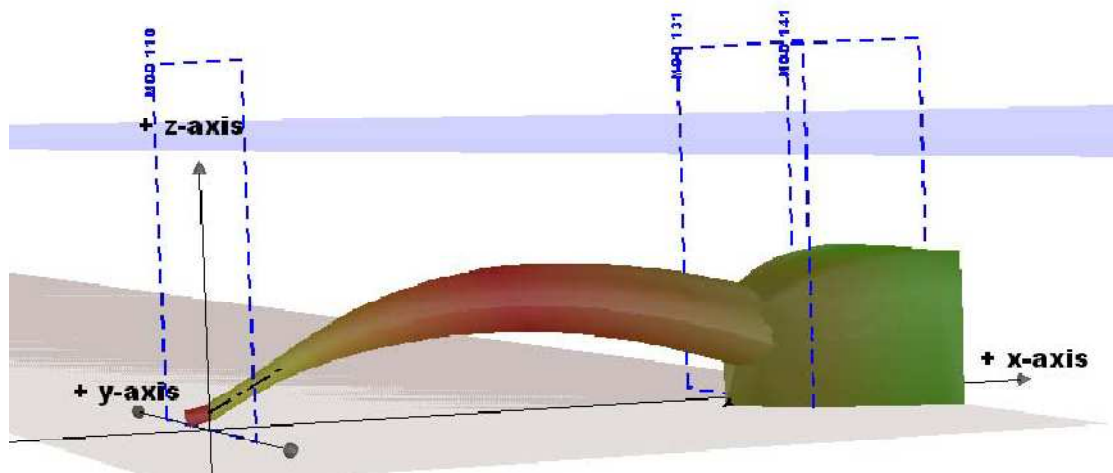




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΛΜΗΣ ΣΕ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ CORMIX

ΜΠΑΤΣΟΣ Κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων: Αναστάσιος Στάμου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2011

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αναστάσιο Στάμου, καθηγητή Ε.Μ.Π, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, παρέχοντας μου όλη την απαραίτητη ενθάρρυνση και υποστήριξη, τόσο με τις γνώσεις του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, όσο και με την εξασφάλιση των απαραίτητων επαφών και συνεργατών.

Ευχαριστώ επίσης τον πολιτικό μηχανικό κ. Δ.Αργυρόπουλο το τεχνικό γραφείο του οποίου έχουν αναλάβει την μελέτη και την κατασκευή της μονάδας αφαλάτωσης, και μου παρέιχε όλα τα απαραίτητα στοιχεία για το συγκεκριμένο έργο μέσω των συνεργατών του..

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο μου και Υποψήφιο Διδάκτορα της σχολής πολιτικών μηχανικών του Δ.Π.Θ Γεωργουλά Αναστάσιο, για τις πολύτιμες υποδείξεις και την καθοδήγηση του, κατά την διάρκεια της κοινής μας στρατιωτικής θητείας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στους φίλους και συμφοιτητές μου, για τη βοήθεια και τη στήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την υπομονή και τη στήριξη με που μου παρέιχε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας και της φοίτησης μου γενικότερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	17
2.1 Τι είναι η αφαλάτωση – Ιστορικά στοιχεία.....	17
2.2 Συνήθεις μέθοδοι αφαλάτωσης.....	19
2.2.1 Πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF)	20
2.2.2 Πολυβάθμια εξάτμιση (multiple effect distillation)	21
2.2.3 Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (vapor compression)	22
2.2.4 Ηλιακή απόσταξη (solar distillation).....	23
2.2.5 Αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis).....	24
2.2.6 Ηλεκτροδιάλυση (elektrodialysis).....	28
2.3 Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης.....	29
2.4 Η αφαλάτωση στον Ελλαδικό χώρο.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΛΜΗΣ.....	33
3.1 Γενικές μέθοδοι διάθεσης της αλμής	33
3.1.1 Στα επιφανειακά νερά.....	33
3.1.2 Σε σύστημα αποχέτευσης – βιολογικό καθαρισμό.....	33
3.1.3 Σε βαθειά πηγάδια – γεωτρήσεις	33
3.1.4 Σε λίμνες εξάτμισης	34
3.1.5 Σε λεκάνες διήθησης	34
3.1.6 Για άρδευση	34
3.1.7 Η χρήση της σε υγροβιότοπους.....	34
3.1.8 Η χρήση της στην ιχθυοκαλλιέργεια.....	34
3.2 Μέθοδος διάθεσης της άλμης σε παράκτια νερά.....	35
3.3 Επιλογή της θέσης διάθεσης της άλμης.....	35
3.4 Γενικές αρχές της διάθεσης της άλμης.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	
ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ.....	37
4.1 Ηλεκτρική ενέργεια.....	37
4.2 Τροφοδοσία θαλασσινού νερού.....	39
4.3 Επιπτώσεις από τη διάθεση άλμης σε παράκτια νερά.....	39
4.3.1 Επιπτώσεις λόγω της αυξημένης αλατότητας.....	39
4.3.2 Επιπτώσεις λόγω της παρουσίας χημικών.....	40
4.3.2.1 Προϊόντα διάβρωσης.....	41
4.3.2.2 Πρόσθετα κατά της καθίζησης.....	41
4.3.2.3 Απολυμαντικά πρόσθετα.....	42
4.3.2.4 Αλογονούχες οργανικές ενώσεις.....	43
4.3.2.5 Αντιαφρώδη πρόσθετα.....	43
4.3.2.6 Ουσίες που καταπολεμούν το οξυγόνο.....	44
4.3.2.7 Οξέα.....	44
4.3.2.8 Συγκέντρωση.....	44
4.3.2.9 Θερμότητα.....	45

4.4	Ηχορύπανση.....	46
4.5	Υποβάθμιση χρήσης γης – αισθητική ρύπανση.....	47
4.6	Επίδραση στον υπόγειο υδροφόρο.....	47
4.7	Τεχνικές περιορισμού των επιπτώσεων από τη διάθεση της άλμης...47	
4.8	Μέτρα αντιμετώπισης για τα χημικά.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....		49
5.1	Μονάδα αφαλάτωσης στο Perth, Αυστραλία.....	49
5.2	Μονάδα αφαλάτωσης στην Πάφο, Κύπρος.....	50
5.3	Μονάδα αφαλάτωσης scattergood στην Καλιφόρνια.....	52
5.4	Μονάδες αφαλάτωσης στα Κανάρια νησιά, Ισπανία.....	58
5.4.1	Bocabarranco.....	58
5.4.2	Arucas.....	59
5.4.3	Roque prieto.....	60
5.4.4	Aldea.....	60
5.4.5	Maspalomas.....	60
5.5	Μονάδα αφαλάτωσης στο Al-Jubail.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6		
ΒΑΣΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΩΣΤΙΚΩΝ ΦΛΕΒΩΝ.....		65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7		
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....		71
7.1	Εργαλεία σχεδιασμού.....	71
7.1.1	Εμπειρικές σχέσεις.....	72
7.1.2	Υδροδυναμική διερεύνηση.....	74
7.2	Περιγραφή CORMIX.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8		
ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....		85
8.1	Περιγραφή έργου αφαλάτωσης.....	85
8.2	Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος.....	87
8.2.1	Χημική ανάλυση θαλασσινού νερού.....	87
8.2.2	Περιγραφή αγωγών.....	88
8.3	Μαθηματική περιγραφή.....	89
8.4	Εφαρμογή λογισμικού CORMIX.....	91
8.4.1	Επιλογή Α (απλή απόληξη).....	93
8.4.2	Διερεύνηση ως προς τα θαλάσσια ρεύματα.....	119
8.4.3	Επιλογή Β (διαχυτής πολλαπλών ακροφυσίων).....	131
8.4.4	Σύγκριση επιλογής Α και Β.....	153
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9		
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		155
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		159

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Παγκόσμια κατανομή υδάτων (Shiklomanov, 2003)	13
Εικόνα 2. Βυθισμένη εκροή αλμόλοιπου για μονάδες αντίστροφης όσμωσης (RO) και πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) (Nierpelt, 2008).....	15
Εικόνα 3 Ποσοστό παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διεργασίες για το έτος 2006 (Glueckstern, 2001) ..	18
Εικόνα 4 Δυναμικότητα παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διαδικασίες για το έτος 2006 (Glueckstern, 2001)	18
Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης (Miller, 2003)	20
Εικόνα 6 Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης (Miller, 2003)	21
Εικόνα 7 Σχηματική απεικόνιση της εξάτμισης με συμπίεση ατμών (Μανωλάκος, 2009)	22
Εικόνα 8. Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης (Miller, 2003).....	23
Εικόνα 9 Διάγραμμα ροής αντίστροφης όσμωσης (Μουτάφης, 2008)	24
Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης όσμωσης (Μουτάφης, 2008).....	26
Εικόνα 11 Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης (Μανωλάκος, 2009)	28
Εικόνα 12. Η "Υδριάδα", η πρώτη παγκοσμίως πλωτή μονάδα αφαλάτωσης (Μουταάφης,2008)	32
Εικόνα 13. Γενική άποψη της μονάδας (A. Jenkins, 2005).....	52
Εικόνα 14. Χάρτης της περιοχής όπου απεικονίζονται τα σημεία εκβολής των αγωγών (A. Jenkins, 2005).....	53
Εικόνα 15 Σχεδιάγραμμα αγωγού 3 (Jenkins, 2005).....	56
Εικόνα 16 Σχεδιάγραμμα λεπτομεριών αγωγών εισροής εκροής (Jenkins,2005)	57
Εικόνα 17 Χάρτης της περιοχής που απεικονίζει τις ισοβαθής (Al-Mutaz, 2006)	61
Εικόνα 18. Χαρακτηριστικά πυκνής φλέβας (Roberts, 2007)	72
Εικόνα 19. Γραφικό περιβάλλον CORMIX	77
Εικόνα 20. Γραφικό περιβάλλον CORMIX δεδομένα μολυντή	79
Εικόνα 21. Γραφικό περιβάλλον CORMIX δεδομένα συνθήκες περιβάλλοντος	83
Εικόνα 22. Γραφικό περιβάλλον CORMIX δεδομένα γεωμετρίας εκροής.....	84
Εικόνα 23 Χάρτης προσανατολισμού.....	85
Εικόνα 24. Γενική διάταξη της μονάδας.....	86
Εικόνα 25. Σχηματική απεικόνιση της πλευρικής όψης της φλέβας της άλμης	89
Εικόνα 26. Χαρακτηριστικά της φλέβας της άλμης στο μέγιστο ύψος ανύψωσης. Σύγκριση του μοντέλου CORMIX με πειραματικά δεδομένα	112
Εικόνα 27. Σύγκριση του μοντέλου CORMIX με τα πειραματικά δεδομένα με βάση τη μικρότερη διάλυση στον άξονα της φλέβας και τη γωνία διάθεσης	113
Εικόνα 28. Θέση σημείου πρόσκρουσης του άξονα της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης.....	113
Εικόνα 29. Αραίωση της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης.....	114
Εικόνα 30 Πορεία της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης	115
Εικόνα 31. Χαρακτηριστικά της φλέβας της άλμης στο μέγιστο ύψος ανύψωσης.....	150

Εικόνα 32. Διάλυση στον άξονα της φλέβας για διάφορες γωνίες διάθεσης	150
Εικόνα 33. Θέση σημείου πρόσκρουσης του άξονα της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης.....	151
Εικόνα 34. Αραίωση της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης.....	151

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 Διαχρονική εξέλιξη της αφαλάτωσης στην Ελλάδα (Μουτάφης, 2008).....	31
Διάγραμμα 2. Διανομή θερμοκρασίας συναρτήσει της απόστασης από το σημείο εκροής (Al-Mutaz, 2006)	63
Διάγραμμα 3. Μεταβολή θερμοκρασίας συναρτήσει της απόστασης (Al-Mutaz, 2006).....	64
Διάγραμμα 4. Συγκέντρωση στερεών συναρτήσει της απόστασης (Al-Mutaz, 2006).....	64
Διάγραμμα 5. Διάγραμμα πυκνότητας θαλασσινού νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας και της αλατότητας.....	82
Διάγραμμα 6. συγκέντρωση συναρτήσει της απόστασης απο το σημείο εκροής	117
Διάγραμμα 7. διάλυση συναρτήσει της απόστασης του σημείου εκροής.....	118

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης (Αγγελάκη, 2008).....	29
Πίνακας 2 Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα (Moutafis).....	30
Πίνακας 3 Κατανάλωση ενέργειας για κάθε μέθοδο αφαλάτωσης (Κανενάκης, 2008)	38
Πίνακας 4 Τιμές έκλυσης CO ₂ - e για μια τυπική μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (RO) (Κανενάκης, 2008).....	38
Πίνακας 5 Αέριοι ρύποι κατά τη διαδικασία αφαλάτωσης (Κανενάκης, 2008)	39
Πίνακας 6 Χημική σύνθεση εισροής εκροής της μονάδας (Bocabarraco).....	45
Πίνακας 7. Φυσικοχημικοί παράμετροι εισροής εκροής της μονάδας(Al-Wagan).....	46
Πίνακας 8. Κατιόντα εισροής εκροής μονάδος(Al-Wagan).....	46
Πίνακας 9. Ανιόντα εισροής και εκροής της μονάδος(Al-Wagan)	46
Πίνακας 10 Παράμετροι εναλλακτικών εφαρμογών λογισμικού CORMIX.....	51
Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά αγωγών 2 και 3.....	55
Πίνακας 12. Χημική σύσταση εισροής και εκροής της μονάδας (Sadhvani, 2005)	58
Πίνακας 13. Χημικά που χρησιμοποιήθηκαν στην προεπεξεργασία (Sadhvani, 2005)	59
Πίνακας 14. Χημικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προεπεξεργασία και επεξεργασία (Sadhvani, 2005).....	60
Πίνακας 15 Αριθμός Manning's n συναρτήσει της τραχύτητας.....	80
Πίνακας 16 Χημική ανάλυση βάσης σχεδιασμού μονάδας αφαλάτωσης	87
Πίνακας 17 Δεδομένα εισόδου	91
Πίνακας 18. Τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών	92
Πίνακας 19 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=0$	93
Πίνακας 20 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=5$	94
Πίνακας 21 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=10$	95
Πίνακας 22 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=15$	96
Πίνακας 23 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=20$	97
Πίνακας 24 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=25$	98
Πίνακας 25 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=30$	99
Πίνακας 26 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=35$	100
Πίνακας 27 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=40$	101
Πίνακας 28 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=45$	102
Πίνακας 29 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=50$	103
Πίνακας 30 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=55$	104
Πίνακας 31 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$	105
Πίνακας 32 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=65$	106
Πίνακας 33 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=70$	107
Πίνακας 34 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=75$	108
Πίνακας 35 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=80$	109
Πίνακας 36 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=85$	110
Πίνακας 37 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=90$	111
Πίνακας 38. χαρακτηριστικά φλέβας στο τέλος του πεδίου μίξης.....	116
Πίνακας 39. ανεμολογικά στοιχεία και θαλάσσια ρεύματα περιοχής	119
Πίνακας 40 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta= 60$ και ταχύτητα ανέμου 1m/s.....	120

Πίνακας 41 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 2m/s.....	121
Πίνακας 42 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 3 m/s.....	122
Πίνακας 43 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 4 m/s.....	123
Πίνακας 44 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 5 m/s.....	124
Πίνακας 45 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 6 m/s.....	125
Πίνακας 46 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 7 m/s.....	126
Πίνακας 47 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 8 m/s.....	127
Πίνακας 48 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 9 m/s.....	128
Πίνακας 49 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 10 m/s.....	129
Πίνακας 50. χαρακτηριστικά στο τέλος του πεδίου μίξης της κοντινής περιοχής	130
Πίνακας 51 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=0$	131
Πίνακας 52 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=5$	132
Πίνακας 53 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=10$	133
Πίνακας 54 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=15$	134
Πίνακας 55 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=20$	135
Πίνακας 56 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=25$	136
Πίνακας 57 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=30$	137
Πίνακας 58 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=35$	138
Πίνακας 59 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=40$	139
Πίνακας 60 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=45$	140
Πίνακας 61 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=50$	141
Πίνακας 62 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=55$	142
Πίνακας 63 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=60$	143
Πίνακας 64 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=65$	144
Πίνακας 65 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=70$	145
Πίνακας 66 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=75$	146
Πίνακας 67 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=80$	147
Πίνακας 68 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=85$	148
Πίνακας 69 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=90$	149

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η εκτίμηση της διασποράς της άλμης από μια εγκατάσταση αφαλάτωσης καθώς και η πρόταση κατάλληλης διάταξης του διαχυτή. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής μελετήθηκαν επίσης οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από μια τέτοια εγκατάσταση καθώς και τα αντίστοιχα μέτρα αντιμετώπισης. Οι μετρήσεις κ η προσομοίωση έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού

Αρχικά γίνεται μια περιγραφή της διαδικασίας της αφαλάτωσης, παρουσιάζονται κάποια ιστορικά στοιχεία και γίνεται αναφορά στις συνήθεις μεθόδους αφαλάτωσης καθώς και μια σύγκριση μεταξύ τους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι διάθεσης της άλμης και κάποιες γενικές αρχές. Επιπρόσθετα γίνεται αναφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις γενικά από μια μονάδα αφαλάτωσης και ειδικότερα από την εκροή του αλμόλοιπου στη θάλασσα, καθώς και στα μέτρα αντιμετώπισης. Έπειτα παραθέτονται κάποια παραδείγματα διάθεσης από εγκατεστημένες μονάδες.

