωση ενέργειας είναι $15,28 \text{ kWh/m}^3$ και το μέσο κόστος $6 \text{ \$/m}^3$, τη στιγμή που για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού οι αντίστοιχες τιμές είναι $1,95 \text{ kWh/m}^3$ και $4,5 \text{ \$/m}^3$. Ακόμα, όσο η αλατότητα του παραγόμενου νερού αυξάνεται, δηλαδή όσο υποβαθμίζεται η ποιότητά του, η ενεργειακή κατανάλωση αλλά και το κόστος παραγωγής μειώνονται γενικότερα. Επίσης, με την αύξηση της δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης, οι γενικότερες τάσεις των στοιχείων αποκαλύπτουν μείωση, τόσο του κόστους, όσο και της καταναλισκόμενης ενέργειας (οικονομίες κλίμακας). Ειδικότερα, παρατηρείται ότι οι μονάδες αφαλάτωσης δυναμικότητας μικρότερης του $1 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ παρουσιάζουν μέση κατανάλωση ενέργειας $31,52 \text{ kWh/m}^3$, τη στιγμή που οι μονάδες δυναμικότητας μεγαλύτερης των $1000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ καταναλώνουν κατά μέσο όρο $14,23 \text{ kWh/m}^3$. Αντίστοιχα, το μέσο κόστος μονάδων αφαλάτωσης με δυναμικότητα μικρότερη του $1 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ παρουσιάζουν κόστος $28,46 \text{ \$/m}^3$, ενώ όταν η δυναμικότητα είναι μεγαλύτερη των $10.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ το κόστος μειώνεται σε $1,23\text{\$/m}^3$.

Όσον αφορά τις χρησιμοποιούμενες διεργασίες αφαλάτωσης, φαίνεται ότι οι Θερμικές είναι περισσότερο ενεργοβόρες από τις διεργασίες Μεμβρανών. Θα μπορούσε να αναφερθεί, ότι οι διεργασίες Μεμβρανών παράγουν νερό λίγο υψηλότερου κόστους από τις Θερμικές, κάτι το οποίο μπορεί να αιτιολογηθεί από το υψηλότερο κόστος αλλαγής/συντήρησης των μεμβρανών, χημικών προεπεξεργασίας και εξειδικευμένου προσωπικού, παρόλο που το κόστος επένδυσης και ενέργειας σε αυτές παραμένει χαμηλότερο των Θερμικών διεργασιών. Ο συνδυασμός τεχνολογιών σε υβριδικά συστήματα αφαλάτωσης, φαίνεται να μειώνει το κόστος του παραγόμενου νερού και να βελτιώνει την ενεργειακή εκμετάλλευση. Για την ακρίβεια η μέση ενεργειακή κατανάλωση των Θερμικών διεργασιών είναι $24,18 \text{ kWh/m}^3$, ενώ των διεργασιών Μεμβράνης είναι $7,22 \text{ kWh/m}^3$. Πιο αναλυτικά, μεταξύ των λιγότερο ενεργοβόρων διεργασιών αφαλάτωσης θαλασσινού νερού περιλαμβάνεται η διεργασία της Αντίστροφης Όσμωσης-RO (μέση ενεργειακή κατανάλωση $8,87 \text{ kWh/m}^3$ για τα απλά συστήματα, $4,55 \text{ kWh/m}^3$ για τα συστήματα με Ανάκτηση Ενέργειας και $7,41 \text{ kWh/m}^3$ για τα υβριδικά συστήματα RO). Την χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση παρουσιάζει η Ηλεκτροδιάλυση-ED (μέση τιμή $5,45 \text{ kWh/m}^3$), ωστόσο είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και η μέση υπολογισθείσα τιμή προκύπτει μονό από δυο σχετικές αναφορές. Όσον αφορά τις Θερμικές διεργασίες αφαλάτωσης, ενεργειακά αποδοτικότερη παρουσιάζεται η Απόσταξη με Συμπύση Ατμών-VC ($13,38 \text{ kWh/m}^3$) και πιο συγκεκριμένα η Μηχανική Συμπύση Ατμών-MVC ($11,20 \text{ kWh/m}^3$), ενώ λίγο υψηλότερες τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας παρουσιάζουν οι τεχνολογίες της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης-MED ($16,64 \text{ kWh/m}^3$) και της Ακαριαίας Απόσταξης Πολλαπλών Βαθμίδων-MSF ($22,20 \text{ kWh/m}^3$). Η υψηλότερη μέση ειδική ενεργειακή κατανάλωση καταγράφεται στη μέθοδο της Ηλιακής Απόσταξης-SD ($130,49 \text{ kWh/m}^3$), για την οποία ωστόσο η πηγή ενέργειας (ήλιος) είναι φυσική και άνευ κόστους, ενώ σε πολλές περιοχές

της γης είναι και άφθονη. Βάσει της μέσης τιμής ειδικού κόστους αφαλάτωσης, οικονομικότερο παρουσιάζεται το νερό που παράγεται από τα συστήματα υβριδικής τεχνολογίας Αντίστροφης Οσμωσης-Hybrid RO (1 $\$/m^3$), ενώ ιδιαίτερος οικονομική παρουσιάζεται και η τεχνολογία της Συμπίεσης Ατμών (2,75 $\$/m^3$). Σε χαμηλά επίπεδα εντοπίζεται επίσης το κόστος του παραγόμενου νερού από την Αντίστροφη Οσμωση-RO, με ή χωρίς ανάκτηση ενέργειας (4,80 $\$/m^3$ και 5,41 $\$/m^3$, αντίστοιχα), αλλά παραμένει υψηλότερο από το κόστος των Θερμικών διεργασιών της Απόσταξης Πολλαπλής Επίδρασης-MED (1,64 $\$/m^3$) και της Ακαριαίας Απόσταξη Πολλαπλών Βαθμίδων-MSF (2,20 $\$/m^3$), ενώ λίγο υψηλότερες τιμές λαμβάνει το μέσο κόστος της Ηλεκτροδιάλυσης-ED θαλασσινού νερού (8,31 $\$/m^3$), η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαλάτωση νερού χαμηλής αλατότητας. Τέλος, το υψηλότερο κόστος καταγράφεται για το νερό που παράγεται από τις διεργασίες της Ηλιακής Απόσταξης-SD (19,89 $\$/m^3$) και της Απόσταξης Μεμβράνης-MD (64,89 $\$/m^3$), ωστόσο ο μικρός αριθμός στοιχείων για αυτές τις περιπτώσεις καθιστά την εξαγωγή βέβαιων συμπερασμάτων ιδιαίτερος επισφαλή.

Ένα ακόμα ζήτημα, το οποίο επιδρά στο κόστος, είναι η χρησιμοποιούμενη πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας του συστήματος αφαλάτωσης. Εν γένει, τα συμβατικά τροφοδοτούμενα συστήματα αφαλάτωσης παράγουν νερό χαμηλότερου κόστους από τα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ, κάτι το οποίο οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος επένδυσης των τελευταίων, παρόλο που τα κόστη λειτουργίας και ενέργειας αυτών είναι κατά πολύ μικρότερα των συμβατικών. Από την ανάλυση προκύπτει ότι τα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ παράγουν νερό μέσου κόστους 12,28 $\$/m^3$, τη στιγμή που τα αντίστοιχα συμβατικά συστήματα αφαλάτωσης παράγουν νερό μέσου κόστους 2,07 $\$/m^3$. Αναλυτικότερη διερεύνηση των τεχνολογιών ΑΠΕ αποκαλύπτει ότι ακριβότερο είναι το νερό στα συστήματα που χρησιμοποιούν ως ενεργειακή πηγή τη Γεωθερμία (μέσο κόστος 144,03 $\$/m^3$), συμπέρασμα που όμως εξάγεται από μικρό αριθμό στοιχείων και θα μπορούσε να αμφισβητηθεί, ειδικά από τη στιγμή η βιβλιογραφία αναφέρει πραγματικά εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης με Γεωθερμία, που παράγουν νερό με κόστος μικρότερο των 1,48 $\$/m^3$. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το νερό με το χαμηλότερο κόστος προκύπτει από τα συστήματα αφαλάτωσης με συμβατική ενέργεια, όπως το πετρέλαιο, ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο (2,07 $\$/m^3$), ενώ στα ίδια περίπου επίπεδα κυμαίνεται και το μέσο κόστος από συστήματα που εκμεταλλεύονται την ενέργεια που παράγουν οι Ανεμογεννήτριες (2,53 $\$/m^3$). Όσον αφορά το μέσο κόστος, που συνδέεται με την αφαλάτωση θαλασσινού νερού από συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια, αυτό είναι 11,35 $\$/m^3$ για τα Φωτοβολταϊκά συστήματα και 11,61 $\$/m^3$ για τα υπόλοιπα ηλιακά συστήματα παραγωγής θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος νερού από συστήματα Φωτοβολταϊκών φαίνεται να μειώνεται, όταν αυτά χρησιμοποιηθούν μαζί με Ανεμογεννήτριες (7,86 $\$/m^3$) σε υβριδικά συστήματα παροχής ενέργειας.

