

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ»



ΑΛΑΜΠΑΣΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΠΑΡΔΑΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Δρ. ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην Ελλάδα, αν και ακόμα το πρόβλημα δεν είναι ίδιου μεγέθους με άλλες περιοχές του πλανήτη, οι ενδείξεις δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό στο άμεσο μέλλον να αντιμετωπίσουμε σοβαρό πρόβλημα λειψυδρίας. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άσκοπη χρήση αλλά και στην επαναλαμβανόμενη τα τελευταία χρόνια, μείωση των βροχοπτώσεων. Βέβαια, ήδη, πολλά νησιά της χώρας μας ή είναι άνυδρα ή αντιμετωπίζουν περιόδους λειψυδρίας ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο που έχουμε αύξηση της ζήτησης. Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω και του αυξημένου ενδιαφέροντος, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης, άλλες σε θεωρητικό επίπεδο και άλλες εφαρμόσιμες στην πράξη. Στην παρούσα εργασία θα παρουσιάσουμε τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί και παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα με τον μηχανισμό διαχωρισμού, σε αυτές όπου το μέσο αλλάζει φάση εκμεταλλεόμενο κάποια πηγή θερμότητας και σε αυτές που μέσω μεμβρανών, ύστερα από επιβολή πίεσης, γίνεται ο διαχωρισμός του θαλασσινού νερού από τα άλατα.

Παράλληλα στην εργασία παρουσιάζεται η σχέση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) με τις μονάδες αφαλάτωσης αφού μπορεί να αποτελούν δύο διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες όμως μπορούν να συνεργασθούν. Η συνεργασία τους στηρίζεται στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης με την ενέργεια που παράγουν συστήματα που εκμεταλλεύονται τις ΑΠΕ. Αυτή η ενέργεια μπορεί να είναι θερμική, ηλεκτρική ή μηχανική αναλόγως με τη μέθοδο της αφαλάτωσης και των διαθέσιμων πηγών ενέργειας.

Ευχαριστούμε θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μας Δρ. Θεοδωροπούλου Μαρία, για την πολύτιμη συνεισφορά της στην διεκπεραίωση της εργασίας αυτής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ	5
1.1 Γενικά στοιχεία	5
1.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας σε παγκόσμιο επίπεδο	7
1.3 Αίτια της έλλειψης φρέσκου νερού	9
1.4 Οι επιπτώσεις από την έλλειψη φρέσκου νερού.....	11
1.5 Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	12
1.6 Ερημοποίηση.....	14
1.7 Τρόποι αντιμετώπισης της λειψυδρίας –Το πρόβλημα στον ελληνικό χώρο	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	23
2.1 Τι είναι αφαλάτωση	24
2.2 Η εφαρμογή της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο	25
2.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης.....	26
2.4 Οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας μονάδας αφαλάτωσης.....	27
2.5 Το κόστος του αφαλατωμένου νερού	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	32
3.1 Αφαλάτωση με απόσταξη(Distillation)	32
3.2 Γεωθερμική αφαλάτωση (geothermal desalination).....	39
3.3 Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών (Solar humidification HDH,MEH).....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	44
4.1 Συστήματα αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια.....	46
4.2 Συστήματα αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια.....	48

4.3 Συστήματα αφαλάτωσης με την χρήση της νανοτεχνολογίας.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	54
5.1 Κόστος χρήσης μονάδων αφαλάτωσης.....	57
5.2 Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας.....	61
5.3 Επιπτώσεις στο περιβάλλον	62
5.4 Οφέλη από την χρήση μονάδων αφαλάτωσης.....	65
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

1.1 Γενικά στοιχεία

Οι υδατικοί πόροι αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη κάθε είδους οικονομικής δραστηριότητας και έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες, τόσο για την εκδήλωση της ίδιας της ζωής όσο και για την επιβίωση του ανθρώπου.

Η ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων, η ανάγκη αύξησης της παραγωγικότητας καθώς και η ανύψωση του βιοτικού επιπέδου μιας χώρας δημιουργούν ολοένα και μεγαλύτερη οικιακή και βιομηχανική χρήση.

«Ως υδάτινοι πόροι θεωρούνται όλες οι δυνατές πηγές που μπορούν να παρέχουν νερό για ανθρώπινη χρήση, είτε αυτή είναι για ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, αλιεία, ναυσιπλοΐα κ.ά. Οι υδάτινοι πόροι δηλαδή αποτελούν τα επιφανειακά νερά, ποτάμια, λίμνες, υγρά τοπία, θάλασσες, πάγοι, θερμομεταλλικά νερά (ιαματικά, μεταλλικά κ.ά.) καθώς και τα υπόγεια νερά που είναι 'αποθηκευμένα' στους υπόγειους υδροφόρους». Γενικά στους υδάτινους πόρους περιλαμβάνονται:

- Τα επιφανειακά και υπόγεια νερά χωρίς διάκριση στην ποιότητα, προέλευση και χρήση τους.
- Τα νερά χερσαίων και υποθαλάσσιων πηγών.
- Τα θερμομεταλλικά νερά, όπως ιαματικά, μεταλλικά και αεριούχα.
- Οι επεξεργασμένες εκροές υγρών αποβλήτων και άλλα περιθωριακά νερά που είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν.

Το νερό είναι ένα μοναδικό υγρό απαραίτητο για τη ζωή, με τη μορφή που το αναγνωρίζουμε, πάνω στο πλανήτη μας, που η ποιότητα του και οι φυσικοχημικές του παράμετροι διαμορφώνουν το περιβάλλον των οικοσυστημάτων.



Εικόνα 1: Ο υδρολογικός κύκλος

Πιο συγκεκριμένα, λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης τα νερά της εξατμίζονται και μαζεύονται ως υδρατμοί δημιουργώντας τα σύννεφα. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και στη συνέχεια πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές νετού, εμπλουτίζοντας έτσι τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι αυτές επιφανειακές, όπως οι θάλασσες και οι λίμνες, είτε είναι υπόγειες.

Ο κύκλος του νερού αποτελεί αντικείμενο του επιστημονικού κλάδου της υδρολογίας για ότι συμβαίνει ή παρατηρείται στο έδαφος και της Μετεωρολογίας για ότι συμβαίνει εξ αυτού στην ατμόσφαιρα.

Ειδικότερα στη Μετεωρολογία ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί το σπουδαιότερο καιρικό φαινόμενο ως σύνολο επιμέρους φαινομένων. Αυτός ρυθμίζει την υγρασία του εδάφους, τη λαμπρότητα της ημέρας, και τέλος τη συχνότητα και ένταση των υδρομετεώρων, εκτός του γιγάντιου κείνου έργου της μεταφοράς ενέργειας από τα μικρά στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

Η γνώση, ότι για να ζήσει κάθε οργανισμός, πρέπει να έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτείται με νερό, είναι τόσο έντονη και βαθιά, που καθένας γνωρίζει θαυμάσια το περιεχόμενο της νιώθοντάς τη με τέτοια διαίσθηση, όπως ο ίδιος οργανισμός γνωρίζει τι είναι οξυγόνο και τι αναπνοή. Δεν είναι σύμπτωση ότι περιοχές με πλούσια βλάστηση, δάση, καλλιέργειες, λιβάδια κ.λ.π. παρατηρούνται εκεί όπου υπάρχει άφθονο νερό. Γενικά, κάθε δραστηριότητα της φύσης οδηγείται από την έντονη παρουσία του νερού.

Αντιστρόφως, οι έρημοι και οι άγονες περιοχές που τις χαρακτηρίζει η σπάνια η ύπαρξη νερού, διακρίνονται από την έλλειψη κάθε τεχνικής ανάπτυξης πολιτισμού. Αυτά ακριβώς τα φαινόμενα συνδέονται αλληλένδετα μεταξύ τους. Εξάλλου, η ανάπτυξη πολιτισμών ακολούθησε πάντα την ευημερία που

προήλθε από την παρουσία ανθρώπινων δραστηριοτήτων πλάι σ' αυτές τις δραστηριότητες της φύσης.

Εκεί όπου η φυσική ανάπτυξη ήταν προϊόν κάποιας όμορφης κοιλάδας, ποταμών, λιμνών κλπ., είναι ένα αδιάστατο είδος ύπαρξης που αυτό θα σημαίνει πάντα και θα τονίζει τη βίωση, την άνθιση και την ανάπτυξη ενός τεχνικού πολιτισμού πάνω στη γη. (Αλεξιάκης, 1993)

Οι οργανισμοί της γης αποτελούνται κυρίως από νερό. Ένα δέντρο περιέχει περίπου 60% νερό, τα περισσότερα ζώα αποτελούνται από περίπου 65% νερό, ενώ στον ανθρώπινο πληθυσμό οι γυναίκες διαθέτουν περίπου 50% νερό και οι άνδρες 60%. Κάθε ένας από εμάς χρειάζεται περίπου οκτώ ή περισσότερα φλιτζάνια νερό την ημέρα για να επιβιώσει και τεράστιες ποσότητες νερού είναι απαραίτητες για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες μας σε τροφή, στέγη και λοιπές επιθυμίες. Το γλυκό νερό είναι ζωτικός πόρος για τις αγροκαλλιέργειες, τις κατασκευές, τη μεταφορά και άλλες πολυάριθμες ανθρώπινες δραστηριότητες.

Σε πολλές περιοχές όπου η έλλειψη τροφίμων απειλεί την ανθρώπινη επιβίωση, είναι η έλλειψη νερού που περιορίζει την παραγωγή τροφίμων. Το νερό επίσης παίζει βασικό ρόλο στη διαμόρφωση της επιφάνειας του πλανήτη, στις μεταβολές του κλίματος και στη διάλυση των ρυπογόνων ουσιών. Στην πραγματικότητα χωρίς το νερό η ζωή δεν θα υπήρχε, τουλάχιστον με τη μορφή που τη γνωρίζουμε.

1.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας σε παγκόσμιο επίπεδο

Αναμφίβολα, το νερό αποτελεί το πιο βασικό συστατικό της ζωής του πλανήτη, αλλά και την κινητήρια δύναμη για την ανθρώπινη εξέλιξη. Είναι γνωστό ότι η επιφάνεια της γης καλύπτεται από τεράστιες ποσότητες νερού από τις οποίες δυστυχώς μόνο το 3% θεωρείται πόσιμο ή γλυκό νερό ενώ το υπόλοιπο 97% αποτελεί το νερό των θαλασσών και των ωκεανών, όπως αναφέρει ο Αλεξιάκης, (1993).

Η γενική βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, κυρίως όμως η εκρηκτική πληθυσμιακή αύξηση των μεγάλων αστικών κέντρων, έχει επιφέρει δυσανάλογη αύξηση της ζήτησης νερού και εξ' ίσου δυσανάλογη σπατάλη. Έτσι, παρατηρείται σταδιακή εξάντληση των πηγών τροφοδότησης νερού μεγάλων περιοχών του πλανήτη. Η ραγδαία όμως αύξηση του πληθυσμού έχει και έναν άλλο σημαντικό και εξ' ίσου θλιβερό αποτέλεσμα: τη ραγδαία αύξηση της μόλυνσης και ρύπανση όλων σχεδόν των υδάτινων αποθεμάτων. Αυτή η ρύπανση προέρχεται τόσο από τα λύματα οικιακής χρήσης όσο και από τα βιομηχανικά απόβλητα και την αλόγιστη χρήση των φυτοφαρμάκων, των ζιζανιοκτόνων και των χημικών λιπασμάτων.

Στον πλανήτη μας υπάρχουν τεράστιες άγονες περιοχές όπου οι κλιματολογικές συνθήκες προσφέρουν ελάχιστη έως μηδενική βροχόπτωση και όπου η έλλειψη νερού είναι σχεδόν απόλυτη. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζουν και πολλές παράκτιες περιοχές όπου η έλλειψη πόσιμου νερού, έστω και υφάλμυρου, είναι του ίδιου επιπέδου όπως στις ηπειρωτικές ερήμους. Υπολογίζεται ότι σε όλη τη γη υπάρχουν περίπου 33.000 km άγονες ακτές, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων βρίσκεται στον Ινδικό Ωκεανό, στην Αραβική χερσόνησο και κατά μήκος των Αφρικανικών ακτών. Για παρόμοιες περιοχές και εφ' όσον δεν έχει βρεθεί άλλη, οικονομικότερη συμβατική λύση, το μόνο μέσο παροχής νερού είναι η αφαλάτωση, στο βαθμό βεβαίως που το επιτρέπουν οι τοπικές οικονομικές συνθήκες. Από την άποψη αυτή, μια κρίσιμη παράμετρος είναι η διαθεσιμότητα και η επάρκεια των αναγκαίων ενεργειακών πόρων, δεδομένου ότι η αφαλάτωση είναι εν γένει μια εξαιρετικά ενεργοβόρος διεργασία.

Η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής και διαρκώς μειώνεται. Κυριότερες αιτίες αυτής της κατάστασης είναι:

- Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης
- Η μετανάστευση μεγάλου μέρους του πληθυσμού στις αστικές περιοχές
- Η μαζική κατανάλωση
- Η κατάχρηση των φυσικών πόρων
- Η μόλυνση του νερού



Εικόνα 2: Ξηρασία

Για αυτό το λόγο, το νερό αποτελεί στρατηγικής σημασίας αγαθό σε όλη την υφήλιο και αιτία για πολλές πολιτικές διενέξεις. Πολλοί έχουν προβλέψει ότι το καθαρό νερό θα γίνει το πετρέλαιο του μέλλοντος καθιστώντας χώρες με πλεονάζοντα αποθέματα νερού τις πιο πλούσιες χώρες του πλανήτη. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%. Ακόμα, το 40% από τους ανθρώπους που ζουν στη γη δεν έχουν επαρκές νερό ακόμα και για υποτυπώδη υγιεινή. Περισσότεροι από 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι πέθαναν το 2000 από

ασθένειες που σχετίζονται με την κατανάλωση μολυσμένου νερού ή με ξηρασία.

Το 2004, σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τη φιλανθρωπική οργάνωση WaterAid αναφέρεται ότι στη Βρετανία ένα παιδί πεθαίνει κάθε 15 δευτερόλεπτα από ασθένειες που σχετίζονται με το νερό.

Συνοπτικά, κάποιες επιπτώσεις της έντονης λειψυδρίας στον πληθυσμό είναι:

- 1 Αύξηση ασθενειών και θανάτων
- 2 Μείωση παραγωγής αγαθών
- 3 Μείωση βιοποικιλότητας
- 4 Διατάραξη της λειτουργίας του οικοσυστήματος
- 5 Μετανάστευση πληθυσμών
- 6 Ερημοποίηση περιοχών
- 7 Φτώχεια

Όπως είναι αντιληπτό, η διαχείριση του προβλήματος αποτελεί υψηλής σημασίας θέμα για την ανθρωπότητα και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί καταλλήλως για την αποφυγή μη αντιστρεπτών καταστάσεων.

1.3 Αίτια της έλλειψης φρέσκου νερού

Ας μην ξεχνάμε ότι το νερό δεν είναι μόνο απαραίτητο για τη συντήρηση της ίδιας της ζωής αλλά είναι και πρωταρχικής σημασίας για ένα μεγάλο πλήθος εξόχως σημαντικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου, ξεκινώντας από τη γεωργία και φθάνοντας στη βιομηχανική ανάπτυξη, στον τουρισμό και στην παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση λοιπόν του πληθυσμού της Γης, η αλλαγή των συνηθειών διαβίωσης και η τεχνολογική ανάπτυξη, σε συνδυασμό με την παραδοχή της έστω σταθερής στον χρόνο, αν όχι φθίνουσας εν τέλει, διαθέσιμης ποσότητας νερού, δημιουργούν δύο αντιφατικές τάσεις: συνεχή μείωση των κατά κεφαλήν διαθέσιμων υδατικών πόρων, από τη μία, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού, και διαρκή αύξηση των κατά κεφαλήν απαιτήσεων, από την άλλη, αποτέλεσμα της αλλαγής των συνθηκών διαβίωσης, της εντατικοποίησης των ρυθμών της ανάπτυξης αλλά και της εφαρμογής σύγχρονων υδροβόρων τεχνολογικών μέσων και μεθόδων.

Η επέκταση και η εντατικοποίηση των αρδεύσεων στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, με την εισαγωγή των σύγχρονων υδροβόρων καλλιεργειών και την εφαρμογή σπάταλων σε νερό αρδευτικών μεθόδων στον αγροτικό τομέα, που είναι και ο μεγαλύτερος χρήστης με συμμετοχή 85% στην ετήσια κατανάλωση νερού στη χώρα μας, καθώς και οι αυξημένες σε νερό απαιτήσεις επεξεργασίας

των προϊόντων στον βιομηχανικό τομέα, ο οποίος αν και δεν συμμετέχει σημαντικά στην κατανάλωση εν τούτοις συμβάλλει καθοριστικά στη ρύπανση του νερού (μήπως η ρύπανση δεν είναι κι αυτή μια μορφή υποβάθμισης και άρα καταστροφής των υδατικών αποθεμάτων;), επαληθεύουν τη μεγάλη αλλαγή που έχει επιτελεσθεί τα τελευταία χρόνια. Καθώς ο 20ός αιώνας τελειώνει, εκτιμάται ότι οι απαιτήσεις σε νερό έχουν κατά μέσον όρο περίπου δεκαπλασιαστεί κατά τη διάρκειά του, γεγονός που σημαίνει ότι η αύξηση της ζήτησης του νερού ήταν κατά μέσον όρο τρεις φορές πιο γρήγορη από την αντίστοιχη αύξηση του πληθυσμού.



Εικόνα 3: Ελάττωση ποσότητας νερού με την πάροδο των χρόνων

Η έννοια της λειψυδρίας

Το πρόβλημα του νερού δεν είναι αποτέλεσμα φυσικών όσο ανθρωπογενών αιτιών, αν μπορούμε να κάνουμε μια τέτοια διάκριση. Η διάκριση έχει νόημα, γιατί σηματοδοτεί την κατεύθυνση προς την οποία θα αναζητηθούν οι λύσεις. Θα πρέπει κατ' αρχάς να γίνει σαφές ότι λειψυδρία δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι δεν υπάρχει νερό αλλά ότι τα διαθέσιμα αποθέματα δεν αρκούν για την κάλυψη των αναγκών. Το πρόβλημα του νερού έχει δύο διακριτές και ανεξάρτητες μεταξύ τους διαστάσεις: τη διάσταση της φυσικής προσφοράς, που παραπέμπει στον υδρολογικό κύκλο και στις διάφορες μορφές εμφάνισης του νερού στη Γη, και τη διάσταση της ζήτησης, που παραπέμπει στις οικονομικές, στις τεχνολογικές και στις κοινωνικές παραμέτρους του προβλήματος.

Για να επιτευχθεί επομένως ο στόχος της επάρκειας των υδατικών αποθεμάτων και συνεπώς να αποφευχθεί ο κίνδυνος της λειψυδρίας, απαιτείται η επίτευξη ισορροπίας στο ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης του νερού.

Θα έλεγε λοιπόν κανείς ότι το πρόβλημα της διατάραξης του ισοζυγίου οφείλεται σε συνδυασμό φυσικών και ανθρωπογενών αιτιών. Εκείνο που έχει σημασία πάντως περισσότερο και από τον επιμερισμό των ευθυνών είναι ότι ο άνθρωπος συμμετέχει καθοριστικά στη δημιουργία του προβλήματος, ως ο μόνος υπεύθυνος στη διαμόρφωση του δεύτερου σκέλους του ισοζυγίου, γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί και να συμβάλει δραστικά στην αντιμετώπισή του.

1.4 Οι επιπτώσεις από την έλλειψη φρέσκου νερού

Ποικίλες είναι οι επιπτώσεις από την έλλειψη νερού για τους ανθρώπους όλου του κόσμου. Η ξηρασία είναι φυσικό επακόλουθο της απουσίας νερού από το έδαφος για πολύ μεγάλο διάστημα. Το γεγονός αυτό υποβαθμίζει τη βλάστηση και αποκαλύπτει το εδαφικό υλικό, το οποίο είναι ευάλωτο στις πρώτες βροχές Έτσι παρουσιάζεται το φαινόμενο διάβρωσης του εδάφους και ακολουθούν κατολισθήσεις, που απειλούν άμεσα την ανθρώπινη ακεραιότητα. Επιπλέον προσφέρεται πρόσφορο έδαφος στις πυρκαγιές που εξαπλώνονται πολύ εύκολα και ραγδαία σε ένα περιβάλλον, που χαρακτηρίζεται από έλλειψη υγρασίας.

Η δυσκολία εξασφάλισης νερού άρδευσης επηρεάζει καθοριστικά και ποικιλοτρόπως τον αγροτικό τομέα. Τόσο οι μεταβολές του κλίματος, όσο και αυτές στη γεωμορφολογία-υδρολογία θα επηρεάσουν σημαντικότερα την απόδοση καλλιεργειών και κτηνοτροφικών μονάδων. Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει επιφέρει, ήδη, μείωση κατά 25% στη συγκομιδή σιτηρών, βαμβακιού, ζαχαρότευτλων, πατάτας κ.α. στην Ευρώπη. Πρώτα απ' όλα, από τη μεριά των παραγωγών, το κόστος παραγωγής αυξάνεται, καθιστώντας έτσι το επάγγελμα του αγρότη πολύ δύσκολο. Γι' αυτό και πολλοί το εγκαταλείπουν, αφού καθίσταται ασύμφορο.

Επιπτώσεις από την έλλειψη νερού παρατηρούνται και στους κτηνοτρόφους. Η απουσία φυτικών προϊόντων καθιστά αδύνατον να θρέψουν τα ζώα τους και η τροφή από χημικά παρασκευάσματα δεν αποτελεί εναλλακτική λύση, αφού τα αγροτικά προϊόντα πρωτογενούς παραγωγής αποτελούν τις βασικές πρώτες ύλες.

Οι σοβαρές, αυτές οικονομικές επιπτώσεις στον αγροτικό πληθυσμό έχουν ως αποτέλεσμα τη διατάραξη των κοινωνικών δομών, με την εξαφάνιση επαγγελματιών, ασχολιών, τάξεων αλλά και της κύριας πρωτογενούς παραγωγής.

1.5 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, χώρα μικρή σε έκταση, με έντονα ιδιόμορφη όμως γεωμορφολογική διάρθρωση λόγω του έντονου ανάγλυφου της και με μεγάλο ανάπτυγμα ακτών, περιλαμβάνει μικρές λεκάνες απορροής που απαιτούν διαφορετική διαχειριστική πολιτική. Με το Ν. 1739/87 θεσμοθετήθηκε η διαίρεση της χώρας σε 14 υδατικά διαμερίσματα (Υπ. Αν., 1997), για λόγους οργανωτικούς και διοικητικούς, η πολυδιάσπαση όμως των αρμοδιοτήτων, των σχετικών με τους υδατικούς πόρους φορέων και η αδυναμία συντονισμού δράσης των φορέων αυτών λόγω των ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων στη χρήση νερού, συντηρεί ένα καθεστώς έλλειψης συντονισμού στον τομέα της διαχείρισης (Υπ. Αν., Ν1739/1987, Υπ. Αν, Ν2503/1997, Υπ. Αν, Π.Δ. 60/1998, Νόμος 3199/2003).