Γίνεται αναφορά ακόμη σε θεωρητικά βασικά στοιχεία μηχανικής ανωστικών φλεβών και στη συνέχεια περιγράφεται η μεθοδολογία σχεδιασμού για ανάλυση της μίξης κοντινού πεδίου, καθώς αναλύονται και τα εργαλεία για το σχεδιασμό αυτό.

Τα ακόλουθα κεφάλαια αναφέρονται στην εφαρμογή που έγινε, στη εκτίμηση δηλαδή της διασποράς της άλμης από μια πραγματική μονάδας αφαλάτωσης στο Κρανίδι Αργολίδος. Η προσομοίωση της ροής και του τρόπου ανάμιξης του ρεύματος της άλμης το οποίο εκρέει στη θάλασσα είχε παραμετρικό χαρακτήρα καθώς εξετάστηκαν δύο εναλλακτικές επιλογές αγωγού όσον αφορά τη μορφή της απόληξης αυτού. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι περιπτώσεις απλής απόληξης, απλός σωλήνας ο οποίος καταλήγει χωρίς κάποια ειδική διαμόρφωση και απόληξης τύπου διαχυτή πολλαπλών ακροφυσίων. Έγινε ακόμη βελτιστοποίηση για κάθε επιλογή ως προς την γωνία διάθεσης ως προς την οριζόντιο καθώς και ως προς τα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής. Συγκεκριμένα για γωνίες από 0 έως 90° και για ταχύτητα ανέμου από 1 έως 10 m/s. Πρέπει να αναφερθεί ότι γίνεται και μία σύγκριση των αποτελεσμάτων με κάποια πειραματικά δεδομένα για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων.

Η εργασία αυτή ολοκληρώνεται με τη σύνοψη των αποτελεσμάτων και τις ανάλογες προτάσεις για την εφαρμογή τους στην εγκατάσταση αφαλάτωσης που μελετήθηκε.

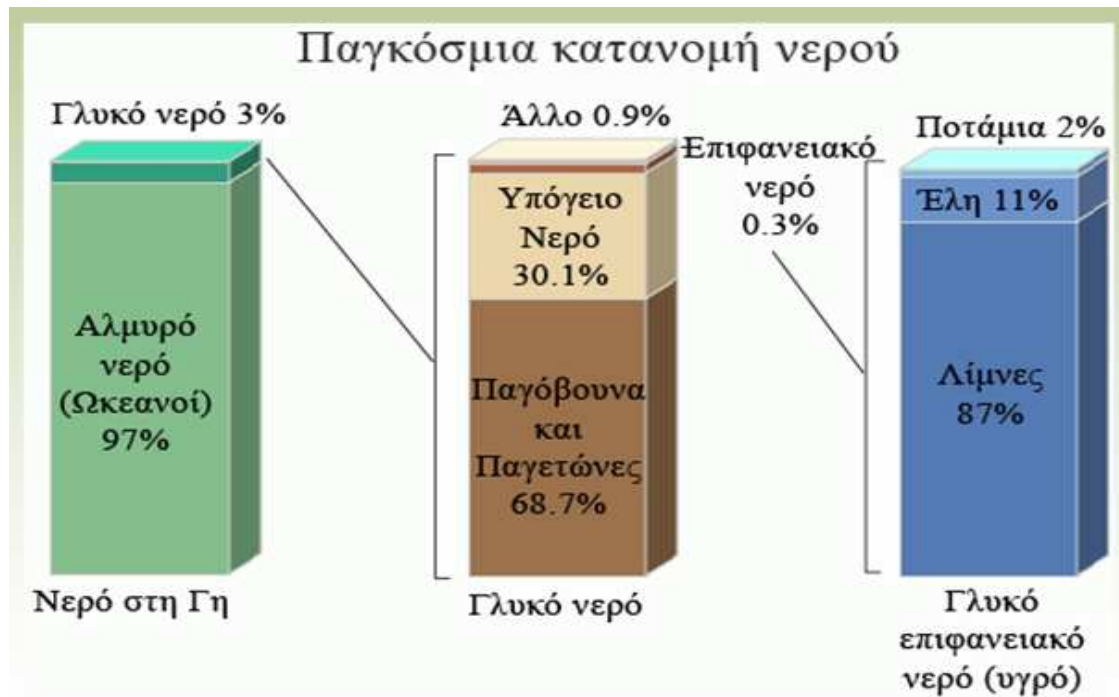
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή

«Χρησιμοποιούμε πολύ περισσότερο νερό από ότι έχουμε διαθέσιμο. Η βραχυπρόθεσμη λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας ήταν μέχρι σήμερα η άντληση ακόμη μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού από τα επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα αποθέματα. Η υπερεκμετάλλευση δεν αποτελεί όμως βιώσιμη λύση. Έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα και στην ποσότητα των εναπομενόντων υδάτων καθώς και στα οικοσυστήματα, τα οποία εξαρτώνται από το νερό. Πρέπει να περιοριστεί η ζήτηση, να ελαχιστοποιηθούν οι ποσότητες των αντλούμενων υδάτινων πόρων και να δοθεί έμφαση στην αποτελεσματική χρήση τους.»

Jacqueline McGlade, εκτελεστική διευθύντρια του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος

Η επιφάνεια της γης κατά το 71 % περίπου είναι καλυμμένη με νερό το οποίο είναι κατά κύριο λόγο μη πόσιμο. Μόνο το 2,53% είναι φρέσκο νερό από το οποίο το 30% είναι αποθηκευμένο υπόγεια, το 69% είναι 'παγιδευμένο' σε παγετώνες και προσωρινές επικαλύψεις χιονιού και μόνο το 1% είναι διαθέσιμο προς εκμετάλλευση σε λίμνες(87 %) ποτάμια(2 %) και βάλτους(11 %) (Shiklomanov, 2003) (Danoun, 2007).



Εικόνα 1. Παγκόσμια κατανομή υδάτων (Shiklomanov, 2003)

Το πόσιμο νερό είναι ζωτικής σημασίας. Εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού σε συνδυασμό με την αυξανόμενη βιομηχανική και αγροτική παραγωγή η κατανάλωση του νερού αυξάνεται διαρκώς. Το φρέσκο νερό αντλείται από υπόγεια υδροφόρα στρώματα ή από τα επιφανειακά νερά (λίμνες και ποτάμια). Στις ξηρές περιοχές όπως για παράδειγμα στην Μέση Ανατολή όπου οι πηγές φυσικού νερού είναι σπάνιες αυτή η ζήτηση πρέπει να καλυφθεί μέσω εναλλακτικών πηγών. Βλέποντας τα μεγάλα αποθέματα θαλασσινού νερού η παραγωγή πόσιμου νερού μέσω της διαδικασίας της αφαλάτωσης είναι μια προφανής λύση για την επίλυση αυτού του αυξανόμενου προβλήματος (Einvan, 2002).

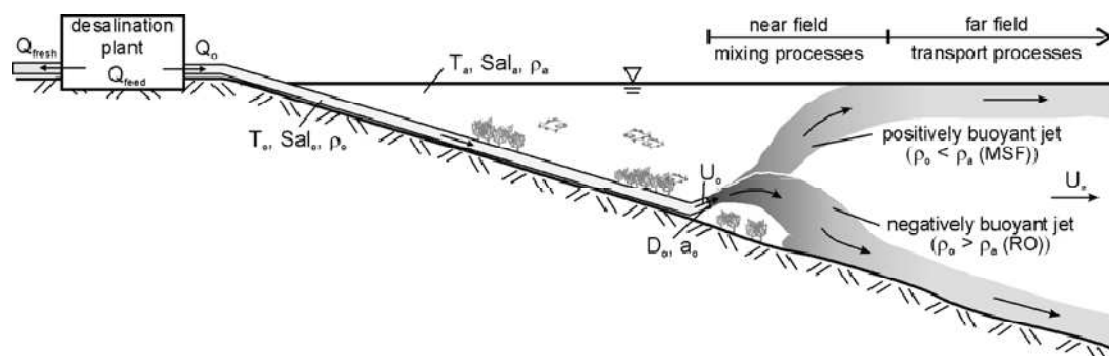
Παρόλο που η αφαλάτωση με απόσταξη και εξάτμιση είναι ήδη γνώστη από τα αρχαία χρόνια αναπτύχθηκε σε μεγάλη κλίμακα από το 1960 και μετά. Τα τελευταία 50 χρόνια η αφαλάτωση έχει μετατραπεί σε μια αξιόπιστη τεχνική παραγωγής πόσιμου νερού χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνικών μεθόδων (MSF, MED, RO, κ.τ.λ.). Σήμερα υπάρχουν περίπου 12.300 μονάδες αφαλάτωσης σε 155 χώρες με παραγωγή πάνω από 46.000.000 m^3/day πόσιμο νερό εφοδιάζοντας με νερό περίπου 23 εκατομμύρια ανθρώπους (με κατανάλωση 200 $l/(person * day)$) (GWI, 2006).

Τα τελευταία χρόνια η αφαλάτωση θαλασσινού νερού έχει μετατραπεί σε μια αποδοτική και ουσιώδη τεχνική για την παραγωγή φρέσκου νερού. Παρόλα αυτά, ενώ η τεχνική αυτή έχει τεράστια οφέλη για τον άνθρωπο, προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. Εκτός από τις επιπτώσεις που αφορούν την αισθητική της περιοχής και την κατανάλωση ενέργειας ενδέχεται να έχουμε σοβαρές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον και στην ποιότητα του παράκτιου νερού. Το αλμόλοιπο από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, δηλαδή το διάλυμα που μένει από την επεξεργασία του θαλασσινού νερού που έχει περίπου διπλάσια αλατότητα από αυτήν του θαλασσινού νερού, διοχετεύεται συνήθως στα παράλια ύδατα. Ωστόσο η διάθεση του αλμόλοιπου είναι συνυφασμένη με διάφορες πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον καθώς περιέχει διάφορες βλαβερές ουσίες (βαρέα μέταλλα, διάφορα πολυμερή, αλογονούχες ενώσεις, αντιφρώδη πρόσθετα, οξέα κ.τ.λ.) οι οποίες προστίθενται για να βοηθήσουν την διαδικασία της αφαλάτωσης, έχει μεγάλη αλατότητα και/ή διαφορά θερμοκρασίας από το περιβάλλον διάθεσης (θαλασσινό νερό) (Hoerner, 1999). Είναι λοιπόν φανερό πως μπορεί να αντιμετωπίσουμε προβλήματα με την ποιότητα νερού αν δεν έχουμε ικανοποιητική διάλυση του αλμόλοιπου.

Η συμπεριφορά της μίξης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της εκροής καθώς και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος διάθεσης. Στην αρχική περιοχή της εκροής δηλαδή στο κοντινό πεδίο (near-field) έχουμε ισχυρή μίξη επηρεαζόμενη κυρίως από τα χαρακτηριστικά της εκροής (παροχή, γεωμετρία εκροής). Αρκετά μακριά από το σημείο εκροής έχουμε την μακρινή περιοχή που ονομάζουμε far-field όπου η υδροδυναμική συμπεριφορά της μίξης

επηρεάζεται κυρίως από τη σταθερότητα ή μη του περιβάλλοντος (Niepelt, 2007).

Η διοχέτευση του αλμολοίπου στη θάλασσα επηρεάζει το ευρύτερο περιβάλλον εντός του οποίου ζει και δραστηριοποιείται ο άνθρωπος και είναι κρίσιμη για την επιβίωση της χλωρίδας και πανίδας του αποδέκτη. Για την εξασφάλιση της ποιότητας του αποδέκτη (θάλασσα) είναι απαραίτητη η πρόβλεψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη διάθεση του αλμολοίπου, ώστε να προταθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός του συστήματος διάθεσης. Γενικά διακρίνουμε τις επιπτώσεις στις τοπικές επιπτώσεις κοντά στο σημείο διάθεσης και στις επιπτώσεις της ευρύτερης περιοχής μακριά από την πηγή (σημείο εξόδου). Για το λόγο αυτό μια μελέτη για τη διάθεση του αλμολοίπου πρέπει να τελειοποιεί το σχεδιασμό και την τοποθέτηση της εκροής έτσι ώστε να επιτυγχάνεται όσον το δυνατόν μεγαλύτερη αρχική διάλυση στο κοντινό πεδίο (near-field) για μείωση των τοπικών επιπτώσεων και καλή τοποθέτηση με καλά χαρακτηριστικά ροής στο μακρινό πεδίο (far-field) για μείωση των επιπτώσεων στο ευρύτερο περιβάλλον.



Εικόνα 2. Βυθισμένη εκροή αλμολοίπου για μονάδες αντίστροφης όσμωσης (RO) και πολυβάθμιας εκτόνωσης (MSF) (Niepelt, 2008).