Εν κατακλείδι, με βάση όλα τα παραπάνω, η τεχνολογία αφαλάτωσης της Αντίστροφης Οσμωσης κρίνεται από τις πλέον κατάλληλες να εφαρμοστεί για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού στον ελλαδικό χώρο και πιο συγκεκριμένα στα άνυδρα νησιά. Η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει τις χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις, οι οποίες μάλιστα μπορούν να καλυφθούν από Α/Γ ή Φ/Β, δηλαδή από ενεργειακές πηγές άφθονες στις εν λόγω περιοχές (άνεμος, ήλιος) επιβαρύνοντας στον ελάχιστο βαθμό τα ευαίσθητα τοπικά δίκτυα αλλά και το περιβάλλον. Επίσης, διαθέτει περιορισμένες χωρικές απαιτήσεις και είναι ευπροσάρμοστη σε μεταβολές της παραγωγικότητας παρουσιάζοντας

παράλληλα εύκολη διαδικασία κατασκευής, χαρακτηριστικά απαραίτητα για εγκαταστάσεις σε περιοχές περιορισμένης έκτασης με έντονα μεταβαλλόμενη ζήτηση νερού. Τέλος, το κόστος του νερού, που αποτελεί ένα σημαντικότατο κριτήριο, διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα αν και είναι λίγο υψηλότερο από άλλες διεργασίες αφαλάτωσης. Παρόλα αυτά, παραμένει χαμηλότερο από το κόστος μεταφοράς νερού, ενώ στην περίπτωση Υβριδικών Συστημάτων Αντίστροφης Όσμωσης επιτυγχάνεται το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι η αξιοποίηση των τεχνολογιών αφαλάτωσης για την επίλυση του προβλήματος της έλλειψης νερού στα άνυδρα ελληνικά νησιά, μπορεί να οδηγήσει υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις σε βέλτιστα οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά αποτελέσματα για το νησιωτικό περιβάλλον και τις τοπικές κοινωνίες, συμβάλλοντας ουσιαστικά προς μια ολοκληρωμένη και αξιοβίωτη ανάπτυξη.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Ali, A., Karaghoulis, A., & Kazmerski, L. (2010). *Renewable Energy Opportunities in Water Desalination*. Golden, Colorado, 80401, USA: National Renewable Energy Laboratory.
- Alklaibi, A., & Lior, N. (2004). Membrane-distillation desalination: status and potential. *Desalination* 171 , 111–131.
- Aly, S. E. (1999). Gas turbine total energy vapour compression desalination. *Energy Conversion & Management* , 729-741.
- Assimacopoulos, D. (2001, July/August). «Water, water everywhere... Desalination Powered by Renewable Energy Sources». *RE FOCUS* (www.re-focus.net) .
- Avlonitis, S. A. (2002). Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants. *Desalination*, 142 , 295-304.
- Avlonitis, S. A., Kouroumbas, K., & Vlachakis, N. (2003). Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants . *Desalination*, 157 , 151-158. .
- Belessiotis, V., & Delyannis, E. (1999). The history of renewable energies for water desalination.
- Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2001). Water shortage and renewable energies (RE) desalination - possible technological applications. *Desalination* 139 , 133-138.
- Bouguecha, S., Hamrouni, B., & Dhahbi, M. (2005). Bouguecha, S. Small scale desalination pilots powered by renewable energy sources: case studies. *Desalination*, 183(1-3) , 151-165.
- Bourouni, K., Ben M'Barek, T., & Al Taeeb, A. (2011). Design and optimization of desalination reverse osmosis plants driven by renewable energies using genetic algorithms. *Renewable Energy* (36) , 936-950.
- Charcosset, C. (2008). A review of membrane processes and renewable energies for desalination.
- Chemist.gr. (2008). *Χημικός – Chemist.gr: Η σελίδα των Χημικών*. Ανάκτηση Ιανουάριος 19, 2011, από <http://www.chemist.gr/2011/03/4923/#ixzz1KvvyJM1Vh>
- chiosblogs. (2010, Αύγουστος 8). *Chios Blogs Τα επιλεγμένα blogs της Χίου με μια ματιά*. Ανάκτηση Απρίλιος 1, 2012, από Chios Blogs Τα επιλεγμένα blogs της Χίου με μια ματιά: <http://url2it.com/modi>
- Clayton, R. (2011). *A Review of Current Knowledge, DESALINATION for WATER SUPPLY*. Foundation for Water Research .
- Delyannis, E. (2003). Historic background of desalination and renewable energies. *Solar Energy* 75 , 357-366.
- Ebensperger, U., & Isley, P. (2005). *Review of the Current State of Desalination, Water Policy Working Paper 2005-008*.
- Eltawil, M., Zhengming, Z. A., & Yuan, L. (2009). A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (13) , 2245-2262.
- e-mykonos. (2008). *e-mykonos Ενημερωτική δικτυακή πύλη της Μυκόνου*. Ανάκτηση Απρίλιος 15, 2011, από e-mykonos Ενημερωτική δικτυακή πύλη της Μυκόνου: http://www.e-mykonos.gr/index.php?MDL=pages&Branch=N_N0000000100_N0000002008
- FIORENZA, G., SHARMA, V., & BRACCIO, G. (2004). TECHNO-ECONOMIC EVALUATION OF A SOLAR POWERED WATER DESALINATION PLANT. *Solar Desalination for the 21st* . NATO Programme for Security through Science (STS).
- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination* 216 , 1-76.

- Gilau, A. M., & Small, M. J. (2008). Designing cost-effective seawater reverse osmosis system under optimal energy options. *Renewable Energy* (33) , 617-630.
- Gleick, P. H., David Katz, H. C., & Lee., E. (2006). *The World's Water 2006-2007: The Biennial Report on Freshwater Resources (World's Water (Quality))*. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security.
- Gude, V. G., Nirmalakhandan, N., & Deng, S. (2010). Renewable and sustainable approaches for desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9) , 2641-2654.
- GWI. (2008, Αύγουστος). *Global Water Inteligence: Market analysis of the international water industry*. Ανάκτηση Μάιος 12, 2012, από <http://www.globalwaterintel.com/archive/9/8/analysis/chart-of-the-month.html>
- Hammond, R. P., Eissenberg, D. M., Emmermann, D. K., Jones, J. E., Sephton, H. H., Standiford, F. C., και συν. (1994). Seawater desalination plant for Southern California. *Desalination*, 99 , 459-481.
- Helal, A. M., Al-Malek, S. A., & Al-Katheeri, E. S. (2008). Economic feasibility of alternative designs of a PV-RO desalination unit for remote areas in the United Arab Emirates. *Desalination*, 221(1-3) , 1-16.
- Henthorne, L. (2012). *The Current State of Desalination*. International Desalination Association.
- IDA. (2008). *Desalination in 2008 Global Market Snapshot*. International Desalination Association.
- IDS WATER. (2006). *IDS WATER - The information resource for the water industry*. Ανάκτηση 2012, από IDS WATER - The information resource for the water industry: www.idswater.com/.../925/products.html
- ΙΤΑ. (2008). *Πρόταση κάλυψης των υδατικών ελλειμμάτων των άνδρων νησιών των νομών Κυκλάδων και Δωδεκανήσου*. Αθήνα: Όμιλος εταιρειών International Technological Application ITA S.A.
- Kaldellis, J. K., Kavadias, K. A., & Kondili, E. (2004). Renewable energy desalination plants for the Greek islands—technical and economic considerations. *Desalination* 170 , 187-203.
- Kalogirou, S. (2005). Seawater desalination using renewable energy sources. *Progress in Energy and Combustion Science* , 242-281.
- Karagiannis, I. C., & Soldatos, P. G. (2010). Estimation of critical CO₂ values when planning the power source in water desalination: The case of the small Aegean islands. *Energy Policy* 38 , 3891–3897.
- Karagiannis, I. C., & Soldatos, P. G. (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination* 223 , 448–456.
- Kershman, S. A., Rheinländer, J., Neumann, T., & Goebel, O. (2005). Hybrid wind/PV and conventional power for desalination in Libya—GECOL's facility for medium and small scale research at Ras Ejder. *Desalination* 183 , 1-12.
- KOIS. (2011). *KOIS Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις Γενικές Κατασκευαστικές Εργασίες*. Ανάκτηση Σεπτεμβρίου 10, 2012, από KOIS Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις Γενικές Κατασκευαστικές Εργασίες: <http://www.kois.gr/solar/index.php?lang=el>
- Koroneos, C., Dompros, A., & Roumbas, G. (2007). Renewable energy driven desalination systems modelling. *Journal of Cleaner Production* 15 , 449-464.
- Koutroulis, E., & Kolokotsa, D. (2010). Design optimization of desalination systems power-supplied by PV and W/G energy sources. *Desalination* 258 .

- kykladesnews. (2009, Μάϊου 22). *kykladesnews*. Ανάκτηση Μαρτίου 19, 2011, από *kykladesnews*: <http://www.kykladesnews.gr/kyklades/111-kykladesnewscategory/49722-2010-01-29%2008-37-19.html>
- Maplecroft. (2011, Μάιος 25). *Maplecroft index identifies Bahrain, Qatar, Kuwait and Saudi Arabia as world's most water stressed countries*. Ανάκτηση Μάιος 17, 2012, από Maplecroft TM: http://maplecroft.com/about/news/water_stress_index.html
- Mathioulakis, E., Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2007). Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art. *Desalination* 203 , 346-365.
- Micale, G., Cipollina, A., & Rizzuti, L. (2009). Seawater Desalination for Freshwater Production. 1-15.
- Miller, J. E. (2003). *Review of Water Resources and Desalination Technologies*.
- Miranda, M. S., & Infield, D. (2002). A wind-powered seawater reverse-osmosis system without batteries. *Desalination*, 153 , 9-16.
- Mohamed, E. S., & Papadakis, G. (2004). Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics. *Desalination*, 164 , 87-97.
- Mohamed, E. s., & Παπαδάκης, Γ. (2009, Μάιος 14). *kyklades news*. Ανάκτηση Απρίλιος 5, 2012, από *kyklades news*: <http://www.kykladesnews.gr/oikonomia/62-2009-12-17-12-30-46/49701-2010-01-29%2008-37-19.html>
- Mohamed, E. S., Papadakis, G., Mathioulakis, E., & Belessiotis, V. (2008). A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems — a technical and economical experimental comparative study. *Desalination* 221(1-3) , 17-22.
- Murray, T., Marcos, S. M., & Infield, D. (2002). «A small-scale seawater reverse-osmosis system with excellent energy efficiency over a wide operating range». *Desalination* .
- Naxos Fan. (2011, Φεβρουάριος 28). *Naxos Fan*. Ανάκτηση Μάρτιος 27, 2011, από Naxos Fan: http://naxosfan.blogspot.com/2011/02/blog-post_9207.html
- Poseidon Resources Corporation. (2010). *hbfreshwater*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 12, 2011, από Huntington Beach Desalination Facility: <http://hbfreshwater.com/desalination-101/desalination-worldwide>
- Qiblawey, H. M., & Banat, F. (2008). Solar thermal desalination technologies. *Desalination*, 220(1-3) , 633-644.
- Sadhwani, J. J., & Veza, J. M. (2008). Desalination and energy consumption in Canary Islands. *Desalination* 221 , 143–150.
- Sasakura. (2007). *Sasakura Co. Ltd*. Ανάκτηση 2011, από Sasakura Co. Ltd: <http://www.sasakura.co.jp/e/products/water/109.html>
- Semiat, R. (2000). Desalination: Present and Future. *Water International*, Volume 25, Number 1 , 54-65.
- Spectra Watermakers. (2012). *Spectra Watermakers*. Ανάκτηση Απρίλιος 16, 2012, από Spectra Watermakers: http://www.spectrawatermakers.com/landbased/technology_clark.php
- Spyrou, I. D., & Anagnostopoulos, J. S. (2010). Design study of a stand-alone desalination system powered by renewable energy sources and a pumped storage unit. *Desalination* 257 , 137-149.
- Stefopoulou, A., Soulis, K., Papapetrou, M., Kyritsis, S., & Epp, C. (2008). Institutional and policy framework analysis in relation to the application of autonomous desalination systems — Greece. *Desalination* 220 , 455-467.