Ειδικότερα, τα σημαντικότερα προβλήματα που μπορεί κανείς να επισημάνει σχετικά με την κατάσταση στην Ελλάδα είναι (Μιμίκου & Φωτόπουλος, 2004) :

- Η δυσκολία και η έλλειψη συστηματικής και αξιόπιστης καταγραφής και αξιολόγησης των φυσικών και τεχνητών υδατικών συστημάτων από ποσοτική και ποιοτική άποψη, καθώς και η έλλειψη επαρκών μετρήσεων υδρολογικών, μετεωρολογικών, υδρογεωλογικών και ποιοτικών παραμέτρων.
- Η έλλειψη ορθολογικά οργανωμένου εθνικού δικτύου συλλογής πληροφοριών των φυσικών δεδομένων και ενιαίας βάσης για την καταχώρηση τους, με αποτέλεσμα την ατελή γνώση των διαφόρων συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου, παρά το μεγάλο αριθμό φορέων που ασχολούνται με τις μετρήσεις και τον σημαντικό αριθμό των σχετικών σταθμών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί η Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας, (ΕΤΥΜΠ), (Μιμίκου, 2000) η οποία αποτέλεσε μεν ένα σημαντικό βήμα προς αυτή τη κατεύθυνση, η καθυστέρηση όμως της επικαιροποίησης της με τα στοιχεία των τελευταίων ετών και η καθυστέρηση της επιχειρησιακής της λειτουργίας συντηρεί την κατάσταση της μη οργάνωσης στον τομέα των υδατικών πόρων.
- Η έλλειψη και δυσκολία οριοθέτησης, στο μέτρο του δυνατού, ανεξάρτητων υδρογεωλογικών λεκανών ανά υδατικό διαμέρισμα.
- Η αλληλεπίδραση των παράκτιων υδάτων εξαιτίας παραπλήσιων ρεμάτων ή ποταμών που απορρέουν στη θάλασσα.

- Η δυσκολία και η έλλειψη καταγραφής των υφιστάμενων χρήσεων και μέτρησης των ποσοτήτων νερού που χρησιμοποιείται για κάθε χρήση.
- Η δυσκολία συντονισμού μεταξύ των αρμόδιων φορέων σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο, όσον αφορά σε μελέτες και έρευνες υποδομής σχετικές με τους υδατικούς πόρους.
- Η ευκαιριακή και ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση μεμονωμένων υδατικών πόρων από παραπάνω τον ενός υδατικού διαμερίσματος, χωρίς εμπειριστατωμένη γνώση των δυνατοτήτων τον που οδηγεί στην βαθμιαία ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση του. Η χαλαρή σύνδεση και εναρμόνιση των υφιστάμενων προγραμμάτων ανάπτυξης με τις ανάγκες διαχείρισης νερού, από άποψη ποσότητας και ποιότητας.
- Η δυσκολία πραγματοποίησης μακροχρόνιων προβλέψεων μεγεθών ή τάσεων υδρολογικών, πληθυσμιακών, οικονομικών, τομέων παραγωγής κλπ, στα πλαίσια τον αναπτυξιακού προγραμματισμού, που να επιτρέπουν αντίστοιχες προβλέψεις σε έργα αξιοποίησης.
- Η δυσκολία ή και ανυπαρξία ολιστικής αντιμετώπισης των προβλημάτων σχεδιασμού και διαχείρισης των υδατικών πόρων.
- Η ανυπαρξία μηχανισμού μεταφοράς και ενοποίησης των κατά υδατικό διαμέρισμα στόχων και πολιτικών σε ευρύτερες μονάδες χώρου (upscaling) για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή συνδυασμένης οικονομικής ανάπτυξης.
- Η καθυστέρηση κάλυψης υποχρεώσεων που απορρέουν από την εφαρμογή κοινοτικών οδηγιών.
- Η ανάγκη εξασφάλισης ορθολογιστικής διαχείρισης των διασυνοριακών υδάτων και την από κοινού χρήση αυτών με βάση τις υδατικές ανάγκες των εμπλεκόμενων χωρών.
- Η έλλειψη ενιαίου Διαχειριστικού Φορέα στον τομέα νερού.

Στην Ελλάδα, αν και ακόμα το πρόβλημα δεν είναι ίδιου μεγέθους με άλλες περιοχές του πλανήτη, οι ενδείξεις δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό στο άμεσο μέλλον να αντιμετωπίσουμε σοβαρό πρόβλημα λειψυδρίας. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άσκοπη χρήση αλλά και στην επαναλαμβανόμενη τα τελευταία χρόνια μείωση των βροχοπτώσεων.

Βέβαια, ήδη, πολλά νησιά της χώρας μας ή είναι άνυδρα ή αντιμετωπίζουν περιόδους λειψυδρίας ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο που έχουμε αύξηση

της ζήτησης. Αποτελέσματα αυτής της κατάστασης είναι η ύφεση της εξέλιξης της ζωής σε αυτά τα νησιά, η μείωση του μόνιμου πληθυσμού τους, αλλά και η μείωση του τουρισμού που επηρεάζει όχι μόνο την οικονομία των νησιών αλλά και ολόκληρης της χώρας.

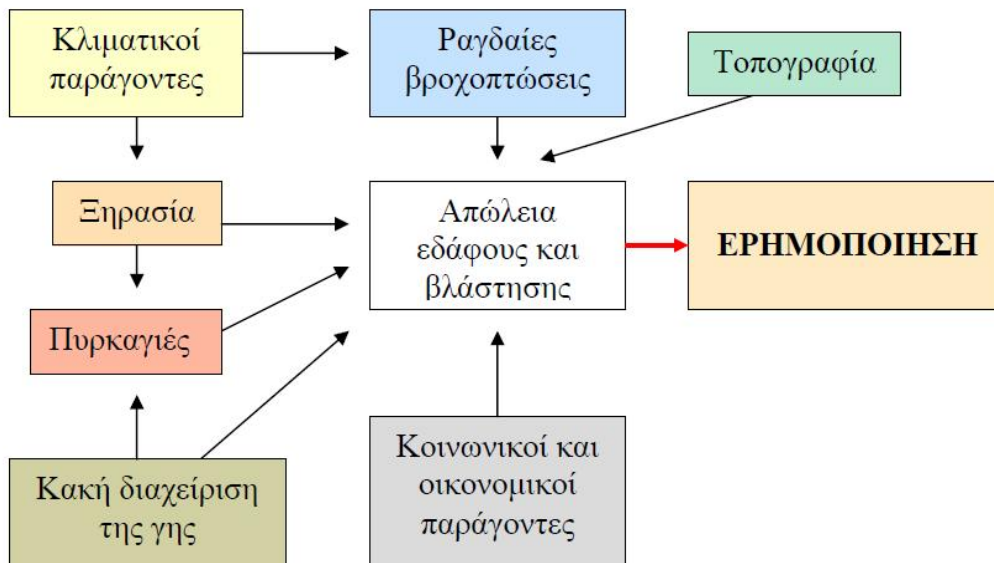
Περίπου σε 20 νησιά των Κυκλάδων και της Δωδεκανήσου αναμένεται αύξηση των ελλειμμάτων νερού από 25-40% στα επόμενα χρόνια, ενώ συνολικά παρά τη μεταφορά περίπου 6.000.000 m³ την τελευταία οκταετία, το πρόβλημα οξύνεται αφού συνολικά το ετήσιο υδατικό έλλειμμα στις Κυκλάδες (σε 20 χρόνια) υπολογίζεται γύρω στα 1.300.000 m³ και στα Δωδεκάνησα 1.600.000 m³ εφόσον δεν υπάρξει μέριμνα για μείωση του ελλείμματος με κατασκευή έργων ή λήψη διαχειριστικών μέτρων.

1.6 Ερημοποίηση

Ερημοποίηση σημαίνει υποβάθμιση των γαιών, εξάντληση της παραγωγικότητας των εδαφών, μείωση των διαθέσιμων υδατικών πόρων, καθώς και ποιοτική υποβάθμιση αυτών.

Στην ερημοποίηση το έδαφος υποβαθμίζεται έντονα και αδυνατεί πλέον να επιτελέσει τις λειτουργίες του. Το φαινόμενο αρχίζει να εξαπλώνεται σταδιακά και σε ορισμένες περιοχές να επιταχύνεται, κυρίως λόγω της βιομηχανοποίησης των αγροτικών εκμεταλλεύσεων και της υπερκατανάλωσης του ύδατος. Η ερημοποίηση δεν αποτελεί μόνο πρόβλημα των φτωχών και αναπτυσσόμενων χωρών (Αφρική, Ασία, Λατινική Αμερική και Καραϊβική), αλλά και των αναπτυγμένων χωρών (Βόρεια Αμερική, Βόρεια Μεσόγειος). Σύμφωνα με τον ΟΗΕ, περισσότερο από 250 εκατομμύρια άνθρωποι επηρεάζονται άμεσα από την ερημοποίηση, ενώ πάνω από ένα δισεκατομμύριο άλλοι απειλούνται έμμεσα και κινδυνεύουν να έρθουν αντιμέτωποι με το φαινόμενο στο κοντινό μέλλον. Η ερημοποίηση προκαλεί όχι μόνο διατροφικές ελλείψεις, αλλά και πολλαπλασιασμό των προβλημάτων υγείας στους πληγέντες πληθυσμούς, ενώ μπορεί να προκαλέσει μετατοπίσεις ολόκληρων πληθυσμών και να μετατρέψει εκατομμύρια ανθρώπους σε περιβαλλοντικούς πρόσφυγες.

Η Σύμβαση για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης αποδέχεται τον ορισμό της ερημοποίησης, όπως αυτός συμφωνήθηκε στην Παγκόσμια Συνάντηση Κορυφής του Ρίο το 1992, ως εξής: «Η ερημοποίηση είναι η υποβάθμιση της Γης στις άνυδρες, ημι-άνυδρες και ημι-υγρές περιοχές του πλανήτη, όπου σταθερά οικοσυστήματα υποβαθμίζονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες μέσω της διάβρωσης, της αποψίλωσης των δασικών εκτάσεων, της υπερβόσκησης.



Πηγή: *International Conference on Mediterranean desertification: Research results and policy implications (Report EUR 17782 EN)*

Διάγραμμα 1: Ερημοποίηση

Όσον αφορά την υποβάθμιση του εδάφους, ο ορισμός που δόθηκε από τη Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης είναι: «η απώλεια βιολογικής ή οικονομικής παραγωγικότητας αλλά και ποικιλομορφίας των γεωργικών περιοχών, λιβαδιών και δασών, η οποία προκύπτει από διαφορετικές χρήσεις γης ή διαδικασίες συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που προέρχονται από ανθρώπινες δραστηριότητες. Στις διαδικασίες αυτές συμπεριλαμβάνονται παράγοντες όπως, η διάβρωση του εδάφους, η υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους και η μακροχρόνια απώλεια της φυσικής βλάστησης».

Οι παράγοντες που συντελούν στην υποβάθμιση του εδάφους είναι συνοπτικά οι ακόλουθοι:

α) Εδαφική διάβρωση. Η διάβρωση του εδάφους είναι μια από τις βασικές φυσικές διεργασίες της υποβάθμισης του εδάφους, που σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις και τις διαβρωτικές επιπτώσεις του νερού στο έδαφος. Πρόκειται για την απώλεια επιφανειακού χώματος λόγω της κίνησης του νερού που το συμπαρασύρει. Αυτό σημαίνει ότι η απώλεια του επιφανειακού χώματος, το οποίο είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, φτωχαίνει το έδαφος. Ο ρυθμός της εδαφικής διάβρωσης έχει επιταχυνθεί σημαντικά από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως από τις πιέσεις της εντατικής άρσης της καλλιεργούμενης γης.

β) Αλατοποίηση του εδάφους. Πρόκειται για τη συσσώρευση φυσικών και τεχνητών αλάτων στο έδαφος. Γενικότερα, όσο πιο πολλά άλατα περιέχει το έδαφος, τόσο περιορίζεται η ικανότητά του να υποστηρίξει βλάστηση.

γ) Πυρκαγιές. Οι περιοχές που έχουν υποστεί πυρκαγιά είναι επιρρεπείς στη διάβρωση και εμφανίζουν υψηλό κίνδυνο εδαφικής υποβάθμισης. Η αλόγιστη ανθρώπινη δραστηριότητα θεωρείται κατεξοχήν αποσταθεροποιητικός παράγοντας για την αναβίωση των καμένων εκτάσεων και θεωρείται υπεύθυνη για τη μείωση των δασικών εκτάσεων και την αύξηση των δασικών πυρκαγιών.

δ) Υποβάθμιση της βλάστησης. Πρόκειται για «τη μόνιμη ή προσωρινή αλλοίωση της πυκνότητας, της δομής, της σύνθεσης ή της παραγωγικότητας της φυτοκάλυψης». Η δυναμική της βλάστησης επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, τις συνθήκες του εδάφους και τις γεωργικές πρακτικές. Έτσι, η υπερεκμετάλλευση του εδάφους και μη ορθές πρακτικές διαχείρισής του προκαλούν υποβάθμιση της φυσικής βλάστησης και τείνουν να ενισχύουν τον κίνδυνο της εδαφικής υποβάθμισης.

ε) Απώλεια παραγωγικότητας/ βιοποικιλότητας. Η απώλεια της αγροτικής παραγωγικότητας οδηγεί στη μείωση της φυτοκάλυψης και κατ' επέκταση στη μείωση του αγροτικού εισοδήματος. Οι καλλιέργειες και η κτηνοτροφία μπορεί να μην βρίσκονται σε αρμονία με την υπάρχουσα φυσική βλάστηση, με αποτέλεσμα η φυτοκάλυψη και η αγροτική παραγωγή να βρίσκονται υπό συνεχή πίεση. Η μειωμένη παραγωγικότητα μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στη χρήση της γης, γεγονός που θεωρείται από τους βασικούς παράγοντες της υποβάθμισης του εδάφους.

Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο χάνεται σημαντική ποσότητα επιφανειακού εδάφους σε ολόκληρο τον πλανήτη λόγω της υποβάθμισης της ποιότητάς του, που οφείλεται τόσο στις φυσικές διεργασίες που περιγράφηκαν, όσο και σε ανθρωπογενείς αιτίες, κυρίως σε λανθασμένες αγροτικές πρακτικές, αποψίλωση και υπερβόσκηση.

1.7 Τρόποι αντιμετώπισης της λειψυδρίας –Το πρόβλημα στον ελληνικό χώρο .

Παρά το γεγονός ότι παρατηρείται αφθονία του νερού στη φύση, υπάρχουν πολλά προβλήματα σε σχέση με τη διαχείρισή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι ετήσιες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις στην Κρήτη προσφέρουν ποσότητες νερού τετραπλάσιες από τις απαιτούμενες, ωστόσο το μεγαλύτερο

μέρος χάνεται γιατί δεν υπάρχουν έργα να το συγκρατήσουν. Άλλο παράδειγμα αποτελεί η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης που, ενώ διαθέτει πλούσιους υδατικούς πόρους, αντιμετωπίζει προβλήματα με τα αποθέματά της.

Η αφθονία του νερού στη φύση δεν συνεπάγεται ότι όλες οι περιοχές θα έχουν άφθονα υδατικά αποθέματα. Ούτε συνεπάγεται ότι είναι εξασφαλισμένη η απαιτούμενη παροχή νερού για να καλύψουν οι ανθρώπινες κοινωνίες, όπως τα μεγάλα αστικά κέντρα, τις ανάγκες τους. Η κακή διαχείριση, εκτός από την έλλειψη προγραμματισμού και την υλοποίηση κατάλληλων έργων, έχει να κάνει με την εντατικοποίηση των αρδευτικών καλλιεργειών στη γεωργία και τις αποστραγγίσεις υδροτόπων, με τη ρύπανση των λιμνών, των ποταμιών και των υπόγειων υδάτων και με την καθημερινή σπατάλη στην οικιακή χρήση.

Η έλλειψη νερού είναι πιθανό να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα για την κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική ανάπτυξη, για το λόγο αυτό πρέπει να υιοθετηθεί η αειφόρος διαχείριση των υδατικών πόρων. Το ζητούμενο σήμερα είναι να ληφθούν μακροπρόθεσμα μέτρα αντιμετώπισης της λειψυδρίας και όχι να γίνονται ενέργειες διαχείρισης κρίσης.

Η εκμετάλλευση των υδατικών πόρων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις αρχές της αειφορίας, να βασίζεται δηλαδή στο ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης σε επίπεδο λεκάνης απορροής ή υδατικού διαμερίσματος. Η αειφόρος διαχείριση έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της επέμβασης του ανθρώπου στο περιβάλλον, μέχρι το όριο της φέρουσας ικανότητας, δηλαδή τόσο όσο έχει τη δυνατότητα να διατηρείται σε καλή κατάσταση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το να αναγνωρίσουν οι καταναλωτές τις επιβαλλόμενες και τεχνητά δημιουργούμενες ανάγκες τους και να τις μειώσουν, αφού προηγουμένως προβληματιστούν για την καταναλωτική τους συμπεριφορά και τις συνέπειές της στους υδάτινους πόρους και στο περιβάλλον γενικότερα.

Πώς και πότε θα γίνει η πλήρης εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας για την πολιτική των υδάτινων πόρων; Πώς θα αντιμετωπισθούν τα μεγάλα προβλήματα λειψυδρίας, της εναρμόνισης, της υφαλμύρωσης, της υποβάθμισης της ποιότητας; Πώς αντιμετωπίζεται το πρόβλημα των υδάτινων πόρων από την πλευρά της αριστερής οικολογικής σκέψης; Η διεθνής πρακτική δείχνει ότι τα προβλήματα παραγωγής, κατανάλωσης – χρήσης και γενικότερα διαχείρισης των υδάτινων πόρων, παρουσιάζουν αυξημένη πολυπλοκότητα και πολυπλοκότητα, απαιτούν τεχνικές γνώσης υψηλού επιπέδου, αυξημένο κόστος και πρέπει να προγραμματίζονται σε μακροπρόθεσμη βάση, με βάση την τεχνογνωσία που υπάρχει. Οι ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή επιδρούν σε πολλές περιπτώσεις απαγορευτικά στην μεταφορά σχετικής έρευνας και τεχνολογίας. Γι' αυτό και τα προβλήματα των υδάτινων πόρων αναζητούν επιστημονική και συλλογική αντιμετώπιση σε τοπικό επίπεδο.

Η αφαλάτωση, η αύξηση της τιμής της γεωργίας, η εγκατάσταση συσκευών εξοικονόμησης ύδατος έχουν ήδη πάρει τη θέση τους. Σήμερα το νομικό πλαίσιο των υδατικών πόρων χαρακτηρίζεται από πολυνομία, αντιφατικότητα και έλλειψη εκσυγχρονισμού. Από το 1900 μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί περίπου 300 νόμοι, νομοθετικά βασιλικά και προεδρικά διατάγματα και υπουργικές αποφάσεις, που συνθέτουν ένα πολύπλοκο και αναποτελεσματικό νομικό πλαίσιο διαχείρισης των υδάτινων αποθεμάτων της χώρας μας.

Συνοπτικά οι συνέπειες της λειψυδρίας είναι:

- Αύξηση της τιμής του νερού στη γεωργία
- Αφαλάτωση
- Ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων
- Στροφή προς εναλλακτικές μορφές παραγωγής ενέργειας
- Εγκατάσταση συσκευών εξοικονόμησης ύδατος στις βρύσες, στα ντους και στις τουαλέτες

Για την παραγωγή πόσιμου αλλά και βιομηχανικού νερού, από θαλασινό ή υφάλμυρο νερό, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης. Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες: στις μεθόδους εξάτμισης και στις μεθόδους μεμβρανών.

Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι της εξάτμισης είναι οι εξής: πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation - MED), πολυβάθμια εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation - MSF), εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression - VC [TC ή MVC]).

Αντίστοιχα, οι μέθοδοι μεμβρανών είναι η αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis - RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis - ED ή Electrodialysis Reversal - EDR). Μέθοδοι όπως η αντίστροφη ώσμωση (RO) και η πολυβάθμια εκτόνωση (MSF) μέχρι σήμερα έχουν σημειώσει σημαντικό αριθμό εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η επιλογή της μεθόδου αφαλάτωσης βασίζεται σε παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, η απαιτούμενη ποιότητα του παραγόμενου νερού, το μέγεθος της μονάδας, η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, η διαθεσιμότητα του περιβάλλοντος χώρου, ο προϋπολογισμός της επένδυσης και ο απαιτούμενος χρόνος παράδοσης της μονάδας.

Μερικοί από τους λόγους που η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης έχει επικρατήσει για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού είναι η αξιοπιστία της σε όλο το εύρος μεγεθών (από μερικά λίτρα έως χιλιάδες κυβικά μέτρα την ημέρα), η σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η συμπαγής και “modular” κατασκευή της και ο σχετικά μικρός χρόνος κατασκευής της σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Παρ' όλο που όλες οι μέθοδοι αφαλάτωσης χαρακτηρίζονται ως ενεργοβόρες, με ενδεικτικές τιμές 15 kWh/m³. για τις μονάδες VC οι καταναλώσεις που μπορεί να ξεπερνούν τις 20 kWh/ m³. για μονάδες MSF, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης με τη χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας (energy recovery devices) έχει καταφέρει να μειώσει δραστικά την ενεργειακή της κατανάλωση περίπου στις 2,5 kWh/ m³. σε μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού. Για μονάδες που δεν κάνουν χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας οι ενεργειακές καταναλώσεις είναι της τάξεως των 5-8 kWh/ m³.

Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας των μεμβρανών, η βελτίωση της απόδοσης των αντλιών, η χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας αλλά και η σωστή σχεδίαση και επιλογή υλικών, έχουν μειώσει δραστικά το κόστος του παραγόμενου νερού σε 0,75-1,5 ευρώ/ m³. για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και σε λιγότερο από 0,5 ευρώ/κ m³. για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Παρ' όλα αυτά το τελικό κόστος του παραγόμενου νερού κάθε μονάδας επηρεάζεται από τη λογική της οικονομίας της κλίμακας “economies of scale” και από τοπικούς παράγοντες όπως το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού, το κόστος χημικών, το κόστος μεταφοράς νερού, κλπ.

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το κόστος του παραγόμενου νερού είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που οφείλονται στο απορριπτό νερό (άλμη) από τις μονάδες αφαλάτωσης. Η μελέτη της θαλάσσιας περιοχής, η σωστή σχεδίαση του συστήματος απόρριψης (χρήση διανομέων άλμης, χρήση αγωγών νερού απόρριψης μεγάλου μήκους σε απόσταση από την ακτή, κλπ.) ενδέχεται να αυξήσουν κατά ένα ποσοστό το κόστος επένδυσης, όμως θεωρούνται απαραίτητα μέσα πρόληψης για τη θαλάσσια ισορροπία της περιοχής.

Στο πλαίσιο της προστασίας του περιβάλλοντος, μια εναλλακτική εφαρμογή των συστημάτων αφαλάτωσης, όσον αφορά στις ενεργειακές τους καταναλώσεις, είναι ο συνδυασμός τους με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών είναι τεχνικά εφικτός και έχει πλέον αρκετές εφαρμογές παγκοσμίως. Η πλειονότητα των εφαρμογών αυτών αφορά σε μικρές, αυτόνομες πιλοτικές μονάδες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο εθνικών ή κοινοτικών προγραμμάτων. Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί παγκοσμίως πάνω από 100 εφαρμογές συνδυασμού των δύο τεχνολογιών για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές αυτές

είναι σχεδιασμένες στα μέτρα των αναγκών της εφαρμογής τους “custom designed”, για συγκεκριμένες περιοχές και κάνουν χρήση κυρίως ηλιακής και αιολικής ενέργειας για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Η μέχρι σήμερα έρευνα και λειτουργία πιλοτικών συστημάτων έχουν αποδείξει ότι υπάρχουν τεχνολογίες που είναι αρκετά υποσχόμενες όσον αφορά στη δυνατότητα κάλυψης μιας περιοχής με νερό καλή ποιότητας σε κόστος συγκρίσιμο ή χαμηλότερο σε ορισμένες περιπτώσεις από άλλες πηγές νερού. Το πόσο εφικτός ή «πολλά υποσχόμενος» είναι ένας συνδυασμός αφαλάτωσης με ΑΠΕ εξαρτάται από παραμέτρους όπως το δυναμικό ΑΠΕ (αιολικό δυναμικό, ηλιακό δυναμικό), η ποιότητα νερού τροφοδοσίας (υφάλμυρο ή θαλασσίνο), η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας αφαλάτωσης, κλπ.