Για την πρόβλεψη των υδροδυναμικών μηχανισμών της μίξης χρησιμοποιούνται διαφορετικά υδροδυναμικά μοντέλα. Καθώς είναι ανέφικτο να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος χρησιμοποιούμε δυο διαφορετικά μοντέλα. Ενδεικτικά στο near-field μπορεί να χρησιμοποιηθεί λογισμικό τύπου CORMIX και στο far-field FLOW-3DL παρόλο που δεν υπάρχουν οι διεπαφές για την σύνδεση τους.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η εκτίμηση της διασποράς της άλμης από μια πραγματική εγκατάσταση αφαλάτωσης στο Κρανίδι Αργολίδος καθώς και η πρόταση κατάλληλης διάταξης του διαχυτή. Η υδροδυναμική διερεύνηση της ροής στο μακρινό πεδίο (far-field) είναι πέρα από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

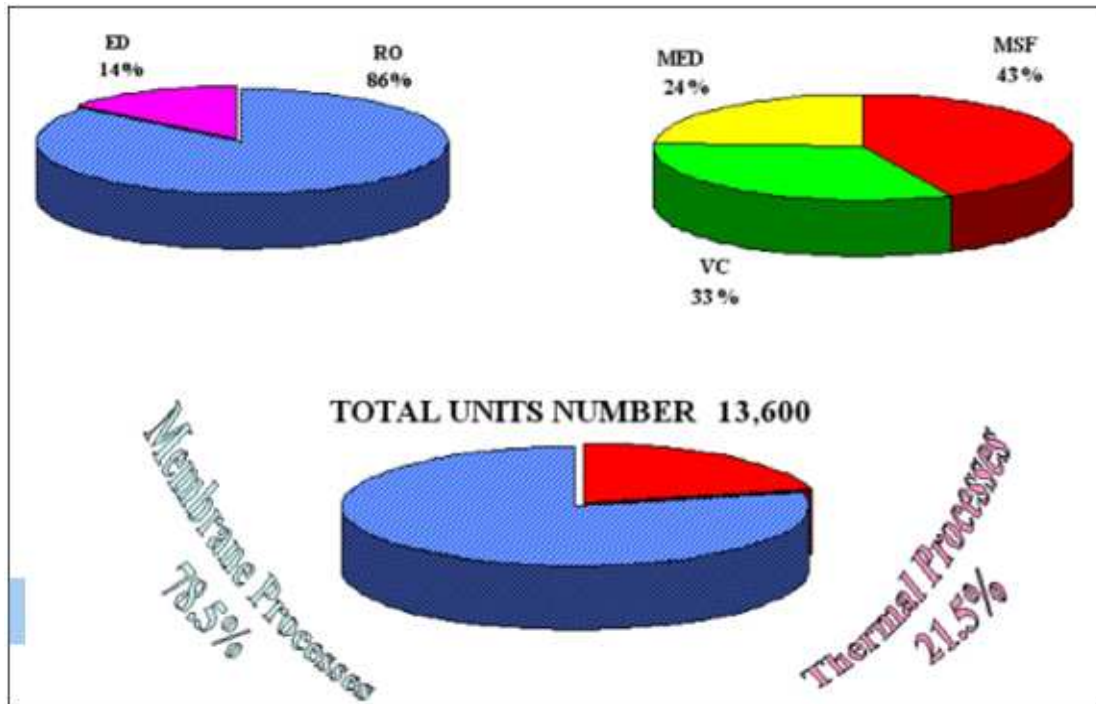
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Αφαλάτωση

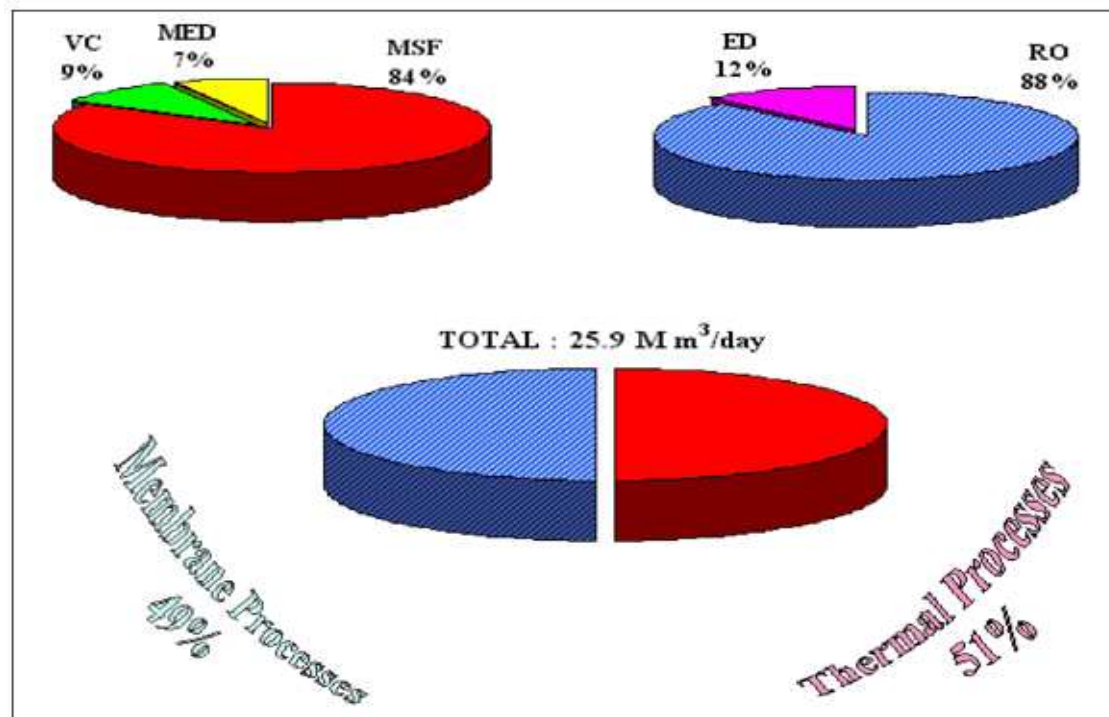
2.1. Τι είναι η αφαλάτωση – ιστορικά στοιχεία

Γενικά (Βικιπαίδεια) 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 και υπόγεια υφάλμυρα ύδατα. 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 20^ο αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Γης. Όπως είναι γνωστό το 97,3% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα αναμιγμένο 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.

Σύμφωνα με στοιχεία του 2000 (Glueckstern, 2001), 13600 μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν παγκοσμίως και έχουν παραγωγή $25,9 \times 10^6$ m³/ημέρα καθαρό νερό. Το 11% αυτών των μονάδων εγκαταστάθηκαν τα τελευταία δυο χρόνια (πριν το 2000). Το 38% αυτών βρίσκονται στον Περσικό Κόλπο και το 17% στις ΗΠΑ. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF) και η αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis, RO), καθεμιά απ' τις οποίες παράγει το 43% του παγκόσμιου προϊόντος. Παρ' ότι όμως αυτές οι μέθοδοι έχουν την ίδια παραγωγή, η RO χρησιμοποιείται στο 68% των περιπτώσεων και μια τυπική μονάδα έχει μέση παραγωγή 1200 m³/ημέρα, ενώ η MSF χρησιμοποιείται σε ποσοστό μόλις 9% και μια τυπική μονάδα έχει μέση παραγωγή 8800 m³/ημέρα. Συνολικά, η MSF και η RO παράγουν συνολικά το 86% της παγκόσμιας ποσότητας αφαλατωμένου νερού, η ηλεκτροδιάλυση (elektrodialysis, ED) το 6%, η συμπίεση ατμών (vapor compression, VC) το 4% και η πολυβάθμια εξάτμιση (multiple effect distillation, MED) το 4%. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις MSF απαντώνται στον Περσικό Κόλπο, ενώ στον υπόλοιπο κόσμο κυριαρχεί RO. Τα Μεσογειακά κράτη, ανάμεσά τους και η Ελλάδα, στράφηκαν προς την RO τις δυο τελευταίες δεκαετίες. Τα παραπάνω στοιχεία συγκεντρώνονται γραφικά στις εικόνες που ακολουθούν (εικόνες 3 και 4).



Εικόνα 3 Ποσοστό παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διεργασίες για το έτος 2006 (Glueckstern, 2001)



Εικόνα 4 Δυναμικότητα παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διαδικασίες για το έτος 2006 (Glueckstern, 2001)

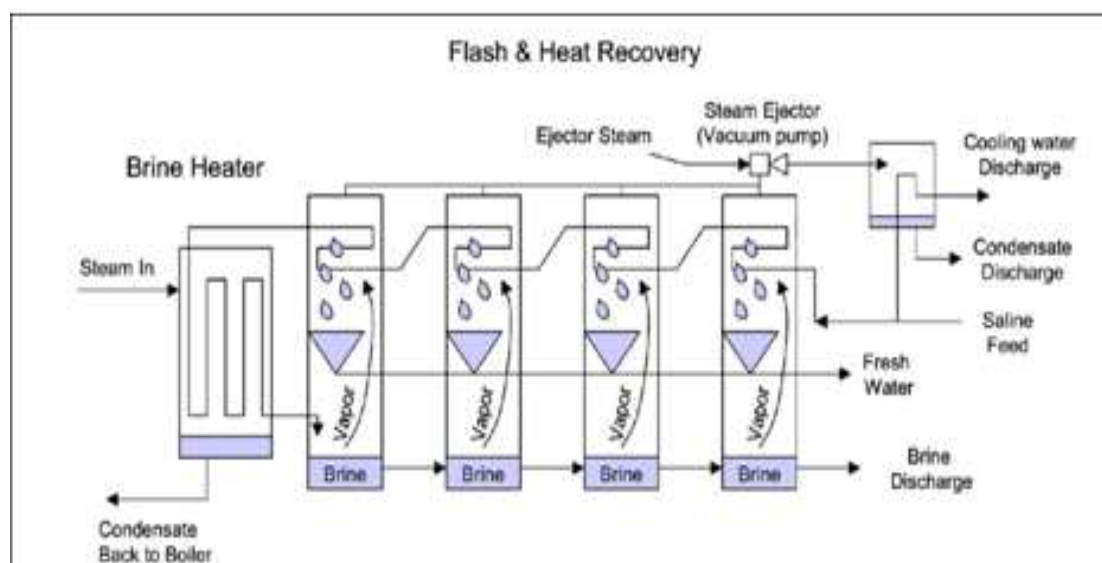
2.2 Συνήθεις μέθοδοι αφαλάτωσης

Οι διεργασίες αφαλάτωσης γενικά διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Σε διεργασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης (θερμικές διεργασίες). Αυτές είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση. Η δεύτερη όμως δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Όσον αφορά την απόσταξη, οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF), η πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED), η εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC) και η ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation).
- Σε διεργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται σε μια μόνο φάση, δηλαδή την υγρή. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν η αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis, RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED), οι οποίες χρησιμοποιούν μεμβράνες για την απομάκρυνση των αλάτων

2.2.1. Πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF)

Η τυπική λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης απεικονίζεται σχηματικά στην εικόνα 5, παρακάτω.

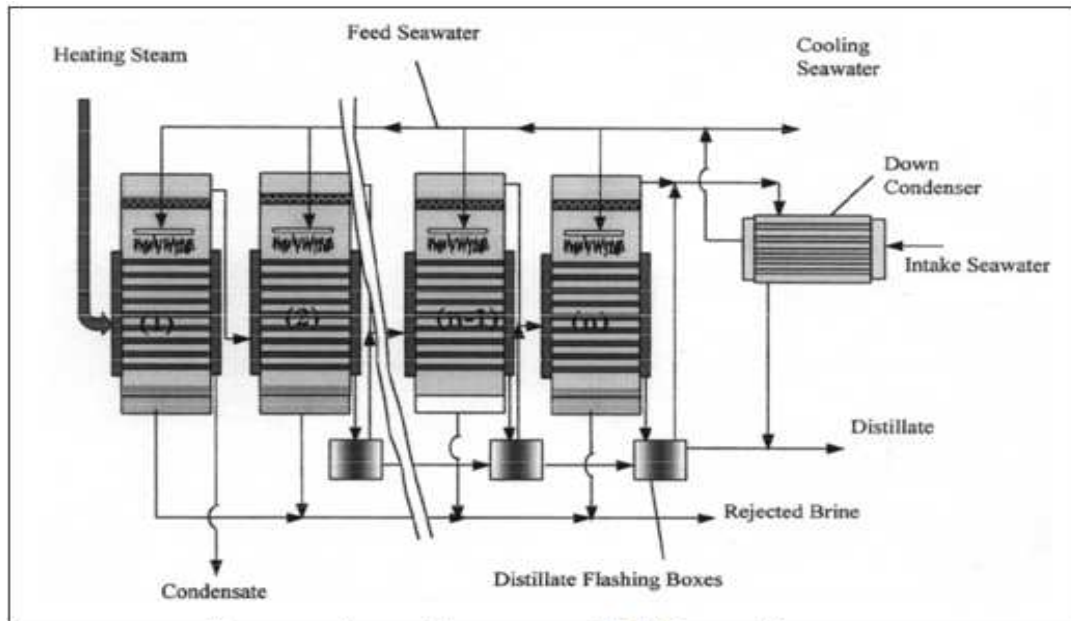


Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης (Miller, 2003)

Η αρχή λειτουργίας της είναι η εξής: το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη του σημείου ζέσεως και στη συνέχεια εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο που υπάρχει πίεση χαμηλότερη απ' την πίεση κορεσμού, οπότε ατμοποιείται. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό, υγροποιείται και συλλέγεται ως καθαρό νερό. Η άλμη προωθείται στους επόμενους θαλάμους, όπου το φαινόμενο επαναλαμβάνεται και η πίεση διαρκώς μειώνεται (για να παρακολουθήσει την αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας της άλμης), μέχρι που τελικά απορρίπτεται. Σε πολλές εφαρμογές οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται δίπλα σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας για καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου. Έτσι ο ατμός υψηλής πίεσης εκτονώνεται στον αμοστρόβιλο για παραγωγή ισχύος και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. (Miller, 2003).

2.2.2. Πολυβάθμια εξάτμιση (multiple effect distillation)

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 6) φαίνεται η σχηματική της απεικόνιση μιας τέτοιας εγκατάστασης.

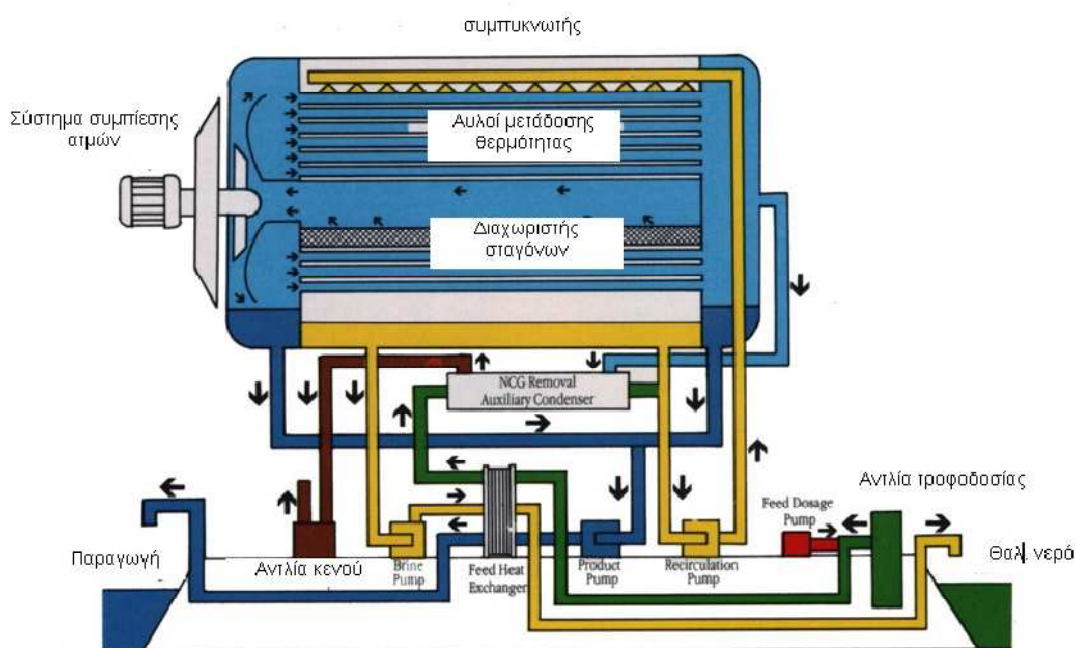


Εικόνα 6 Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης (Miller, 2003)

Η πολυβάθμια εξάτμιση είναι παρόμοια με την πολυβάθμια εκτόνωση, αναπτύχθηκε νωρίς και υπήρχαν εγκαταστάσεις από τη δεκαετία του '50. Παρ' όλα αυτά σταδι ακά αντικαταστάθηκε απ' την πολυβάθμια εκτόνωση, λόγω τεχνικών προβλημάτων και ακόμη και σήμερα δεν είναι τόσο διαδεδομένη. Τελευταία αρχίζει όμως να ξανακερδίζει έδαφος λόγω καλύτερης θερμικής απόδοσης. Εδώ ο ατμός περνάει μέσα από σωλήνες, ενώ το ψυχρό θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους, για να δημιουργηθεί φιλμ και να εξατμιστεί αποτελεσματικότερα. Έτσι, μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σαν καθαρό νερό, ενώ ο υπόλοιπος ατμός, μαζί με μέρος του θαλασσινού νερού που ατμοποιήθηκε, συνεχίζουν στον επόμενο θάλαμο. Και εδώ σε κάθε θάλαμο υπάρχει αντλία κενού για να βοηθά την εξάτμιση, με βαθμιαία μειούμενη πίεση σε κάθε θάλαμο, ίση με την πίεση κορεσμού στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Αυτό επιτρέπει τη λειτουργία σε υψηλή (>90 °C) ή χαμηλή (<90 °C) θερμοκρασία και μάλιστα η μέγιστη θερμοκρασία βρασμού μπορεί να είναι έως και 55 °C (Miller, 2003), πράγμα που λειτουργεί ανασταλτικά στη διάβρωση και επιτρέπει τη χρήση χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενης θερμότητας από άλλες θερμικές διεργασίες. Στη μέθοδο αυτή συχνά χρησιμοποιούνται και συμπιεστές (μηχανικοί ή θερμικοί), ενώ οι παραλλαγές της προκύπτουν απ' την οριζόντια ή κάθετη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά του ατμού σε σχέση με την άλμη (ομορροή, αντιρροή ή παράλληλη).