Subiela, V. J. (2006). COST ANALYSIS OF THE VARIOUS TECHNOLOGIES AND POTENTIAL FOR COST REDUCTION. *Desalination Systems Powered by Renewable Energy Institutional Framework Conditions in the Mediterranean Region, 19 September 2006*. Le Royal Hotel, Amman, Jordan.

Technava SA. (2008). *World-Wide First: A Reverse Osmosis Plant, with Unique Technical Characteristics, Fully Unmanned Operation, & Environment Friendly for Installation on a Floating Windmill Platform*.

TERRA.ORG. (2005). *TERRA.ORG*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 2, 2012, από <http://www.terra.org/cocinas/fichaen.php?id=49>

Tiwari, G. N., & Singh, H. N. (2004). *Solar Distillation in Solar Energy Conversion and Photoenergy Systems*, [Eds. Julian Blanco Galvez, Sixto Malato Rodriguez]. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

Tzen, E. (2005). Successful Desalination RES plants. *Desalination Units powered by RES Opportunities & Challenges, 26/9/2005*. Tunisia, Hammamet.

Tzen, E., & Morris, R. (2003). Renewable energy sources for desalination. *Solar Energy* , 375-379.

Tzen, E., Theofiloyianakos, D., & Kologios, Z. (2008). Autonomous reverse osmosis units driven by RE sources experiences and lessons learned. *Desalination 221* , 29-36.

U.S. Department of the Interior. (2003). *DESALTING HANDBOOK FOR PLANNERS*. U.S. Department of the Interior, Office of Saline Water (OSW).

UNEP. (2008). *United Nations Environment Programme (UNEP)*. Ανάκτηση Μάϊου 10, 2012, από United Nations Environment Programme (UNEP): <http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article192.html>

Voivontas, D., Misirlis, K., Manoli, E., Arampatzis, G., Assimacopoulos, D., & Zervos, A. (2001). A tool for the design of desalination plants powered by renewable energies. *Desalination, 133* , 175-198.

Voivontas, D., Yannopoulos, K., Rados, K., Zervos, A., & Assimacopoulos, D. (1999). Market potential of renewable energy powered desalination. *Desalination 121* , 159-172.

Voutchkov, N. (2012). Overview of desalination status and future trends. *Water security and Sustainability, Desalination*. Portugal.

Wade, N. M. (2001). Distillation plant development and cost update. *Desalination(136)* , 3-12.

Wangnick, K. (2004). *2004 IDA Worldwide Desalting Plants Inventory No. 18*. Wangnick Consulting.

WHO. (2011). *Safe Drinking-water from Desalination*. World Health Organization.

X-Rates. (2012). *Exchange Rates X-Rates*. Ανάκτηση Φεβρουαρίου 22, 2012, από Exchange Rates X-Rates: <http://www.x-rates.com/d/EUR/USD/hist2007.html>

Younos, T., & Tulou, K. E. (2005). Energy Needs, Consumption and Sources. *UNIVERSITIES COUNCIL ON WATER RESOURCES, JOURNAL OF CONTEMPORARY WATER RESEARCH & EDUCATION, ISSUE 132* , 27-38.

Zejli, D., Bouhelal, O. K., Benchrifa, R., & Bennouna, A. (2002). Applications of solar and wind energy sources to sea-water desalination - Economical Aspects. *Paper presented at the International Conference on Nuclear Desalination : Challenges and Options, 16 – 18 October 2002*. Marrakech, Morocco.

Αγγελάκης, Ν. (2008). Κλιματικές αλλαγές και υδατικοί πόροι: Ανάγκη ανάπτυξης και χρήσης μη συμβατικών υδατικών πόρων. *Ημερίδα «Νερό και κλιματικές αλλαγές», δίκτυο «Μεσόγειος SOS», 28 Μαρτίου 2008*. Ηράκλειο Κρήτης.

- ΒΗΜΑ, Τ. (2010, Απρίλιος 24). *Εφημερίδα "Το Βήμα"*. Ανάκτηση Ιανουάριος 29, 2012, από Εφημερίδα "Το Βήμα": <http://www.tovima.gr/society/article/?aid=327696>
- Βικιθήκη. (2010, Ιούλιος 16). *Ελεύθερη Βιβλιοθήκη "Βικιθήκη"*. Ανάκτηση Μάρτιος 2, 2012, από Ελεύθερη Βιβλιοθήκη "Βικιθήκη": <http://url2it.com/mnqg>
- Βικιπαίδεια. (2012, Απρίλιος 1). *Βικιπαίδεια*. Ανάκτηση Μαΐος 15, 2012, από Βικιπαίδεια: <http://url2it.com/mnrb>
- Γερασίμου, Α. (Ιούνιος 2010). Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας στη Μήλο, Ολοκληρωμένη λύση για την αντιμετώπιση του.
- Δαγκαλιδής, Α. (2009). *Κλαδική μελέτη 12, Αφαλάτωση νερού*. Μονάδα Οικονομικής Ανάλυσης και Αγορών, Τράπεζα Πειραιώς.
- Ελληνικός Σύνδεσμος Αφαλάτωσης-Επεξεργασίας Νερού. (2010). *Πρόταση για την αντιμετώπιση του προβλήματος λειψυδρίας των άνδρων νησιών*. Αθήνα.
- Εμμανουηλίδης, Γ. (2011, Ιούνιος 22). Αφαλάτωση με ΑΠΕ.
- Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου. (2009-2010). Αφαλάτωση με ΑΠΕ. *Διδακτικό υλικό Ακαδημίας Ενέργειας, 1ος κύκλος, Μάθημα "Αφαλάτωση με ΑΠΕ"*. Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου.
- Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου. (2011). *Αφαλάτωση με ΑΠΕ στα νησιά του Αιγαίου*. Αθήνα: Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου.
- Ευθυμίουπουλος, Η. (2010). Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ. *Ημερίδα για την Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, 29-3-2010*. Αθήνα.
- Ζαβιτσάνου, Γ. (2008, Αυγούστου 4). *Εφημερίδα "Η Καθημερινή"*. Ανάκτηση Φεβρουάριος 5, 2012, από Εφημερίδα "Η Καθημερινή": http://www.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_kathcommon_1_04/08/2008_1287563
- Κάραλης, Γ., & Εμμανουηλίδης, Γ. (2009). *«Στρατηγική Μελέτη για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, την Προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και τη Μείωση των Εκπομπών στα νησιά του Αιγαίου*. Αθήνα: Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου.
- Κάραλης, Γ., & Ζούλιας, Μ. (2008). Πιλοτικό πρόγραμμα με μονάδα αφαλάτωσης και παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ στην Ίο. (2008). *Πιλοτικό πρόγραμμα με μονάδα αφαλάτωσης και πένεργεια - Ανακύκλωση - Αστικό Περιβάλλον, ΚΕΔΚΕ, 18 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2008*.
- Κορωναίος, Χ. Ι. (2006). Διδακτικές Σημειώσεις για το μάθημα "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Διδακτικές Σημειώσεις για το ΔΠΜΣ "Περιβάλλον και Ανάπτυξη". Αθήνα.
- Κουκουτσάκης, Π. (2007). *Διπλωματική εργασία με τίτλο «Επίδραση Φορτίου Αφαλάτωσης σε Νησιωτικό Σύστημα Ενέργειας», Επιβλέπων: Χατζηαργυρίου Ν*. Αθήνα: ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.
- Μακρόπουλος, Χ. (2010). *U.S. Geological Survey*. Ανάκτηση 11 15, 2011, από U.S. Geological Survey: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>
- Μαλαματάρης, Δ. (2010, Μάιος 30). *Greek Architects*. Ανάκτηση Ιανουαρίου 23, 2012, από Greek Architects: <http://www.greekarchitects.gr>
- Μαμάσης, Ν. (2009). *Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος «ΥΔΑΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ», Κεφάλαιο Ξηρασία, ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη»*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μανωλάκος, Δ. (2012). *Συστήματα Αφαλάτωσης στο Νησιωτικό Χώρο. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 12 Μαΐου 2012*. Αθήνα.

Μπελέτης, Α. (2010). Κόστος Λειτουργίας Μικρών και Μεγάλων Συστημάτων Αφαλάτωσης. *Promotion of Renewable Energies for Water Production through Desalination (ProDes) Project, Agricultural University of Athens (AUA) Workshop, 29 Μαρτίου 2010*. Αθήνα.

Μωχάμεντ, Ε. Σ. (2009). Διδακτορική Διατριβή με τίτλο "Διερεύνηση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση". Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής.

Μωχάμεντ, Ε. Σ. (2009). Διδακτορική Διατριβή με τίτλο «Διερεύνηση τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση». Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων.

Παπαδάκης, Γ. (2010). Αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ. *Ημερίδα για την Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ*.