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες εφαρμογές συνδυάζουν την τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης (Α/Ο) με την ηλιακή (χρήση φωτοβολταϊκών, Φ/Β) και την αιολική ενέργεια (ανεμογεννήτριες, Α/Γ). Επίσης ένας σημαντικός αριθμός εφαρμογών αφορά στο συνδυασμό ηλιακών θερμικών συστημάτων με τεχνολογίες εξάτμισης και κυρίως με την τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών (MED). Ελάχιστες εφαρμογές αφορούν στο συνδυασμό των υπόλοιπων τεχνολογιών, αιολική ενέργεια με μηχανική συμπίεση ατμών (MVC), φωτοβολταϊκά με ηλεκτροδιάλυση, ηλιακά θερμικά με εξάτμιση πολλαπλών σταδίων (MSF) και γεωθερμία με τεχνολογία πολλαπλής εξάτμισης ατμών (MED).

Η απαίτηση των τεχνολογιών αφαλάτωσης για σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία προϋποθέτει ιδιαίτερο σχεδιασμό και χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Για τη μείωση του κόστους έχουν γίνει προσπάθειες για την αποφυγή της χρήσης συσσωρευτών που εξασφαλίζουν την παροχή σταθερής ισχύος στη μονάδα αφαλάτωσης αλλά και την αποθήκευση ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Συστήματα που αναπτύχθηκαν και λειτούργησαν χωρίς τη χρήση αποθήκευσης ενέργειας δεν έχουν αποδείξει ακόμη την επίδοσή τους.

Από τις υπάρχουσες εφαρμογές το κόστος του παραγόμενου νερού από μονάδες Α/Ο με ΑΠΕ κυμαίνεται από 2,5-10 ευρώ/ m³. Σημειώνεται ότι το κόστος αυτό είναι ενδεικτικό εφόσον οι περισσότερες από τις εφαρμογές είναι μικρές πιλοτικές μονάδες και όχι μονάδες που λειτουργούν υπό πραγματικές συνθήκες. Το κόστος του παραγόμενου νερού ανά μονάδα κυβικού από τα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, όπως από τη διαθεσιμότητα του δυναμικού ΑΠΕ, την αγωγιμότητα του νερού τροφοδοσίας, το μέγεθος του συστήματος, το σχεδιασμό της μονάδας, κλπ.

Το ΚΑΠΕ, το 2001, στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος, ανέπτυξε ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα αντίστροφης ώσμωσης για την αφαλάτωση

θαλασσινού νερού. Το σύστημα αποτελείται από μονάδα A/O με δυνατότητα ωριαίας παραγωγής πόσιμου νερού 130 λίτρα, ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 900 W, φωτοβολταϊκό σύστημα 3,96 kWp, ρυθμιστές φόρτισης, συσσωρευτές ενέργειας και δυο μετατροπείς ισχύος. Στο πλαίσιο του έργου αναπτύχθηκε επίσης λογισμικό πρόγραμμα για την παρακολούθηση και τη λειτουργία του συστήματος εξ αποστάσεως. Το σύστημα λειτουργεί από το 2001 με επιτυχία και με στόχο τη διάδοση και προώθηση τέτοιων συστημάτων σε απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές. Η μονάδα έχει εγκατασταθεί στο Αιολικό Πάρκο του ΚΑΠΕ στην Κερατέα.

Στην Ελλάδα, δύο από τις πιο πρόσφατες εφαρμογές αφορούν στην ανάπτυξη και εγκατάσταση συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης με ΑΠΕ στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα (Μέτρο 6.3 και Μέτρο 4.5). Συγκεκριμένα, το πρώτο έργο αφορά στη σχεδίαση και εγκατάσταση μονάδας A/O θαλασσινού νερού, ημερήσιας παραγωγής 2x1000 m³. στη Μήλο. Μία ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 850 kW συνδεδεμένη στο δίκτυο παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια στη μονάδα αφαλάτωσης. Από σχετική αναφορά, η ενεργειακή κατανάλωση της μονάδας A/O κυμαίνεται στις 2,23-2,5 kWh/ m³. λόγω της χρήσης συστήματος ανάκτησης ενέργειας και αντλιών υψηλής απόδοσης. Όπως επίσης αναφέρεται, το κόστος για την προμήθεια του πόσιμου νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης στον τελικό αποδέκτη ανέρχεται στα 1,8 ευρώ/m³. (για 10 έτη με τιμαριθμική προσαρμογή) συμπεριλαμβανομένου του κόστους υποδομής και της εγκατάστασης της μονάδας A/O και της Α/Γ.

Το δεύτερο έργο αφορά στη σχεδίαση και κατασκευή μιας πιλοτικής πλωτής μονάδας A/O με Α/Γ και Φ/Β. Η καινοτόμα αυτή μονάδα έχει εγκατασταθεί στη νήσο Ηρακλεία, με σκοπό τη δοκιμαστική λειτουργία της και την κάλυψη μέρους των αναγκών νερού του νησιού. Η μονάδα A/O έχει ονομαστική δυναμικότητα παραγωγής νερού 3,3 m³/ώρα. Το σύστημα είναι αυτόνομο και καλύπτει τις ενεργειακές του απαιτήσεις κυρίως από μια Α/Γ ονομαστικής ισχύος 30 kW. Το κόστος του παραγόμενου νερού αναμένεται να είναι υψηλό λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής του συστήματος πλεύσης αλλά και του αναμενόμενου κόστους συντήρησης του.

Επίσης το 2008, στο πλαίσιο του Κοινοτικού έργου ADIRA (No ME8/AIDCO/2001/0515/59610) τέθηκαν σε λειτουργία 9 μονάδες αντίστροφης ώσμωσης σε συνδυασμό με Φ/Β, οι οποίες λειτουργούν υπό πραγματικές συνθήκες και καλύπτουν βασικές ανάγκες σε πόσιμο νερό σε απομακρυσμένες περιοχές στο Μαρόκο, την Ιορδανία, και την Τουρκία.

Όσον αφορά μεγαλύτερα συστήματα A/O σε συνδυασμό με ΑΠΕ και την παράλληλη σύνδεσή τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, πέραν των εφαρμογών που ήδη υπάρχουν, πρέπει να αναφερθεί ότι στην αγορά υπάρχουν πλέον εμπορικές

εταιρίες που παρέχουν ολοκληρωμένα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ. Οι πρώτες πραγματικές εφαρμογές σε μεγάλη κλίμακα, καθώς και τα αποτελέσματά τους αναμένονται τα επόμενα χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Αναμφίβολα, το συνεχώς διογκωμένο πρόβλημα της λειψυδρίας, οδηγεί σε αναζήτηση τρόπων αντιμετώπισης του. Όπως προαναφέραμε στο εισαγωγικό κεφάλαιο, η αφαλάτωση αποτελεί μια νέα τάση προς αυτή την κατεύθυνση και μια περιοχή που επιδέχεται περαιτέρω έρευνας.

Η έλλειψη πόσιμου νερού, όχι μόνο σε άνυδρες περιοχές, ουσιαστικά είναι η διαφορά προσφοράς και ζήτησης. Η μείωση των αποθεμάτων νερού οφείλεται στη ρύπανση και στην χωρίς μέτρο εκμετάλλευση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων πόρων. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του πληθυσμού, ο νέος τρόπος ζωής που επιβάλλει μεγαλύτερη κατανάλωση αλλά και η αύξηση της βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας, είναι οι αιτίες για μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό.

Παρόλο που οι άμεσα εκμεταλλεύσιμοι υδάτινοι πόροι ολοένα και δεν επαρκούν, υπάρχουν πηγές που βρίσκονται σε αφθονία αλλά πρέπει το νερό να υποστεί επεξεργασία για να δοθεί για κατανάλωση. Δεν πρέπει, λοιπόν, να ξεχνάμε ότι το 97% των υδάτινων πόρων του πλανήτη είναι το θαλασσίνο νερό. Ασφαλώς, το θαλασσίνο νερό λόγω της σύστασης του είναι ακατάλληλο για κάθε είδους χρήση. Σε αυτό το σημείο, βασίζεται ουσιαστικά η ιδέα της αφαλάτωσης. Άλλωστε, ο στόχος της αφαλάτωσης είναι, η μέσω μιας σειράς διαδικασιών, αφαίρεση των αλάτων και μετάλλων από το θαλασσίνο νερό, προκειμένου να είναι κατάλληλο για κατανάλωση. Πρέπει να πούμε ότι, μια μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να επεξεργαστεί εκτός από θαλασσίνο, υφάλμυρο νερό αλλά και επεξεργασμένα λύματα. Έτσι, η αφαλάτωση μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική πηγή προσφοράς πόσιμου νερού, το οποίο ειδάλλως θα έμενε ανεκμετάλλευτο, σε περιοχές που παρουσιάζεται πρόβλημα, για ιδιωτική, βιομηχανική και αγροτική χρήση.

Για την εγκατάσταση και λειτουργία, σε νησιά αρμοδιότητας της Γενικής Γραμματείας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής του Υπουργείου Θαλασσίων Υποθέσεων, Νήσων και Αλιείας, όπως καθορίζεται με το άρθρο 1 του π.δ. 1/1986 (ΦΕΚ Α' 1), μονάδων παραγωγής νερού ύδρευσης μέσω αφαλάτωσης δεν απαιτείται οικοδομική άδεια, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας και δεν εφαρμόζονται οι διατάξεις της ΚΥΑ 13727/724/5.8.2003 (ΦΕΚ Β' 1087), όπως ισχύει. Για τις ανωτέρω μονάδες αφαλάτωσης ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

α) η ημερήσια παραγωγή τους να μην υπερβαίνει τα 500 κυβικά μέτρα νερού και κατά τους θερινούς μήνες τα 700 κυβικά μέτρα νερού και

β) το παραγόμενο νερό να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αντιμετώπιση των υδρευτικών αναγκών των οικείων Ο.Τ.Α.

Για την εγκατάσταση των μονάδων αφαλάτωσης της παρ. 1, την επέκταση, την αναβάθμιση και τον εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων καθώς και των συνοδών έργων αυτών (δεξαμενές, αντλιοστάσια κλπ) έχουν ανάλογη εφαρμογή οι διατάξεις, της παραγράφου 6 του άρθρου 209 του ν. 3463/2006 «Κύρωση του Κώδικα Δήμων και Κοινοτήτων» (ΦΕΚ Α' 114), της παραγράφου 1 του άρθρου 3 και της παραγράφου 2 του άρθρου 14 του ν. 3851/2010 «Επιτάχυνση της Ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας Υ.ΠΕ.Κ.Α.» (ΦΕΚ Α' 85). Για τα ανωτέρω τεχνικά έργα απαιτείται γνωμοδότηση του αρμόδιου Σ.Χ.Ο.Π.

Με απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Θαλασσίων Υποθέσεων, Νήσων και Αλιείας, και των κατά περίπτωση αρμοδίων Υπουργών καθορίζονται οι τεχνικές προδιαγραφές διάθεσης του αλμολοίπου, η αντιστοίχιση των έργων και δραστηριοτήτων της παρ. 1 με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στα πολεοδομικά διατάγματα, καθώς και κάθε σχετική λεπτομέρεια για την εφαρμογή του παρόντος άρθρου.

2.1 Τι είναι αφαλάτωση

Γενικά με τον όρο «αφαλάτωση» χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι κατ' επέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση όμως σε θαλασσινό νερό. Η αφαλάτωση άρχισε να αναπτύσσεται κατά τον 20ο αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Γης. Όπως είναι γνωστό το 97,3% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα αναμειγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ακόμα και για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη.

Ιστορικά η ιδέα της αφαλάτωσης ανάγεται στους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς που την εφάρμοζαν κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα διά εξατμίσεως του θαλασσινού νερού που την περιγράφει και ο Αριστοτέλης. Επίσης περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται ως πραγματεία από Άραβα συγγραφέα του 8ου αιώνα που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Δέκα αιώνες αργότερα, με την ανάπτυξη των ατμοκίνητων πλοίων (της ατμοπλοΐας) η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος στη χρήση των ατμομηχανών κατέστησε επιτακτική ανάγκη την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ώστε να μη προκαλείται ταχύτατη διάβρωση αυτών.

Πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Η σπουδαιότητα αυτής της ανακάλυψης διαφάνηκε από το γεγονός ότι τον ίδιο αμέσως χρόνο οι Άγγλοι εγκατέστησαν τη πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος στο Άντεν για τις ανάγκες του στόλου τους. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930.

2.2 Η εφαρμογή της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο

Η αφαλάτωση θαλάσσιου νερού είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη Μέση Ανατολή και στην Καραϊβική. Επιπλέον τα τελευταία χρόνια βρίσκει εκτεταμένη εφαρμογή και σε περιοχές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Βόρεια Αφρική, η Σιγκαπούρη, η Ιβηρική Χερσόνησος, η Αυστραλία, η Ινδία και η Κίνα. Χώρες που εμφανίζουν ραγδαία πληθυσμιακή αύξηση και αναπτυσσόμενη βιομηχανία, έχουν ξεκινήσει να επενδύουν σε μονάδες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Το 1995 υπήρχαν παγκοσμίως πάνω από 11.000 μονάδες αφαλάτωσης, από τις οποίες τα δύο τρίτα βρίσκονται στη Μέση Ανατολή, κυρίως στη Σαουδική Αραβία, με συνολική απόδοση 7,4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού το χρόνο. Μερικές χώρες που αντιμετωπίζουν σημαντικό πρόβλημα έλλειψης νερού, όπως το Ισραήλ, έχουν αναπτύξει καλλιέργειες σε ξηρό περιβάλλον, με εξαιρετικά περιορισμένα αποθέματα νερού, που είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι.

Η μείωση των αποθεμάτων νερού οφείλεται στη ρύπανση και στην χωρίς μέτρο εκμετάλλευση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων πόρων. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση του πληθυσμού, ο νέος τρόπος ζωής που επιβάλλει μεγαλύτερη κατανάλωση αλλά και η αύξηση της βιομηχανικής και αγροτικής δραστηριότητας, είναι οι αιτίες για μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό. Οι χώρες με αυξημένο λόγο ζήτησης και προσφοράς (>10%) αναμένονται να πρωταγωνιστήσουν σε παγκόσμιο επίπεδο στα συστήματα αφαλάτωσης τα επόμενα χρόνια, και ανάμεσά τους βρίσκεται και η Ελλάδα.



Εικόνα 5: Αφαλάτωση

2.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω και του αυξημένου ενδιαφέροντος, έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης, άλλες σε θεωρητικό επίπεδο και άλλες εφαρμόσιμες στην πράξη. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί και παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα τον μηχανισμό διαχωρισμού, σε αυτές όπου το μέσο, δηλαδή το νερό αλλάζει φάση εκμεταλλευόμενο κάποια πηγή θερμότητας και σε αυτές που μέσω μεμβρανών, ύστερα από επιβολή πίεσης, γίνεται ο διαχωρισμός του θαλασσινού νερού.

Αναφέρουμε συνοπτικά τις μεθόδους αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται:

Διεργασίες Αλλαγής φάσης (Phase-change processes)

- Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (MSF)
- Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME)
- Απόσταξη με συμπίεση ατμών (VC)
- Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)
- Πάγωμα
- Ύγρανση/Αφύγρανση

Διεργασίες Μεμβρανών (Membrane based desalination technologies)

- Αντίστροφη Ώσμωση (RO)
- Ηλεκτροδιάλυση (ED)

- Νανόφιλτρα (NF)

Από τις παραπάνω μεθόδους, αυτές που κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς της Ευρώπης για θαλασσινό νερό, είναι οι θερμικές MSF και MED καθώς και από τις διεργασίες μεμβρανών, η αντίστροφη ώσμωση (RO), ενώ για υφάλμυρο νερό, η αντίστροφη ώσμωση (RO) και η ηλεκτροδιάλυση (ED). Στις ενότητες που έπονται, δίνονται κάποια λειτουργικά στοιχεία για τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί εμπορικά.

2.4 Οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας μονάδας αφαλάτωσης

Η ειδική ενεργειακή κατανάλωση μιας μεθόδου, ίσως αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα για την επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης. Στον πίνακα, δίνονται κάποια στοιχεία σχετικά με τις απαιτήσεις σε μορφές ενέργειας των μεθόδων. Εύκολα μπορούν να εξαχθούν κάποια γενικά συμπεράσματα.

Process	Heat input (kJ/kg)	Mechanical power input (kWh/m³)	Prime energy consumption (kJ/kg)^a
MSF	294	2.5–4 (3.7)	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	Θεωρώντας απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:30%		

Πίνακας 1: Μέθοδοι και ενεργειακές απαιτήσεις

Όπως έχουμε προαναφέρει, οι διεργασίες αλλαγής φάσης (MSF, MEB, Solar still), απαιτούν για την λειτουργία τους παροχή ατμού. Αυτό προσθέτει ένα μειονέκτημα στις θερμικές μεθόδους, αφού είναι αναγκαία η παραγωγή ατμού που συνήθως γίνεται με την θερμότητα ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι η λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης αλλαγής φάσης σε περιοχές χωρίς σταθμούς, όπως είναι πολλά νησιά του Αιγαίου, είναι αδύνατη.

Βέβαια, θα πρέπει να τονίσουμε ότι σε περίπτωση ύπαρξης προεγκατεστημένου σταθμού παραγωγής ενέργειας, η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης αποτελεί μια πολύ καλή λύση για την εκμετάλλευση της απορριπτόμενης θερμότητας του σταθμού. Σε αυτό συμβάλει και η χαμηλή απαίτηση μηχανικής ενέργειας που έχουν αυτές οι μέθοδοι. Τέτοιου είδους μονάδες μπορούν να τροφοδοτηθούν και από εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως η γεωθερμία και η ηλιακή ενέργεια (Καλογήρου, 2005). Μάλιστα, έχει μελετηθεί ότι μονάδες αφαλάτωσης που τροφοδοτούνται από γεωθερμία, είναι το ίδιο συμφέρουσες με αυτές που τροφοδοτούνται από μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Επικρατέστερη επιλογή από τις θερμικές διεργασίες αποτελεί η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME), με την μικρότερη κατανάλωση ανάμεσα τους.

Όσον αφορά τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις, η μέθοδος που υπερτερεί είναι της αντίστροφης ώσμωσης με ανάκτηση ενέργειας (ER-RO), έχοντας την μικρότερη κατανάλωση. Αυτό το χαρακτηριστικό, καθιστά την μέθοδο RO, την πρώτη επιλογή για μια μονάδα αφαλάτωσης, κάτι το οποίο δείχνει και η διεύθυνση της στην αγορά τα τελευταία χρόνια. Ακολουθούν στη συνέχεια, η αντίστροφης ώσμωσης χωρίς ανάκτηση ενέργειας (RO), η ηλεκτροδιάλυση (ED), και η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME).

Σχετικά με την τροφοδοσία της αφαλάτωσης με μεθόδους που δεν απαιτούν παροχή ατμού, όπως η αντίστροφης ώσμωσης και η ηλεκτροδιάλυση, οι επιλογές ποικίλουν. Συνήθως όταν η περιοχή είναι διασυνδεδεμένη, η μονάδα τροφοδοτείται από το δίκτυο. Όμως, η ανάγκη για ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, καθώς και οι ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής (μετεωρολογικά χαρακτηριστικά, τρόπος παροχής ηλεκτρισμού), καθιστούν τη συνεργασία Α.Π.Ε και μονάδων αφαλάτωσης αρκετά αποδοτική επιλογή. Παρακάτω παραθέτουμε τον πίνακα (Tzen και Morris, 2003) με πιθανούς συνδυασμούς μεθόδων αφαλάτωσης και τεχνολογιών εκμετάλλευσης Α.Π.Ε.

RES technology	Feed water salinity	Desalination technology
Solar thermal	Seawater Seawater	Multi-effect distillation (MED) Multi-stage flashing (MSF)
Photovoltaics	Seawater -Brackish Brackish	Reverse osmosis (RO) Electrodialysis (ED)
Wind energy	Seawater -Brackish Seawater	Reverse osmosis (RO) Mechanical vapor compression (MVC)
Geothermal	Seawater	Multi-effect distillation (MED)

Πίνακας 2: Συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης – ΑΠΕ

Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης παρατηρείται να είναι η επικρατέστερη αφού έχει τη χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση αλλά και μπορεί να συνεργαστεί με τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες Α.Π.Ε ,όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες.

Η εφαρμογή των μελετών αυτού του επιστημονικού χώρου, αποτελεί ιδανική λύση για πολλά από τα νησιά του Αιγαίου, που παρουσιάζεται, ακόμα και σήμερα, έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας και συγχρόνως το αιολικό και ηλιακό δυναμικό αφθονεί.

2.5 Το κόστος του αφαλατωμένου νερού

Για όλες τις μεθόδους, τα διάφορα κόστη έχουν μειωθεί σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό, τις τελευταίες δεκαετίες. Η μείωση του κόστους οφείλεται στην προσπάθεια για βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης αλλά και στη μαζικότερη παραγωγή του απαιτούμενου εξοπλισμού.

Ένα ενδεικτικό εύρος κόστους εξοπλισμού, που ορίζεται ως ο λόγος του κόστους επένδυσης προς την ημερήσια δυνατότητα παραγωγής, για τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης (Καλογήρου, 2005), δίνεται στον πίνακα.

Item	MSF	MEB	VC	RO	Solar still
Scale of application	Medium–large	Small–medium	Small	Small–large	Small
Equipment price (€/m ³ /day)	950–1900	900–1700	1500–2500	900–2500 membrane replacement every 4-5 years	800–1000

Πίνακας 3: Ενδεικτικό εύρος κόστους εξοπλισμού

Να σημειώσουμε ότι οι μικρότερες τιμές του ειδικού κόστους εξοπλισμού αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο μέγεθος μονάδας κάθε μεθόδου. Παρατηρούμε ότι, το χαμηλότερο κόστος εμφανίζεται στην ηλιακή απόσταξη, αλλά η μέθοδος μειονεκτεί στο ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης για την εγκατάσταση. Οι υπόλοιπες μέθοδοι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης να παρουσιάζει μεγαλύτερο κόστος εξοπλισμού στις μικρές μονάδες αλλά να είναι σε θέση να λειτουργήσει για κάθε μέγεθος εφαρμογής.

Σχετικά με το κόστος παραγωγής νερού, σύμφωνα με έρευνα (Καραγιάννης, Σολδάτος, 2007), ο πίνακας δείχνει την διακύμανση του κόστους παραγωγής σε σχέση με το είδος της μεθόδου. Τα στοιχεία έχουν προκύψει από διάφορες εφαρμογές.