2.2.3. Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (vapor compression)

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 8) φαίνεται η σχηματική απεικόνιση μιας εγκατάστασης εξάτμισης με συμπίεση ατμών.

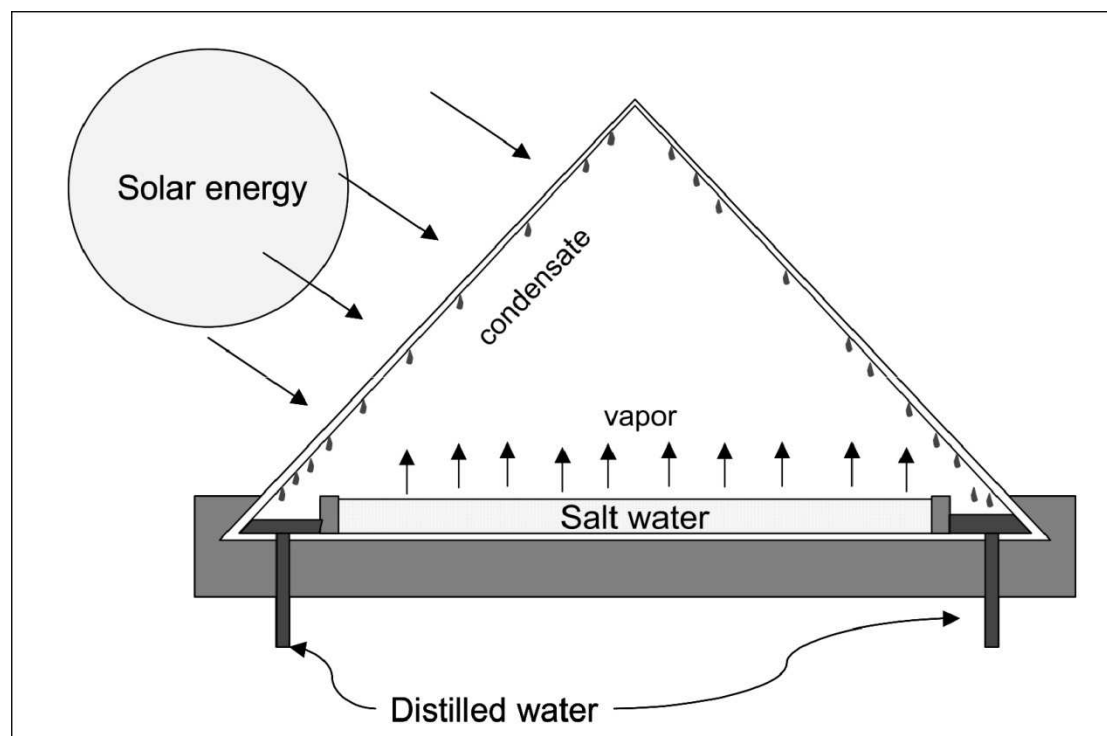


Εικόνα 7 Σχηματική απεικόνιση της εξάτμισης με συμπίεση ατμών (Μανωλάκος, 2009)

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποδοτική και απλή στην κατασκευή, χωρίς πολλαπλά στάδια. Το θαλασινό νερό ψεκάζεται πάνω σε μια σειρά σωλήνων που τους διαπερνά ατμός, θερμαίνεται και εξατμίζεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Ο συμπιεστής αυτός μαζεύει τους ατμούς του καθαρού νερού και τους εκτοξεύει με πίεση μέσα στους σωλήνες και με την επαφή του ψυχρού θαλασινού νερού συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως προϊόν. Η κύρια διαφορά με τις προηγούμενες δυο μεθόδους είναι προφανώς η απουσία πηγής θερμότητας, αφού εδώ η εξάτμιση προκαλείται αποκλειστικά και μόνο απ' τη χαμηλή πίεση, δηλαδή λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Και εδώ η δημιουργία λεπτού φιλμ πάνω στους σωλήνες είναι το κλειδί για την αποτελεσματικότερη εξάτμιση και άρα απόδοση της εγκατάστασης. Η εξάτμιση με συμπίεση ατμών χρησιμοποιείται γενικά σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις και παράγει μέχρι και 3000 m³/ημέρα.

2.2.4. Ηλιακή απόσταξη (solar distillation)

Παρακάτω (εικόνα 8) φαίνεται η σχηματική απεικόνιση αυτής της διαδικασίας αφαλάτωσης.

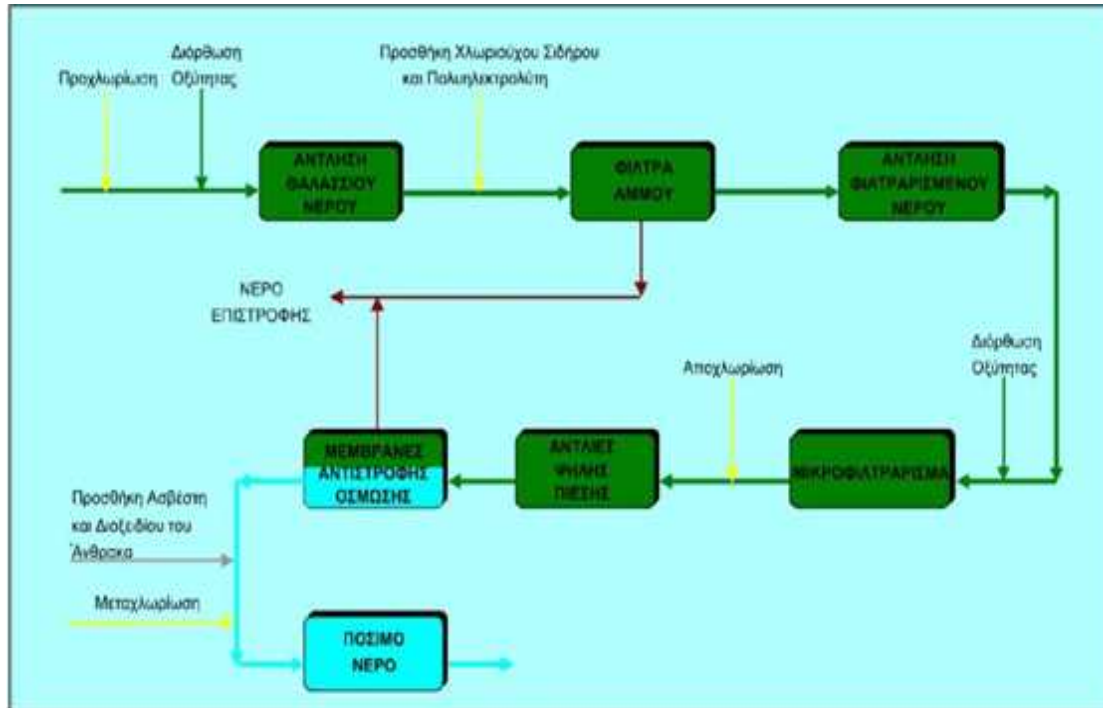


Εικόνα 8. Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης (Miller, 2003)

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 προσπιττώμενης ακτινοβολίας και η απόδοσή τους είναι αρκετά χαμηλή, περίπου 4 λίτρα καθαρό νερό την ημέρα ανά τετραγωνικό μέτρο εδάφους. 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.

2.2.5. Αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis)

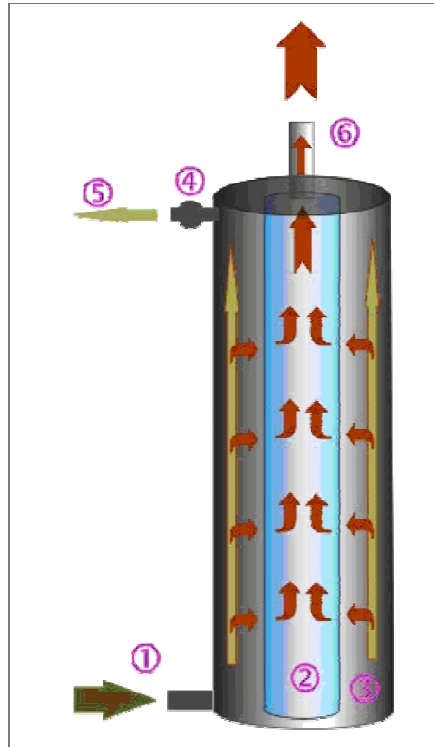
Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 9) φαίνεται ένα διάγραμμα ροής μιας τέτοιας εγκατάστασης.



Εικόνα 9 Διάγραμμα ροής αντίστροφης όσμωσης (Μουτάφης, 2008)

Η μέθοδος αυτή, όπως φαίνεται και από το όνομά της, βασίζεται στο φαινόμενο της όσμωσης, κατά το οποίο όταν δυο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις (πυκνότητες) χωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη (δηλ. μεμβράνη που δεν επιτρέπει τη διέλευση κάποιων ουσιών μέσα από αυτή, όπως π.χ. άλατα) τότε το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση θα περάσει μέσα από τη μεμβράνη προς το πυκνότερο διάλυμα, μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις τους. Το φαινόμενο αυτό απαντάται πολύ συχνά στη φύση και στους ζωντανούς οργανισμούς, ανάμεσά τους και ο άνθρωπος, καθώς πολλές κυτταρικές λειτουργίες βασίζονται σ' αυτό, για παράδειγμα το δέρμα, τα νεφρά, οι πνεύμονες και τα ίδια τα κύτταρα λειτουργούν λίγο ως πολύ ως μεμβράνες. Η πίεση που πρέπει να ασκηθεί στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος για να μην λάβει χώρα το φαινόμενο της όσμωσης ονομάζεται οσμωτική πίεση.

Η αντίστροφη όσμωση συνιστά ακριβώς αυτό: την άσκηση πίεσης (μεγαλύτερη της οσμωτικής) στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος (στην περίπτωση της αφαλάτωσης, του θαλασσινού ή άλλου ακάθαρτου νερού), ώστε απ' την άλλη να παραληφθεί φιλτραρισμένο καθαρό νερό. Ο πιο συνηθισμένος τύπος συσκευής είναι αυτός που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 15). Το προς καθαρισμό νερό εισέρχεται από την είσοδο (1) στη συσκευή και καταλαμβάνει το χώρο (3). Υπάρχουν δυο διέξοδοι: η (5) και η (6). Ο χώρος (3) βρίσκεται υπό πίεση και το νερό εξαναγκάζεται κατά ποσοστό 25% περίπου να διέλθει μέσα από τη μεμβράνη (2), οπότε και καθαρίζεται και εξέρχεται από την (6) ως προϊόν, είτε μόλις η πίεση ξεπεράσει το όριο της βαλβίδας (4) να βγει από την έξοδο (5), σε ποσοστό 75% περίπου, παρασύροντας μαζί του και τις ακαθαρσίες στην επιφάνεια της μεμβράνης, όπου και απορρίπτεται.



Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης όσμωσης (Μουτάφης, 2008)

Για το θαλάσσιο νερό, που πρωτίστως μας ενδιαφέρει, χρειάζονται ορισμένα στάδια επεξεργασίας (Μουτάφης, 2008):

- Στάδιο προεπεξεργασίας
- Στάδιο αντίστροφης όσμωσης
- Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Στάδιο προεπεξεργασίας

Στα συστήματα αντίστροφης όσμωσης, για την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών, το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του θαλάσσιου νερού είναι πολύ σημαντικό. Γι' αυτό στο στάδιο τούτο, οι μικροοργανισμοί πρέπει να καταστραφούν και τα αιωρούμενα στερεά να αφαιρεθούν ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες. Η προεπεξεργασία του θαλάσσιου νερού συνήθως περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου (με τοποθέτηση σχάρας στην αναρρόφηση για να μην εισέλθουν ψάρια, φύκια και πλαστικά)
- Προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού (με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου)
- Προσθήκη οξέος (συνήθως θειικό οξύ για τη ρύθμιση της οξύτητας και την αποφυγή απόθεσης αλάτων)
- Συσσωμάτωση των κολλοειδών/οργανικών ουσιών (με προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη)

- Φίλτρο άμμου (περιλαμβάνει άμμο, χαλίκια και ανθρακίτη για την κατακράτηση ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων).
- Φίλτρα πολυπροπυλενίου (για κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες)
- Αποχλωρίωση (με θειούχο νάτριο ή φίλτρο ενεργού άνθρακα, γιατί οι μεμβράνες καταστρέφονται στην παρουσία ελεύθερου χλωρίου)
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία

Στάδιο αντίστροφης όσμωσης

Στο στάδιο του διαχωρισμού στις μεμβράνες, αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την πίεση που απαιτείται ώστε το νερό να περάσει μέσα από τις μεμβράνες και να απορρίψει τα άλατά του. Αυτή η πίεση είναι μεταξύ 54 και 80 ατμόσφαιρες. Καθώς ένα μέρος του νερού περνάει μέσα από τις μεμβράνες, στο υπόλοιπο νερό αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων. Την ίδια στιγμή ένα μέρος του νερού που τροφοδοτείται στις μεμβράνες απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές. Χωρίς αυτή την ελεγχόμενη απόρριψη, η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό θα συνέχιζε να αυξάνει, με επακόλουθο την εναπόθεση των υπερκορεσμένων αλάτων και αύξηση της οσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών. Η ποσότητα του νερού αυτού είναι μεταξύ 20% και 70% της ροής τροφοδοσίας και εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό τροφοδοσίας.