Πέππα, Φ. (2007). Διπλωματική εργασία με τίτλο «*ΗΛΙΑΚΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ*», Υπεύθυνος καθηγητής: Δρ. Κ. Αντωνόπουλος, . ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Πύλη παιδαγωγικού Υλικού Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης. (2010). *Πύλη Παιδαγωγικού Υλικού Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης*. Ανάκτηση Αυγούστου 2011, 22, από Πύλη παιδαγωγικού Υλικού Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης: <http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=106>

Σαμακίδης, Δ. (2009). Διπλωματική εργασία με τίτλο «*Αυτόνομο σύστημα αφαλάτωσης με χρήση ΑΠΕ: Διαστασιολόγηση & Στρατηγικές ελέγχου*», Επιβλέπων: Μ. Αλεξιάδης. ΑΠΘ, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ενεργείας.

ΤΑ ΝΕΑ. (2006, Ιούνιος 31). Ας είναι καλά... οι νερουλάδες. *ΤΑ ΝΕΑ* .

ΤΑ ΝΕΑ. (2008, Αυγούστου 1). ΛΕΙΨΥΔΡΙΑ ΚΑΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ, Η τεχνολογία είναι το συμπλήρωμα και όχι η υποκατάσταση του σχεδιασμού. *ΤΑ ΝΕΑ* .

ΤΑ ΝΕΑ. (2009, Ιανουαρίου 10). Λύση στη λειψυδρία: Πλωτή Μονάδα Αφαλάτωσης. *ΤΑ ΝΕΑ* .

ΤΕΜΑΚ. (2009). *ΤΕΜΑΚ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΝΕΡΟΥ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ - ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ*. Ανάκτηση Μάρτιος 12, 2012, από http://www.temak.gr/site/gr/products/water_treatment_systems/reverse_osmosis/sea_water/

Τζέν, Ε. (2009). Desalination Environmental Aspects. *Σεμινάριο ΚΑΠΕ, 29-Οκτ.-2009*.

Τζέν, Ε. (2009). PV Membrane Processes. *Promotion of Renewable Energies for Water Production through Desalination (ProDes) Project, Σεμινάριο ΚΑΠΕ, 29 Οκτωβρίου 2009*. Αθήνα.

Τζέν, Ε. (2009). Selection of Desalination Technologies. *Σεμινάριο ΚΑΠΕ, 29-Οκτ.-2009*.

Τζέν, Ε. (2009). Solar Thermal Desalination. *Promotion of Renewable Energies for Water Production through Desalination (ProDes) Project, Σεμινάριο ΚΑΠΕ, 29 Οκτωβρίου 2009*. Αθήνα.

Τζέν, Ε. (2009). Wind Desalination. *Promotion of Renewable Energies for Water Production through Desalination (ProDes) Project, Σεμινάριο ΚΑΠΕ, 29 Οκτωβρίου 2009*. Αθήνα.

Τζέν, Ε. (19 Ιουνίου 2010). Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία. *Ημερίδα "Αειφόρος Ανάπτυξη των Νησιών του Αιγαίου: Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Σύρος.

Τζέν, Ε. (2010). Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ. *Promotion of Renewable Energies for Water Production through Desalination (ProDes) Project, Agricultural University of Athens (AUA) Workshop, 29 Μαρτίου 2010*. Αθήνα.

Τζέν, Ε. (2001). Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου. *Αιγαίο – Νερό – Βιώσιμη Ανάπτυξη, 6-7 Ιουλίου 2001*.

Υπουργείο Ανάπτυξης. (2006). *Διαχείριση Υδατικών Πόρων στα Ελληνικά Νησιά*. Αθήνα: Υπουργείο Ανάπτυξης.

Υφαντής, Ν. (2010). Συνδυασμός αιολικής ενέργειας και αντίστροφης όσμωσης : Το σύστημα της Μήλου . *Ημερίδα για την Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα 29-3-2010*.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α: Μονάδες αφαλάτωσης μεγάλης δυναμικότητας

Πίνακας Α-1. Οι 100 μονάδες αφαλάτωσης, σε λειτουργία ή υπό κατασκευή, με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα στον κόσμο (βάσει στοιχείων του 2005) (Gleick, David Katz, & Lee., 2006)

Χώρα, Τοποθεσία	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Νερό τροφοδοσίας	Προγραμματισμένο έτος λειτουργίας
Saudi Arabia SA, Shuaiba III	880,000	SEA	2007
Saudi Arabia SA, Ras Al-Zour	800,000	SEA	2007
Saudi Arabia SA, Al Jobail II Ex	730,000	SEA	2007
UAE AE, Jebel Ali M	600,000	SEA	2011
Kuwait KW, Al-Zour North	567,000	SEA	2007
UAE AE, Shuweihat	455,000	SEA	2004
UAE AE, Shuweihat 2	454,600	SEA	2006
USA US, CA SanFrancisco	454,200	SEA	2008
UAE AE, Fujairah II	454,000	SEA	2007
UAE AE, Qidfa	454,000	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Al Jobail	408,600	SEA	2007
Israel IL, Ashkelon	395,000	SEA	2004
Saudi Arabia SA, Shuaiba III	390,908	SEA	2003
UAE AE, Jebel Ali L-2	363,200	SEA	2007
USA US, TX Pt. Comfort	340,650	SEA	2006
UAE AE, Jebel Ali L-1	317,800	SEA	2005
UAE AE, Jebel Ali N	300,000	SEA	2013
Kuwait KW, Sulaibya	300,000	WASTE	2003
India IN, Minjur Chennai	300,000	SEA	2006
UAE AE, Taweelah B III	295,490	SEA	2008
UAE AE, Fujairah	295,100	SEA	2003
UAE AE, Umm Al Nar	284,125	SEA	2002
USA US, PR Puerto Rico	284,000	SEA	2006
UAE AE, Mirfa	277,000	SEA	2007
Bahrain BH, Hidd 3	272,400	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Al Jobail I Ext	272,000	SEA	2007
Saudi Arabia SA, Al Jobail III	272,000	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Al Khobar IV	272,000	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Shuaiba IV	272,000	SEA	2007
USA US, CA Orange Count	265,000	RIVER	2007
USA US, CA Fountain Val	264,950	WASTE	2006
Libya LY, Tripoli	250,000	SEA	2006
UAE AE, Taweelah A1 Ext	239,680	SEA	2003
UAE AE, Taweelah C RO	227,300	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Ras Az Zawr	227,000	SEA	2006
Qatar QA, Ras Laffan	227,000	SEA	2009
Kuwait KW, Subiya 2	227,000	SEA	2006
Kuwait KW, Subiya	227,000	SEA	2007
USA US, CA Carlsbad	189,250	SEA	2008
USA US, CA Huntington B	189,250	SEA	2006
USA US, CA San Diego	189,250	SEA	2006
UAE AE, Jebel Ali K II	182,000	SEA	2002
Saudi Arabia SA, Al Bahah I	182,000	SEA	2006
Qatar QA, Ras Laffan	182,000	SEA	2004
Qatar QA, Ras Laffan 2	181,840	SEA	2007
UAE AE, Fujairah	170,000	SEA	2004
Spain ES, Malaga	165,000	BRACK	2003
Kuwait KW, Shuwaikh	163,000	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Al Wasia	153,000	BRACK	2004
Israel IL, Negev Arava	152,000	BRACK	2006
USA US FL, Boca Raton	151,400	RIVER	2003
Libya LY, Benghazi South	150,000	SEA	2006
Spain ES, Murcia	147,000	SEA	2004
Jordan JO, Zara Maain	145,340	BRACK	2005
Jordan JO, Zara Maain	145,000	BRACK	2005
China CN, Yantai	143,000	SEA	2006
Israel IL, Ashdod	137,000	SEA	2007
Israel IL, Hadera-Caesarea	136,260	SEA	2007
Singapore SG, Singapore I	136,000	SEA	2005
Iraq IQ	130,000	BRACK	2005
Mexico MX, Hermosillo	128,690	SEA	2004
Australia AU, WA Perth	123,300	SEA	2006
Spain ES, Carboneras	120,000	SEA	2001
Singapore SG, Ulu Pandan	116,000	WASTE	2006

Χώρα, Τοποθεσία	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Νερό τροφοδοσίας	Προγραμματισμένο έτος λειτουργίας
UAE AE, Umm Al Nar IWPP	115,240	SEA	2007
Egypt EG, Sinai	113,650	SEA	2006
Trinidad To. TT, Point Lisas	113,640	SEA	2002
Saudi Arabia SA, Tabuk I	113,640	SEA	2007
USA US, FL Palm Beach 3	113,550	RIVER	2004
UAE AE, Jebel Ali G RO	113,500	SEA	2007
Kuwait KW, Al-Zour North	113,500	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Shuqaiq II	109,000	SEA	2006
USA US, TX El Paso	104,090	BRACK	2006
USA US, CA Dana Point	102,200	SEA	2006
UAE AE, Mirfa	102,000	SEA	2001
Algeria DZ, Algiers Djinet	100,000	SEA	2006
Algeria DZ, Algiers Zeralda	100,000	SEA	2006
Algeria DZ, Mostaganem	100,000	SEA	2007
USA US, TX Brownsville	94,630	SEA	2007
USA US, TX Freeport	94,630	SEA	2007
USA US, FL Tampa Bay II	94,630	SEA	2007
USA US, TX Corpus Chris	94,630	SEA	2006
USA US, FL Tampa Bay	94,630	SEA	2003
USA US, FL S. Miami Hei	94,630	RIVER	2006
Pakistan PK, Karachi	94,630	SEA	2006
Pakistan PK, Gwadar	94,630	BRACK	2006
Iran IR, Bandar Imam	93,600	BRACK	2002
Singapore SG, Bedok	92,000	SEA	2006
Saudi Arabia SA, Buraydah	91,000	SEA	2004
Qatar QA, Ras Abu Font B1	91,000	SEA	2007
Oman OM, Barka	90,920	SEA	2003
Algeria DZ, Arzew	88,890	SEA	2005
Algeria DZ, Arzew	88,000	SEA	2003
Israel IL, Haifa	83,270	SEA	2006
Israel IL, Palmachin	83,270	SEA	2006
Israel IL, Palmahim	83,270	SEA	2006
Israel IL, Ashdod	82,190	SEA	2006
Israel IL, Shomrad	82,190	SEA	2006
Libya LY, Azzawiya	80,000	SEA	2006
Libya LY, Misurata	80,000	SEA	2006
Total Capacity 21,404,184			