Desalination method	Size of plant (m ³ /day)	Cost (€/m ³)
MED	<100	2-8
	12.000-55.000	0,76-1,56
	>91.000	0,42-0,81
MSF	23.000-528.000	0,42-1,40
VC	1000-1200	1,61-2,13
RO	<100	1,2-15
	250-4800	0,56-3,14
	15.000-320.000	0,36-0,53

Πίνακας 4: Διακύμανση του κόστους παραγωγής σε σχέση με το είδος της μεθόδου

Από τον πίνακα 4, αντιλαμβανόμαστε ότι μία μονάδα αφαλάτωσης κρίνεται συμφέρουσα όσο μεγαλύτερη είναι. Γενικά, μικρού μεγέθους μονάδες παρουσιάζουν αρκετά υψηλό κόστος. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης είναι αρκετά ανταγωνιστική, ειδικά σε μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις, σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες. Μάλιστα, τα στοιχεία για την αντίστροφη ώσμωση δείχνουν πολύ μικρή διακύμανση του κόστους στα μεγάλα μεγέθη μονάδων.

Τέλος, να επισημάνουμε ότι ο παράγοντας του κόστους παραγωγής νερού είναι ο πλέον κρίσιμος για την απόφαση της εγκατάστασης μιας μονάδας, αφού αποτελεί το σημείο σύγκρισης με την υφιστάμενη κατάσταση παροχής νερού στην περιοχή και συγκεκριμένα στον ελλαδικό χώρο όπου χρησιμοποιούνται υδροφόρες με κόστος μεταφοράς νερού της τάξης των 5-8 €/m³.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

3.1 Αφαλάτωση με απόσταξη(Distillation)

- Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (MSF)
- Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (ME)
- Απόσταξη με συμπίεση ατμών (VC)
- Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)
- Πάγωμα
- Ύγρανση/Αφύγρανση

Η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων βασίζεται στη δημιουργία ατμού από το θαλασσινό νερό, η οποία οφείλεται σε μια απότομη μείωση της πίεσης όταν το ρεύμα του θαλασσινού νερού εισέρχεται σε έναν θάλαμο κενού (Καλογήρου, 2005). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, έχοντας χαμηλότερη πίεση από θάλαμο σε θάλαμο. Η μέθοδος απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία ατμού θερμοκρασίας περίπου 100 °C. Η απόδοση της περιορίζεται, λόγω του μέγιστου της θερμοκρασίας που επιτρέπεται, εξ' αιτίας της συγκέντρωσης άλατος.

Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται όταν υπάρχει απαίτηση για μεγάλη ημερήσια παραγωγή νερού, υψηλής ποιότητας και είναι διαθέσιμη κάποια πηγή θερμότητας. Εκτός των συμβατικών πηγών, έχουν χρησιμοποιηθεί ηλιακοί συλλέκτες ως πηγή θερμότητας. Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το γεγονός ότι η ατμοποίηση προέρχεται από ρεύμα θαλασσινού νερού τροφοδοσίας και όχι από τις θερμαινόμενες επιφάνειες στις οποίες η εξάτμιση προκαλεί σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης και επομένως σταδιακή μείωση των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας (Σταματόπουλος, 2007). Τα μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αργή εκκίνηση και η αυξημένη ειδική κατανάλωση ενέργειας.

Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης – ME

Η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης είναι η παλαιότερη μέθοδος αφαλάτωσης και με μεγάλο θερμικό βαθμό απόδοσης. Η μέθοδος λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από ατμοποιητές, αποκαλούμενα ως στάδια (effects), και χρησιμοποιεί την αρχή μειούμενης πίεσης περιβάλλοντος στα διάφορα στάδια.

Αυτή η διαδικασία, επιτρέπει στο ρεύμα τροφοδοσίας να «υποβληθεί» σε πολλαπλή ατμοποίηση χωρίς να χρειάζεται πρόσδοση θερμότητας μετά το πρώτο στάδιο. Το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο πρώτο στάδιο και φτάνει στο σημείο βρασμού μετά την προθέρμανση του στους σωλήνες. Μάλιστα ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων του ατμοποιητή προκειμένου να

επιταχυνθεί η ατμοποίηση. Οι σωλήνες μέσω των οποίων μεταφέρεται ο ατμός, απορροφούν θερμότητα από τον ατμό που κυκλοφορεί. Ο ατμός (περίπου 70 °C) συνήθως παρέχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό. Στο εσωτερικό των σωλήνων ο ατμός συμπυκνώνεται, ενώ το συμπύκνωμα ατμού επιστρέφει στον θερμοηλεκτρικό σταθμό. Μόνο ένα μέρος του θαλασσινού νερού που ψεκάζεται στο πρώτο στάδιο ατμοποιείται. Το υπόλοιπο διοχετεύεται στο δεύτερο στάδιο και ψεκάζεται στη συστοιχία σωλήνων. Αυτοί οι σωλήνες, με τη σειρά τους, θερμαίνονται από τον ατμό που έχει δημιουργηθεί στο πρώτο στάδιο. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε καθαρό νερό το οποίο συλλέγεται, ενώ προσδίδει θερμότητα για να ατμοποιηθεί το υπόλοιπο θαλασσινού νερού στο επόμενο στάδιο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο σε ολοένα χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία.

Όπως και στη μέθοδο MSF, απαιτείται ποσότητα ατμού, κάτι το οποίο προϋποθέτει γειτονική θερμοηλεκτρική μονάδα ή ηλιακούς συλλέκτες. Έχει μικρότερη κατανάλωση ισχύος σε σχέση με την MSF και συγχρόνως υψηλότερο λόγο απόδοσης. Ως μειονέκτημα θα μπορούσαμε να αναφέρουμε, την εξάτμιση που γίνεται στις επιφάνειες συναλλαγής θερμότητας και καθιστά την διεργασία επιρρεπή στο σχηματισμό στρωμάτων επικάλυψης (Σταματόπουλος, 2007).

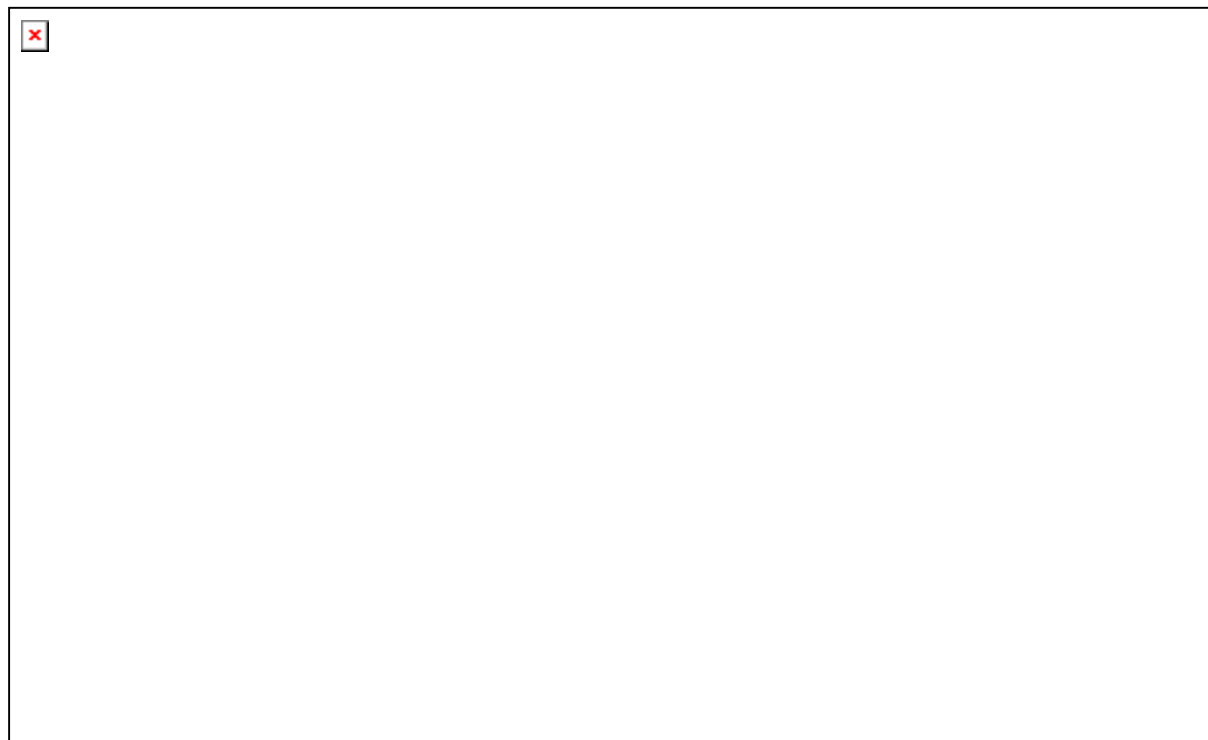
Στην απόσταξη με συμπίεση ατμών, η θερμότητα για την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού προέρχεται από τη συμπίεση του ατμού. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται την αρχή σύμφωνα με την οποία, η μείωση της θερμοκρασίας σημείου βρασμού επιτυγχάνεται μειώνοντας την πίεση. Για την συμπύκνωση του ατμού, που θα προσδώσει θερμότητα προκειμένου να ατμοποιηθεί το θαλασσινό νερό, χρησιμοποιείται ένας συμπιεστής. Ο συμπιεστής δημιουργεί κενό στον ατμοποιητή και στη συνέχεια συμπιέζει τον ατμό, προερχόμενο από τον ατμοποιητή, και τον συμπυκνώνει μέσα στη συστοιχία σωλήνων. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων και ατμοποιείται μερικώς, παράγοντας περισσότερο ατμό.

Αποτελεί μια μέθοδο απλή, αξιόπιστη και αποδοτική η οποία απαιτεί μόνο ισχύ. Έχοντας μεγάλης ισχύος συμπιεστή, η διαδικασία γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 70 °C, οπότε αποφεύγεται σ ένα βαθμό η διάβρωση. Χρησιμοποιείται για μεσαίου μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης, ενώ έχει χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους.

Ηλιακή απόσταξη - SD

Η μέθοδος αποτελεί κομμάτι του υδρολογικού κύκλου. Το θαλασσινό νερό διοχετεύεται μέσω σωλήνων στο εσωτερικό του ηλιακού συλλέκτη, όπου θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου και παράγεται ατμός. Στη συνέχεια, ο ατμός συμπυκνώνεται σε μια ψυχρή επιφάνεια και το συμπύκνωμα συλλέγεται ως πόσιμο νερό.

Η ηλιακή απόσταξη εφαρμόζεται σε περιοχές με υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και η χαμηλή απόδοση της.



Σχήμα 1: Ηλιακή απόσταξη

Ηλεκτροδιάλυση - ED

Η ηλεκτροδιάλυση πραγματοποιείται, μειώνοντας την αλατότητα του νερού με μεταφορά ιόντων. Αυτό γίνεται μέσω μεμβρανών, υπό την επιρροή ηλεκτρικού πεδίου. Το αλμυρό νερό τροφοδοσίας περιέχει διαλυμένα άλατα με θετικά και αρνητικά ιόντα. Τα ιόντα θα μετακινηθούν προς το αντίθετο φορτισμένο ηλεκτρόδιο περνώντας μέσα από μεμβράνες. Η κίνηση των ιόντων μειώνει τη συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας του θαλάμου στο οποίο προϋπήρχαν ενώ αυξάνει την συγκέντρωση στους γειτονικούς θαλάμους. Δεκάδες τέτοιοι θάλαμοι συναποτελούν μια μονάδα ηλεκτροδιάλυσης και δημιουργούν εναλλασσόμενα τμήματα καθαρού νερού και άλμης.

Για την αποφυγή δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης, αντιστρέφεται η φορά της διεργασίας, αντιστρέφοντας τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος κάθε 20 min. Έτσι προλαμβάνεται η συσσώρευση ποσότητας άλατος στις μεμβράνες (Καλογήρου, 2005).

Η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για υφάλμυρο νερό, ενώ η απαίτηση για συνεχές ρεύμα καθιστά τα φωτοβολταϊκά ιδανική λύση για τη λειτουργία της

μεθόδου (περισσότερες λεπτομέρειες για τη συνεργασία Α.Π.Ε και μονάδων αφαλάτωσης θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο).



Εικόνα 6: Ηλεκτροδιάλυση

Πάγωμα (Freezing)

Η μέθοδος του παγώματος στηρίζεται στο φαινόμενο του όταν το αλμυρό νερό ψύχεται, δημιουργούνται κρύσταλλοι πάγου απαλλαγμένοι από άλατα. Κύριο πλεονέκτημα αυτής της διεργασίας είναι ότι λειτουργεί σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις προηγούμενες.

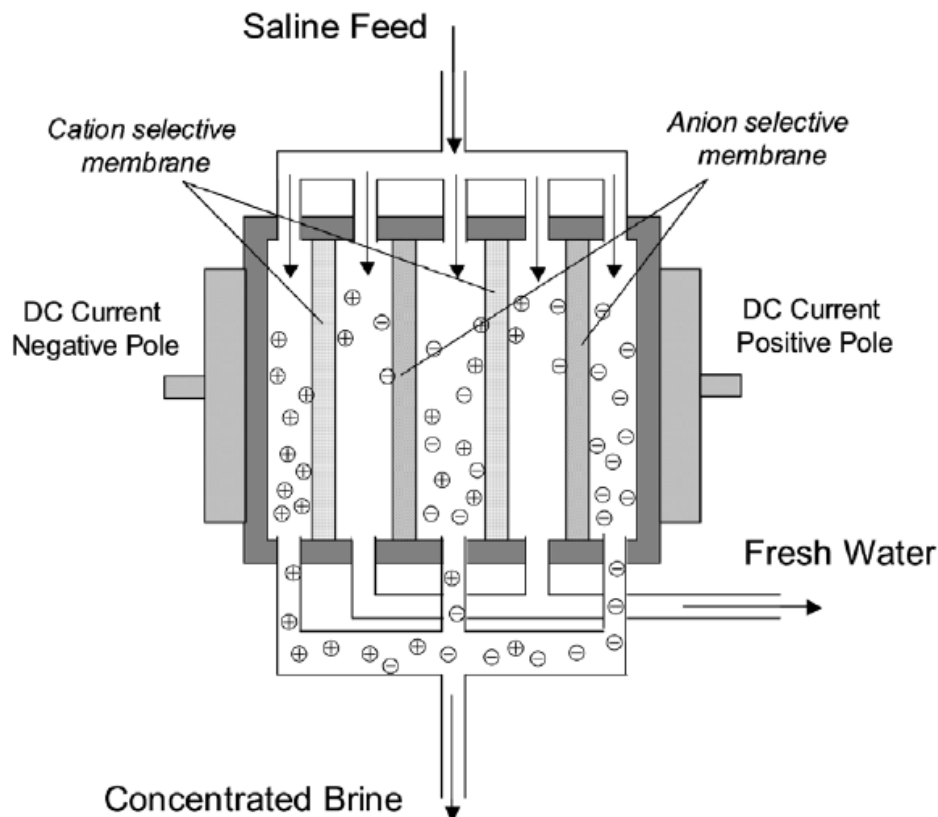
Αφαλάτωση με μεμβράνη (Membrane processes)

- Ηλεκτροδιάλυση (ED)
- Αντίστροφη Ωσμωση (RO)
- Νανόφιλτρα (NF)

Η ηλεκτροδιάλυση πραγματοποιείται, μειώνοντας την αλατότητα του νερού με μεταφορά ιόντων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μεμβρανών, υπό την επιρροή ηλεκτρικού πεδίου. Το αλμυρό νερό τροφοδοσίας περιέχει διαλυμένα άλατα με θετικά και αρνητικά ιόντα. Τα ιόντα θα μετακινηθούν προς το αντίθετο φορτισμένο ηλεκτρόδιο περνώντας μέσα από μεμβράνες. Η κίνηση των ιόντων μειώνει τη συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας του θαλάμου στο οποίο προϋπήρχαν ενώ αυξάνει την συγκέντρωση στους γειτονικούς θαλάμους. Δεκάδες τέτοιοι θάλαμοι συναποτελούν μια μονάδα ηλεκτροδιάλυσης και δημιουργούν εναλλασσόμενα τμήματα καθαρού νερού και άλμης.

Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η χρήση επιλεκτικών μεμβρανών που επιτρέπουν σε ωφέλιμα ιόντα, όπως το ασβέστιο, να παραμένουν στο παραγόμενο νερό. Επιπλέον, για την αποφυγή δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης, αντιστρέφεται η φορά της διεργασίας, αντιστρέφοντας τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος κάθε 20 min. Έτσι προλαμβάνεται η συσσώρευση ποσότητας άλατος στις μεμβράνες (Kalogirou, 2005). Η μέθοδος

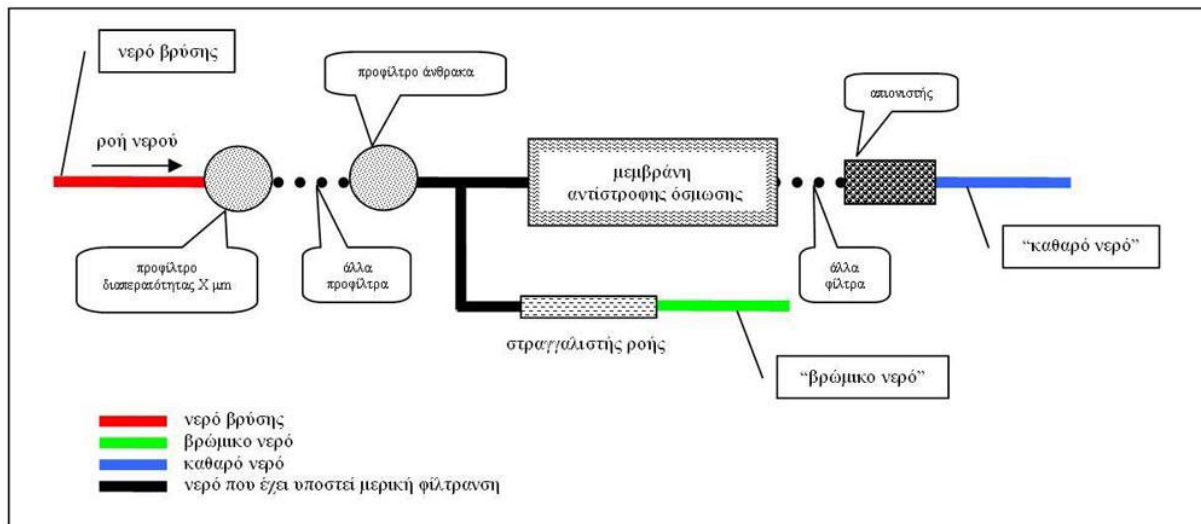
χρησιμοποιείται συνήθως για υφάλμυρο νερό, ενώ η απαίτηση για συνεχές ρεύμα καθιστά τα φωτοβολταϊκά ιδανική λύση για τη λειτουργία της μεθόδου.



Σχήμα 2: Αφαλάτωση με μεμβράνη

Αντίστροφη όσμωση (RO)

Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης αποτελεί την πιο διαδεδομένη διεργασία αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί μεμβράνες. Η μέθοδος βασίζεται στην επιλεκτική διαπερατότητα ορισμένων πολυμερών. Ενώ είναι πολύ διαπερατά στο νερό, καθιστούν δύσκολη τη διέλευση διαφόρων ουσιών. Εφαρμόζοντας διαφορά πίεσης δια μέσου της μεμβράνης, το ρεύμα του θαλασσινού νερού αναγκάζεται να διέλθει από τη μεμβράνη. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονιστεί ότι η εφαρμοζόμενη πίεση είναι αναγκαίο να υπερβαίνει την ωσμωτική πίεση που δημιουργείται εκατέρωθεν της μεμβράνης προκειμένου να είναι δυνατή η διέλευση του θαλασσινού νερού τροφοδοσίας. Σε θαλασσινού νερού εφαρμογές, η απαιτούμενη πίεση συνήθως κυμαίνεται από 55 έως 68 bar.



Διάγραμμα ροής του νερού σε σύστημα αντίστροφης όσμωσης

Το φαινόμενο της όσμωσης εμφανίζεται όταν μια ημιπερατή μεμβράνη χωρίζει δύο υδάτινα ρεύματα διαφορετικής συγκέντρωσης. Σε μηδενική διαφορά πίεσης και θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο πλευρές, η φορά ροής είναι από αυτή της μικρότερης σε αυτή της μεγαλύτερης συγκέντρωσης, μέχρι να ισοσταθμιστούν οι συγκεντρώσεις τους. Αυτή η διαδικασία, συνεχίζεται μέχρι η διαφορά πίεσης ανάμεσα στις δύο πλευρές να πάρει μια συγκεκριμένη τιμή που εξαρτάται από την αντίστοιχη διαφορά συγκεντρώσεων και ονομάζεται ωσμωτική πίεση, Π .

Στη μέθοδο αυτή, γίνεται προσπάθεια να αντιστραφεί το φαινόμενο, εφαρμόζοντας διαφορά πίεσης μεγαλύτερη της ωσμωτικής Π , έτσι ώστε να αλλάξει κατεύθυνση η ροή από την πλευρά της μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς αυτή της μικρότερης. Η πίεση που εφαρμόζεται στη πλευρά τροφοδοσίας είναι συνεχώς αυξανόμενη, καλύπτοντας την ωσμωτική. Έτσι προκύπτει ρεύμα εξόδου αμελητέας συγκέντρωσης σε σχέση με το ρεύμα εισόδου. Η μονάδα αποτελείται από συστοιχία μεμβρανών για την παραγωγή καλύτερου ποιοτικά προϊόντος. Μία γενική απεικόνιση ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης. Το ρεύμα θαλασσινού νερού αφού προ-επεξεργάζεται (π.χ. Αφαίρεση μικροαντικειμένων, άμμου), αντλείται σε υψηλή πίεση για να είναι σε θέση να διαπεράσει την συστοιχία των μεμβρανών.

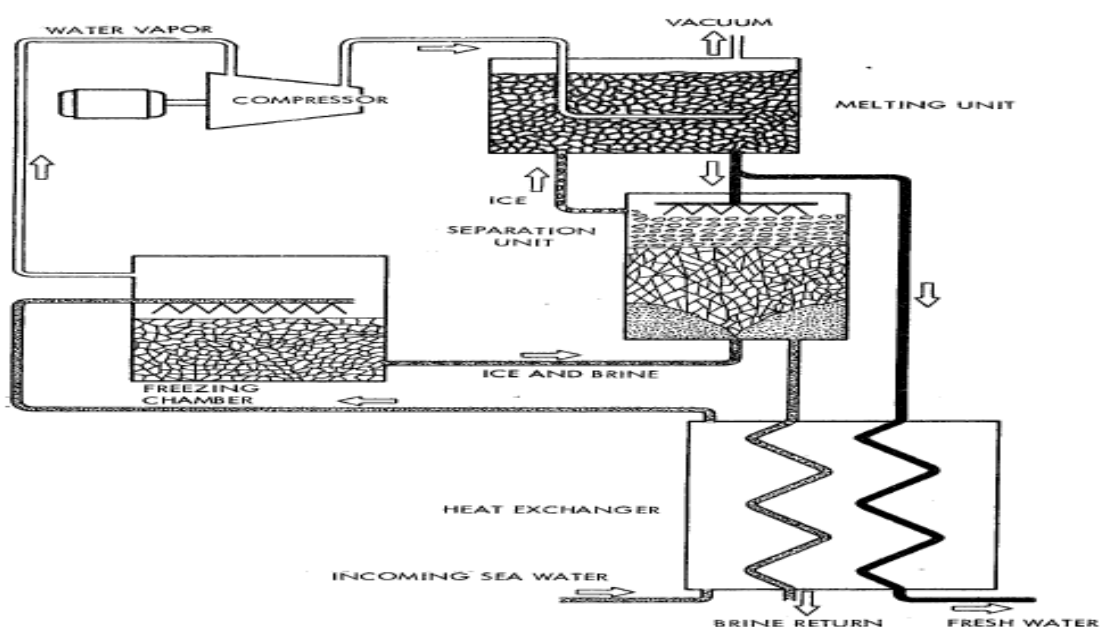
Έτσι, προκύπτουν δύο ρεύματα από τα οποία το ρεύμα της άλμης απορρίπτεται, εφόσον δεν υπάρχει μέσο εκμετάλλευσής του, και το ρεύμα του πόσιμου νερού, το οποίο αφού επεξεργαστεί τελικώς, είναι διαθέσιμο για χρήση.