Τελικό στάδιο επεξεργασίας

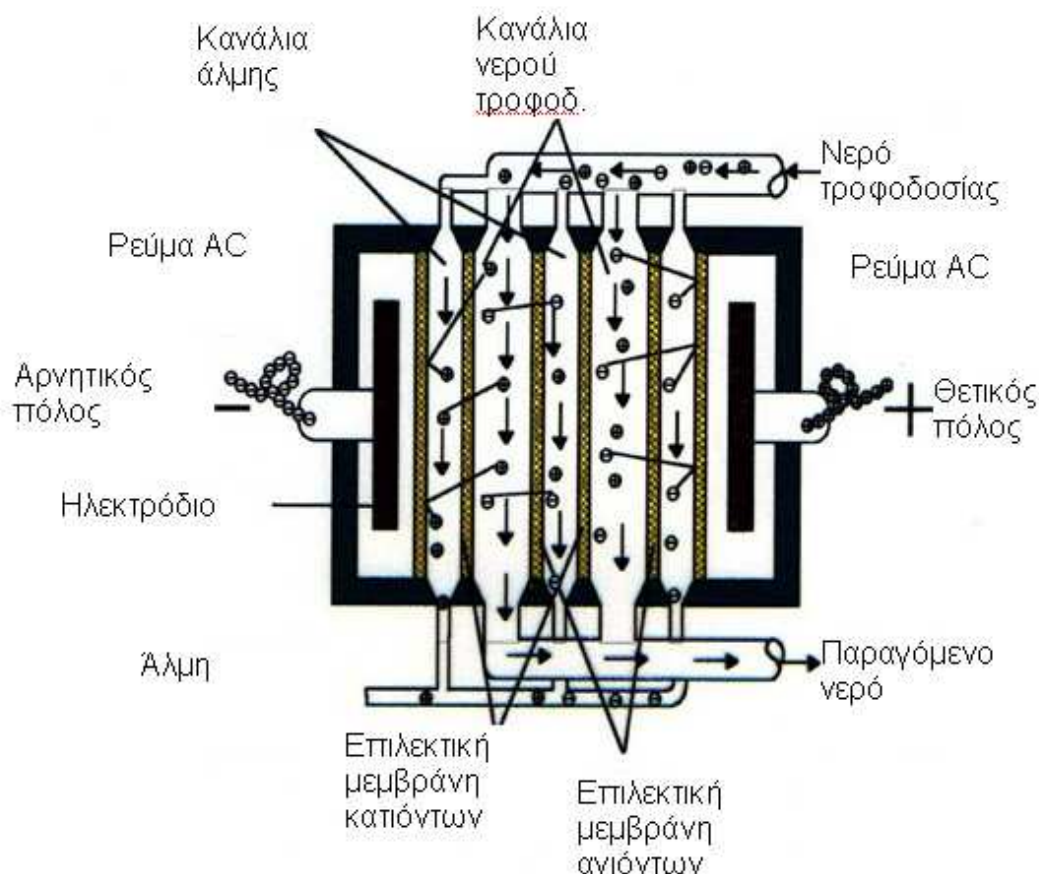
Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας γίνεται σταθεροποίηση του παραγόμενου νερού και προετοιμασία του για τη διανομή του ως πόσιμο νερό. Το στάδιο αυτό μπορεί να αποτελείται από:

- Απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο
- Ρύθμιση της οξύτητας (pH) και αύξηση της σκληρότητας (με προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα)
- Τελική χλωρίωση

Είναι φανερό ότι στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης η ενέργεια που απαιτείται καταναλώνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στις αντλίες για τη συμπίεση του νερού. Επειδή η οσμωτική πίεση (που πρέπει να υπερνικηθεί) είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων, η αντίστροφη όσμωση είναι η πρώτη επιλογή για υφάλμυρα νερά, με την πίεση λειτουργίας να είναι 15 – 25 bar, ενώ για θαλάσσιο νερό είναι 54 – 80 bar, αφού η οσμωτική του πίεση είναι περίπου 25 bar. Η σημαντικότερη απώλεια ενέργειας είναι η εκτόνωση της άλμης, όταν βγαίνει με υψηλή πίεση απ' τη συσκευή και γι' αυτό, σε μεγάλες κυρίως μονάδες, υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής, π.χ. υδροστρόβιλοι, με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95%.

2.2.6. Ηλεκτροδιάλυση (elektrodialysis)

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 11) φαίνεται μια σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αυτής.



Εικόνα 11 Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης (Μανωλάκος, 2009)

Όπως δηλώνει και το όνομά της, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό για να καθαρίσει το νερό. Το νερό τροφοδοσίας περνάει ανάμεσα από φορτισμένες μεμβράνες, θετικά και αρνητικά εναλλάξ. Έτσι, τα ιόντα που είναι διαλυμένα προσκολλώνται στις μεμβράνες, οι οποίες επιτρέπουν τη διέλευσή τους και μόνο, δημιουργώντας διαμερίσματα μικρότερης και μεγαλύτερης συγκέντρωσης, που μας δίνουν το προϊόν και την άλμη αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να απομακρύνει τα μη ιοντικά στερεά, αλλά και όσον αφορά τα ιοντικά, η απαιτούμενη ενέργεια αυξάνει ανάλογα με τη συγκέντρωση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε νερά χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων, όπως τα υφάλμυρα. Για τον καθαρισμό και την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών, εφαρμόζεται αντιστροφή των πεδίων, αλλάζοντας θέση στα κανάλια του προϊόντος με αυτά της άλμης. Έτσι τα τμήματα των μεμβρανών που είχαν μαζέψει πολλά άλατα καθαρίζονται από τη ροή καθαρού νερού. Στο τέλος της διεργασίας γίνεται επεξεργασία του νερού για τη ρύθμιση της σκληρότητας και του pH, όπως στην αντίστροφη όσμωση.

2.3. Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης

Για να επιλέξει κάποιος μια συγκεκριμένη μέθοδο πρέπει να λάβει υπόψη του:

- Την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο)
- Την ποσότητα και την ποιότητα του παραγόμενου νερού
- Το κόστος επένδυσης
- Τη διαθεσιμότητα χώρου
- Τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις διαθέσιμες μορφές ενέργειας
- Τη διαθεσιμότητα και την εμπειρία του προσωπικού

Τα συμπεράσματα φαίνονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα (πίνακας 1) (Τζεν, 2001) (Αγγελάκη, 2008).

Πίνακας 1 Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης (Αγγελάκη, 2008)

Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης							
Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Ποιότητα προϊόντος (TDS)	Παραγωγή Προϊόντος (m ³ /day)	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας	Κόστος Εγκατάστασης €/m ³ /day)
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	~10	1.000 -60.000	Θερμική Ηλεκτρική	290 kJ/kg 4 – 6 kWh/m ³	1000 – 2000
MED	Θαλασσινό	Θερμική	~10	500 - 20.000	Θερμική Ηλεκτρική	270 kJ/kg 2,5 – 3 kWh/m ³	850 – 1750
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	~10	25 - 2.500	Ηλεκτρική	8 – 15 kWh/m ³	1000 – 2350
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	>500	0.4 - >70.000	Ηλεκτρική	<5 kwh/m ³ <3kWh/m ³ με ανάκτηση ενέργειας	650 – 4400
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~250-500	2.5 - >50.000	Ηλεκτρική	0,5 – 3 kWh/m ³	300 – 2000
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~300-500	1.5 - 50.000	Ηλεκτρική	1,5 – 4 kWh/m ³	1000 - 5000

2.4. Η αφαλάτωση στον Ελλαδικό χώρο

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν στην Ελλάδα και χρησιμοποιούν τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης (Αγγελάκη, 2008), (Μουτάφης, 2008):

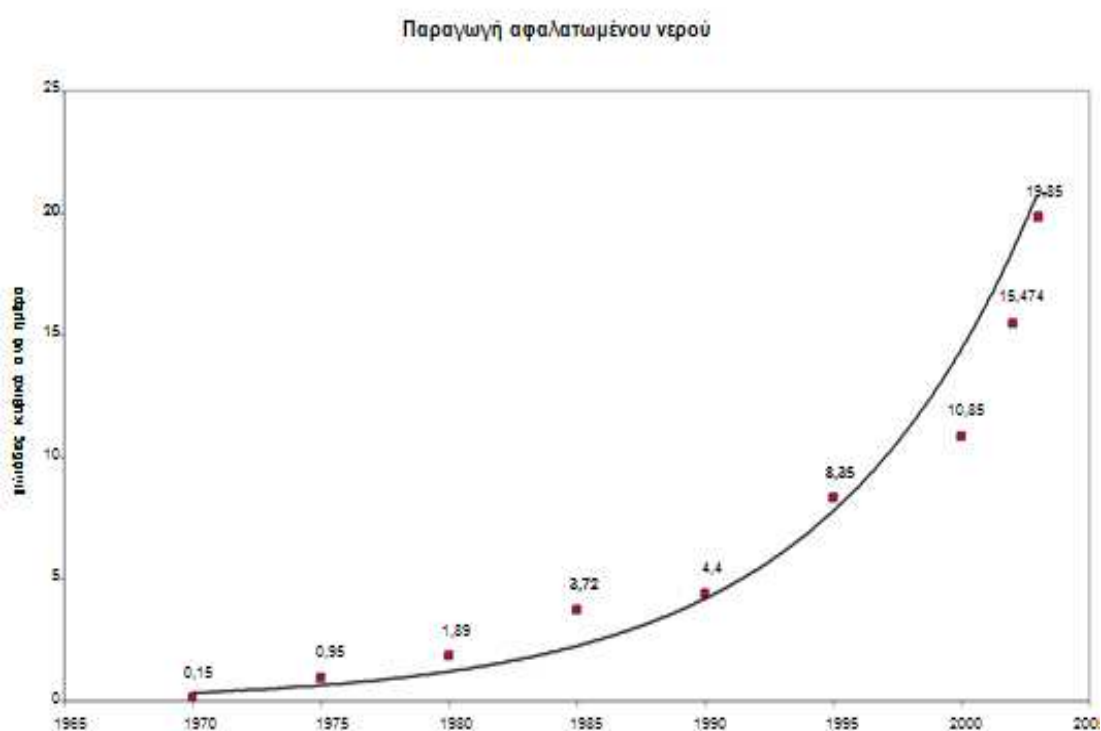
Πίνακας 2 Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα (Moutafis)

Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα					
Μονάδα	Έτος Κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Δυναμικότητα (m ³ /hr)	Αρχικό κόστος (10 ⁶ €)	Λειτουργικό κόστος (€)
Σύρος 1 ^η (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800	0,589	1,25
Σύρος 2 ^η (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800	1,482	1,25
Σύρος 3 ^η (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	2*250	0,346	1,00
Σύρος 4 ^η (Ερμούπολη)	2000	RO (SW)	250	0,215	0,50
Σύρος 5 ^η (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	250	0,40	0,50
Σύρος 6 ^η (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	500	0,313	1,00
Σύρος 7 ^η (Ερμούπολη)	2005	RO (SW)	4*500	1,00	0,40
Σχοινούσα	2004	RO (SW)	2*500	0,120	0,70
Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	RO (SW)	100	1,276	0,50
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO (SW)	3*650	0,415	0,50
Τήνος (Παλαιά)	2001	RO (SW)	1200	0,434	0,62
Τήνος (Νέα)	2005	RO (SW)	500	0,376	0,62
Οίας, Σαντορίνης 1 ^η	1994	RO	500	0,211	2,00
Οίας, Σαντορίνης 2 ^η	2000	RO	220	0,211	2,00
Οίας, Σαντορίνης 3 ^η	2002	RO	320		2,00
Σίφνος	2002	RO (BW)	160	0,224	3,50
Ομηρούπολη (Δήμος), Χίος	2000	RO (BW)	500	0,205	0,30
Ομηρούπολη (Δήμος), Χίος	2005	RO	600	0,710	0,26
Ομηρούπολη (Δήμος), Χίος	2005	RO	3*1000	0,200	0,26
Νίσυρος (παλαιά)	1991	RO	500	0,572	
Νίσυρος (νέα)	2002	RO	300	0,295	0,66
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 1 ^η	1981	RO	350	0,264	2,88
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 1 ^η	2003	RO	620	0,587	0,58
Λέρου (ΔΕΥΑ)	2001	RO	520	0,074	0,13
Κασσωπαίων (Δήμος)	2001	RO	200	0,117	0,13
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 2	2002	RO (SW)	500	0,464	0,56
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 2	2005	RO (SW)	2*250	0,574	0,45
Αγίου Γεωργίου (Δήμος)	2002	RO	2*500	0,102	0,30
Παξών(Δήμος)1 ^η	2005	RO	500	0,260	0,51
Παξών(Δήμος)2 ^η	2005	RO	330	0,162	0,59
Παξών(Δήμος)3 ^η	2007	RO (SW)	150	0,211	0,51
Δυστίων(Δήμος)	2006	RO (BW)	250	0,200	0,30
Σίφνος(Δήμος)	2007	RO (SW)	400		
Ιος (Δήμος)	2003	RO (SW)	250		
Ιθάκη(Δήμος)	2005	RO (SW)	1000	0,220	
Οινουσιών(Δήμος)	2005	RO (SW)	200		
Πόρου (Δήμος)	2006	RO (BW)	500	0,200	0,30

Συνοπτική παρουσίαση των μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα:

- Σύνολο μονάδων: 48
- Συνολική δυναμικότητα: 23.970 m³
- Διακύμανση δυναμικότητας: 100 – 2000 m³/d
- Τύπος: RO
- Αποδοχή: καλή
- Διακύμανση κόστους: 0,30 – 2,70 €/m³
- Κατασκευαστές: CULLIGAN Hellas, TEMARK GR, CHRIST CH, MATRIX USA, κ.α.

Η διαχρονική εξέλιξη της αφαλάτωσης στην Ελλάδα παρουσιάζεται διαγραμματικά παρακάτω (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1 Διαχρονική εξέλιξη της αφαλάτωσης στην Ελλάδα (Μουτάφης, 2008)

Να σημειωθεί ότι η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης στην Ελλάδα εγκαινιάστηκε στη Σύμη στις 10 Οκτωβρίου 1964.

Τέλος, δεν μπορεί να παραλειφθεί η αναφορά στην «Υδριάδα» (εικόνα 18), την πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο που είναι εξ' ολοκλήρου ελληνικής μελέτης και κατασκευής (ΤΑ ΝΕΑ). Η «Υδριάδα» βρίσκεται στην Ηρακλειά των Μικρών Ανατολικών Κυκλάδων και έχει παραγωγή περίπου 70 m³/ημέρα, είναι ενεργειακά αυτόνομη, λόγω της ανεμογεννήτριας και των επικουρικών φωτοβολταϊκών που διαθέτει, ενώ τα έξοδα συντήρησης ανέρχονται σε μόλις 0,2 ευρώ ανά κυβικό μέτρο και ο έλεγχός της γίνεται εξ' αποστάσεως με σύστημα GPRS κινητής τηλεφωνίας. Η ομάδα που την κατασκεύασε ισχυρίζεται ότι θα ετοιμάσει άλλες τρεις πολύ μεγαλύτερες πλατφόρμες που θα παράγουν 200 κυβικά την ημέρα η καθεμία και θα εγκατασταθούν σε νησιά του Αιγαίου. Η κατασκευή αυτή έχει το σοβαρό πλεονέκτημα ότι μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου ο άνεμος είναι ισχυρότερος, ενώ αντέχει σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, οπότε η παραγωγή πόσιμου νερού είναι συνεχής.



Εικόνα 12. Η "Υδριάδα", η πρώτη παγκοσμίως πλωτή μονάδα αφαλάτωσης (Μουταάφης,2008)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Διάθεση της άλμης

3.1. Γενικοί μέθοδοι διάθεσης της άλμης

Η διάθεση της άλμης από συστήματα αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση πραγματοποιείται στους ακόλουθους αποδέκτες (WHO,2007):

3.1.1. Στα επιφανειακά νερά

Επιφανειακά διάθεση νερού μπορεί να επιτευχθεί με απευθείας απόρριψη άλμης σε υδατικό σύστημα, εγκαθιστώντας μηχανικούς ελέγχους, όπως συσκευές διάχυσης στην εκβολή, ή με ανάμειξη της άλμης με άλλα υγρά απόβλητων χαμηλής αλατότητας πριν από την τελική απόρριψη. Επί του παρόντος, το 48% του συνόλου των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης στις Ηνωμένες Πολιτείες διαθέτουν άλμη τους στα επιφανειακά ύδατα.

3.1.2. Σε σύστημα αποχέτευσης-βιολογικό καθαρισμό

Αυτή μπορεί να είναι μια βιώσιμη επιλογή αν η μονάδα αφαλάτωσης είναι κοντά σε κάποια εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού. Υπάρχουν όμως κάποιες επιφυλάξεις: ο όγκος και η σύνθεση του αλμόλοιπου σε σχέση με την ικανότητα επεξεργασίας του βιολογικού καθαρισμού, πιθανά προβλήματα στον εξοπλισμό λόγω της άλμης. Στην Αγγλία η άλμη είναι χαρακτηρισμένη σαν εμπορικό απόβλητο αποχέτευσης. Οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει σε μια τέτοια μονάδα μπορεί να είναι για παράδειγμα πτώση ανθρακικού άλατος ασβεστίου στα φίλτρα(Squire, 2000).