Παράρτημα Β: Μέση μηνιαία ισοτιμία Δολλαρίου – Ευρώ (έτη 1999-2010)

Πίνακας Β-1. Μέση μηνιαία ισοτιμία "American Dollars - 1 EURO" (X-Rates, 2012)

Έτος	1999	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ιανουάριος	1,1591	1,01311	0,937585	0,883366	1,06225	1,31227	1,21032	1,2999	1,47178	1,32387	1,42721
Φεβρουάριος	1,12028	0,983363	0,920525	0,870642	1,07846	1,30131	1,19393	1,3083	1,47554	1,27847	1,36857
Μάρτιος	1,08859	0,964345	0,90829	0,876638	1,07974	1,3185	1,20284	1,32459	1,55202	1,30498	1,35685
Απρίλιος	1,07005	0,944923	0,892523	0,88624	1,08624	1,29425	1,22733	1,35129	1,57536	1,31981	1,34095
Μάιος	1,06301	0,905949	0,875318	0,916959	1,15556	1,2691	1,27662	1,3515	1,55646	1,36321	1,25653
Ιούνιος	1,03772	0,950482	0,85296	0,956135	1,16743	1,21553	1,26606	1,34206	1,55617	1,40165	1,22085
Ιούλιος	1,03705	0,93862	0,861489	0,993528	1,1365	1,20366	1,26806	1,37214	1,57564	1,40877	1,277
Αύγουστος	1,06051	0,904508	0,901465	0,978073	1,11552	1,22952	1,28105	1,36259	1,49561	1,4268	1,29029
Σεπτέμβριος	1,04975	0,869479	0,910242	0,98063	1,1267	1,22496	1,27274	1,39099	1,43565	1,45616	1,3067
Οκτώβριος	1,07055	0,852541	0,904809	0,981149	1,17079	1,20268	1,26164	1,4233	1,32833	1,48164	1,38978
Νοέμβριος	1,03279	0,855155	0,888434	1,00185	1,16989	1,1787	1,28895	1,46817	1,27492	1,49145	1,3661
Δεκέμβριος	1,01103	0,898313	0,89117	1,01941	1,2297	1,18608	1,32013	1,45517	1,35311	1,46136	1,32201
Μέση Ετήσια Ισοτιμία	1,067038182	0,923399	0,895400833	0,945385	1,131565	1,2447133	1,255805833	1,3708333	1,4708825	1,3931808	1,3269033

**Παράρτημα Γ: Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση και Ειδικό Συνολικό Κόστος των συστημάτων αφαλάτωσης –
Επεξεργασμένα στοιχεία**

Πίνακας Γ-1. Ειδική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/m³) των συστημάτων αφαλάτωσης

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικό τητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
MSF						28,20	(Kalogirou, 2005)	2005
MEB						12,45	(Kalogirou, 2005)	2005
VC						16,00	(Kalogirou, 2005)	2005
RO						10,00	(Kalogirou, 2005)	2005
RO-ER						5,00	(Kalogirou, 2005)	2005
ED						12,00	(Kalogirou, 2005)	2005
SD	SOLAR POWERED					194,47	(Kalogirou, 2005)	2005
RO						5,90	(Tzen & Morris, 2003)	2003
RO-ER (turbine)						3,5	(Tzen & Morris, 2003)	2003
ED			BW	3000	500	1,22	(Tzen & Morris, 2003)	2003/2003
VC						12,25	(Tzen & Morris, 2003)	2003
MSF			SW			25,00	(Assimacopoulos, 2001)	2001
MED			SW			21,08	(Assimacopoulos, 2001)	2001
VC			SW			10,00	(Assimacopoulos, 2001)	2001
RO-ER			SW			5,00	(Assimacopoulos, 2001)	2001
RO			SW			14,00	(Assimacopoulos, 2001)	2001
RO			BW	2500		2,00	(Assimacopoulos, 2001)	2001
ED			BW	2500		2,75	(Assimacopoulos, 2001)	2001
MSF						11,75	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
MED						8,20	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
MED-TVC						11,50	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
MVC						13,25	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
RO			BW			1,75	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
RO			SW			6,50	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
RO-ER			SW			5,00	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
RO-ER			BW			1,50	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
ED			BW			1,50	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009
MEE-SD	SOLAR POWERED					72,00	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
MSF						20,00	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
MED						14,50	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
MVC						11,50	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
MED-TVC						21,75	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
RO						7,00	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
ED						4,05	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
RO/NF	PV	6,00	BW	5300	257	1,2	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
MSF	conventional	4500,00	SW			24,17	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
MSF	conventional (cogeneration)	4500,00	SW			13,33	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010
RO	conventional		BW&SW			7,48	(Younos & Tulou, 2005)	2005
RO	conventional (cogeneration)		SW			4,05	(Younos & Tulou, 2005)	2005
ED	conventional		BW			1,70	(Younos & Tulou, 2005)	2005
MSF	conventional		SW			21,00	(Younos & Tulou, 2005)	2005
MSF	conventional (cogeneration)		SW			4,70	(Younos & Tulou, 2005)	2005
MED(low temperature)	conventional		SW			5,00	(Younos & Tulou, 2005)	2005
MED(low temperature)	conventional (cogeneration)		SW			3,35	(Younos & Tulou, 2005)	2005
MED-TVC	conventional		SW			13,00	(Younos & Tulou, 2005)	2005

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικό τητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Αλατότητα παραγόμενο υ νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
MVC	conventional		SW			6,00	(Younos & Tulou, 2005)	2005
MVC	conventional (cogeneration)		SW			14,25	(Younos & Tulou, 2005)	2005
RO/MED	conventional		SW			1,48	(Younos & Tulou, 2005)	2005
RO/MED (LT-TVC)		14300,00	SW			9,58	(Aly, 1999) (Younos & Tulou, 2005)	2010/2005/1999
RO/BPT/MED (LT-TVC)		14800,00	SW			9,23	(Aly, 1999) (Younos & Tulou, 2005)	2010/2005/1999
RO/BPT/RO		14700,00	SW			9,34	(Aly, 1999) (Younos & Tulou, 2005)	2010/2005/1999
MVC/MED (LT-TVC)		19000,00	SW			7,27	(Aly, 1999) (Younos & Tulou, 2005)	2010/2005/1999
RO		11000,00	SW			12,50	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010
RO			SW		425	5,00	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010
RO			SW		425	15,00	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010
RO			BW		425	2,00	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010
ED	PV		BW	1500	500	1,50	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010
ED	PV		BW	3500	500	4,00	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010
MSF						29,17	(Τζέν Ε. , 2001)	2001
MED						25,25	(Τζέν Ε. , 2001)	2001
VC						11,50	(Τζέν Ε. , 2001)	2001
RO			SW			9,00	(Τζέν Ε. , 2001)	2001
RO			BW			1,75	(Τζέν Ε. , 2001)	2001
ED			BW	2500		2,75	(Τζέν Ε. , 2001)	2001
		2,00				30,00	(Μπελέτης, 2010)	2010
		6,00				11,50	(Μπελέτης, 2010)	2010
		20,00				6,90	(Μπελέτης, 2010)	2010
		75,00				6,30	(Μπελέτης, 2010)	2010
		100,00				4,70	(Μπελέτης, 2010)	2010

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
		100,00				3,00	(Μπελέτης, 2010)	2010
		250,00				3,00	(Μπελέτης, 2010)	2010
		500,00				3,00	(Μπελέτης, 2010)	2010
		1000,00				3,00	(Μπελέτης, 2010)	2010
RO-ER			SW			5,00	(Κάραλης & Ζούλιας, 2008)	2008
RO			SW			12,00	(Κάραλης & Ζούλιας, 2008)	2008
RO			BW			2,00	(Κάραλης & Ζούλιας, 2008)	2008
MED						27,17	(Κάραλης & Ζούλιας, 2008)	2008
MSF		500-70000			9	15,50	(Wangnick, 2004)	2004
MED		500-12000			9	7,50	(Wangnick, 2004)	2004
MED-TVC		100-25000			9	22,50	(Wangnick, 2004)	2004
MVC		10-2500			9	11,00	(Wangnick, 2004)	2004
RO		5000,00	SW		490	5,50	(Wangnick, 2004)	2004
ED		1-12000	BW	1500	490	1,00	(Wangnick, 2004)	2004
MSF						31,75	(Μανωλάκος, 2012)	2012
MED						23,92	(Μανωλάκος, 2012)	2012
RO						4,00	(Μανωλάκος, 2012)	2012
RO-ER	PV	0,35	SW		250	4,60	(Mohamed, Papadakis, Mathioulakis, & Belessiotis, 2008)	2008
RO-ER	PV/battery	0,60	SW		224	4,30	(Mohamed, Papadakis, Mathioulakis, & Belessiotis, 2008)	2008
RO	PV/conventional (diesel) or conventional (diesel)	20,00	SW	45000	490	7,74	(Helal, Al-Malek, & Al-Katheeri, 2008)	2007
RO	PV	44,00	SW	45000	490	7,33	(Helal, Al-Malek, & Al-Katheeri, 2008)	2007
RO	(DISH STIRLING or WG)/grid	1200,00	SW			5,00	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Αλατότητα παραγόμενο υ νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
VC	(DISH STIRLING or WG)/grid	1200,00	SW			15,00	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002
RO-ER	WG	8,50	SW	40000	300	3,40	(Miranda & Infield, 2002)	2002
RO	PV and/or WG	12,00	SW	40000	490	12,00	(Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004)	2004
RO-ER (pressure exchanger)	PV and/or WG	12,00	SW	40000	490	6,00	(Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004)	2004
RO	WG/grid or WG or PV/grid or PV	1000,00	SW			7,85	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001
VC	WG/grid or WG	1000,00	SW			15,45	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001
ME-SD	SOLAR POWERED	0,02	SW			125,00	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005
RO	PV	0,02	SW			22,78	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005
MD	GT	0,02	SW			0,92	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005
MSF	EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS	85,00	SW	55000		15,28	(Qiblawey & Banat, 2008)	2008
MSF	conventional	31822,00	SW			51,7	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003) (Wade, 2001)	2003/2001
MED	conventional	31822,00	SW			45,00	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003) (Wade, 2001)	2003/2001
RO	conventional	31822,00	SW			8	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003) (Wade, 2001)	2003/2001