Νανοφιλτράρισμα

Μια άλλη διεργασία μεμβράνης για την παραγωγή πόσιμου νερού από αλμυρό ή υφάλμυρο νερό είναι η διεργασία του νανοφιλτραρίσματος (nanofiltration NF). Είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος η οποία και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου έχουμε νερό με μικρό ποσοστό διαλυμένων ουσιών όπως σε επιφανειακά ύδατα ή σε κινούμενο υπόγειο νερό. Αυτό επιτυγχάνεται με την αφαίρεση των φυσικών και των συνθετικών οργανικών στοιχείων που έχουν μολύνει το νερό.

Αυτή η μέθοδος συχνά εφαρμόζεται σε συνδυασμό με την αντίστροφη όσμωση. Σε πειράματα όμως που έγιναν αποδείχθηκε ότι η αφαλάτωση που γινόταν με αυτό τον τρόπο αφαιρούσε μεν τις διαλυμένες ουσίες που έπρεπε ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση των αλάτων και να γίνει το νερό πόσιμο, όμως ταυτόχρονα χανόταν και πλήθος θρεπτικών συστατικών, όπως ασβέστιο και ιόντα μαγνησίου, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή τους να έπεφτε κάτω από τα επιτρεπτά όρια που θέτει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Έτσι έπρεπε στη συνέχεια να προστεθούν ξανά όλα τα θρεπτικά στοιχεία του νερού που χάθηκαν. Παρόλα αυτά, το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν έχει ιδιαίτερες οικονομικές απαιτήσεις οπότε καθίσταται συμφέρουσα για αναπτυσσόμενες χώρες που έχουν αυξημένες ανάγκες για φθινό νερό σε μεγάλες ποσότητες. Βέβαια, υπάρχουν ενδιασημοί για το κατά πόσο θα μπορέσουν αυτές οι χώρες να παράγουν και να διαχειριστούν την απαιτούμενη τεχνολογία.

Μέθοδος αφαλάτωσης με πάγωμα (freezing)



Σχήμα 3: Μέθοδος αφαλάτωσης με πάγωμα

Η μέθοδος του παγώματος στηρίζεται στο φαινόμενο του όταν το αλμυρό νερό ψύχεται, δημιουργούνται κρύσταλλοι πάγοι απαλλαγμένοι από άλατα. Κύριο πλεονέκτημα αυτής της διεργασίας είναι ότι λειτουργεί σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις προηγούμενες.

3.2 Γεωθερμική αφαλάτωση (geothermal desalination)

Η γεωθερμική ενέργεια είναι όλη η θερμική ενέργεια η οποία είναι αποθηκευμένη, σε θερμοκρασία υψηλότερη του περιβάλλοντος, στο στερεό πυρήνα της γης. Πρακτικά ως γεωθερμική ενέργεια θεωρείται η ενέργεια η οποία περιέχεται στα ρευστά που βρίσκονται στον στερεό φλοιό της γης και ως 5 km βάθος, που είναι το σημερινό εφικτό βάθος εξόρυξης.

Μια πρωτοπόρα και υπό διερεύνηση μέθοδος αφαλάτωσης είναι η γεωθερμική αφαλάτωση (geothermal desalination). Αυτή εκμεταλλεύεται την θερμότητα που προέρχεται από την γη για την παραγωγή ποσίμου νερού. Τα διαβεβαιωμένα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι πιο εύκολη στην χρήση και στην διαχείριση από την αντίστροφη όσμωση και ότι η ενέργεια που προέρχεται από την γεωθερμική θερμότητα είναι από τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας. Οι σχετικές έρευνες είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο αλλά έχουν δείξει ότι με νερό θερμοκρασίας περίπου 100 βαθμών Κελσίου και μια πηγή ψύξης η μελετώμενη διαδικασία εξάτμισης και συμπύκνωσης μπορεί να λειτουργήσει αρκούντως ικανοποιητικά.



Εικόνα 7: Θερμές Πηγές

Η γεωθερμική αφαλάτωση είναι μια διαδικασία υπό ανάπτυξη, για την παραγωγή γλυκού νερού, με την χρησιμοποίηση θερμικής ενέργειας. Διαπιστωμένα οφέλη αυτής της μεθόδου αφαλάτωσης, είναι ότι απαιτεί λιγότερη συντήρηση από τις υπόλοιπες μεθόδους, όπως της αντίστροφης όσμωσης και των τεχνολογιών με μεμβράνες και ότι η ενέργεια που απαιτείται καλύπτεται από γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι μία πηγή χαμηλού οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους.

Περίπου το 1998, κάποιοι ερευνητές άρχισαν να πραγματοποιούν πειράματα με διεργασίες εξάτμισης/συμπύκνωσης αφαλάτωσης σε γεωθερμικά συστήματα.

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με αρκετή επιτυχία, έδειξαν αρκετά αισιόδοξα αποτελέσματα. Ουσιαστικά απέδειξαν ότι τα γεωθερμικά ύδατα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη διαδικασίας αφαλάτωσης σε συνδυασμό με γεωθερμικά παραγόμενη ενέργεια, για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Εκτεταμένη πειραματική μελέτη πάνω στην ιδέα αυτή, πραγματοποιήθηκε το 2003 στο πανεπιστήμιο του Σαν Ντιέγκο, υπό την εποπτεία του καθηγητή Roland A. Newcomb, υπό την αιγίδα της διεθνούς κοινοπραξίας «ICATS».

Ο στόχος αυτής της μελέτης, ήταν ο σχεδιασμός και περαιτέρω βελτίωση τεχνολογιών που σχετίζονται με την παραγωγή πόσιμου νερού από γεωθερμικές πηγές, με σύγχρονη εκμετάλλευση της παραγόμενης από αυτές γεωθερμικής ενέργειας.

Το 2005 πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε μία πρότυπη συσκευή που περιελάμβανε αντλίες, συσκευή εξάτμισης/συμπύκνωσης και δίκτυο τροφοδοτούμενο από γεωθερμική ενέργεια.

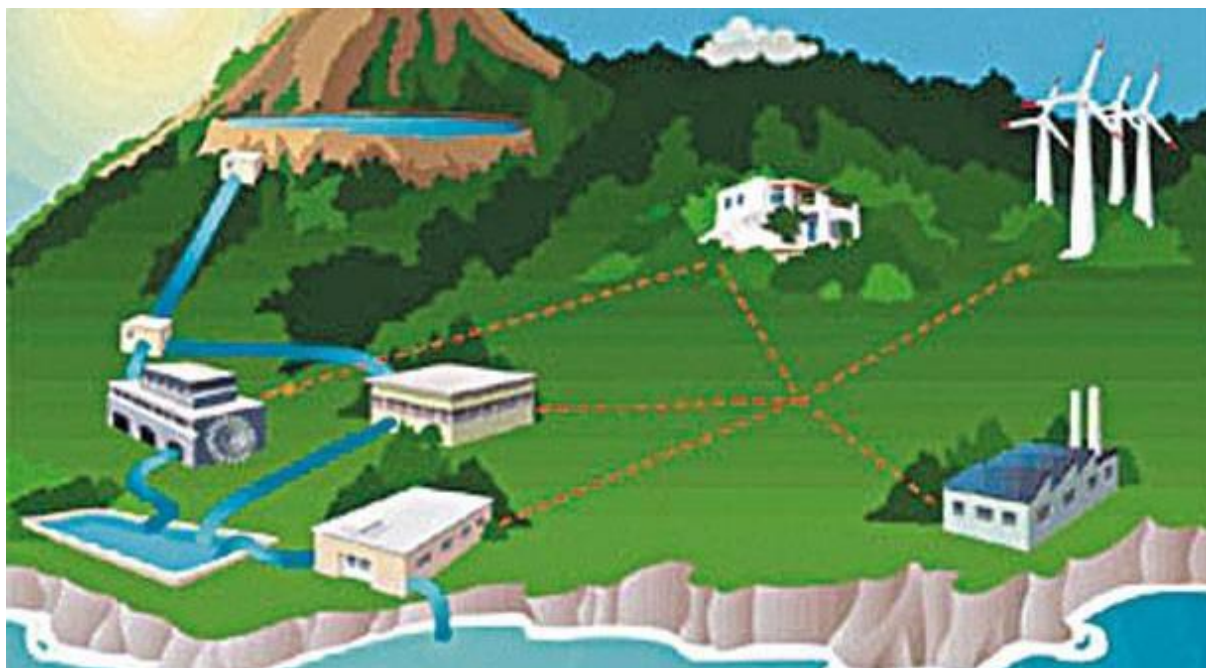
Συνολικά πραγματοποιήθηκαν πέντε πειράματα που κατέδειξαν ότι, με το ύδωρ διαδικασίας που πλησιάζει 210 βαθμούς Fahrenheit (100 βαθμοί Κελσίου) και μια ψυχρή πηγή για 35 °F (2 °C), μια αναλόγων διαστάσεων συσκευή μπορεί να παράγει 600 m³ ύδατος ανά ημέρα. Η συγκέντρωση άλατος στο απόβλητο ύδωρ θα είναι μόνο περίπου 10% επάνω από το επίπεδο του αρχικού ύδατος, επομένως, για παράδειγμα, από 35.000 σε περίπου 38.000 μέρη ανά εκατομμύριο. Η κοινοπραξία ICATS συνεχίζει να αναπτύσσει διαφορετικές συσκευές για τον ίδιο σκοπό, με στόχο να καταστήσει την αφαλάτωση μια φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία.

Η γεωθερμική ενέργεια συνδέεται άμεσα με μονάδες αφαλάτωσης με τρεις διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τον τύπο της πηγής, (Μωχάμετ, 2009)

- Εάν οι γεωθερμικές πηγές περιέχουν στη μεγαλύτερη τους αναλογία ατμό υπό πίεση, ο ατμός συμπυκνώνεται, παράγοντας κατ' ευθείαν αφαλατωμένο συμπύκνωμα.
- Όταν η πηγή ελκύει μίγμα νερού και ατμού τότε αρχικά εκτονώνεται κατάλληλα για την παραγωγή από τη μία ατμού, που διοχετεύεται σε ατμοστρόβιλο, και, από την άλλη θερμής άλμης η οποία τροφοδοτείται στον εξατμιστήρα της αφαλάτωσης. Γεωθερμικά μίγματα όπου το υγρό βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία από τον ατμό χρησιμοποιούνται σε εξατμιστήρες πολλαπλών βαθμίδων ή πολλαπλών εκτονώσεων, ανάλογα με την ενθαλπία της άλμης.

3.3 Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών (Solar humidification HDH,MEH)

Οι συσκευές της κατηγορίας αυτής ουσιαστικά αναπαράγουν τον υδρολογικό κύκλο σε μικρή κλίμακα: οι ακτίνες του ήλιου διέρχονται μέσα από μια διαφανή οροφή και θερμαίνουν το θαλασσινό νερό που βρίσκεται στον πάτο. Αυτό εξατμίζεται και ανεβαίνει στην οροφή που είναι κεκλιμένη, οπότε συμπυκνώνεται πάλι και συλλέγεται ως προϊόν από κατάλληλη διάταξη. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούν λιγότερο απ' το 50% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και η απόδοσή τους είναι αρκετά χαμηλή, περίπου 4 λίτρα καθαρό νερό την ημέρα ανά τετραγωνικό μέτρο εδάφους. Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται φθηνά σχετικά υλικά για να μειωθεί το κόστος εγκατάστασης, που είναι και το μόνο έξοδο ουσιαστικά, αφού τα λειτουργικά κόστη είναι από ελάχιστα ως μηδαμινά. Πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι το νερό που παράγεται δεν είναι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς, διότι δεν βράζει σε μεγάλη θερμοκρασία και άρα χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία. Κατά συνέπεια η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μικρές εγκαταστάσεις ή για οικιακή χρήση.



Εικόνα 8: Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών

Η ηλιακή απόσταξη, λαμβάνει χώρα εντός της συσκευής που καλείται ηλιακός αποστακτήρας. Ουσιαστικά, πρόκειται για την εξάτμιση του αλμυρού νερού που περιέχεται εντός αεροστεγούς χώρου, λόγω της θέρμανσης του νερού από τον ήλιο. Ακολουθεί συμπύκνωση των παραγόμενων ατμών στην εσωτερική πλευρά του διαφανούς καλύμματος του αεροστεγούς χώρου. Χαρακτηρίζεται από αρκετά χαμηλή παραγωγή νερού, υψηλό αρχικό κόστος, μηδαμινό κόστος λειτουργίας, απαίτηση μεγάλων εκτάσεων για εγκατάσταση και εξάρτηση από καιρικές συνθήκες.

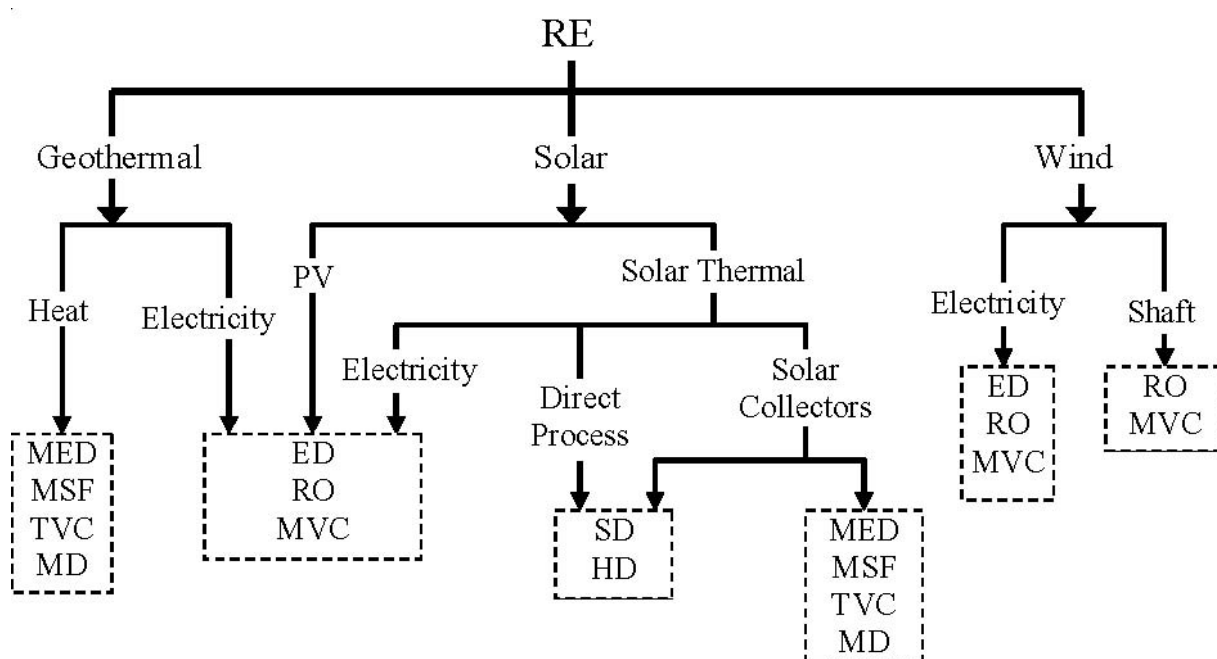
Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ηλιακών αποστακτών όμως, όπως ευκολία στην κατασκευή, χρήση διαθέσιμων υλικών για την κατασκευή τους, απλοϊκή λειτουργία τους, ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης και μη αναγκαιότητα ηλεκτρικής ενέργειας, τους καθιστούν ιδανική λύση για απομακρυσμένες περιοχές και για την τροφοδότηση μικρών κοινοτήτων.

Η ηλιακή απόσταξη είναι η απλούστερη διεργασία αφαλάτωσης και στηρίζεται στην αρχή λειτουργίας του θερμοκηπίου. Γυαλί και άλλα διαφανή υλικά έχουν την ιδιότητα να μεταδίδουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία χωρίς όμως να μεταδίδουν την υπέρυθη ακτινοβολία. Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος περνά από το γυαλί στο αποστακτήριο όπου παγιδεύεται και εξατμίζει το νερό, το οποίο στην συνέχεια συμπυκνώνεται στην επιφάνεια του γυαλιού και συλλέγεται ως απόσταγμα. Η κατασκευή της μονάδας είναι απλή, όπως επίσης απλή είναι και η λειτουργία της. Λόγω της χαμηλής απόδοσης όμως απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες.

Το κόστος παραγωγής νερού, εξαρτάται από το κόστος κατασκευής και την απαιτούμενη επιφάνεια. Για τον λόγο αυτό η διεργασία βρίσκει εφαρμογή σε μικρές μονάδες απομακρυσμένων περιοχών, όπου το κόστος γης είναι χαμηλό. Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια είναι γενικά ελάχιστες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και οι μονάδες αφαλάτωσης αποτελούν δύο διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες όμως μπορούν να συνεργασθούν. Η συνεργασία τους στηρίζεται στην τροφοδοσία της αφαλάτωσης με την ενέργεια που παράγουν συστήματα που εκμεταλλεύονται τις ΑΠΕ (Μαθιουλάκης κλπ, 2006). Αυτή η ενέργεια μπορεί να είναι θερμική, ηλεκτρική ή μηχανική αναλόγως τη μέθοδο της αφαλάτωσης και των διαθέσιμων πηγών ενέργειας. Οι δυνατοί συνδυασμοί τεχνολογιών ΑΠΕ και μεθόδων αφαλάτωσης δίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4: Δυνατοί συνδυασμοί τεχνολογιών ΑΠΕ και μεθόδων αφαλάτωσης

Η γενικότερη τάση στο συνδυασμού μεθόδων αφαλάτωσης και ΑΠΕ, είναι η συνεργασία τεχνολογιών παραγωγής θερμικής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία) με θερμικές μεθόδους (MSF, ME, SD), ενώ τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας (Α/Γ, Φ/Β) συνδυάζονται με μεθόδους που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ (RO, ED, VC).

Η επιλογή της ΑΠΕ που θα τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την περιοχή εγκατάστασης (μετεωρολογικά δεδομένα, τοπογραφία κτλ). Πολλές φορές, ειδικά σε μη διασυνδεδεμένες περιοχές, χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα ενώ επιβάλλεται η χρήση αποθηκευτικού μέσου, αφού οι μονάδες αφαλάτωσης απαιτούν σταθερή ισχύ τροφοδοσίας και οι ΑΠΕ χαρακτηρίζονται από μεταβαλλόμενη παραγωγή.

Σχετικά με τη μέθοδο αφαλάτωσης, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, επιλέγουμε τη μέθοδο που έχει τη μικρότερη ενεργειακή

κατανάλωση, παράγει νερό σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας και μπορεί να συνεργαστεί με τεχνολογίες ΑΠΕ που αφθονούν στην περιοχή. Παρατηρούμε από τα σχήματα ότι, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης (RO) επικρατεί σε εφαρμογές ΑΠΕ. Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί μόνο ηλεκτρική ή μηχανική τροφοδοσία, κάτι που καθιστά τη συνεργασία της με Φ/Β ή/και Α/Γ δυνατή.

Από τεχνολογικής άποψης, ο συνδυασμός αυτός αποτελεί την πιο ώριμη επιλογή. Η συνεχόμενη αύξηση της απόδοσης των τεχνολογιών ΑΠΕ σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους τους αλλά και η βελτίωση των ενεργειακών απαιτήσεων της μεθόδου RO είναι οι λόγοι που πλέον αποτελεί τον επικρατέστερο συνδυασμό αφαλάτωσης και ΑΠΕ. Παρότι ο συνδυασμός αυτός προτιμάται, υπάρχουν ακόμα πολλά περιθώρια βελτίωσης του.

Έτσι, πολλές έρευνες έχουν δημοσιευθεί, στις οποίες μελετώνται διάφοροι συνδυασμοί τεχνολογιών αλλά και διαφορετικές λογικές λειτουργίας των συστημάτων με σκοπό πάντα την παροχή σταθερής ισχύος. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε συστήματα ΑΠΕ-RO, έχει το θέμα της αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, αφού η στοχαστικότητα των ΑΠΕ είναι απαγορευτική για την παροχή σταθερής ισχύος στην αφαλάτωση.

Επιγραμματικά, τα αντικείμενα των μελετών γι' αυτόν το συνδυασμό, συνήθως, είναι :

- 1 Συνεργασία διαφορετικών τεχνολογιών εκμετάλλευσης ΑΠΕ.
- 2 Εισαγωγή βελτιωμένων ή νέων μέσων αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας.
- 3 Βέλτιστη διαχείριση των μονάδων αφαλάτωσης ανάλογα με τη διαθέσιμη ενέργεια.
- 4 Εφαρμογή νέων μεθόδων ελέγχου και διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας.
- 5 Χρήση διάφορων συστημάτων ανάκτησης ενέργειας στις μονάδες αφαλάτωσης.

Στην επόμενη υποενότητα, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση μελετών και εφαρμογών για μονάδες αφαλάτωσης τροφοδοτούμενες από Α/Γ ή/και Φ/Β. Τέλος, να σημειώσουμε ότι και άλλοι συνδυασμοί αφαλάτωσης – ΑΠΕ ερευνώνται και μάλιστα δείχνουν ενθαρρυντικές προοπτικές για το μέλλον, αλλά κρίθηκε ότι η ανάλυση τους ξεφεύγει από τα όρια της διπλωματικής εργασίας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται γενικά ότι έχουν χαμηλό κόστος (δωρεάν πρώτη ύλη) και ως εκ τούτου θεωρούνται οικονομικές, εν τούτοις δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμες στην αφαλάτωση, ακόμα και αν χρησιμοποιούνται μόνο σε μικρές μονάδες, χαμηλής παροχής, όπου άλλες πηγές ενέργειας δεν είναι προσιτές.

Οι κύριοι λόγοι που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν βρει ευρύτερη εφαρμογή είναι:

- δεν έχουν συνεχή ροή ώστε να ανταποκρίνονται στη ζήτηση της παραγωγής
- δεν είναι εύκολο να αποθηκευτούν, όπως π.χ. η ηλιακή, σε ποσότητα ή ένταση για την απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης αφαλάτωσης
- η τεχνολογία συλλογής ή και σύζευξης δεν έχει αναπτυχθεί σε σημείο ώστε να παρέχει τη φθηνή ενέργεια, σε χαμηλό κόστος.