3.1.3. Σε βαθιά πηγάδια-γεωτρήσεις

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει έγχυση του αλμόλοιπου μέσω βαθιών φρεάτων σε βαθιά υδροφόρα στρώματα που περιέχουν ακατάλληλο για πόση νερό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε περιοχές που εμφανίζονται τέτοια στρώματα και οι πιθανότητες ελέγχου της εκροής είναι ανεπαρκής και υπάρχει αβεβαιότητα ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι είναι ιδιαίτερα ακριβή μέθοδος(Reimold, 1996). Χρησιμοποιείται αρκετά στη φλώριδα εξαιτίας των καλών υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής (Mickley, 2001).

3.1.4. Σε λίμνες εξάτμισης (συλλογή του αλατιού και αποθήκευση της θερμότητας)

Οι λίμνες εξάτμισης χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες για την παραγωγή αλατιού. Το αλάτι του διαλύματος σχηματίζει κρυστάλλους και καθιζάνει κάνοντας εύκολη τη συλλογή του. Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν το κόστος τέτοιων λιμνών είναι οι δαπάνες εδάφους, τα χωματουργικά, η επένδυση, διάφορα κόστη(έλεγχος διήθησης) και το κόστος διαχείρισης και συντήρησης (Mickley, 2001). Η κρυστάλλωση του χλωριούχου νατρίου ξεκινά σε συγκέντρωση 25.8%. Είναι προτιμότερη η δημιουργία πολλών μικρών λιμνών που ενώνονται με αγωγούς παρά μια μεγάλη. Είναι ευκολότερο να διαχειριστούν και ελαττώνεται ο κίνδυνος καταστροφής από κύματα.

3.1.5. Σε λεκάνες διήθησης

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε δύο μονάδες αντίστροφης όσμωσης στην Σαουδική Αραβία. Το αλμόλοιπο εκρέει σε μία φυσική λίμνη την έρημο. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προκαλέσει αλάτωση των υπόγειων νερών.

3.1.6. Για άρδευση

Η επαναχρησιμοποίηση του νερού για την γεωργία είναι μια εναλλακτική λύση. Στη φλόριδα αυτό θεωρήθηκε ικανό εξαιτίας της δυνατότητας εφαρμογής στην ανεκτική στο γρασίδι χλόη που είναι κοινή στην περιοχή. Είναι σημαντικό το ότι οι συγκεντρώσεις σε αλάτι και χημικά στο νερό είναι κατάλληλες ώστε να αποφεύγεται η μόλυνση του εδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτά τα όρια συγκεντρώσεων υπαγορεύονται από την ανοχή της βλάστησης και την αλατότητα των υπόγειων νερών(Mickley). Πρέπει όμως να υπάρχει μια εναλλακτική στον τρόπο διάθεσης για τις περιόδους υψηλών βροχοπτώσεων(Squire, 2000). Τα κριτήρια τη χρήση της άλμης για άρδευση είναι η επιλογή περιοχής, η επεξεργασία πριν την εφαρμογή, το ποσοστό υδραυλικής φόρτισης, οι απαιτήσεις εδάφους, η επιλογή της βλάστησης και ο έλεγχος απορροής της επιφάνειας (Ahmed, 2000).

Υπάρχουν επίσης και οι μη συμβατικοί τρόποι διαχείρισης της άλμης όπως:

3.1.7. Η χρήση της σε υγροβιότοπους

3.1.8. ή στην ιχθυοκαλλιέργεια.

Υπάρχει επίσης και η τεχνική της μείωσης του όγκου της απορριπτόμενης άλμης μέσω μιας δεύτερης βαθμίδας αφαλάτωσης που θα έχει τη παραγόμενη άλμη από τη πρώτη βαθμίδα ως νερό τροφοδοσίας. Οι μη συμβατικές μέθοδοι διαχείρισης της άλμης δεν έχουν βρει ευρεία εφαρμογή λόγω του μεγάλου κόστους.

Η περισσότερο διδεδομένη και οικονομική μέθοδος είναι η διάθεση στα επιφανειακά νερά, κυρίως σε παράκτια νερα.

3.2. Μέθοδος διάθεσης της άλμης σε παράκτια νερά

Η διάθεση της άλμης σε παράκτια νερά είναι ευρέως διαδεδομένη και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων ποικίλης δυναμικότητας που πολλές φορές φτάνει τις εκατοντάδες m^3/day . Η διάθεση στη θάλασσα μπορεί να γίνει με μια από τις ακόλουθες δύο μεθόδους:

α) Απευθείας διάθεση με χωριστό υποθαλάσσιο αγωγό διάθεσης (ή σπανιότερα επιφανειακά στην ακτογραμμή) ή

β) Διάθεση μαζί με την εκροή της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Η ανάμειξη (και αραίωση) της άλμης με επεξεργασμένα νερά από εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών λυμάτων και η από κοινού διάθεση τους στα παράκτια νερά αποτελεί μια συνηθισμένη πρακτική. Στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται διάφορες περιπτώσεις, όπως εκείνη στη Φλόριδα των ΗΠΑ, όπου η άλμη διατίθεται στη θάλασσα μαζί με τα λύματα της εγκατάστασης επεξεργασίας των αστικών λυμάτων (Svensson, 2005).

3.3 Επιλογή της θέσης διάθεσης άλμης

Για τη διάθεση της άλμης σε παράκτια νερά με χωριστό αγωγό διάθεσης πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη θέση διάθεσης, η οποία πρέπει να ικανοποιεί τα ακόλουθα περιβαλλοντικά κριτήρια (WHO, 2007):

1. Να μην αποτελεί βιότοπο ευαίσθητων ή προς εξαφάνιση θαλάσσιων οργανισμών.
2. Να παρατηρούνται ρεύματα ικανά για την ταχεία και αποτελεσματική αραίωση της φλέβας της άλμης.
3. Να μην υπάρχει συχνή διέλευση πλοίων, για την αποφυγή καταστροφών του αγωγού και του λοιπού εξοπλισμού.
4. Να γειτνιάζει με την ακτογραμμή ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δαπάνες κατασκευής.

3.4. Γενικές αρχές διάθεσης της άλμης

Η διάθεση της άλμης σε παράκτια νερά, ανεξάρτητα από την εφαρμοζόμενη μέθοδο, απαιτεί τα ακόλουθα:

- 1) Την εκτίμηση της αρχικής αραίωσης της φλέβας της άλμης στο κοντινό πεδίο (near field) και της κίνησης – περαιτέρω αραίωσης της στο μακρινό

πεδίο (far field) προς τη θέση τροφοδοσίας της εγκατάστασης αφαλάτωσης (αποφυγή βραχυκύκλωσης).

- 2) Την θέσπιση ορίων ανοχής των υδρόβιων οργανισμών στις συγκεντρώσεις των συστατικών της άλμης, για τις συγκεκριμένες συνθήκες της περιοχής.
- 3) Την εκτίμηση της πιθανής ολικής τοξικότητας της άλμης.
- 4) Τον έλεγχο για το αν τα χαρακτηριστικά της εκροής συνάδουν με τις προδιαγραφές διάθεσης της άλμης, που ισχύουν για τον συγκεκριμένο αποδέκτη.

Τα ποιοτικά κριτήρια για την διάθεση της άλμης σε παράκτια νερά αφορούν στους ακόλουθους παράγοντες (WHO, 2007):

- 1) Την αύξηση της αλατότητας πάνω από το όριο ανοχής των θαλάσσιων ειδών στην περιοχή διάθεσης.
- 2) Τη συγκέντρωση των μετάλλων.
- 3) Τη συγκέντρωση των θρεπτικών.
- 4) Τη συμβατότητα μεταξύ της σύστασης της άλμης και των χαρακτηριστικών του αποδέκτη (τοξικότητα από ανισορροπία ιόντων).
- 5) Την όχληση των θαλάσσιων οργανισμών (πυθμενικής χλωρίδας και πανίδας) κατά την εγκατάσταση του αγωγού διάθεσης και του λοιπού εξοπλισμού.

Βασική επιδίωξη για την περιβαλλοντικά ασφαλή διάθεση της άλμης σε παράκτια ύδατα αποτελεί η αραίωση της στο βαθμό που επιβάλλουν οι συνθήκες στον αποδέκτη. Η διεργασία της αραίωσης συνίσταται από την αρχική αραίωση και την περαιτέρω αραίωση (Svensson, 2005).

Η αρχική αραίωση εξαρτάται από:

- 1) Τη διαφορά πυκνότητας (συγκέντρωση αλάτων και κλίση της θερμοκρασίας) μεταξύ του αποδέκτη και της άλμης.
- 2) Την ταχύτητα και την παροχή της διατιθέμενης άλμης και τα χαρακτηριστικά του αγωγού διάθεσης.
- 3) Το βάθος διάθεσης.

Η περαιτέρω αραίωση λαμβάνει χώρα μετά την αρχική εξαιτίας των φαινομένων διάχυσης και ανάμειξης από τους κυματισμούς και τα ρεύματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από εγκατάσταση αφαλάτωσης νερού και μέτρα αντιμετώπισης

Η τεχνική της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού έχει εξελιχθεί σε μια πολύ καλή και αποδοτική λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας ειδικά σε περιοχές όπου το πρόβλημα είναι έντονο (Μέση Ανατολή, νησιά κ.λ.π). Είναι μια λύση με την οποία αποφεύγονται σημαντικές επιπτώσεις από την έλλειψη του νερού, ο άνθρωπος μπορεί να ζήσει κάτω από συνθήκες υγιεινής, χωρίς να στερείται έναν φυσικό πόρο που έχει καθοριστικό ρόλο στην επιβίωση του. Παρόλο όμως τα τεράστια οφέλη για τον άνθρωπο προκαλεί σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Αυτά μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Ηλεκτρική ενέργεια
2. Τροφοδοσία θαλασσινού νερού
3. Επιπτώσεις από τη διάθεση άλμης σε παράκτια νερά-χημική μόλυνση
4. Ηχορύπανση
5. Υποβάθμιση χρήσης γης-αισθητική ρύπανση
6. Επιδράσεις στον υπόγειο υδροφόρα

4.1. Ηλεκτρική ενέργεια:

Η αφαλάτωση γενικά απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Ειδικά για την αφαλάτωση με αντίστροφη ώσμωση η κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 3–20 kWh/m³, ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι συστήματος ανάκτησης της υδραυλικής ενέργειας της άλμης, όπως αναφέρουν οι Mohamed et al. (2006) . Ενδεικτικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3 Κατανάλωση ενέργειας για κάθε μέθοδο αφαλάτωσης (Κανενάκης, 2008)

Μέθοδος	Κατανάλωση ενέργειας
MSF	290 <i>kJ/kg</i> 4 - 6 <i>kWh/m³</i>
MED	270 <i>kJ/kg</i> 2.5 - 3 <i>kWh/m³</i>
VC	8 – 15 <i>kWh/m³</i>
SWRO	3-8 <i>kWh/m³</i> <3 <i>kWh/m³</i> με ανάκτηση ενέργειας
BWRO	0.5 - 3 <i>kWh/m³</i>
ED	1.5 – 4 <i>kWh/m³</i>

Συστήματα αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα παράγουν αέριους ρύπους προς το περιβάλλον όπως CO₂ και NO_x.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 4) παρουσιάζονται οι τιμές έκλυσης CO₂ – e για μια τυπική μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (RO).

Πίνακας 4 Τιμές έκλυσης CO₂ - e για μια τυπική μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (RO) (Κανενάκης, 2008)

Process input	Σκοπός	Τυπική τιμή (mg/l)	Τυπική τιμή (kg/d)(1)	Συντελεστής έκλυσης kg CO ₂ – e/kg παραγόμενου CO ₂	Τόνοι CO ₂ – e/d
Power	Τροφοδοσία τουρμπίνων	4.5 <i>kWh/m³</i>		1467kg CO ₂ – e/ <i>kWh</i>	660.15
Cl ₂	Προεπεξεργασία	50	12345.67	1.2	14.81
FeCl ₃	Προεπεξεργασία	5	1234.56	3.23	3.98
Anti-scalant	Προεπεξεργασία	3	740.7	7.4	5.48
HCl	Προεπεξεργασία	20	4938.27	0.76	3.75
NaOH	Προεπεξεργασία	6.34	704.4	3.23	2.27
Nylon	Μεμβράνες	4595 elem	30.21(2)	84.4	2.55

(1) Βασισμένο σε μια τυπική τιμή 100 ML/d

(2) Βασισμένο σε 5ετή χρόνο ζωής των μεμβρανών

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 5) παρουσιάζονται οι αέριες εκπομπές από τις μονάδες αφαλάτωσης.

Πίνακας 5 Αέριοι ρύποι κατά τη διαδικασία αφαλάτωσης (Κανενάκης, 2008)

Τεχνολογία αφαλάτωσης	$CO_2/$ m^3 νερού (kg/m^3)	$NO_x/$ m^3 νερού (g/m^3)	$SO_x/$ m^3 νερού (g/m^3)	Σκόνη/ m^3 νερού (g/m^3)
Αντίστροφη όσμωση (RO)	1.78	3.78	10.68	2.07
Πολυβάθμια εξάτμιση (MED)	18.05	21.41	26.48	1.02
Πολυβάθμια εκτόνωση (MSF)	23.41	28.3	27.91	2.04

Η βιώσιμη λύση για αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η σύνδεση τους με συστήματα αφαλάτωσης.

4.2. Τροφοδοσία θαλασσινού νερού:

Η συνιθέστερη μέθοδος τροφοδοσίας με θαλασσινό νερό της εγκατάστασης είναι με αγωγούς ανοικτού άκρου (open intake).

Όμως το θαλασσινό νερό δεν είναι απλώς νερό. Είναι φυσικό περιβάλλον και περιέχει ολόκληρο οικοσύστημα από πλαγκτόν, ασπόνδυλα και ψάρια. Έχουμε μεγάλη θνησιμότητα μικρών οργανισμών (πλαγκτόν, αυγά, μικρά ψάρια) λόγω συμπαράσυρσης στην εισροή της μονάδας. Επίσης έχουμε θνησιμότητα και για μεγάλα θαλάσσια είδη (ενήλικα ψάρια, ασπόνδυλα, πουλιά) λόγω πρόσκρουσης στον αγωγό εισροής.

Μια άλλη εναλλακτική είναι τα θαλάσσια πηγάδια (beach wells) τα οποία έχουν λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τα ανοικτά συστήματα τροφοδοσίας. Όμως ο λόγος που δεν προτιμώνται είναι οι μικρές σχετικά παροχές που προσφέρουν, και ο κίνδυνος επηρεασμού του παράκτιου υδροφορέα.

4.3. Επιπτώσεις από τη διάθεση της άλμης σε παράκτια νερά:

Η παραγόμενη άλμη από τα συστήματα αφαλάτωσης θεωρείται ρυπαντική προς το περιβάλλον για τους εξής λόγους: έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση αλάτων από τη θάλασσα, περιέχει χημικές ουσίες από τη προ-επεξεργασία και τη μετά-επεξεργασία του νερού, ενώ συνήθως έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της απόρριψης της

άλμης στη θάλασσα σχετίζονται με απώλειες οικοσυστημάτων και θαλάσσιων ειδών

Η διατιθέμενη άλμη είναι πυκνότερη από το θαλασσινό νερό και μετά την ανύψωσή της εξαιτίας της αρχικής ορμής, τείνει στη συνέχεια προς τον πυθμένα, πάνω στον οποίο κινείται. Η διάθεση της άλμης στα παράκτια νερά μπορεί να επιφέρει περιβαλλοντικές επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς (θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα). Αυτές μπορεί να οφείλονται στα υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων αλάτων (υψηλές συγκεντρώσεις και διακυμάνσεις αλατότητας) της άλμης, καθώς και στα χημικά συστατικά, που ενδεχομένως περιέχονται στην άλμη από την προεπεξεργασία του θαλασσινού νερού και την πλύση των μεμβρανών. Επίσης, οι επιπτώσεις εξαρτώνται από το είδος του πυθμένα και είναι περισσότερο σημαντικές σε βραχώδη πυθμένα σε σχέση με περιοχές με αμμώδη ή λασπώδη πυθμένα.