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
RO-ER (brine booster)	conventional	31822,00	SW			6,7	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003) (Wade, 2001)	2003/2001
MED	conventional (cogeneration)	283875,00	SW			6,76	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003) (Hammond, et al., 1994)	2003/1994
RO-ER (pelton wheel)		380,00	SW	41000	best water quality	4,59	(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002
RO-ER (hydraulic turbo charger exchanger)		160,00	SW	41000	best water quality	4,71	(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002
RO-ER (clark pump)		11,04	SW	40000	335	3,50	(Murray, Marcos, & Infield, 2002)	2002
MSF		15000,00	SW			12,25	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007
MED		15000,00	SW			7,50	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007
VC		2500,00	SW			11,00	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007
RO-ER		15000,00	SW			5,00	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007
RO		15000,00	SW			10,00	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007
MSF		1000-60000	SW			29,17	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010) (Τζέν Ε. , 2001)	2010/2001
MED		500-20000	SW			25,25	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010) (Τζέν Ε. , 2001)	2010/2001
VC		25-2500	SW			11,50	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010) (Τζέν Ε. , 2001)	2010/2001
RO		0,4 - >70000	SW			4,00	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010) (Τζέν Ε. , 2001)	2010/2001
RO-ER		0,4 - >70000	SW			2,00	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010) (Τζέν Ε. , 2001)	2010/2001

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδοσίας	Αλατότητα τροφοδοτούμενου νερού (ppm)	Αλατότητα παραγόμενου νερού (ppm)	Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης
RO		2,5 - > 50000	BW			1,75	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010) (Τζέν Ε. , 2001)	2010/2001
ED		15-50000	BW			2,75	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010) (Τζέν Ε. , 2001)	2010/2001

Πράσινα γράμματα: Μέση τιμή εύρους τιμών, Κόκκινα γράμματα: Υπολογισμένη τιμή

Πίνακας Γ-2. Ειδικό συνολικό κόστος παραγωγής νερού (\$/m³) των συστημάτων αφαλάτωσης

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
		<1000	BW				1,27	(Karagiannis & Soldatros, 2008), (Μανωλάκος, 2012)	2008,2012	2008
		5000–60000	BW				0,48	(Karagiannis & Soldatros, 2008), (Μανωλάκος, 2012)	2008,2012	2008
		<1000	SW				8,08	(Karagiannis & Soldatros, 2008), (Μανωλάκος, 2012)	2008,2012	2008
		1000-5000	SW				2,78	(Karagiannis & Soldatros, 2008), (Μανωλάκος, 2012)	2008,2012	2008
		12000-60000	SW				1,24	(Karagiannis & Soldatros, 2008), (Μανωλάκος, 2012)	2008,2012	2008
		>60000	SW				0,90	(Karagiannis & Soldatros, 2008), (Μανωλάκος, 2012)	2008,2012	2008
	conventional		BW				0,95	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
	PV		BW				11,12	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
	GT		BW				3,00	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
	conventional		SW				2,29	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
	WG		SW				4,50	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
	PV		SW				9,11	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
	SOLAR COLLECTORS		SW				8,63	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
MSF		<100					7,50	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
MSF		12000-55000					1,47	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
MSF		>91000					0,92	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
MED		23000-528000					1,37	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
VC		1100,00					2,81	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO		<20	BW				11,12	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO		20-1200	BW				1,26	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO		40000-46000	BW				0,48	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO		<100	SW				12,16	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
RO		250-1000	SW				3,11	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO		1000-4800	SW				1,46	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO		15000-60000	SW				1,26	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO		100000-320000	SW				0,67	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO	PV/WG	3,00	BW				11,30	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
RO	PV/WG	3,00	SW				34,52	(Karagiannis & Soldatros, 2008)	2008	2008
SD	SOLAR POWERED	50,00					3,53	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009	2009
SD	SOLAR POWERED						29,43	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009)	2009	2009
MVC	conventional	113,56					7,65	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MVC	conventional	492,10					4,92	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MVC	conventional	4012,54					3,80	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MVC	conventional	4542,49					3,72	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MVC	conventional	19986,97					0,70	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO (single stage)	conventional	19986,97					0,98	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO (two stage)	conventional	19986,97					1,16	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	conventional	113,56					3,63	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	conventional	4012,54					3,03	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	conventional	4542,49					1,98	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	conventional	37816,26					1,67	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	conventional	39973,95					1,27	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	conventional	45424,94					1,04	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	conventional	113562,35					0,84	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009),	2009, 2005	1994*

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
	1							(Ebensperger & Isley, 2005)		
MSF	conventional(cogeneration)	26989,99					1,18	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MSF	conventional	26989,99					2,51	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MSF (gas turbine, waste heat boiler)	conventional	31986,73					2,20	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MSF	conventional	26989,99					2,40	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MSF	conventional	37816,26					1,91	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE (dual purpose)	conventional	22712,47					1,33	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE (single purpose)	conventional	22712,47					2,99	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE	conventional	22712,47					2,14	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE	conventional	22712,47					1,90	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE	conventional	37816,26					1,65	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE (gas turbine, waste heat boiler)	conventional	37816,26					2,00	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE-TVC	conventional	22144,66					3,58	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE-TVC	conventional (cogeneration)	22144,66					2,00	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
MEE-TVC	conventional	22144,66					2,37	(Eltawil, Zhengming, & Yuan, 2009), (Ebensperger & Isley, 2005)	2009, 2005	1994*
RO	PV/battery	12,00	SW				28,53	(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeab, 2011)	2011	2011
RO	PV/battery	120,00	SW				7,82	(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeab, 2011)	2011	2011
RO	PV/battery	250,00	BW				7,08	(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeab, 2011)	2011	2011

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθόν
								2011)		
RO	PV	1,50	SW				3,12	(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeeb, 2011)	2011	2011
RO	WG/battery	250,00	BW				2,85	(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeeb, 2011)	2011	2011
RO	WG/grid	300,00	SW				1,90	(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeeb, 2011)	2011	2011
RO	PV/grid	300,00					2,01	(Bourouni, Ben M'Barek, & Al Taeeb, 2011)	2011	2011
MSF							1,55	(Semiat, 2000)	2000	2000
MED							1,05	(Semiat, 2000)	2000	2000
VC							1,20	(Semiat, 2000)	2000	2000
RO							1,05	(Semiat, 2000)	2000	2000
RO							1,50	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010), (Alklaibi & Lior, 2004)	2009/2004	2004
MD							1,58	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010), (Alklaibi & Lior, 2004)	2009/2004	2004
RO/MD							1,50	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010), (Alklaibi & Lior, 2004)	2009/2004	2004
MVC	conventiona l	200,00					4,01	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
MVC	conventiona l	600,00					2,80	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
MVC	conventiona l	1200,00					2,37	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
MVC	conventiona l	1200,00					3,40	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventiona l	200,00					3,43	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventiona l	600,00					2,48	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventiona l	1200,00					2,27	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventiona l	2000,00					2,11	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventiona l	3000,00					1,95	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθόν
MED	conventional	1200,00					1,69	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	2000,00					0,87	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	3000,00					0,69	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	20000,00					1,31	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	35000,00					1,38	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	35000,00					1,14	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED-TVC	conventional	200,00					3,48	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED-TVC	conventional	600,00					2,37	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED-TVC	conventional	1200,00					1,95	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED-TVC	conventional	2000,00					1,90	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED-TVC	conventional	3000,00					1,79	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED-TVC	conventional	20000,00					1,64	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
SD	SOLAR POWERED	0,01					13,22	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
SD	SOLAR POWERED	0,01					10,55	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
SD	SOLAR POWERED	0,80					13,19	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
SD	SOLAR POWERED	1,00					12,66	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
ME-SD	SOLAR POWERED	1,00					52,76	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	PV	1,00					12,72	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	PV	1,00					3,94	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MD	SOLAR	0,10					15,83	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
	POWERED							2010)		
MD	SOLAR POWERED	0,50					18,99	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MD	GT	1,00					137,18	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MSF	SOLAR POWERED	1,00					3,00	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
SD	SOLAR POWERED	5,00					1,85	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
ED		5,00					5,28	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO		10,00					4,22	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	<100					6,60	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MVC	conventional	375,00					3,54	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	250,00					3,39	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	300,00					1,92	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	350,00					1,44	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	500,00					3,10	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	500,00					1,50	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	500,00					1,32	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	500,00					2,71	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional	600,00					3,11	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
	l (diesel generator)							2010)		
MVC	conventional	1000,00					1,59	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MVC	WG	1100,00					2,43	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MVC	conventional	1200,00					3,40	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
VC	conventional	3000,00					0,74	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	10000,00					0,93	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	33500,00					1,53	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MSF	conventional (natural gas)	20000,00					2,13	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
MSF (DUAL PURPOSE)	conventional (natural gas)	20000,00					0,08	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	2000,00					2,35	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	5000,00					1,63	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	10000,00					1,25	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	20000,00					1,10	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional (diesel generator)	50000,00					0,91	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional	95000,00					0,88	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010
RO	conventional	100000,00					0,45	(Gude, Nirmalakhanda, & Deng, 2010)	2010	2010