4.1 Συστήματα αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια

Οι ανεμογεννήτριες ήρθαν στο προσκήνιο της ενεργειακής τεχνολογίας λόγω των ενεργειακών κρίσεων στα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα και λόγω της ολοένα και επιδεινούμενης υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Η κύρια εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, δηλαδή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο και η τροφοδοσία της στα τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα. Η σύζευξη των ανεμογεννητριών με συστήματα αφαλάτωσης είναι τεχνικά εφικτή και οικονομικά ελκυστική με την προϋπόθεση η μονάδα αφαλάτωσης να είναι είτε αντίστροφης ώσμωσης είτε ηλεκτροδιάλυσης και βέβαια, να υπάρχει δυνατότητα μεγάλης αποθήκευσης της ενέργειας και συστήματα ηλεκτρονικά που να διαχειρίζονται την μεγάλη μεταβλητότητα της αιολικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για χρήση ανεμογεννητριών σε απ' ευθείας σύνδεση με μονάδες αφαλάτωσης και σε συνδυασμό μάλιστα και με χρήση φωτοβολταϊκών, με μεγάλη επιτυχία, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Μάλιστα η πλωτή ανεμογεννήτρια τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερη και σταθερή.

Οι ανεμογεννήτριες (ΑΓ), έχουν σαν σκοπό την αποτελεσματική αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες επανήλθαν στο προσκήνιο της ενεργειακής τεχνολογίας στα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα, κυρίως σαν συνέπεια των διαδοχικών ενεργειακών κρίσεων αλλά και της επιδεινούμενης περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Σήμερα οι ανεμογεννήτριες είναι μια ώριμη τεχνολογία όπως αυτό προκύπτει από την βιβλιογραφία που περιγράφει γενικά την τεχνολογία, Dalili, et al., (2009). Και σε πιο ειδικά θέματα έρευνας των ανεμογεννητριών έχουν αναφερθεί οι Bond, et al., (1994) και Sullivan, (1982).

Η κύρια εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοσία της στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο ή σε τοπολογία μικρο-δικτύων. Η αιολική ενέργεια και οι ανεμογεννήτριες σαν αυτόνομα συστήματα έχουν βρει εφαρμογή κατά το μεγαλύτερο μέρος στην άντληση νερού όπως αυτό αποδεικνύεται από τους Al Suleimani and Rao, (2000).

Η σύζευξη των ανεμογεννητριών με συστήματα αφαλάτωσης είναι τεχνικά εφικτή. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια κυρίως συστήματα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης και ηλεκτροδιάλυσης με την προϋπόθεση όμως ότι υπάρχει μεγάλη αποθήκη της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και πολύπλοκα και προχωρημένα ηλεκτρονικά ισχύς για τη διαχείριση της χρονικής μεταβλητότητας στην προσφορά αιολικής ενέργειας. Παρόλα αυτά υπάρχουν προσπάθειες για τη χρήση της ανεμογεννήτριες σε απευθείας σύνδεση με τα συστήματα αφαλάτωσης και τη χρήση της ΑΓ με συστήματα αφαλάτωσης με συμπίεση ατμών (VC), όπως αναφέρεται παρακάτω.

Οι Miranda and Infield, (2002), εξέταζαν την απευθείας χρήση της ανεμογεννήτριας ισχύος 2.2 kW με σύστημα αφαλάτωσης ΑΩ 3 m³/day. Το σύστημα αυτό επηρεάζεται πολύ από τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και για το λόγο αυτό το ενεργειακό σύστημα περιλαμβάνει πολύ πολύπλοκο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας.

Στην Ελλάδα εγκαταστάθηκε η πρώτη πλωτή ανεμογεννήτρια (30kW) για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε σύστημα αφαλάτωσης με ΑΩ (70m³/d) . Εφεδρικά και επικουρικά έχει εγκατασταθεί και φωτοβολταϊκό σύστημα, ενώ η μονάδα είναι αυτόνομη και δεν είναι απαραίτητη η σύνδεσή της με δίκτυο της ΔΕΗ. Επιπλέον, η πλωτή ανεμογεννήτρια έχει το πλεονέκτημα ότι τοποθετείται σε μεγάλη απόσταση από τη στεριά, όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερη και σταθερή.

Οι Liu, et al., (2007), εγκατέστησαν ένα σύστημα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με μεμβράνης χαμηλής πίεσης που τροφοδοτείται απευθείας με μηχανική ενέργεια από μια πολυπτερυγο ανεμογεννήτρια. Η σταθεροποίηση της πίεσης πραγματοποιείται με χρήση δεξαμενή σταθεροποίησης της πίεσης.

Στην Ισπανία και ειδικότερα στα Κανάρια νησιά, εγκαταστάθηκε σύστημα ΑΩ συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο δυναμικότητας 200 m³/day, όπως αναφέρει ο Veza, et al., (1992). Η διασύνδεση του συστήματος ΑΩ στο ηλεκτρικό δίκτυο λύνει όλα τα προβλήματα αστάθειας της ανεμογεννήτριας. Ένα άλλο σύστημα στην Ισπανία είναι αυτό που υλοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος VALOREN, το οποίο είναι ένα υβριδικό σύστημα με ανεμογεννήτρια 225 kW και γεννήτρια ντίζελ, που τροφοδοτεί ένα σύστημα αφαλάτωσης ΑΩ 56 m³/day.

Με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, μπορούν να συνδυαστούν και συστήματα αφαλάτωσης ηλεκτροδιάλυσης. Τα συστήματα αυτά είναι μόνο για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Παράδειγμα για εγκατάσταση αφαλάτωσης ηλεκτροδιάλυσης με ανεμογεννήτρια ανέφεραν οι , Vesa, et al., (2001).

Η αφαλάτωση με επανασυμπίεση των ατμών (VC) μπορεί να συνδυαστεί επίσης με ανεμογεννήτρια, διότι χρειάζεται στη λειτουργία της και ηλεκτρική ενέργεια μαζί με την θερμική, αναφέρουν οι Coutelle, et al., (1991).

4.2 Συστήματα αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια

Η αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού επιτυγχάνεται σήμερα σε μεγάλη κλίμακα με τη χρήση των τεχνολογιών μεμβρανών, που είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρος τεχνολογίες. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την αφαλάτωση του νερού έχει μελετηθεί αρκετά, ιδιαίτερα σε χώρες με έντονη ηλιοφάνεια, χωρίς να υπάρχουν αξιόλογες εμπορικές εφαρμογές σήμερα σε μεγάλη κλίμακα. Η πρόσφατη κρίση στις τιμές των ορυκτών καυσίμων και οι προοπτικές για σημαντικές αυξήσεις των τιμών του πετρελαίου και του φυσικού αερίου στο σύντομο μέλλον σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση των ορυκτών καυσίμων, κάνουν ελκυστική την περαιτέρω διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της ηλιακής ενέργειας για την αφαλάτωση του νερού.

Η ηλιακή ενέργεια βρίσκει σήμερα πολλές εφαρμογές στη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, λόγω της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και της όξυνσης των περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνεπάγεται η χρήση τους. Μεταξύ των εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια είναι και η αφαλάτωση νερού, που αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο της αφαλάτωσης με τεχνολογίες μεμβρανών. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας παρουσιάζει το πλεονέκτημα της μη χρησιμοποίησης συμβατικών καυσίμων, ενώ όμως απαιτεί μεγάλη έκταση γης για τους ηλιακούς συλλέκτες παραγωγής θερμότητας, σε αντιδιαστολή της αφαλάτωσης με μεμβράνες που απαιτεί σημαντική κατανάλωση ηλεκτρισμού,. Αρκετοί ηλιακοί αποστακτήρες είναι εγκατεστημένοι σε πολλά μέρη του κόσμου όπου βρίσκουν διάφορες εφαρμογές , χωρίς όμως να έχει προωθηθεί η χρήση τους σε ευρεία εμπορική κλίμακα. Η ηλιακή αφαλάτωση νερού δεν έχει βρει εκτεταμένες εφαρμογές στην Ελλάδα ακόμη.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός ηλιακού αποστακτήρα είναι:

α) Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

β) Η αρχική ποσότητα άλμης στον αποστακτήρα

γ) Η γεωμετρία και η κατασκευή του αποστακτήρα.

Η παραγωγικότητα του αποστακτήρα σε συνδυασμό με το κόστος κατασκευής του, καθορίζουν την οικονομική βιωσιμότητα του, καθώς αυτοί αποτελούν ηλιακά παθητικά συστήματα. Η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων αυτών κυμαίνεται μεταξύ 20-40% και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες.

Η κύρια πηγή ενέργειας που εισέρχεται στην γήινη ατμόσφαιρα προέρχεται από τον ήλιο, ο οποίος συνεχώς αποβάλλει μέρος της μάζας του εκπέμποντας κύματα και σωματίδια υψηλής ενέργειας, στο διάστημα. Η ένταση της ηλιακής ενέργειας που διασχίζει τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας είναι 1367 W /m^2 και είναι η πλέον αξιοποιούμενη από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η τεχνολογία στο θέμα της κάλυψης θερμικών αναγκών συνεχώς εξελίσσεται και προσπαθεί να γίνει ανταγωνιστική σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η τεχνολογία της ηλιακής απόσταξης, η οποία απαιτεί απλές κατασκευές και εύκολη τοποθέτηση.

Σήμερα μπορεί κανείς να ισχυριστεί ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδυάζεται με πολύ καλά αποτελέσματα με τα συστήματα αφαλάτωσης με ηλεκτροδιάλυση για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Αντίθετα, η συνδυασμένη λειτουργία φωτοβολταϊκών με συστήματα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης δεν είναι ακόμα αρκετά ώριμη, δεδομένης της μεγάλης ποσότητας ενέργειας που απαιτείται, και άρα υψηλού κόστους των φωτοβολταϊκών γεννητριών.

Η ηλιοκινούμενη αφαλάτωση (solar assisted) περιλαμβάνει συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική, όμως δεν έχουν βρει ευρεία εμπορική εφαρμογή.

(Πηγές: Πέππα Φλώρα: «Ηλιακή Αφαλάτωση και Μελέτη Ηλιακού Αποστακτήρα στην Περιοχή της Αθήνας Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα Νοέμβριος 2007, Γ. Παλιεράκης: «Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Αθήνα 2007)

Συχνά η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από την συνεργασία ηλεκτρικών πηγών διαφόρων ειδών, όπου η μια πηγή υποβοηθά και δρα συμπληρωματικά ως προς την άλλη ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόδοση με το μικρότερο δυνατόν κόστος. Τα συστήματα αυτού του τύπου ονομάζονται «υβριδικά» εφόσον αποτελούνται από τμήματα διαφορετικών τεχνολογιών.

Πιο συγκεκριμένα, στα αυτόνομα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνεργάζονται συνήθως με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη

πετρελαίου ή/και με ανεμογεννήτριες. Πολλές φορές από την οικονομοτεχνική μελέτη ενός τέτοιου συστήματος προκύπτει ότι το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος συγκριτικά με το κόστος του αμιγώς φωτοβολταϊκού συστήματος είναι πολύ μικρότερο.

Ο Thomson, et al., (2003), παρουσίασε ένα σύστημα ΦΒ-ΑΩ ονομαστικής δυναμικότητας 3 m³/day, με εγκαταστημένη ισχύ ΦΒ συστήματος 2.4 kWp. Το σύστημα λειτουργεί χωρίς συσσωρευτές, και είναι εξοπλισμένο με μονάδα ανάκτησης υδραυλικής ενέργειας της άλμης του τύπου Clark pump της εταιρίας Spectra Water makers. Το συνεχές ρεύμα από το ΦΒ σύστημα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο μέσω δύο αντιστροφών μεταβλητής συχνότητας οι οποίοι τροφοδοτούν απευθείας τους δύο κινητήρες του συστήματος. Το σύστημα είναι επίσης εξοπλισμένο με συσκευή ανίχνευσης σημείου μεγίστης ισχύος (MPPT). Το σύστημα αυτό θεωρείται αρκετά πολύπλοκο με πολλά εξειδικευμένα και υψηλής τεχνολογίας εξαρτήματα, έχει δύο αντλίες και δύο κινητήρες για τον ίδιο σύστημα αφαλάτωσης και τέλος, το σύστημα βασίζεται στην αξιοπιστία των αντιστροφών τα οποία σε περίπτωση βλάβης, σταματούν τη λειτουργία του συστήματος. A. Colangelo, (1999), εξέταζαν θεωρητικά πέντε διαφορετικούς συνδυασμούς Φ/Β συστημάτων με συστήματα αφαλάτωσης ΑΩ.

Τα αποτελέσματα της μελέτης ήταν ως εξής:

- Σύνδεση του Φ/Β συστήματος με τη μονάδα ΑΩ που λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC): Εκτιμήθηκαν απώλειες στην ενέργεια μεταξύ 15-30% λόγω ύπαρξης των συσσωρευτών και τον αντιστροφή.
- Σύνδεση του Φ/Β συστήματος με δύο παράλληλες μονάδες ΑΩ μέσω αντιστροφή μεταβλητής συχνότητας: Το σύστημα αυτό χαρακτηρίστηκε ως πολύπλοκο και μη πρακτικό.
- Σύνδεση του Φ/Β συστήματος με συσσωρευτές και έπειτα με τη μονάδα ΑΩ που λειτουργεί με συνεχές ρεύμα (DC): Αυτός ο συνδυασμός είναι απλός και προσφέρει σταθερή λειτουργία της μονάδας ΑΩ αλλά παραμένει η απώλεια ενέργειας λόγω των συσσωρευτών.
- Απευθείας σύνδεση το Φ/Β συστήματος με τη μονάδα ΑΩ συνεχούς ρεύματος χωρίς συσσωρευτές. Αυτός ο συνδυασμός είναι απλός, δεν υπάρχουν απώλειες στην ενέργεια, απαιτεί μειωμένο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και παρέχει περισσότερη αξιοπιστία στο σύστημα. Ως μειονέκτημα του συνδυασμού αυτού, είναι οι μη σταθερές συνθήκες λειτουργίας της μονάδας ΑΩ.

- Απευθείας σύνδεση του Φ/Β συστήματος με ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος και παράλληλα συστήματα ΑΩ. Ο συνδυασμός αυτός παρουσιάζει υψηλό ποσοστό χρήσης της διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από το Φ/Β σύστημα (76% με δύο συστήματα ΑΩ και 92% με τρία συστήματα ΑΩ). Παρόλα αυτά, το σύστημα έχει υψηλό αρχικό κόστους αγοράς και εγκατάστασης, καθώς και κόστος συντήρησης και λειτουργίας λόγω ύπαρξης δύο συστημάτων ΑΩ.

Συστήματα αφαλάτωσης με θερμική ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια αστείρευτη ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, καθώς ανά πάσα χρονική στιγμή περίπου 173.000 TW ηλιακής ισχύος διασχίζουν τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας. Παράλληλα η ηλιακή ενέργεια είναι η πλέον αξιοποιούμενη από τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας στον τομέα κάλυψης των θερμικών αναγκών, ενώ η αντίστοιχη τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς, επιδιώκοντας να καταστεί πλήρως ανταγωνιστική εν σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Μια μορφή αξιοποίησης της ηλιακής θερμικής ενέργειας είναι οι ηλιακοί αποστακτήρες οι οποίοι είναι απλές συσκευές, κατασκευάζονται εύκολα και τοποθετούνται επίσης εύκολα σε οποιαδήποτε επίπεδη ή κεκλιμένη επιφάνεια, ανάλογα με τον τύπο του αποστακτήρα. Αποτελούνται, στην απλούστερη μορφή τους, από μία λεκάνη η οποία περιέχει το προς εξάτμιση νερό και από ένα διαφανές κάλυμμα το οποίο επιτρέπει τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Διαφανές κάλυμμα και λεκάνη σχηματίζουν έναν αεροστεγή χώρο όπου επιτελείται η διεργασία της εξάτμισης και συμπύκνωσης.

Αρκετή είναι η βιβλιογραφία που περιγράφει θεωρητικά και πειραματικά τη λειτουργία του ηλιακού αποστακτήρα, όπως αναφέρουν οι Badran, et al., (2005).

Τα συστήματα τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική περιλαμβάνουν :

- ηλιακές λίμνες οι οποίες παράγουν ζεστό νερό σε θερμοκρασίες έως περίπου 90 °C, με την απόδοσή τους να μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως αναφέρουν οι Agha, (2009), Bezir, et al., (2008), Saxena, et al., (2009), και Velmurugan and Srithar, (2008).
- τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες οι οποίοι θερμαίνουν νερό σε θερμοκρασίες έως περίπου 95 °C, όπως αναφέρουν οι Ahmed, et al., (2009), Zamen, et al., (2009).

- ηλιακούς συλλέκτες με σωλήνες κενού, οι οποίοι φθάνουν το θερμαινόμενο υγρό σε θερμοκρασίες έως 200 °C. Όπως αναφέρουν οι, Ahmed, et al., (2009), και El-Nashar, (2009).
- οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες οι οποίοι συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και την εστιάζουν είτε σε ένα κεντρικό σωλήνα όπου κυκλοφορεί το θερμαινόμενο ρευστό, είτε σε ένα κεντρικό λέβητα, αναφέρει ο Trieb, et al., (2009)

4.3 Συστήματα αφαλάτωσης με την χρήση της νανοτεχνολογίας

Η νανοτεχνολογία είναι η μελέτη και αξιοποίηση του νανόκοσμου. Ο νανόκοσμος, μια ασύλληπτα οργανωμένη και λειτουργική όψη της υλικής κτίσης, έρχεται στο προσκήνιο καθώς ο παρατηρητής σμικρύνεται στη διαστατική κλίμακα (νανοκλίμακα) των δισεκατομμυριοστών του μέτρου (νανομέτρων). Στην υπομικροσκοπική αυτή κλίμακα, περίπου χίλιες φορές μικρότερη από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας, η ύλη σχηματίζεται σε πρωτόγονες δομές. Επιπλέον, στο νανόκοσμο τα φαινόμενα, δηλαδή οι μετασχηματισμοί και αλληλεπιδράσεις των νανοστοιχείων, εξελίσσονται σε απίστευτα γοργά χρονικά διαστήματα, της τάξης των τετράκις-εκατομμυριοστών του δευτερολέπτου .

Η νανοτεχνολογία ήδη εφαρμόζεται ή ερευνάται σε περιοχές της ιατρικής, όπως τα βιοϊατρικά υλικά και εργαλεία, η ανάπτυξη φαρμάκων για στοχευμένη χορήγηση και σκιαγραφικών για ιατρική απεικόνιση, η ανάπτυξη τεχνητών ιστών, η εισαγωγή νέων βιοϊατρικών αισθητήρων και αναλυτικών συσκευών, οργάνων.

Η διεισδυτικότητα των νανοσωματιδίων εφαρμόζεται π.χ. στη βιομηχανία καλλυντικών, για τη χορήγηση διατροφικών και αντιγηραντικών συστατικών (βιταμίνη Α, ρητινόλη, Β-καροτένιο κ.α.) στις βαθύτερες στρώσεις του δέρματος. Οι βιολογικές αλληλεπιδράσεις των νανοστοιχείων προσφέρουν τη δυνατότητα ανίχνευσης χημικών και βιομορίων, σε νανοαισθητήρες όπως οι πίνακες αναγνώρισης γονιδίων και φαρμάκων. Η ανάπτυξη νανοδομημένων φαρμακευτικών υλών και νανοσυσκευών βιοαισθητήρων επιταχύνεται με τους μικροπίνακες σειριακής αναγνώρισης, για την ταχεία αναγνώριση και την ακριβή ανάλυση του DNA.

Η ανάπτυξη τεχνητών ιστών με νανοδομημένα υλικά ή σε νανοπορώδη ικρίωματα προσφέρει νέες δυνατότητες στην ιατρική ανάπλαση. Νανοκρύσταλλοι υδροξυαπατίτη και νανοπορώδεις αφροί με μορφολογία μιμούμενη εκείνη φυσικών οστών, συντελούν στον ξενισμό των οστεοκυττών και την καλύτερη βιοσυμβατότητα και αντοχή στη φθορά των οστικών

εμφυτευμάτων. Παράλληλα, η ενσπορά κυττάρων σε βιοαναλώσιμα ικριώματα νανοϊνών έχει επιτρέψει την κατασκευή υποστρωμάτων καρδιακού ιστού στην αγγειοχειρουργική, τεχνητού δέρματος κλπ.

Η παραγωγή πόσιμου νερού με αφαλάτωση έχει προοδεύσει σημαντικά χάρη στη χρήση νανοπορωδών μεμβρανών. Η φωτοκατάλυση παθογόνων ρυπαντών σε μεμβράνες νανοσωματιδίων χρησιμοποιείται ήδη για την επεξεργασία αστικών λυμάτων και την επαναχρησιμοποίηση νερού για αρδεύσεις κλπ. Στις ιδιότητες νανοσωματιδίων στηρίζονται και τα αυτοκαθαριζόμενα γυαλιά με επιστρωμένα λεπτά υμένα. Η απορροφητικότητα νανοπορωδών υλών εφαρμόζεται σε προστατευτικά υφάσματα, φίλτρα, θερμική μόνωση, σύνθετα υλικά, επιδέσμους στη βιοϊατρική κλπ. Παρόμοια νανοπορώδη υλικά χρησιμεύουν ως καταλυτικά υποστρώματα στη χημική βιομηχανία, και υπόσχονται νέες μεμβράνες εναποθήκευσης υδρογόνου και κυψέλες καυσίμου, με πολλαπλά οφέλη στους τομείς της ενέργειας και του περιβάλλοντος.

Νανοςύνθετες δομές επιτρέπουν την παρεμπόδιση της διάχυσης αέρα και υγρασίας, π.χ. σε φύλλα ερμητικής συσκευασίας τροφών και φαρμάκων, αλλά και σε στεγανά δοχεία ευγενών και ελαφρών αερίων σε αθλητικά υποδήματα κ.α. Η αδιαπερατότητα τέτοιων νανοδομών στο οξυγόνο τις κάνουν ελκυστικές σε αντιπυρικά υλικά που συντελούν στην πυροπροστασία.

Ένας μεγάλος αριθμός νέων εφαρμογών της νανοτεχνολογίας βρίσκεται σήμερα στο στάδιο της έρευνας, της ανάπτυξης ή των προκαταρκτικών δοκιμών. Επίσης, αναπτύσσονται μέθοδοι ανίχνευσης ολιγονουκλεοτιδίων καρκινικών κυττάρων, καθώς και πλατφόρμες αναγνώρισης για την ηλεκτρονική ανίχνευση και ανακάλυψη φαρμάκων όπως κινάσες, φωσφατάσες και πρωτεάσες, με εφαρμογές στην ασφάλεια με τη γενετική αναγνώριση και ταυτοποίηση. Παράλληλα η ενσπορά κυττάρων σε βιοαναλώσιμα ικριώματα νανοϊνών θα επιτρέψει την κατασκευή υποστρωμάτων καρδιακού ιστού στην αγγειοχειρουργική, τεχνητού δέρματος, εντερικού ιστού στη χειρουργική καρκίνων του εντέρου, και μελετάται για την επεξεργασία ερυθροποιητικών μοσχευμάτων για τη Μεσογειακή αναιμία και αιμοσφαιρινοπάθειες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Το κόστος των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Κόστος αρχικής επένδυσης
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Κόστος παραγόμενου νερού

(Πηγές: Δεληγιάννη, Ε. and Β. Μπελεσιώτης: «Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης», Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, 475 pp., Αθήνα, 1995)

Το κόστος της αρχικής επένδυσης περιλαμβάνει το κόστος μελέτης, κατασκευής, προμηθειών, δανειοδότησης, το κόστος για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης. Βέβαια, από όλα αυτά τα προαναφερόμενα κόστη, μεγαλύτερο είναι εκείνο της κατασκευής της εγκατάστασης αφαλάτωσης.