Η ανοχή των θαλάσσιων οργανισμών στα συστατικά της άλμης εξαρτάται από το είδος των οργανισμών. Για το λόγο αυτόν είναι αναγκαία η διερεύνηση της πιθανής έκτασης των επιπτώσεων στα διάφορα είδη των οργανισμών που εντοπίζονται στην περιοχή διάθεσης. Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία (Svensson, 2005), για να γίνει η διάθεση της άλμης στα επιφανειακά νερά θα πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένα κριτήρια ποιότητας – χημεία της άλμης, όπως pH, TSS, TDS, συγκεντρώσεις διαφόρων χημικών ουσιών. Τα κριτήρια ποιότητας θα πρέπει να βασίζονται στη φύση και τη χρήση του αποδέκτη. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναγκαίο να διεξάγεται τεστ ολικής τοξικότητας της άλμης, στο οποίο οι οργανισμοί που βρίσκονται στο περιβάλλον του αποδέκτη, εκτίθενται στην άλμη και παρακολουθείται η βιωσιμότητα, η ικανότητα αναπαραγωγής και η ανάπτυξή τους, για διάφορες συνθήκες αλατότητας.

4.3.1. Επιπτώσεις εξαιτίας της αυξημένης αλατότητας:

Το φυσικό εύρος διακύμανσης της αλατότητας του θαλασσινού νερού είναι συνήθως της τάξης του $\pm 10\%$ της μέσης ετήσιας τιμής. Εντός αυτών των ορίων υπάρχει ανοχή των θαλάσσιων οργανισμών σε αυξημένες τιμές (WHO, 2007). Ο Jenkins αναφέρει την τιμή των 40 ppt ως μέγιστο ανεκτό όριο αλατότητας σε παράκτια νερά όπου η αλατότητα είναι της τάξης των 35 ppt. Σε συνθήκες υψηλής αλατότητας, επικρατούν οι οργανισμοί με ανοχή στις αυξημένες τιμές αλατότητας και οι λιγότερο ανθεκτικοί οργανισμοί μεταναστεύουν ή πεθαίνουν (Jenkins, 2006).

4.3.2. Επιπτώσεις εξαιτίας της παρουσίας χημικών:

Τα χημικά χρησιμοποιούνται και σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν υφάλμυρο νερό και σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό σε μεγαλύτερες όμως ποσότητες. Τα χημικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται στην προεπεξεργασία, στην κύρια επεξεργασία, στον

καθαρισμό των μεμβρανών κ.α. Υπάρχει όμως αβεβαιότητα όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση των χημικών. Άλλοι υποστηρίζουν ότι η χρήση τους έχει επιπτώσεις και άλλοι ότι αν η άλμη περιέχει μικρές ποσότητες χημικών δεν θα υπάρξουν σοβαρά προβλήματα μόλυνσης.

4.3.2.1. Προϊόντα διάβρωσης (βαρέα μέταλλα):

Η διάβρωση προκαλεί την απελευθέρωση βαρέων μεταλλικών ιόντων με αποτέλεσμα την βαριά μόλυνση από τα μέταλλα στο προϊόν της αφαλάτωσης.

Οι εγκαταστάσεις θερμικής αφαλάτωσης (MSF) ελευθερώνουν χαλκό, νικέλιο σίδηρο, χρώμιο, ψευδάργυρο μόλυβδο και άλλα βαριά μέταλλα, εξαρτάται από το κράμα που υπάρχει στην διαδικασία. Ο χαλκός και ο σίδηρος είναι τα υψηλότερα σε συγκέντρωση. Οι τιμές της συγκέντρωσης του χαλκού μπορεί να ξεπεράσουν τα 0.02 ppm (200 φορές υψηλότερη από την συγκέντρωση στο θαλάσσιο περιβάλλον). Τιμές που έχουν μετρηθεί σε ωκεανούς είναι 0.12 ppb (Kennish, 1994) και 0.07 ppb (Laane, 1992). Για να κατανοήσουμε τι σημαίνει αυτό, υποθέτοντας 0.02 ppm (20 ppb) χαλκού στην άλμη για μια μονάδα με δυναμικότητα 500000 m^3/d (Al-khobar έχουμε 576000 m^3/d) και μια μετατροπή του νερού κατά 10% τότε 100kg χαλκού θα απελευθερωθούν με 5000000 m^3 άλμη κάθε μέρα.

Τα βαριά μέταλλα θα απορροφηθούν από τα αιωρούμενα υλικά και θα βυθιστούν προκαλώντας συσσώρευση στο ίζημα. Αφού όμως το πρόβλημα δεν είναι η συγκέντρωση αλλά το φορτίο, οι συνέπειες δεν μπορούν να μετριάσουν με τη διάλυση της εκροής. Το φορτίο μπορεί να διασκορπιστεί σε μια μεγαλύτερη περιοχή αλλά είναι δύσκολο να απαντηθεί το ερώτημα αν μια μικρότερη μολυσμένη περιοχή είναι προτιμότερη από μια μεγαλύτερη λιγότερο μολυσμένη. Τεχνολογικές προσπάθειες σε διεθνές επίπεδο προσπαθούν να περιορίσουν τη διάβρωση (Hassan, 1994). Αυτό έχει οικονομικό και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον αλλά σήμερα η απελευθέρωση βαρέων μετάλλων είναι ακόμα κύριο πρόβλημα.

Επιπτώσεις: Είναι δύσκολο να αντιστοιχίσουμε τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο νερό και στα ιζήματα από τη μία και τις οικολογικές επιπτώσεις από την άλλη. Ένας από τους λόγους είναι ότι στο θαλάσσιο περιβάλλον τα περισσότερα από τα βαρέα μέταλλα υπάρχουν από την προϊστορία. Ένα δεύτερο πρόβλημα είναι τα μέταλλα δεν έχουν τη μορφή ελεύθερων ιόντων αλλά τη μορφή οργανικών και ανόργανων ενώσεων ή έντονα απορροφημένα από επιφάνειες. Γενικά συγκεντρώσεις που υπερβαίνουν τη φυσική προϊστορία θεωρούνται περιβαλλοντική μόλυνση ακόμα και αν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν αποδεικνύονται. Ακόμα είναι αδύνατο να θέσουμε όριο στο ποια ρύπανση από τα μέταλλα είναι βλαβερή ή όχι. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι ο χαλκός, το νικέλιο, το χρώμιο, το μαγγάνιο και τα άλλα μέταλλα έχουν βιολογικές επιπτώσεις που μπορούν να αλλάξουν τη θαλάσσια ζωή σε ορισμένες περιοχές.

4.3.2.2. Πρόσθετα κατά της καθίζησης (antiscaling additives): πολυμερή (π.χ πολυκαρβονικά οξέα) Το πολυφοσφορικό άλας είναι μια από αυτές. Είναι φθηνό αλλά με περιορισμένη αποτελεσματικότητα. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι η ευαισθησία στην θερμοκρασία: υδρολύεται σε ορθοφοσφορικό άλας orthophosphate σε θερμοκρασία άνω των 90° C (M.A. Finan, 1989). Η αφαλάτωση χαμηλής θερμοκρασίας(μέγιστη θερμοκρασία άλμης 60° C) με ποίκιλα αποτελέσματα είναι μια επιλογή καθώς η κατασκευή και η λειτουργία είναι φθηνότερη και η διάβρωση λιγότερη από ότι σε υψηλές θερμοκρασίες (Michels, 1992). Από αναφορές προκύπτει ότι η χρήση πολυφοσφόρου έχει σταματήσει σε προηγούμενα έτη (A.M.Shams El Din, 1994) . Η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη ουσία είναι το BELGARD EV2000 ένα πολυμερές μηλεϊνικό οξύ. Εντεταμένα πειράματα σε διάφορες εγκαταστάσεις αφαλάτωσης και ο συνδυασμός των χημικών με τις μηχανικές μεθόδους αντιμετώπισης της καθίζησης («sponge ball technique») έχουν περιορίσει την απαιτούμενη δοσολογία σε 1-3 ppm. Οι πραγματικές συγκεντρώσεις ουσιών εξαρτώνται από την κάθε εγκατάσταση και από τις ιδιότητες του ακατέργαστου νερού. Δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με το είδος της δράσης του BELGARD.

Τα πρόσθετα υψηλής θερμοκρασίας βασίζονται στα πολυανθρακικό και στο πολυμηλεϊνικό οξύ. Αυτά τα πολυμερή εμποδίζουν τη διαλυόμενη ουσία από το να διαλυθεί, να εγκατασταθεί και να ξεραθεί στην επιφάνεια, την καταστροφική ανάπτυξη κρυστάλλων παραποιώντας τη διάρθρωση του πλέγματος έτσι ώστε τα λασπώδη απόβλητα να μην προσκολλώνται ή αναπτύσσονται σε επιφάνειες μετάλλων (Al-Gobaisi, 1994). Ένα τυπικό BELGARD έχει συγκέντρωση 0.53 mg/l. Η συγκεντρώσεις στο σημείο εκροής μιας θερμικής μονάδας αφαλάτωσης είναι από 0.53 μέχρι 1 ppm (Horner, 2003).

Επιπτώσεις: το ορθοφοσφορικό άλας, το προϊόν υδρόλυσης του πολυφοσφορικού άλατος είναι ένα θρεπτικό(ανάμεσα σε αζωτούχα συστατικά) που επιταχύνει τη βασική παραγωγικότητα. Σε μια ολιγοτροφική θαλάσσια περιοχή, η απελευθέρωση ενός θρεπτικού μπορεί να έχει δραστικές συνέπειες: άνθηση των θαλασσιών φυτών, φυτοπλακτον. Αν ευτροφήσει μια θαλάσσια περιοχή από την οποία αντλούμε ακατέργαστο νερό θα προκληθεί δραματική χειροτέρευση της κατάστασης της εγκατάστασης: αυξημένη βιομόλυνση, αυξημένη περιεκτικότητα σε οργανικές ουσίες, αυξημένα προβλήματα φίλτρων, ανάγκη για αντιμολυντικές ουσίες κ.α Όλες αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να προκαλέσουν χειροτέρευση της περιβαλλοντικής ποιότητας.

Τα BELGARD προϊόντα δεν προκαλούν τη δημιουργία τοξικών κινδύνων στο πόσιμο νερό και τα προϊόντα BELGARD έχουν έγκριση από την πλειοψηφία των διοικητικών υπηρεσιών όπως EPA(ΗΠΑ), KIWA (Ολλανδία) κλπ. Θεωρείται ότι η χρήση BELGARD EV είναι οικολογικά ασφαλές (Finan, 1989).

4.3.2.3. Απολυμαντικά πρόσθετα: Χρησιμοποιούνται για να εμποδίζουν ενδεχόμενα βακτήρια,φυκώδης ή άλλους θαλάσσιους οργανισμούς να μολύνουν την εγκατάσταση ή την παραγωγή. Το χλώριο και

το υποχλώριο είναι οι βασικοί απολυμαντικοί συντελεστές που χρησιμοποιούνται. Η δοσολογία ποικίλει μεταξύ 2 και 5 ppm. Η συγκέντρωση χλωρίου στο σημείο εκροής μιας εγκατάστασης είναι 0.2-0.5 ppm (Hoerner, 2002).

Το χλώριο χρησιμοποιείται κυρίως για να αποτρέψει τη βιομόλυνση. Το χλώριο και τα συστατικά της είναι τοξικά και επηρεάζουν βιολογικές και ενζυματικές διαδικασίες των ζωντανών οργανισμών (Qdais). Είτε σκοτώνει τους οργανισμούς ή δημιουργεί συνθήκες που καθιστούν δύσκολη ή αδύνατη την εγκατάστασή τους (Morton, 1996). Το χλώριο είναι ένα ισχυρό βιοκτόνο το οποίο μπορεί να έχει καταστρεπτικές συνέπειες για την υδρόβια ζωή ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Στις ΗΠΑ έχει χαρακτηριστεί σαν μολυντής και στην Καλιφόρνια έχει απαγορευτεί στις εκροές (Abdel-Jawad, 1999). Με παρουσία υδρογονανθράκων στο νερό, όπως στον Αραβικό κόλπο εξαιτίας των πετρελαϊκών εγκαταστάσεων χυμένων καταλοίπων, η χλωρίνη μπορεί να σχηματίσει υποπροϊόντα (CBC), όπως trihalomethane (THM) το οποίο έχει καρκινογενής ιδιότητες πάνω από ορισμένες συγκεντρώσεις (Qdais). Σε εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης (RO) που χρησιμοποιούνται μεμβράνες πολυαμιδής (polyamide), δεν υπάρχει χλώριο στην εκροή καθώς η αποχλωρίωση πρέπει να γίνει πριν τις μεμβράνες γιατί το χλώριο προκαλεί καθίζηση. Το χλώριο προκαλεί επιζήμια αποτελέσματα στους θαλάσσιους οργανισμούς, όμως αποσυντίθεται με τον καιρό (Hoerner, 2002).

Επιπτώσεις: Μετατρέπει τις ευσταθής βρωμιούχες ενώσεις σε αντιδραστικό βρώμιο. Σχηματίζει αλογονωμένους υδρογονάνθρακες μερικοί από τους οποίους είναι γνωστοί σαν καρκινογενής και μεταλλαξιογόνοι (Hoerner, 1999) (Al-Awadhi, 1999). Σχηματίζει χλωραμίνες και βρωμαμίνες που είναι σταθερές τοξικές ενώσεις (Hoerner, 1999). Αποτέλεσμα της διαμόρφωσης υποχλωρικών ιόντων είναι η διαταραχή της ενζυμικής και βιολογικής διαδικασίας των οργανισμών (Shams El-Din, 1994). Τέλος μπορεί να αυξήσουν την μετανάστευση μη ανεκτικών ειδών της προσβαλλόμενης περιοχής (Shams El-Din, 1994) (Seegert, 1979).

4.3.2.4. Αλογονούχες οργανικές ενώσεις: Σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της αντίδρασης των καταλοίπων χλωρίου και βρωμίνων με φυσικές και ανθρωπογενής οργανικές πηγές. Κύριες πηγές οργανικών ενώσεων στον Αραβικό κόλπο είναι τα ανθρωπογενής μόλυνση από προϊόντα πετρελαίου. Μετατρέπει το βρωμιούχο άλας και το ιωδίδιο σε εντονότερα βρώμιο και ιώδιο τα οποία αντιδρούν με το οργανικό υλικό. Αυτό σημαίνει πως η χλωρίωση προκαλεί μια σειρά δευτερευόντων αντιδράσεων, οι οποίες σχηματίζουν ένα άγνωστο αριθμό προϊόντων π.χ τριαλομεθάνιο (Tawabini, 1987).

Επιπτώσεις: Μερικές από τις ουσίες αυτές είναι χαρακτηρισμένες ως καρκινογόνες και μεταλλαξιογενής (Shams El-Din, 1994). Επηρεάζουν τους θαλάσσιους οργανισμούς ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Επηρεάζουν τις αναπαραγωγικές διαδικασίες των στρειδιών. Αυξάνουν το ποσοστό θνησιμότητας των στρειδιών.

4.3.2.5. Αντιαφρώδη πρόσθετα: Χρησιμοποιούνται για την αποφυγή του αφρισμού στις θερμικές μονάδες αφαλάτωσης (MSF). Τα βασικά αντιαφρώδη πρόσθετα είναι μείγματα πολυγλυκόλης (Hoerner, 2002). Ένα σύνηθες εμπορικό σήμα που χρησιμοποιείται είναι το “Belite”. Τυπικές δοσολογίες είναι γύρω στα 0.1 ppm αλλά συχνά παρατηρείται υπερβολική δόση. Αναμένεται περίπου 80-90% διάσπαση πριν την εκροή. Πολυπροπυλένιο γλυκόλης σε συγκέντρωση 0.04-0.05 ppm αναμένεται στην εκροή από θερμικές μονάδες αφαλάτωσης.