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
RO	conventional	100000-320000					0,59	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
MED	conventional	91000-320000					0,81	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
MSF	conventional	23000-528000					1,20	(Gude, Nirmalakhandan, & Deng, 2010)	2010	2010
MSF	conventional (cogeneration)	1,00					1,82	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
MSF	SOLAR POWERED /conventional (cogeneration)	1,00					1,8616	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
MSF	SOLAR POWERED	1,00					2,9536	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	conventional (cogeneration)	1,00					1,352	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	SOLAR POWERED /conventional (cogeneration)	1,00					5,928	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	SOLAR POWERED	1,00					12,532	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
SD	SOLAR POWERED						24,752	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
ME-SD	SOLAR POWERED						10,348	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
ME-SD	SOLAR POWERED						8,32	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	conventional	20000,00	SW				0,8008	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	conventional	200000,00	SW				0,6864	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθόν
MED	SOLAR PONDS	20000,00	SW				0,93	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
MED	SOLAR PONDS	200000,00	SW				0,74	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO/MED	SOLAR PONDS	20000,00	SW				0,8216	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO/MED	SOLAR PONDS	200000,00	SW				0,676	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	120,00	SW				8,2992	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	12,00	SW				30,16	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	250,00	BW				7,54	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
ED	PV						11,34	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	WG						5,096	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	WG	250,00	BW				2,76	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
ED	WG	250,00	BW				2,07	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
MVC	WG	8,75					4,69	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
		2,00					3,59	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		6,00					1,52	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		20,00					1,03	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		75,00					0,97	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		100,00					0,80	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		100,00					0,69	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		250,00					0,69	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		500,00					0,69	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
		1000,00					0,69	(Μπελέτης, 2010)	2010	2010
	conventional		BW				0,84	(Μανολάκος, 2012)	2012	2012
	PV		BW				9,80	(Μανολάκος, 2012)	2012	2012
	GT		BW				2,65	(Μανολάκος, 2012)	2012	2012
	conventional		SW				2,02	(Μανολάκος, 2012)	2012	2012

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθόν
	WG		SW				3,97	(Μανωλάκος, 2012)	2012	2012
	PV		SW				8,03	(Μανωλάκος, 2012)	2012	2012
RO		1135,62					0,43	(Ebensperger & Isley, 2005)	2005	1994*
RO		31797,46					0,86	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
RO		37854,12					0,39	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
RO		94635,29					0,30	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MVC		1135,62					0,23	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MVC		1135,62					0,32	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MVC		20062,68					0,67	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MSF		31797,46					0,81	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MSF		37854,12					0,38	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MSF		45424,94					0,45	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MEE		22712,47					0,43	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MEE		31797,46					0,77	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MEE		37854,12					0,43	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
MEE-TVC		22712,47					0,42	(Μανωλάκος, 2012)	2005	1994*
RO-ER	PV	0,35	SW		250		11,69	(Mohamed, Papadakis, Mathioulakis, & Belessiotis, 2008)	2008	2008
RO-ER	PV/battery	0,60	SW		224		11,99	(Mohamed, Papadakis, Mathioulakis, & Belessiotis, 2008)	2008	2008
RO	WG/battery	35,00	SW				0,58	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	WG/PV/battery	35,00	SW				0,62	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	WG/conventional (diesel)/battery	35,00	SW				0,80	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	WG/PV/conventional (diesel)/battery	35,00	SW				0,80	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	WG/conventional	35,00	SW				0,86	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
	tional (diesel)									
RO	WG/PV/conventional (diesel)	35,00	SW				0,89	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	PV	35,00	SW				0,89	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	conventional (diesel)	35,00	SW				1,13	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	PV/battery	35,00	SW				1,14	(Gilau & Small, 2008)	2008	2008
RO	PV/conventional (diesel)	20,00	SW	45000	<500		7,88	(Helal, Al-Malek, & Al-Katheeri, 2008)	2008	2008
RO	conventional (diesel)	20,00	SW	45000	<500		8,35	(Helal, Al-Malek, & Al-Katheeri, 2008)	2008	2008
RO	PV	44,00	SW	45000	<500		8,02	(Helal, Al-Malek, & Al-Katheeri, 2008)	2008	2008
RO	conventional (grid)	1200,00	SW				1,69	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002	2002
VC	conventional (grid)	1200,00	SW				2,9	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002	2002
RO	WG/grid	1200,00	SW				1,34	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002	2002
VC	WG/grid	1200,00	SW				1,84	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002	2002
RO	DISH STIRLING/grid	1200,00	SW				3,31	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002	2002
VC	DISH STIRLING/grid	1200,00	SW				7,58	(Zejli, Bouhelal, Benchrifa, & Bennouna, 2002)	2002	2002
RO-ER (pressure exchanger)	100% PV	12,00	SW	40000	<500		9,25	(Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004)	2004	2004
RO-ER (pressure exchanger)	60% PV + WG	12,00	SW	40000	<500		7,77	(Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind	2004	2004

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
								turbines and photovoltaics, 2004)		
RO-ER (pressure exchanger)	40% PV + WG	12,00	SW	40000	<500		7,27	(Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004)	2004	2004
RO-ER (pressure exchanger)	35% PV + WG	12,00	SW	40000	<500		7,48	(Mohamed & Papadakis, Design, simulation and economic analysis of a stand-alone reverse osmosis desalination unit powered by wind turbines and photovoltaics, 2004)	2004	2004
RO-ER (pressure exchanger)	conventional (grid national)	300,00	SW	42000			2,04	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005
RO-ER (pressure exchanger)	PV50/grid(national)	300,00	SW	42000			2,73	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005
RO-ER (pressure exchanger)	PV200/grid(national)	300,00	SW	42000			3,98	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005
RO-ER (pressure exchanger)	WG275/grid(national)	300,00	SW	42000			2,94	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005
RO-ER (pressure exchanger)	WG275/PV50/grid(national)	300,00	SW	42000			3,51	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005
RO-ER (pressure exchanger)	conventional (DieselGenerator200)/grid(local)	300,00	SW	42000			2,97	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005
RO-ER (pressure exchanger)	PV50/conventional (DieselGenerator200)/grid(local)	300,00	SW	42000			3,22	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005
RO-ER (pressure exchanger)	WG275/conventional (DieselGenerator200)/	300,00	SW	42000			3,33	(Kershman, Rheinländer, Neumann, & Goebel, 2005)	2005	2005

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
	grid(local)									
RO	WG	500,00	SW				2,15	(Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007)	2007	2007
MVC	WG	500,00	SW				2,16	(Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007)	2007	2007
MVC	PV	500,00	SW				5,29	(Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007)	2007	2007
RO	PV	500,00	SW				4,00	(Koroneos, Dompros, & Roumbas, 2007)	2007	2007
RO	WG/grid	1000,00	SW				1,83	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001	2001
RO	WG	1000,00	SW				2,05	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001	2001
VC	WG/grid	1000,00	SW				2,59	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001	2001
VC	WG	1000,00	SW				2,97	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001	2001
RO	PV/grid	1000,00	SW				3,83	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001	2001
RO	PV	1000,00	SW				3,82	(Voivontas, Misirlis, Manoli, Arampatzis, Assimacopoulos, & Zervos, 2001)	2001	2001
ME-SD	SOLAR POWERED	0,02	SW				58,03	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005	2005
RO	PV	0,02	SW				92,85	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005	2005
MD	GT	0,02	SW				150,88	(Bouguecha, Hamrouni, & Dhahbi, 2005)	2005	2005
MSF	PARABOLIC TROUGHES	0,45					8,64	(Qiblawey & Banat, 2008)	2008	2008
MED	SOLAR COLLECTORS	500,00	SW				3,50	(Qiblawey & Banat, 2008)	2008	2008

Τεχνολογία Αφαλάτωσης	Πηγή Ενέργειας	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφod.	Αλατότ. τροφod.νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ.νερού (ppm)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (\$2012/m ³)	Ειδικό Συνολ. Κόστος (\$2012/m ³)	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομ. μεγεθών
MED	SOLAR FIELD	5000,00	SW				2,19	(Qiblawey & Banat, 2008)	2008	2008
MSF	conventional	31822,00	SW				1,37	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003), (Wade, 2001)	2003/2001	2001
MED	conventional	31822,00	SW				1,25	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003), (Wade, 2001)	2003/2001	2001
RO	conventional	31822,00	SW				1,08	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003), (Wade, 2001)	2003/2001	2001
RO-ER (brine booster)	conventional	31822,00	SW				0,99	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003), (Wade, 2001)	2003/2001	2001
MED	conventional (cogeneration)	283875,00	SW				2,90	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003), (Wade, 2001)	2003/2001	2001
MSF							2,12	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007	2007
MED							1,49	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007	2007
VC							2,59	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007	2007
RO							1,68	(Κουκουτσάκης, 2007)	2007	2007

Πράσινα γράμματα: Μέση τιμή εύρους τιμών, Κόκκινα γράμματα: Υπολογισμένη τιμή, *ορίζεται από τη μελέτη

Πίνακας Γ-3. Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh/m³) και Ειδικό Συνολικό Κόστος αφαλάτωσης νερού (\$/m³) πραγματικών μονάδων ανα τον κόσμο

Τεχν. Αφαλ.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
MED	SOLAR COLLECT ORS	80,00	SW					9,86	Abu Dhabi, UAE	1984	(Tzen & Morris, 2003)	2003	2003
RO	WG	60-900	SW			5,33			Syros, Greece	1998	(Assimacopoulos, 2001)	2001	2001
MED	SOLAR COLLECT ORS	80,00	SW					10,84	Umm Al Nar, Abu Dhabi, UAE (1984)	1984	(Tzen E. , 2005)	2005	2005
RO	PV/battery	6,00	BW					14,91	Ceara, Brazil, DEE-UFC, Brazil (2000)	2000	(Tzen E. , 2005)	2005	2005
SD (single effect)	SOLAR COLLECT ORS	1,08	BW					26,30	Hazeg, Sfax, Tunisia	1988	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	3,00	BW	4000				12,06	Magan, Isreal	1997	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	53,00	BW	3500		0,89			El Hamrawien, Egypt	1986	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	5,00	BW	1000				6,50	Heelafar Rahab, Oman	1995	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	0,50	BW	3500		5			White Cliffs, Australia	-	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	0,40	BW	5000		1,86		11,43	Solar flow, Australia	-	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	0,95	BW	3200				10,39	Hassi-Kheba, Algeria	-	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	0,71	BW	3000		6,9			Concepcion del Oro, Mexico	1982	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	1,00	BW	5000		5			Thar desert, India	1986	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	0,55	BW			4,9			Perth, Australia	1989	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	50,00	BW	5700				7,54	Ksar Ghilan, Tunisia	2006	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	1,50	BW	3500		1,38		3,74	Mesquite, Nevada	2003	(Ali, Karaghoul, & Kazmerski, 2010)	2010	2010