Το κόστος κατασκευής της μονάδας αποτελεί ένα ποσοστό 50-80% του αρχικού κόστους επένδυσης και περιλαμβάνει τα κόστη προμήθειας, κατασκευής και εγκατάστασης των συστημάτων αφαλάτωσης και των συστημάτων επεξεργασίας του νερού, πριν και μετά την αφαλάτωση. Το υπόλοιπο ποσοστό, δηλαδή το 20-50% αναφέρεται στα διαδικαστικά κόστη μελέτης, σχεδιασμού, αδειοδότησης και δανείων της εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς και στο κονδύλι των «απροβλέπτων».

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αναφέρεται στις ενεργειακές δαπάνες που απαιτεί η εγκατάσταση, το κόστος του εργατοτεχνικού προσωπικού, αναλώσιμα, ανταλλακτικά κλπ. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από δύο παραμέτρους: το σταθερό και το μεταβλητό κόστος. Το σταθερό κόστος αναφέρεται σε όλα τα κόστη που δεν εξαρτώνται από την ποσότητα του παραγόμενου πόσιμου νερού και είναι: τα εργατικά, η συντήρηση του εξοπλισμού, ο τεχνικός έλεγχος, τα κόστη για την περιβαλλοντική προστασία από την μονάδα αφαλάτωσης, τα κόστη ασφάλισης και διοίκησης, και συνήθως αποτελεί το 15-50% του συνολικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Το μεταβλητό κόστος εξαρτάται από την παραγόμενη ποσότητα καταναλώνεται, την νερού και απαιτούμενη αναφέρεται χημική στην επεξεργασία, ενέργεια που αντικατάσταση ανταλλακτικών που φθείρονται, απομάκρυνση άλμης κλπ. και αποτελεί το υπόλοιπο 50-85% του κόστους συντήρησης και λειτουργίας. Συχνά το ενεργειακό κόστος αγγίζει το 60% του μεταβλητού κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Είναι προφανές ότι για την

οικονομική αξιολόγηση μιας μονάδας αφαλάτωσης υπολογίζεται το άθροισμα των κοστών που αναφέρθηκαν παραπάνω σε €/m³.

Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το κόστος παραγωγής του αφαλατωμένου νερού είναι το μέγεθος της μονάδας αφαλάτωσης (οικονομία κλίμακας). Συγκριτικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι π.χ. μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης 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. Άλλη παράμετρος που έχει επίρεια στο τελικό κόστος του παραγόμενου νερού είναι ο συντελεστής διαθεσιμότητας της μονάδας. Αυτός ερμηνεύεται ως ποσοστό του χρόνου που η μονάδα αφαλάτωσης παράγει ποσότητα ίση ή μικρότερη της ονομαστικής ετήσιας δυναμικότητας. Π.χ.: Μονάδα αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση, δυναμικότητας 100 m³/ημέρα, παράγει 100x365x1 = 36500 m³/έτος με συντελεστή διαθεσιμότητας 100%. Ενώ αν η ίδια μονάδα λειτουργεί 10% του χρόνου με δυναμικότητα λιγότερη από 365 m³/d, τότε η ετήσια παραγωγή θα είναι 100 x 365 x 0.9=32850 m³/έτος.

Όταν αυξάνεται ο συντελεστής διαθεσιμότητας, αυξάνεται και το ετήσιο μεταβλητό κόστος λειτουργίας, αλλά συνήθως τα έσοδα από την πώληση του νερού υπερκαλύπτουν αυτό το αυξημένο κόστος. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος του παραγόμενου νερού, κυρίως από μονάδα αντίστροφης ώσμωσης είναι η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας, δηλαδή η αλατότητα, η θερμοκρασία, η θολότητα, η ύπαρξη οργανικής ουσίας, η ύπαρξη χημικών στοιχείων όπως το πυρίτιο, μαγνήσιο και το κάλιο.

Η αύξηση της αλατότητας του νερού τροφοδοσίας αυξάνει το αρχικό κόστος κατασκευής της μονάδας, 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. Η απαιτούμενη υψηλή ποιότητα του πόσιμου νερού αυξάνει σημαντικά το συνολικό κόστος της μονάδας. Ο τρόπος διαχείρισης της άλμης επίσης επηρεάζει το κόστος, με την απόρριψη της άλμης στην θάλασσα να είναι η πιο φθηνή λύση.

Τα τελευταία χρόνια με αφορμή διάφορα υπό κατασκευή φράγματα και άλλα έργα υδατικών πόρων, ιδιαίτερα σε νησιώτικες περιοχές, γράφονται και συζητούνται κόστη παραγωγής πόσιμου νερού από αυτά τα έργα σε σύγκριση με αυτά από μονάδες αφαλάτωσης. Οι συγκρίσεις αυτές συνήθως δε λαμβάνουν υπόψη τους τις τελευταίες εξελίξεις και τάσεις κυρίως σε ότι αφορά αυτές των μεμβρανών μακροδιήθησης, υπερδιήθησης, μικροδιήθησης, αντίστροφης ώσμωσης και άλλων.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, πολλά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Σαντορίνη, ακόμα και η Σύρος) αντιμετωπίζουν δυσκολίες εφόσον είναι αναγκασμένα να κάνουν οικονομία στο νερό. Το κόστος της μεταφοράς του πόσιμου νερού είναι της τάξεως των 8-9 €/m³ ενώ καταβάλλονται άλλα 0,70€/m³ στην ΕΥΔΑΠ. Ενώ τελικά γίνεται μεταφορά περισσότερων από 2.500.000 m³ νερού στα άνυδρα νησιά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αυτά δεν φτάνουν για να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες λόγω τουρισμού.

Η τιμή του αφαλατωμένου νερού φτάνει τα 4 €/m³ ενώ σε κάποιες περιπτώσεις οι δήμοι γίνονται πελάτες ιδιωτικών εταιρειών. Στην Μήλο δραστηριοποιείται ιδιωτική εταιρία με ανεμογεννήτριες, κατόπιν εγκρίσεως του Υπουργείου Ανάπτυξης, και η οποία με την υπό κατασκευή μονάδα αφαλάτωσης που θα δουλεύει με αιολική ενέργεια, θα παράγει ποσότητα νερού ικανή να καλύψει τις ανάγκες του νησιού. Με τον τρόπο όμως αυτό ο Δήμος θα μετατραπεί σε πελάτη της εταιρίας και όχι σε συνέταιρο.

Ακόμα μία λύση που φαίνεται να υιοθετούν αρκετοί κάτοικοι είναι η αγορά μονάδας αφαλάτωσης από ιδιώτες. Στη Σύρο, παραδείγματος χάρη, υπάρχουν επιχειρηματίες, οι οποίοι υπολογίζοντας το κόστος μιας τέτοιας μονάδας σε σύγκριση με την αγορά πόσιμου νερού από το δήμο, αποφάσισαν να εγκαταστήσουν δικές τους μονάδες αντίστροφης ώσμωσης θαλασσινού νερού.

Το 2006 μεταφέρθηκαν 510.000 m³ νερού στην Αμοργό, Κουφονήσια, Κίμωλο, Ηρακλεία, Σχοινούσα, Φολέγανδρο, Σίκινο, Θηρασιά και Μήλο προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες των κατοίκων και των χιλιάδων τουριστών που επισκέφθηκαν τα νησιά.

Συγκεκριμένα, οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού στα άνυδρα νησιά των Κυκλάδων από το 1997 μέχρι και το 2006 στοίχησαν στο Υπουργείο Αιγαίου συνολικά 48.000.000 € ποσό που αντιστοιχούσε συνολικά σε 9.000.000 m³.

Τα κρατικά χρήματα, που δαπανήθηκαν σε ναυτιλιακές εταιρίες, που διαθέτουν "βυτιοφόρα" πλοία και τα οποία το 2006 μετέφεραν νερό στις Κυκλάδες, ανέρχονται στο ποσό των 4.057.000 € με "πρωταθλήτρια" στην κατανάλωση για την ίδια χρονική περίοδο τη Μήλο με 262.000 m³ ενώ ακολουθεί η Φολέγανδρος με 54.500 m³.

Αρκετοί πιστεύουν ότι αν τα χρήματα αυτά είχαν επενδυθεί για την κατασκευή κατάλληλων έργων τότε, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί η καλοκαιρινή λειψυδρία και η τιμή του εμφιαλωμένου νερού δεν θα έφτανε σε ύψη. Σε πολλές Μεσογειακές χώρες με τους διαθέσιμους σήμερα νέους τύπους μεμβρανών και κυρίως τη συνεχώς μειούμενη ενέργεια ανά μονάδα όγκου παραγόμενου νερού, το λειτουργικό κόστος της αφαλάτωσης αλλά και το κόστος της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μειώνεται χρόνο με το χρόνο δραστικά. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις επιφανειακών ταμιευτήρων, δεν υπολογίζονται τα κόστη της

επεξεργασίας και μεταφοράς, προκειμένου το συλλεγόμενο σ' αυτούς νερό να καταστεί πόσιμο και φυσικά διαθέσιμο στους καταναλωτές.

Με δεδομένα τα παραπάνω στο προσεχές μέλλον προβλέπεται ότι το κόστος του αφαλατωμένου νερού, ιδιαίτερα των υφάλμυρων νερών, θα μειωθεί σε επίπεδα μικρότερα από τους συμβατικούς υδατικούς πόρους. Στη Μάλτα, όπου το 70% του συνολικού νερού που καταναλώνεται είναι αφαλατωμένο νερό και το κόστος του είναι με τις μεμβράνες που σήμερα χρησιμοποιούνται 0,46 €/m³. Με νέες μεμβράνες που δοκιμάζονται το κόστος μπορεί να πέσει στα 0,34 €/m³.

Στην Κύπρο τη χώρα με την μεγαλύτερη πυκνότητα φραγμάτων σε όλο τον κόσμο, η υδροδότηση αντιμετωπίστηκε αποτελεσματικά την τελευταία 10ετία με τις μονάδες αφαλάτωσης. Συμπερασματικά, με βάση το κόστος κατασκευής επιλεγμένων μονάδων σε διαφορές χώρες την τελευταία 15/ετία το κόστος αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση διαμορφώνεται διαχρονικά από 1,50 € το 2001 μέχρι 0,20 € το 2005.

5.1 Κόστος χρήσης μονάδων αφαλάτωσης

Κόστος Μηχανικού Σχεδιασμού για σύστημα αφαλάτωσης ,τροφοδοτούμενο με ενέργεια από συστοιχία Ανεμογεννητριών

Ο μηχανικός σχεδιασμός αποτελεί ένα βασικό βήμα για την υλοποίηση της κατασκευής και λειτουργίας της εγκατάστασης αφαλάτωσης και περιλαμβάνει μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές μελέτες καθώς και μελέτες χημικού μηχανικού και πολιτικού μηχανικού. Τα κυριότερα καθήκοντα του μηχανολόγου μηχανικού σχετίζονται με την επιλογή του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού, με το σχεδιασμό της συναρμολόγησης και ανέγερσης των μηχανικών τμημάτων της συστοιχίας των Α/Γ καθώς και τον έλεγχο λειτουργίας. Το κόστος της δραστηριότητας αυτής ανέρχεται σε 580€/άτομο/d, εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιλεγμένης περιοχής, διενεργείται από 1 μηχανολόγο μηχανικό και εκτιμάται ότι διαρκεί 100 ημέρες. Απαιτείται δηλαδή ένας μηχανολόγος μηχανικός ο οποίος θα σχεδιάσει τη συναρμολόγηση του τμήματος που περιλαμβάνει τις αντλίες και τις σωληνώσεις μεταφοράς νερού.

Το κόστος της δραστηριότητας αυτής ανέρχεται σε 580€/άτομο/d και εκτιμάται ότι διαρκεί 80 ημέρες. Μετά την εγκατάσταση του μηχανικού και υδραυλικού εξοπλισμού απαιτούνται εργασίες για τη σύζευξη της κάθε Α/Γ με το υδραυλικό κύκλωμα. Συγκεκριμένα η κάθε αντλία συνδέεται μηχανικά μέσω συστήματος μετάδοσης με μία Α/Γ. Το συνολικό κόστος της σύζευξης εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 35.000€ (κόστος 580€/άτομο/d, διάρκεια 35 ημέρες). Απαραίτητη είναι η παρουσία του χημικού μηχανικού ο οποίος θα αναλάβει το σχεδιασμό της συναρμολόγησης των μεμβρανών αφαλάτωσης, της μονάδας προεπεξεργασίας και μετεπεξεργασίας του νερού καθώς και του υπόλοιπου απαιτούμενου εξοπλισμού όπως είναι οι σωληνώσεις σύνδεσης των μεμβρανών και τα συστήματα ελέγχου ποιότητας. Το κόστος της δραστηριότητας αυτής ανέρχεται σε 580€/άτομο/d και εκτιμάται ότι διαρκεί 100 ημέρες.

Η διενέργεια ηλεκτρολογικής μελέτης της εγκατάστασης είναι εξίσου σημαντική δεδομένου ότι ο έλεγχος της εγκατάστασης θα πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Τα καθήκοντα όμως του ηλεκτρολόγου μηχανικού περιορίζονται σε αυτό τον τομέα δεδομένου ότι, λόγω του χαρακτήρα της εγκατάστασης, δεν απαιτείται ηλεκτρική σύζευξη των Α/Γ με το δίκτυο της περιοχής. Το κόστος της δραστηριότητας αυτής ανέρχεται σε 580€/άτομο/d και εκτιμάται ότι διαρκεί 20 ημέρες.

Η παρουσία 2 πολιτικών μηχανικών κρίνεται εξίσου κεφαλαιώδους σημασίας δεδομένου ότι τα καθήκοντά τους σχετίζονται με το σχεδιασμό και την ανοικοδόμηση των απαιτούμενων κτιριακών εγκαταστάσεων (γραφεία προσωπικού, στέγαση των εγκαταστάσεων των μεμβρανών αφαλάτωσης και του κέντρου ελέγχου), τη θεμελίωση των Α/Γ καθώς και την κατασκευή και θεμελίωση της δεξαμενής απόθεσης του καθαρού νερού. Το κόστος της δραστηριότητας αυτής ανέρχεται σε 580€/άτομο/d και εκτιμάται ότι διαρκεί 90 ημέρες. Η επίβλεψη εργοταξίου συνοψίζει τα κόστη που σχετίζονται με την εξασφάλιση ότι η εγκατάσταση θα κατασκευαστεί σύμφωνα με το σχεδιασμό που έχει πραγματοποιηθεί και περιλαμβάνει συχνές επισκέψεις στο εργοτάξιο και επιθεώρηση της εγκατάστασης. Η δραστηριότητα αναλαμβάνεται από το διευθυντή έργου, διαρκεί 1 έτος και το κόστος του εκτιμάται ότι είναι 95000€/άτομο/y.

Μία εκτίμηση του κόστους των Α/Γ παρέχει την ανοιγμένη τιμή των 1.000€/kW και επομένως το συνολικό κόστος των 5 Α/Γ ανέρχεται σε 5.150 kW.1000€/kW=750.000€

Στο κόστος αυτό εμπεριέχονται όλα τα εξαρτήματα από τα οποία απαρτίζεται μία Α/Γ:

Ο σωληνοειδής πύργος ύψους 30 m

- Τα πτερύγια που αντιστοιχούν (3 σε κάθε Α/Γ)

- Το κιβώτιο ταχυτήτων και το σύστημα μετάδοσης ισχύος στη φυγοκεντρική αντλία
- Τα μηχανικά συστήματα πέδησης
- Το σύστημα ελέγχου της Α/Γ
- Το κάλυμμα
- Ο κύριος άξονας και τα συστήματα κίνησης

Τα ανταλλακτικά συνήθως συνοδεύουν τις Α/Γ και εμπεριέχονται στο αρχικό κόστος αγοράς. Η αγορά των ανταλλακτικών συγχρόνως με την αγορά των Α/Γ προτιμάται λόγω της ακριβότερης διάθεσης των πρώτων σε κάποια μεταγενέστερη χρονική περίοδο. Η έκταση του καταλόγου των ανταλλακτικών εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία των Α/Γ, την εγγύηση που τις συνοδεύει, τη δυσκολία μεταφοράς στον τόπο εγκατάστασης καθώς και τη διαθεσιμότητα ορισμένων ανταλλακτικών. Το κόστος των ανταλλακτικών καταλαμβάνει το 3% της αξίας των 5 Α/Γ δηλαδή 3%.750.000€=22.500€

Η θεμελίωση κάθε Α/Γ αποτελεί βασικό στοιχείο για την επίτευξη επαρκούς στατικότητας αυτής. Το κόστος της περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό και το κόστος των χρησιμοποιούμενων υλικών όπως το σκυρόδεμα και τα μεταλλικά πλέγματα. Εκτιμάται ότι το κόστος θεμελίωσης για κάθε Α/Γ ανέρχεται σε 56.000€

Το κόστος ανέγερσης κάθε Α/Γ που ακολουθεί της θεμελίωσης περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό καθώς και την εκμίσθωση του απαραίτητου εξοπλισμού. Στον ειδικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί εμπεριέχονται γερανοφόρο όχημα και βαρούλκα. Το κόστος της εκμίσθωσης του εξοπλισμού δύναται να επιβαρυνθεί σημαντικά σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας του απαραίτητου εξοπλισμού στην τοποθεσία εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή ο ειδικός εξοπλισμός θα πρέπει να μεταφερθεί στην εν λόγω περιοχή και αυτό συνεπάγεται επιπρόσθετο κόστος μεταφοράς και μεγαλύτερη χρονική διάρκεια εκμίσθωσης αυτού. Για την περίπτωση της Νισύρου το κόστος αυτό ανήλθε σε 45.000€για κάθε Α/Γ.

Η πρόσβαση σε κάθε μία Α/Γ βρίσκεται σε συνάρτηση με την ποιότητα και τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής εγκατάστασης. Στην περίπτωση όπου η τοποθεσία επιλογής είναι δύσβατη και δεν επιτρέπει την απρόσκοπτη προσέγγιση σε κάθε Α/Γ απαιτείται έργο οδοποιίας. Το κόστος αυτού υπολογίζεται σε 36.000€/km και το συνολικό μήκος του οδοστρώματος εκτιμάται 8.5 km.

Επιπρόσθετα, δε θα πρέπει να αγνοηθεί και ο εξοπλισμός με τον οποίο θα υλοποιηθεί η σύζευξη Α/Γ-αντλίας. Καταλαμβάνει σημαντικό μέρος του

κόστους και εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 700.000 €/Α/Γ. Δεδομένου ότι οι επιλεγθείσες Α/Γ διατίθενται από αγορά του εξωτερικού έπεται ότι θα απαιτείται μεταφορά αυτών στον τόπο όπου θα κατασκευαστεί το αιολικό πάρκο. Τα έξοδα αποστολής ανέρχονται σε 40.000€/Α/Γ λαμβάνοντας υπόψη ότι η τοποθεσία εγκατάστασης βρίσκεται σε νησί. Μεταφορά απαιτείται για τον υπόλοιπο εξοπλισμό (πλην του εξοπλισμού ανέγερσης) και τα υλικά κατασκευής και εκτιμάται ότι είναι 50.000€

Ο αριθμός των μεμβρανών αφαλάτωσης που θα χρησιμοποιηθούν είναι 20 και το κόστος αυτών μεμβρανών ανέρχεται σε 614€/μεμβράνη. Εκτός του κυρίου σταδίου αφαλάτωσης απαιτείται και ένα στάδιο προεπεξεργασίας του νερού τροφοδοσίας κυρίως για την προστασία των μεμβρανών που έχει ως συνεπακόλουθο την επιμήκυνση του χρόνου ζωής αυτών. Μία εκτίμηση του κόστους προεπεξεργασίας του θαλασσινού νερού σύμφωνα και με τη διεθνή βιβλιογραφία παρέχει ένα ποσοστό της τάξεως του 5% επί του κόστους κεφαλαίου της μονάδας αφαλάτωσης. Στην προκειμένη περίπτωση το κόστος αυτό ανέρχεται σε 10.000€

Στο κόστος εξοπλισμού αφαλάτωσης συμπεριλαμβάνεται το κόστος των αντλιών που θα συζευχθούν με τις ανεμογεννήτριες με τη βοήθεια των οποίων θα τροφοδοτηθούν οι μεμβράνες αφαλάτωσης με θαλασσινό νερό. Το υλικό κατασκευής των αντλιών αυτών δεν πρέπει να προσβάλλεται από το θαλασσινό νερό και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ορείχαλκος ή ανοξείδωτος χάλυβας. Τα υλικά αυτά επιβαρύνουν ιδιαίτερα το συνολικό κόστος εξοπλισμού αφαλάτωσης. Μία τυπική τιμή διάθεσης αντλιών θαλασσινού νερού, ανέρχεται σε 20.000€/αντλία.

Η διασύνδεση μεταξύ αντλιών και μεμβρανών αφαλάτωσης υλοποιείται με τη βοήθεια σωληνώσεων η μέση διάμετρος των οποίων εκτιμάται κατά περίπτωση. Η διαστασιολόγηση των αγωγών θα γίνει με βάση την απαίτηση η μέγιστη μέση ταχύτητα του θαλασσινού νερού να μην υπερβαίνει το 1m/sec (για την αποφυγή ηχορρύπανσης) και λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη παροχή λειτουργίας της μονάδας ανέρχεται σε 110m³/h.

Επιπρόσθετα, απαιτείται αγωγός που θα συνδέει την πρώτη αντλία με την πηγή τροφοδοσίας (θάλασσα) καθώς και την τελευταία αντλία με τις μεμβράνες αφαλάτωσης. Το μήκος αυτό εκτιμάται ότι είναι 300m. Ο συνηθέστερος τύπος αγωγού που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις αυτές, έχει διάμετρο D=200mm. Το συνολικό μήκος του αγωγού διαμέτρου 200mm είναι 840m και το κόστος αυτού εκτιμάται ότι είναι 55€/m. Το μήκος του αγωγού που συνδέει τις μεμβράνες μεταξύ τους θεωρείται αμελητέο ενώ ο αγωγός απόρριψης του υποπροϊόντος (από τις μεμβράνες αφαλάτωσης έως τη θάλασσα) και ο αγωγός απόθεσης του πόσιμου νερού (από τις μεμβράνες αφαλάτωσης έως τη δεξαμενή απόθεσης) εκτιμώνται ότι έχουν μήκος 500m και 200m αντίστοιχα.