Τεχν. Αφαλ.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
RO	PV	40,00	SW			5,5		9,88	Lampedusa, Italy	1990	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	0,64	SW	32000		13			St. Lucie, Florida	1995	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	5,70	SW	35000		10,6			Doha, Qatar	-	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	PV	3,00	SW			5,5		13,51	Canary Islands, ITC, Spain	1998	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
ED	PV	1,00	BW	5000		5			Tanot, Rajasthan, India	1986	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
ED	PV	2,80	BW	1000		0,82		16,63	Spencer Valley, New Mexico (USA)	-	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO	WG	12,00	SW					2,70	CREST, United Kingdom	2004	(Ali, Karaghoulis, & Kazmerski, 2010)	2010	2010
RO								1,53	Bahamas (2003)	2003	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,80	Carlsbad, California (2005)	2005	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								1,13	Dhekelia, Cyprus (1996)	1996	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								1,48	Dhekelia, Cyprus (2003)	2003	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,77	Eilat, Israel (1997)	1997	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,87	Hamma, Algiers (2003)	2003	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,78	Larnaca, Cyprus (2000)	2000	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,88	Larnaca, Cyprus (2003)	2003	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,88	Larnaca, Cyprus (2001)	2001	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010

Τεχν. Αφαλ.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
RO								1,33	Moss Landing, CA (Cal Am) (2005)	2005	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								1,00	Moss Landing, CA (Poseidon Resources) (2005)	2005	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,95	Perth, Australia (2005)	2005	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,48	Singapore (2002)	2002	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,47	Singapore (2003)	2003	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								1,15	Sydney, Australia	-	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,76	Trinidad	-	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO								0,77	Trinidad (2003)	2003	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση – Η λύση στη λειψυδρία, 19 Ιουνίου 2010)	2010	2010
RO	WG	3360,00	SW			4		2,48	Μήλος, Ελλάδα	2007/2008/2009	(Γερασίμου, Ιούνιος 2010)	2010	2010
MED	GT	80,00	SW					<1,48	Milos island, Greece	-	(Τζέν Ε. , Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ, 2010), (Τζέν Ε. , Wind Desalination, 2009)	2010 / 2009	2009
RO	PV/grid	50,00	BW			3,6			Aqaba, Jordan	-	(Τζέν Ε. , PV Membrane Processes, 2009)	2009	2009
MED	SOLAR COLLECT ORS	72,00	SW			67,9		4,05	Almeria, CIEMAT, Spain (1993)	1993	(Τζέν Ε. , Solar Thermal Desalination, 2009)	2009	2009
MVC	WG	50,00	SW			16			Pozo Izquierdo, Gran Canaria ITC, Spain (1999)	1999	(Τζέν Ε. , Wind Desalination, 2009)	2009	2009
MVC	WG	300,00	SW			14,5			Ruegen Island, Germany (1995)	1995	(Τζέν Ε. , Wind Desalination, 2009)	2009	2009
RO		94635,29	SW					0,52	Tampa Bay, Florida	2003	(Ebensperger & Isley, 2005)	2005	2005

Τεχν. Αφαιλ.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
RO-ER (Pelton wheel)		400,00	SW		448	13,93			Oia, Greece	-	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	2003	2003
RO-ER (Turbo charger)		180,00	SW		448	11,62			Oia, Greece	-	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	2003	2003
RO-ER (Pelton wheel, Grundfos)		300,00	SW		288	18,85			Oia, Greece	-	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	2003	2003
RO-ER (PX-60)		500,00	SW		512	7,55			Ios, Greece	-	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	2003	2003
RO-ER (Pelton wheel)		600,00	SW		576	37,12			Ithaki, Greece	-	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	2003	2003
RO-ER (Pelton wheel)		580,00	SW		160	16,21			Syros, Greece	-	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	2003	2003
RO-ER (Pelton wheel)		500,00	SW		275,2	36,33			Mykonos, Greece	-	(Avlonitis, Kouroumbas, & Vlachakis, Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants , 2003)	2003	2003
RO-ER		550,00	SW	41000	best water quality			1,89	Santorini Island, Community of Oia (1995/1998)	1995/1998	(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002	1999
RO-ER		2000,00	SW		poor quality water			1,21	Syros Island, Municipality of Hermoupolis (1989/1993)	1989/1993	(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002	1999
RO-ER	conventional/WG	1200,00	BW					1,03	Mykonos Island, Municipality of Mykonos (1981/1989)	1981/1989	(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002	1999
RO-ER		15000,00	SW					1,49	Malta		(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size	2002	2002

Τεχν. Αφαιλ.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
											RO desalination plants, 2002)		
RO-ER		36000,00	SW					2,04	Canary Islands		(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002	2002
RO-ER		23000,00	SW					0,71	Bahrein		(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002	2002
RO-ER		46000,00	BW	5000				0,34	Florida		(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002	2002
RO-ER		57000,00	SW					0,60	Saudi Arabia		(Avlonitis, Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, 2002)	2002	2002
RO-ER (Pelton)		80300,00	SW	38300	400-501	4,4			Las Palmas III-IV desalination plant (1989), Gran Canaria, Spain	1989	(Sadhwani & Veza, 2008)	2008	2008
RO-ER (Pelton)		33000,00	SW	37500	400	4,4			Sureste desalination plant (1993), Gran Canaria, Spain	1993	(Desalination and energy consumption in Canary Islands) – 2007	2008	2008
RO-ER (pressure exchange chambers)		500,00				3			Club Lanzarote Plant in Playa Blanca, Spain		(Desalination and energy consumption in Canary Islands) – 2007	2008	2008
RO	WG	15,00		35000				12,70	POZO IZQUERO, SPAIN 1999	1999	(Subiela, 2006)	2006	2006
RO	PV/WG/battery	3,12	SW	37700	150,4	16,5		34,47	Lavrio, Greece CRES, Greece (2001)	2001	(Tzen, Theofilloyianakos, & Kologios, 2008)	2008	2008
RO	PV	12,00	SW	32800	470-800			4,38	CREST UK		(Tzen, Theofilloyianakos, & Kologios, 2008)	2008	2008
RO	PV	9,60	SW	35500	1000	5,5		13,49	POZO IZQUIERO, GRAN CANARIA.		(Tzen, Theofilloyianakos, & Kologios, 2008)	2008	2008

Τεχν. Αφαιλ.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
									ITC, SPAIN				
RO	PV	6,00	BW	1200		3		14,99	COITE PEDREIRAS , BRAZIL (2000)	2000	(Tzen, Theofiloyianakos, & Kologios, 2008)	2008	2008
RO		19200,00	SW				1,94		Σύρος 1η (Ερμούπολη)	1992	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		19200,00	SW				1,94		Σύρος 2η (Ερμούπολη)	1997	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00	SW				1,55		Σύρος 3η (Ερμούπολη)	2001	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		6000,00	SW				0,78		Σύρος 4η (Άνω Σύρος)	2000	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00	SW				0,78		Σύρος 5η (Άνω Σύρος)	2002	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		48000,00	SW				1,55		Σύρος 6η (Ερμούπολη)	2002	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		24000,00	SW				0,62		Σύρος 7η (Άνω Σύρος)	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		2400,00	SW				1,09		Σχοινούσα	2004	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		46800,00	SW				0,78		Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		28800,00	SW				0,78		Πάρος (Νάουσα)	2001	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00	SW				0,96		Τήνος (Παλαιά)	2001	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00	SW				0,96		Τήνος (Νέα)	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		5280,00					3,10		Οίας, Σαντορίνης 1η	1994	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		7680,00					3,10		Οίας, Σαντορίνης 2η	2000	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		3840,00					3,10		Οίας, Σαντορίνης 3η	2002	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00	BW				5,43		Σίφνος	2002	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		14400,00	BW				0,47		Ομηρούπολη (Δήμος),	2000	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008

Τεχν. Αφαιλ.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
									Χίου				
RO		72000,00					0,40		Ομηρούπολη ς (Δήμος), Χίου	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00					0,40		Ομηρούπολη ς (Δήμος), Χίου	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		7200,00							Νίσυρος (Παλαιά)	1991	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		8400,00					1,02		Νίσυρος (Νέα)	2002	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO							4,47		Ιθάκη, Κεφαλονιάς 1η	1981	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO							0,90		Ιθάκη, Κεφαλονιάς 2η	2003	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		4800,00					0,20		Λέρου (ΔΕΥΑ)	2001	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO							0,20		Κασσωπαίων , (Δήμος)	2001	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00	SW				0,87		Ποσειδωνίας (Δήμος)	2002	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		24000,00	SW				0,70		Ποσειδωνίας (Δήμος)	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		12000,00					0,47		Αγίου Γεωργίου (Δήμος)	2002	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		7920,00					0,79		Παξών (Δήμος) 1η	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		3600,00	SW				0,92		Παξών (Δήμος) 2η	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		6000,00	SW				0,79		Παξών (Δήμος) 3η	2007	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		9600,00	SW				0,47		Δουσιών (Δήμος)	2006	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		6000,00	SW						Σίφνος (Δήμος)	2007	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		24000,00	SW						1ος (Δήμος)	2003	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		4800,00	SW						Ιθάκη (Δήμος)	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008

Τεχν. Αφαι.	Πηγή Ενέργ.	Δυναμικ. (m ³ /day)	Τύπος νερού τροφοδ.	Αλατότ. τροφοδ. νερού (ppm)	Αλατότ. παραγ. νερού (ppm)	Ειδική Ενεργ. Κατανάλ. (kWh/m ³)	Ειδικό λειτουργ. κόστος (2012 \$/m ³)	Ειδικό συνολικό κόστος (2012 \$/m ³)	Τοποθεσία Μονάδας	Έτος κατασκευής της μονάδας	Πηγή	Έτος Μελέτης	Έτος αναφοράς οικονομικών μεγεθών
RO		12000,00	SW						Οινουσών (Δήμος)	2005	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008
RO		24000,00	SW				0,47		Πόρου (Δήμος)	2006	(Αγγελάκης, 2008), (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2009)	2008, 2009	2008

Πράσινα γράμματα: Μέση τιμή εύρους τιμών, Κόκκινα γράμματα: Υπολογισμένη τιμή