Για την αποθήκευση του καθαρού νερού, απαιτείται η κατασκευή κατάλληλης δεξαμενής απόθεσης. Οι διαστάσεις της εξαρτώνται από την ποσότητα του νερού που απαιτείται ανά κάτοικο, δηλαδή, περίπου $0.15\text{m}^3/\text{εξάμηνο}$. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μία δεξαμενή χωρητικότητας 17.000 m^3 , κοστίζει κατά μέσο όρο 300.000€

Τέλος τα έξοδα μεταφοράς των υλικών κατασκευής και του εξοπλισμού ανέρχονται σε 40.000€

5.2 Κόστος Συντήρησης και Λειτουργίας

Όλα τα προαναφερόμενα κόστη εμπεριέχονται στο αρχικό κόστος κεφαλαίου σε αντίθεση με το κόστος συντήρησης και λειτουργίας το οποίο είναι περιοδικό (με χρονική περίοδο 1 έτος). Στο πρόβλημα που μελετάται θεωρείται ότι η περιοχή στην οποία εγκαθίσταται ολόκληρη η μονάδα αφαλάτωσης εκμισθώνεται και για το λόγο αυτό το αντίστοιχο κόστος εμπεριέχεται στα περιοδικά έξοδα λειτουργίας. Επιπρόσθετα, η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου περιορίζει τις δυνατότητες εκμετάλλευσης της γης και πολλές φορές καθιστά απαγορευτικές διαφόρων ειδών δραστηριότητες εντός μίας συγκεκριμένης περιοχής. Για το λόγο αυτό απαιτείται καταβολή σχετικής αποζημίωσης στους ιδιοκτήτες τμημάτων γης πλησίον της εγκατάστασης κατόπιν επίτευξης κάποιας μορφής συμφωνίας. Το συνολικό ετήσιο κόστος της εκμίσθωσης εκτιμάται ότι είναι 3.600€

Η ασφάλιση της εγκατάστασης είναι απαραίτητη και καλύπτει ενδεχόμενη δυσλειτουργία του εξοπλισμού, διακοπή εργασιών της εγκατάστασης, καταστροφή ιδιοκτησίας και αποτελεί δημόσια υποχρέωση απέναντι στο κοινωνικό σύνολο. Το κόστος ασφάλισης ανέρχεται σε 6.000€

Η έκτακτη και τακτική συντήρηση ολόκληρης της εγκατάστασης περιλαμβάνει την παρακολούθηση και τακτική επιθεώρηση του εξοπλισμού (τακτική λίπανση και ρύθμιση των Α/Γ και αντλιών, ενδεχόμενη αντικατάσταση και επισκευή τμημάτων του υδραυλικού κυκλώματος, καθαρισμός των μεμβρανών), απομάκρυνση πάγου κι διαφόρων ακαθαρσιών και προγραμματισμένος έλεγχος (όπως εσωτερικός έλεγχος των μηχανικών τμημάτων των Α/Γ και των αντλιών). Το κόστος αυτό εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 95.000€

Ένα επιπρόσθετο κόστος αποτελεί και το κόστος των χημικών ουσιών και άλλων αναλώσιμων υλικών που πρέπει να προστεθούν στο νερό που προκύπτει από τις μεμβράνες κατά το στάδιο της μετεπεξεργασίας του. Το κόστος αυτό εκτιμάται σε 0.02€m^3 παραγόμενου νερού.

Σε περίπτωση που συμβεί κάποιο απρόοπτο που ενδεχομένως να αποτελέσει ανασταλτικός παράγοντας για τη λειτουργία της εγκατάστασης θα έχει ως

αποτέλεσμα να επιβαρυνθεί οικονομικά ο ιδιώτης που θα πραγματοποιήσει την επένδυση. Για το λόγο αυτό η εμφάνιση κάποιου αστάθμητου παράγοντα ποσοτικοποιείται με το κόστος απροόπτου το οποίο καταλαμβάνει το 20% του συνολικού υπολοίπου κόστους της παραγράφου αυτής.

Συνοψίζοντας το συνολικό αρχικό κόστος κεφαλαίου ανέρχεται σε 9.468.280 € ενώ το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας εκτιμάται σε 127.234 € Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι ο χρόνος ζωής των αντλιών και Α/Γ είναι 21 έτη ενώ των μεμβρανών 3 έτη γεγονός που σημαίνει ότι οι μεμβράνες θα πρέπει να αντικαθίστανται κάθε 3 έτη.

5.3 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Οι μονάδες αφαλάτωσης παρουσιάζουν δύο κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων:

- Επιπτώσεις από την χρήση της ενέργεια
- Επιπτώσεις από την απόρριψη της άλμης

Επίσης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διακρίνονται:

- Κατά το στάδιο της κατασκευής
- Ηχορύπανση
- Αισθητική ρύπανση
- Δημιουργία σκόνης
- Κατά το στάδιο λειτουργίας

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η αφαλάτωση απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας, η οποία εξαρτάται φυσικά από την ύπαρξη ή όχι συστήματος ανάκτησης της υδραυλικής ενέργειας της άλμης. Επίσης η χρήση συμβατικών καυσίμων παράγει αέριους ρύπους προς το περιβάλλον όπως CO, CO₂, SO₂ και NO_x, καθώς και στερεά σωματίδια. Σύμφωνα με την Συνθήκη του Κιότο υπάρχει δέσμευση μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 5% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 έως το 2008 -2012.

Στο πλαίσιο λοιπόν της προστασίας του περιβάλλοντος, εντάσσεται ο συνδυασμός των ενεργειακών καταναλώσεων των μονάδων αφαλάτωσης με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πλέον ο συνδυασμός των τεχνολογιών είναι

εφαρμόσιμος και τεχνοοικονομικά εφικτός. Η αποτελεσματικότητα και η απόδοση του συνδυασμού των τεχνολογιών αυτών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως το δυναμικό των ΑΠΕ (αιολικό, ηλιακό), η ποιότητα του τροφοδοτούμενου νερού (υφάλμυρο ή θαλασσινό), κλπ. Επίσης, εξαρτάται από την ικανότητα του συστήματος να παρέχει σταθερή ισχύ και συνεχή λειτουργία, άρα πρέπει να υπάρχει σχεδιασμός για αποθήκευση ενέργειας.

Η χρήση όμως συσσωρευτών που εξασφαλίζουν σταθερή παροχή ισχύος στην μονάδα αφαλάτωσης αυξάνει κατά πολύ το κόστος της εγκατάστασης. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αφαλάτωση ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κυρίως στη Μέση Ανατολή όπου υπάρχει έλλειψη νερού, αλλά άφθονη ενέργεια με την μορφή του πετρελαίου.

Η παραγόμενη άλμη από τις μονάδες αφαλάτωσης θεωρείται ρυπαντική προς το περιβάλλον διότι έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από το θαλασσινό νερό και μεγαλύτερη θερμοκρασία. Στην αντίστροφη ώσμωση υπάρχει συμπύκνωση της εξερχόμενης άλμης κατά 1,3 – 1,7 φορές. Επίσης περιέχει χημικές ουσίες από την επεξεργασία του νερού, διότι το αντλούμενο νερό προ-χλωριώνεται για την προστασία των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται ως φίλτρα, και επομένως η απόρριψη της άλμης στη θάλασσα, συνήθως χωρίς περιοριστικά μέτρα, επηρεάζει την ισορροπία των οικοσυστημάτων και των θαλάσσιων ειδών και καταστρέφουν την θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα.

Το θαλασσινό νερό είναι φυσικό περιβάλλον και περιέχει ολόκληρο οικοσύστημα από πλαγκτόν, ασπόνδυλα και ψάρια. Παρουσιάζεται λοιπόν θνησιμότητα μικρών οργανισμών (πλαγκτόν, αυγά, μικρά ψάρια) λόγω συμπαρασυρμού στην εισροή της μονάδας. Επίσης, υπάρχει θνησιμότητα μεγάλων θαλάσσιων ειδών (ενήλικα ψάρια, ασπόνδυλα, πουλιά) λόγω πρόσκρουσης στον αγωγό εισροής.

Τα αποπλύματα των μεμβρανών επίσης απορρίπτονται στη θάλασσα μαζί με το αλμόλοιπο. Για την δημιουργία ενός κυβικού γλυκού νερού, απαιτείται άντληση τριών περίπου κυβικών θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Συχνά με την απορρόφηση θαλασσινού νερού, απορροφώνται θαλάσσιοι μικροοργανισμοί και πλαγκτόν, μέχρι και μικρά ψάρια. Στην Κύπρο και στην Σαουδική Αραβία, όπου υπάρχουν οι μεγαλύτερες μονάδες στον κόσμο, έπειτα από χρόνια απόρριψης της άλμης στη θάλασσα, καταστράφηκε η χλωρίδα και η πανίδα σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων από τις εγκαταστάσεις της αφαλάτωσης. Η άλμη επίσης, δεν μπορεί να ταφεί στην γη διότι καταστρέφει τις καλλιέργειες.

Οι συμβατικοί τρόποι για την διαχείριση της άλμης είναι η απόρριψή της απ' ευθείας πίσω στην θάλασσα, η απόρριψη σε σύστημα αποχέτευσης, η απόρριψη σε γεωτρήσεις ή απ' ευθείας στο έδαφος. Κάποιες φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλιακή λίμνη, με σκοπό την εξάτμιση του νερού, παραγωγή και συλλογή του αλατιού και αποθήκευση της θερμότητας. Για την απόρριψη της

άλμης πρέπει να γίνει μελέτη βυθομέτρησης, μελέτη ανάγλυφου βυθού και μελέτη κυμάτων. Ορισμένα είδη θαλάσσιας βλάστησης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αλατότητα, όπως π.χ. τα φύκια *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, και *Caulerpa prolifera*.

Οι μη συμβατικοί τρόποι για την διαχείριση της άλμης είναι η χρήση της σε υγροβιότοπους και στην ιχθυοκαλλιέργεια. Υπάρχει η τεχνική της μείωσης του όγκου της απορριπτόμενης άλμης μέσω μιας δεύτερης βαθμίδας αφαλάτωσης, στην οποία θα εισέρχεται ως νερό τροφοδοσίας η άλμη που παράγεται από την πρώτη βαθμίδα. Αυτοί όμως οι τρόποι παρουσιάζουν σημαντικά μεγάλο κόστος και έτσι δεν έχουν βρει ευρεία εφαρμογή.

Για όλα αυτά βεβαίως τα προαναφερόμενα, υπάρχουν λύσεις: ήδη αναφέρθηκε ότι οι ΑΠΕ μπορούν να προσφέρουν ενέργεια για τις ανάγκες της αφαλάτωσης, με μείωση της ταχύτητας απορρόφησης του θαλασσινού νερού δεν απορροφώνται τα μεγαλύτερα ψάρια, και η επιστροφή της άλμης με μεγάλη πίεση επιτρέπει την διασπορά της σε μεγάλη έκταση, ελαττώνοντας την αλλαγή στην αλμυρότητα του νερού.

Άλλος περιβαλλοντικός κίνδυνος είναι η χημική ρύπανση του θαλασσινού νερού. Αυτή συμβαίνει από τα προϊόντα διάβρωσης, την προσθήκη αντισκωριακών μέσων, την προσθήκη οξέων, την προσθήκη απολυμαντικών μέσων, την προσθήκη αντιδραστηρίων κατά του αφρισμού και κροκιδωτικών. Έτσι η άλμη στην έξοδο των μονάδων αφαλάτωσης συχνά περιέχει μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων λόγω διάβρωσης των εσωτερικών επιφανειών. Τα μέταλλα αυτά είναι ο χαλκός, το νικέλιο, το χρώμιο και ο ψευδάργυρος στην περίπτωση μεθόδων με εξάτμιση, ή ο σίδηρος, το νικέλιο, το χρώμιο και το μολυβδαίνιο, στην περίπτωση της αντίστροφης ώσμωσης. Στην συνέχεια, τα βαρέα μέταλλα απορροφώνται από τα αιωρούμενα στερεά και με την συσσώρευσή τους στα ιζήματα, επιδρούν στους οργανισμούς και στο περιβάλλον.

Συχνά προστίθενται αντισκωριακά μέσα τόσο στις μεθόδους εξάτμισης όσο και στην αντίστροφη ώσμωση, που έχει ως παρενέργεια τον τοπικό ευτροφισμό λόγω του πολυφωσφορικού οξέος που υδρολύεται προς ορθοφωσφορικό οξύ. Εξάλλου, η προσθήκη οξέων αλλάζει το pH του θαλασσινού νερού, καθόσον το όξινο θαλασσινό νερό αποβάλλεται στην θάλασσα και απαιτείται μεγάλος χρόνος για αφομοίωση από το περιβάλλον με αρνητικές επιδράσεις στους οργανισμούς.

Με την προσθήκη αντιδραστηρίων κατά του αφρισμού, δημιουργούνται αλκυλιωμένες πολυγλυκόλες, λιπαρά οξέα, εστέρες λιπαρών οξέων, ενώ απαιτείται επίσης πλύση μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης με αλκαλικά διαλύματα (pH = 11-12), κάθε 3 έως 6 μήνες, για την απομάκρυνση λάσπης και

βιολογικών επικαθήσεων, πλύση με όξινα διαλύματα (pH = 2-3), για απομάκρυνση οξειδίων μετάλλων και σκουριάς και πλύση με απορρυπαντικά.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί και η περιβαλλοντική επίπτωση της ηχορύπανσης, τόσο στο στάδιο της κατασκευής της μονάδας αφαλάτωσης, όσο και στο στάδιο λειτουργίας, (μονάδες αντίστροφης ώσμωσης) με τις αντλίες υψηλής πίεσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, τις τουρμπίνες κλπ. Εξίσου σημαντική μπορεί να θεωρηθεί και η ενδεχόμενη αισθητική ρύπανση με την τοποθέτηση μονάδων αφαλάτωσης σε παραθαλάσσιες περιοχές. Επιβάλλεται η χωροθέτησή τους μακριά από αρχαιολογικούς χώρους και τουριστικά θέρετρα, καθόσον για μια μονάδα 5.000 -10.000 m³/ημέρα απαιτείται έκταση 10.000 m².

Σε κάποιες περιπτώσεις προτιμώνται τα θαλάσσια πηγάδια ως πηγές τροφοδοσίας σε σχέση με τα ανοιχτά συστήματα, όπου υπάρχει και το φιλτράρισμα μέσω άμμου. Όμως χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να μην επηρεάσουν τον παράκτιο υδροφορέα και δεν προτιμώνται για μονάδες μέσης και μεγάλης δυναμικότητας λόγω των μικρών παροχών τους.

5.4 Οφέλη από την χρήση μονάδων αφαλάτωσης

Η λύση της αφαλάτωσης είναι μια καλή τεχνοοικονομικά επιλογή, εκεί όπου υπάρχει ανάγκη για νερό και άρα για επιβίωση. Σχετικές μελέτες για συγκεκριμένα νησιωτικά μέρη έχουν δείξει ότι πρόκειται για μια βιώσιμη και κερδοφόρα επένδυση για οποιονδήποτε επιχειρήσει την υλοποίησή της, δημοτική ή κοινοτική επιχείρηση, ακόμα και το Δημόσιο.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι το κόστος των μονάδων αφαλάτωσης εξαρτάται από την δυναμικότητα της μονάδας αλλά και τον συνδυασμό τους με ΑΠΕ. Επίσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας στην αφαλάτωση και αποθήκευσης ενέργειας στα αιολικά, ανεβάζει σημαντικά το κόστος του έργου και άρα την τιμή του νερού, οπότε αναιρεί τα οφέλη του. Ίσως το πρόβλημα για την γενικευμένη χρήση μεθόδων αφαλάτωσης δεν είναι τόσο οικονομικό, εφόσον το κόστος του παραγόμενου νερού δεν είναι κατ' ανάγκην απαγορευτικό, αλλά οι επιπτώσεις που υπάρχουν από τις μονάδες αφαλάτωσης.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος της αφαλάτωσης θα μπορούσε να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού, δεν είναι άμοιρη επιπτώσεων. Το συμπύκνωμα της πυκνής άλμης επιστρέφει στη θάλασσα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αλατότητα του νερού σε αρκετή απόσταση από το σημείο εξόδου και να επηρεάζεται το θαλάσσιο οικοσύστημα. Επομένως απαιτείται πολύ προσεκτική μελέτη, ανάλογα με την περιοχή, που αφορά στη θέση του σημείου απόρριψης της άλμης.

Επιπλέον, το αντλούμενο νερό προ-χλωριώνεται για την προστασία των μεμβρανών, το κόστος των οποίων είναι ιδιαίτερα μεγάλο. Κατά συνέπεια τα αποπλύματα των μεμβρανών καταλήγουν στη θάλασσα μαζί με το συμπύκνωμα της άλμης, επιβαρύνοντας περισσότερο το θαλάσσιο οικοσύστημα.

Οι χώρες χρησιμοποιούν την αφαλάτωση για να λύσουν τα επείγοντα προβλήματα που προκύπτουν από την έλλειψη του νερού, ζυγίζοντας αυτά με τις όποιες επιπτώσεις επιφέρει η αφαλάτωση.

Η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος που μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική ποιότητα και ποσότητα πόσιμου νερού, ανεξάρτητα από το κλίμα της περιοχής και επιβάλλεται να επιδιωχθεί σαν λύση. Όμως είναι αδύνατον να καλύψει όλες τις ανάγκες ύδρευσης, πρέπει να λειτουργεί συμπληρωματικά σε μια ευρύτερη πολιτική ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων και έπ' ουδενί πρέπει να αντικαταστήσει τις προσπάθειες για συλλογή του βρόχινου νερού, τον περιορισμό των διαρροών από το δίκτυο ύδρευσης, και την επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών στην αγροτική παραγωγή που δεν είναι υδροβόρες, έτσι ώστε να γίνεται η μέγιστη εξοικονόμηση νερού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΠΗΓΕΣ

- Agha, K. R. (2009), The thermal characteristics and economic analysis of a solar pond coupled low temperature multi stage desalination plant, *Solar Energy*, 83, 501
- Ahmed, M. I., M. Hrairi, and A. F. Ismail (2009), On the characteristics of multistage evacuated solar distillation, *Renewable Energy*, 34, 1471
- Al Suleimani, Z., and N. R. Rao (2000), Wind-powered electric water-pumping system installed in a remote location, *Applied Energy*, 65, 339.
- Badran, O. O., and H. A. Al-Tahaineh (2005), The effect of coupling a flat-plate collector on the solar still productivity, *Desalination*, 183, 137.
- Bezir, N. H., O. Dönmez, R. Kayali, and N. Özek (2008), Numerical and experimental analysis of a salt gradient solar pond performance with or without reflective covered surface, *Applied Energy*, 85, 1102.
- Bond, L. J., N. Aftab, B. R. Clayton, A. G. Dutton, A. D. Irving, and N. H. Lipman (1994), Condition monitoring techniques for composite wind turbine blades: Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Brunswick, Maine (United States), 28 Jul.- 2 Aug. 1991), Vol. 11B, pp. 1647-1654. Edited by D.O. Thompson and D.E. Chimenti. Plenum Press (1992), NDT & E International, 27, 210.
- Colangelo A., Spagna D. M., G. and Sharma V. k. (1999), Photovoltaic powered reverse osmosis sea-water desalination systems, *Applied Energy*, 64, 289-305.
- Coutelle, R., D. Kowalczyk, and U. Plantikow (1991), Seawater desalination by windpowered mechanical vapour compression plants., paper presented at Seminar on New Technologies for the Use of Renewable Energies in Water Desalination, Athens - Greece, 26-28 September, pp. 49-64.
- Dalili, N., A. Edrisy, and R. Carriveau (2009), A review of surface engineering issues critical to wind turbine performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 428.
- Sullivan, T. L. (1982), A review of resonance response in large, horizontal-axis wind turbines, *Solar Energy*, 29, 377.
- Kalogirou, S. A. (2005), Seawater desalination using renewable energy sources, *Progress in Energy and Combustion Science*, 31, 242-28
- Karagiannis C. Ioannis, Soldatos G. Petros (2007): *Current status of water desalination in the Aegean Islands*. *Desalination* 203: 56-51
- Liu K.C. Clark, Park Jae-Woo, Migita Reef, Qin Gang (2002): *Experiments of a prototype wind-driven reverse osmosis desalination system with feedback control*. *Desalination* 150: 277-287
- Miranda, M., and D. Infield (2002), A wind-powered seawater reverse osmosis system without batteries, *Desalination*, 153, 9-16.
- Mohamed, E. S., G. Papadakis, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis (2005), The effect of hydraulic energy recovery in a small sea water reverse osmosis desalination system; experimental and economical evaluation, *Desalination*, 184, 241-246.

- Mohamed, E. S., G. Papadakis, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis (2006), An experimental comparative study of the technical and economic performance of a small reverse osmosis desalination system equipped with a hydraulic energy recovery unit, *Desalination*, 194, 239-250.
- Mohamed, E. S., G. Papadakis, E. Mathioulakis, and V. Belessiotis (2008), A direct coupled photovoltaic seawater reverse osmosis desalination system toward battery based systems -- a technical and economical experimental comparative study, *Desalination*, 221, 17-22.
- Saxena, A. K., S. Sugandhi, and M. Husain (2009), Significant depth of ground water table for thermal performance of salt gradient solar pond, *Renewable Energy*, 34, 790
- Thomson, M., and M. Miranda (2000), Theory testing and modelling of a Clark pump Loughborough University of Technology, Loughborough.
- Thomson, M., M. S. Miranda, and D. Infield (2003), A small-scale seawater reverse osmosis system with excellent energy efficiency over a wide operating range, *Desalination*, 153, 229.
- Trieb, F., H. Möller-Steinhagen, J. Kern, J. Scharfe, M. Kabariti, and A. Al Taher (2009), Technologies for large scale seawater desalination using concentrated solar radiation, *Desalination*, 235, 33.
- Tzen Eftihia, Morris Richard (2003), «Renewable energy sources for desalination»,
- Velmurugan, V., and K. Srithar (2008), Prospects and scopes of solar pond: A detailed review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2253
- Vesa, J., B. Penate, and F. Casellano (2001), Electrodialysis desalination designed for wind energy (on-grid test). *Desalination*, 141, 53-61.
- Veza, J. M., A. G. Gotor, and J. P. Castillo (1992), Desalination technology in the Canary Islands, 1990, *Desalination*, 85, 147. Αθήνα 2007
- Zamen, M., M. Amidpour, and S. M. Soufari (2009), Cost optimization of a solar humidification-dehumidification desalination unit using mathematical programming, *Desalination*, 239, 92.
- Αλεξιάκης Α., 1993 «Αφαλάτωση», , εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη
- Δεληγιάννη, Ε. and Β. Μπελεσιώτης: «Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης», Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης, 475 pp., Αθήνα, 1995
- Μαθιουλάκης, Μ. (2004), *Μέτρηση, Ποιότητα Μέτρησης και Αβεβαιότητα*, 245 pp., Ελληνική Ένωση Εργαστηρίων - HELLASLAB, ISBN 960-88226-0-2, Αθήνα
- Μιμίκου Μ.Α & Φωτόπουλος Φ.Σ 2000, *Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη*, Ε.Μ.Π. Αθήνα 2004 Μιμίκου,
- Τζέν Ευγενία: «Μια εναλλακτική λύση στη λειψυδρία», Σύγχρονη Τεχνική

Διπλωματικές Εργασίες

Μουτάφης Παναγιώτης: «Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού».

- Μωχάμετ Ε.Σ. 2009. Διερεύνηση Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για Αφαλάτωση Θαλασσινού Νερού Με Αντίστροφη Ώσμωση. Διδακτορική Διατριβή ΓΠΑ
- Παλιεράκης Γ. 2008: «Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών», Διπλωματική Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Αθήνα
- Παλιεράκης Γ., 2007 «Αφαλάτωση με χρήση Ηλιακών Συλλεκτών», Πέππα Φλώρα: «Ηλιακή Αφαλάτωση και Μελέτη Ηλιακού Αποστακτήρα στην Περιοχή της Αθήνας Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα Νοέμβριος 2007, Γ. Παλιεράκης: «Αφαλάτωση με χρήση ηλιακών συλλεκτών», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, Αθήνα 2007
- Σπύρου Ι., 2009 «Ανάπτυξη Αλγορίθμου για Προσομοίωση και Βέλτιστο Σχεδιασμό Αυτόνομου Συστήματος Αφαλάτωσης Τροφοδοτούμενο από Υβριδικό Σύστημα Α.Π.Ε. με Αντλησιοταμίευση», Σταματόπουλος Χ., «Συνδυασμός Παραγωγής Ηλεκτρισμού και Πόσιμου Νερού με Αφαλάτωση από Αιολική Ενέργεια, Εφαρμογή στη Νίσυρο», 2007