Επιπτώσεις: Οι αντιαφρώδεις ουσίες είναι απορρυπαντικές. Τα απορρυπαντικά έχουν δυσμενή αποτελέσματα στους οργανισμούς διαταράσσοντας το ενδοκυτταρικό σύστημα μεμβρανών. Τα αποτελέσματα στο θαλάσσιο οικοσύστημα δεν έχουν εξεταστεί. Είναι επίσης πιθανή η αντίδρασή τους με αλογονούχα σχηματίζοντας καρκινογενής και μεταλλαξιόγόνες ενώσεις (Hoerner, 1999).

4.3.2.6. Ουσίες που καταστρέφουν το οξυγόνο(oxygen scavenger): χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τη διάβρωση, κυρίως στις θερμικές εγκαταστάσεις (MSF). Το θειώδες άλας νατρίου είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο (Hoerner, 1999).

Επιπτώσεις: Μπορεί να μειώσει σε κάποιο (μικρό) βαθμό τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου στην περιοχή εκροής (Madany, 1992).

4.3.2.7. Οξέα: Παράλληλα με τις ουσίες κατά της καθίζησης, η προσθήκη οξέως περιορίζει την καθίζησης. Συχνά προστίθεται και θειικό οξύ. Το κανονικό pH του θαλασσινού νερού είναι 8.3 (Michels, 1995). Το pH χαμηλώνεται για να αποβάλλει ένα μέρος του διαλυόμενου ανθρακικού άλατος. Αλλά και αργότερα μετά την απώλεια του διοξειδίου του άνθρακα και την πτώση των ανθρακικών αλάτων το pH είναι πάλι 8.5-9 (Al-Gobaisi, 1994). Αυτό σημαίνει ότι η πρώτη προσθήκη οξέως είναι ελάχιστης περιβαλλοντικής σημασίας, επιπλέον ως θειικό άλας είναι ένα από τα κύρια συστατικά της θάλασσας. Αλλά υπάρχει και δεύτερη χρήση οξέως: Οι πρόσθετες ουσίες κατά της καθίζησης δεν εμποδίζουν πλήρως την καθίζηση. Η περιστασιακή αφαίρεση παραμένει απαραίτητη. Αυτό γίνεται με την έκπλυση των μεμβρανών με οξέα (A.M.Shams El Din, 1994). Αυτό γίνεται 3-4 φορές το χρόνο. Η έκπλυση με οξέα μπορεί να δημιουργήσει ρύπους με pH 2.

Επιπτώσεις: το διάλυμα οξέως ελευθερώνεται στη θάλασσα μαζί με φρέσκο θαλασσινό νερό. Η αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού είναι 150 ppm HCO_3^- (2.5 moles/l). Από αυτό υπολογίζεται 20-25000 m^3 θάλασσας χρειάζονται για να εξουδετερώσουν 5000 m^3 όξινο νερό θάλασσα που απελευθερώνεται. Αυτό χρειάζεται χρόνο και δεν αποκλείονται καταστροφές σε οργανισμούς καθώς αλλάζει την χημεία του θαλάσσιου νερού στην κοντινή περιοχή του σημείου εκροής. Ακόμα μπορεί να οδηγήσει πολλούς οργανισμούς στην μετανάστευση μειώνοντας έτσι την βιοποικιλότητα.

4.3.2.8. Συγκέντρωση (concentrate): Εκτός από τις πρόσθετες ουσίες και τα προϊόντα αντίδρασης οι εγκαταστάσεις αφαλάτωσης ελευθερώνουν το ίδιο φορτίο συστατικών θαλασσινού νερού με αυτό που

παίρνουν. Η μόνη διαφορά είναι η συγκέντρωση(περιεκτικότητα) και η τιμή του pH. Μια τυπική αποκατάσταση βασισμένη στην τροφή είναι 10%. Η αλατότητα του αλμόλοιπου είναι 1.1 φορές από το νερό τροφοδοσίας για τις θερμικές μονάδες (MSF), ενώ για τις εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης είναι 2 φορές μεγαλύτερη.

Επιπτώσεις: η αυξημένη αλατότητα μπορεί να έχει θανατηφόρες συνέπειες για κάποιους θαλάσσιους οργανισμούς (Khorragui, 1997) (Windelberg, 1997) (Iso, 1994). Μπορεί να καθυστερήσει την εκκόλαψη των αυγών των ψαριών. Μπορεί επίσης να αλλοιώσει τα μορφολογικά χαρακτηριστικά κάποιων ειδών (Iso, 1994). Η παρατήρηση της βιοποικιλότητας σε μια περιοχή 100-200 m από το σημείο εκροής μιας μονάδας αντίστροφης όσμωσης (RO) στην Δεκέλεια της Κύπρου έδειξε ότι η χλωρίδα και η πανίδα της ζώνης ακτής επηρεάστηκε από την αύξηση της αλατότητας (Einvan, 2002).

4.3.2.9. Θερμότητα: Το αλμόλοιπο από τις θερμικές μονάδες αφαλάτωσης (MSF) έχει 8 με 15 °C θερμοκρασία πάνω από τη θάλασσα. Αντίθετα το αλμόλοιπο από τις εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης (RO) έχει σχεδόν την ίδια θερμοκρασία με το θαλασσινό νερό.

Επιπτώσεις: Η εκροή ζεστού νερού μειώνει την ικανότητα του νερού να κρατά οξυγόνο, αυξάνει τις χημικές αντιδράσεις, αλλάζει την βιοποικιλότητα, αυξάνει το ρυθμό μεταβολής των κρουαίματων ζώων (Jensen,1992), (Coutant, 1992).

Παρακάτω ακολουθούν μερικά παραδείγματα μονάδων αντίστροφης όσμωσης:

Μονάδα Bocabarraco στην Ισπανία, με δυναμικότητα 7000 m³/d και ανάκτηση 45%:

Πίνακας 6 Χημική σύνθεση εισροής εκροής της μονάδας (Bocabarraco)

Συγκέντρωση (mg/l)	Θαλασσινό νερό	Άλμη
Ca ²⁺	450	814
Mg ²⁺	1520	2751
Na ⁺	11415	20657
K ⁺	450	824
Cl ⁻	20800	37639
SO ₄ ²⁻	3110	5628
TDS	38000	68764

Μονάδα Al- Wagan στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, με δυναμικότητα 100-200 m^3/d και ανάκτηση 70%:

Πίνακας 7. Φυσικοχημικοί παράμετροι εισροής εκροής της μονάδας(Al-Wagan)

	Θαλασσινό νερό	Άλμη
pH	7.02	5.64
EC(mS/cm)	14.7	30.3

Πίνακας 8. Κατιόντα εισροής εκροής μονάδος(Al-Wagan)

Συγκέντρωση (mg/l)	Θαλασσινό νερό	Άλμη
Ca^{2+}	146.31	367.96
Mg^{2+}	112	282
Na^+	741.59	2248
K^+	8.46	68.49

Πίνακας 9. Ανιόντα εισροής και εκροής της μονάδος(Al-Wagan)

Συγκέντρωση (mg/l)	Θαλασσινό νερό	Άλμη
Cl^-	3827	8946
NO_3^-	7.11	8.99
SO_4^{2-}	539.2	1540
P	-	0.40

4.4. Ηχορύπανση:

Ηχορύπανση έχουμε κατ'αρχάς στο στάδιο κατασκευής αλλά και στο στάδιο λειτουργίας (κυρίως για εγκαταστάσεις αντίστροφης όσμωσης- RO). Οι αντλίες υψηλής πίεσης, τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας, οι τουρμπίνες κλπ δημιουργούν θόρυβο που ξεπερνά σε ένταση τα 90 dB όταν το όριο είναι 50-55 dB.

4.5. Υποβάθμιση χρήσης γης- αισθητική ρύπανση

Ένα από τα προβλήματα είναι ότι αναγκαστικά οι μονάδες αφαλάτωσης τοποθετούνται σε παραθαλάσσιες περιοχές, με συνέπεια να υποβαθμίζονται. Γι' αυτό αποφεύγεται η χωροθέτηση τους κοντά σε αρχαιολογικούς χώρους και τουριστικά θέρετρα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για μια μονάδα 5000 - 10000 m^3/d χρειάζεται έκταση 10000 m^2 .

4.6. Επίδραση στον υπόγειο υδροφόρο:

Συχνά οι σωληνώσεις τροφοδοσίας θαλασσινού νερού και αποβολής άλμης βρίσκονται πάνω από τον υδροφόρο. Έτσι υπάρχει κίνδυνος εισροής θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα λόγω διαρροής. Χρειάζεται λοιπόν προσοχή στην στεγάνωση των σωληνώσεων.

4.7 Τεχνικές περιορισμού των επιπτώσεων από τη διάθεση της άλμης:

Για τον περιορισμό των επιπτώσεων από τη διάθεση της άλμης μπορεί να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές (Svensson, 2005). Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθες:

- Χρήση φρεατίων διήθησης (injection wells) ή στοών κατείσδυσης (percolation galleries).
- Χρήση υφάλμυρου νερού ως νερού τροφοδοσίας της εγκατάστασης αφαλάτωσης με αποτέλεσμα την μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων στην παραγόμενη άλμη.
- Χωριστή διάθεση των στερεών που παράγονται στην προεπεξεργασία με διαχωρισμό και αφυδάτωση ((IEG), 2008).

4.8 Μέτρα αντιμετώπισης για τα χημικά:

Η χρήση των χημικών μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με σωστή παρακολούθηση της διαδικασίας.

Η χρήση χλωρίου μπορεί να εξαλειφθεί υποκαθιστώντας το με υπεριώδης ακτινοβολία, όμως είναι αρκετά πιο ακριβή διαδικασία. Αυτό μπορεί να γίνει επίσης αλλάζοντας λειτουργικές πρακτικές όπως το να επιτρέψουμε κάποια βιορυπούς να υπάρξουν στην μεμβράνη και να το αντιμετωπίσουμε με συχνές πλύσεις των μεμβρανών με νερό.

Τα φωσφορικά δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά της επικάλυψης και στη θέση τους να χρησιμοποιούνται οργανικά πρόσθετα. Το πολυακρυλικό οξύ είναι προτιμότερο σε σύγκριση με το πολυμηλεϊνικό οξύ. Για να μειώσουμε την χρήση πρόσθετων κατά της καθίζησης μπορούμε να μειώσουμε το ποσοστό ανάκτησης και/ή να χρησιμοποιήσουμε νανόφιλτρα (ακριβή διαδικασία) για την προεπεξεργασία (Svensson, 2005).

Τα βαριά μέταλλα που προέρχονται από τη διάβρωση του εξοπλισμού μπορούμε να τα αποφύγουμε χρησιμοποιώντας μη διαβρωτικά υλικά.

Τροφοδοσία νερού από τα βαθιά: Η χρήση χημικών μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας νερό τροφοδοσίας από τα βαθιά. Το νερό αυτό αντλείται από βάθος 200-300 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το πλεονέκτημα είναι ότι το νερό έχει λιγότερους μικροοργανισμούς βελτιώνοντας έτσι την διαδικασία της προεπεξεργασίας και μειώνεται η προσθήκη χημικών. Στην Ιαπωνία μια μονάδα αφαλάτωσης (Muroto plant in Kochi Prefecture) χρησιμοποιεί τέτοιο νερό τροφοδοσίας και εμφιαλώνει το παραγόμενο νερό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Παραδείγματα διάθεσης από εγκαταστημένες μονάδες

5.1. Μονάδα αφαλάτωσης στο Perth, Αυστραλία

Είναι μια μονάδα δυναμικότητας $140000m^3/d$ και καλύπτει το 17% των αναγκών της περιοχής καθώς παράγει κατά μέσο όρο πάνω από 130000000 λίτρα πόσιμο νερό τη μέρα. Μια σειρά από μοντέλα, περιλαμβανομένων ενός μοντέλου διαστατικής ανάλυσης και τριών μοντέλων υδροδυναμικής διερεύνησης, και τεστ χρησιμοποιήθηκαν για να εξασφαλιστεί ότι η μονάδα τηρεί τα κριτήρια μίξης που έχουν καθιερωθεί από τον αντίστοιχο οργανισμό περιβάλλοντος. Επιτεύχθηκε αυξημένη σιγουριά εφαρμόζοντας ποικιλία σεναρίων και διαφορετικά μοντέλα.

Πιλοτικές μετρήσεις έδειξαν ότι κατά την διάρκεια ήρεμων περιόδων τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου ελαττώνονται φυσικά. Σαν αποτέλεσμα αυτού και εξαιτίας της τοπογραφίας της περιοχής με τον σχεδόν κλειστό κόλπο, μια λεπτομερής εργασία έγινε για να μελετήσει την επέκταση(αν υπάρχει) οποιασδήποτε φυσικής διαστρωμάτωσης και η σύνδεση του διαλυμένου οξυγόνου με την εκροή του αλμολοίπου. Αυτή η μελέτη κατέληξε στο ότι κάθε πρόσθετη επίδραση στα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου είναι σπάνια και ασήμαντη. Παρόλα αυτά εξαιτίας της αβεβαιότητας των προβλέψεων για μεγάλες ήρεμες περιόδους προτάθηκε να υλοποιηθεί παρακολούθηση μέσω monitor σαν μέρος ενός προσαρμοσμένου σχεδίου διαχείρισης.

Η εκροή της άλμης ($2,31m^3/s$) σε αυτήν την μονάδα γίνεται από έναν αγωγό διαμέτρου 1.2 m, 160 m μήκους 40 θυρίδων διάχυσης τοποθετημένες ανά 5 m και με ονομαστική διάμετρο 0.22 m. το σημείο της εκροής βρίσκεται 470m από την ακτή σε βάθος 10 m και είναι γειτονικό με αυτό του Cockburn Sound. Η εκροή από τους διαχυτές γίνεται υπό γωνία 60 μοιρών ως προς την οριζόντια. Ο σχεδιασμός αυτός έγινε με την προσδοκία ότι η φλέβα θα έφτανε σε ύψος 8.5 m πριν αρχίσει να κατεβαίνει εξαιτίας της αυξημένης του πυκνότητας. Σχεδιάστηκε για να γίνει ρεύμα πυκνότητας στο τέλος της ζώνης μίξης.

Η άδεια λειτουργίας της μονάδας απαιτεί συγκεκριμένα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου στην περιοχή για να μπορεί να λειτουργεί. Επιπλέον μια ελάχιστη διάλυση της άλμης 45 φορές στο τέλος της ζώνης μίξης (end of near-field mixing region), ορισμένη 50 m από τους διαχυτές. Το πρώτο χρόνο λειτουργίας έγινε καταγραφή με κάμερα και αισθητήρες για να σιγουρευτούν

ότι προέβλεψαν σωστά και ότι η πανίδα και χλωρίδα της περιοχής προστατεύονται.

5.2. Μονάδα αφαλάτωσης στην Πάφο, Κύπρος

Η δυναμικότητα της συγκεκριμένης μονάδας αντίστροφης όσμωσης σε αρχικό στάδιο είναι της τάξεως των 10.000 m³/d ενώ προβλέπεται η αναβάθμισή της ώστε να η παροχή πόσιμου νερού να ανέρχεται 35,000 m³/d. Η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας αφαλάτωσης συνεπάγεται την παροχή (700 m³/h βάσει του αρχικού σχεδιασμού και 2,500 m³/h βάσει της προβλεπόμενης επέκτασης) πυκνού σε άλατα διαλύματος (άλμη). Η αλατότητα της άλμης είναι κατά 70% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αντλούμενου θαλασσινού νερού.

Διαχείριση άλμης

Οι παραγόμενες ποσότητες άλμης αμέσως μετά την διέλευση τους από το σύστημα ανάκτησης ενέργειας προωθούνται μέσω υπόγειου αγωγού (μήκους περίπου 300 m) ο οποίος ακολουθεί παράλληλη διαδρομή με αυτήν του αγωγού άντλησης θαλασσινού νερού προς το υποστατικό ακτής. Στην συνέχεια η ροή της άλμης εξακολουθεί μέσω υποθαλάσσιου αγωγού, ο οποίος εκτείνεται σε μήκος 800 m όπου τελικά εκβάλλει στη θάλασσα. Η επιλογή του μήκους των 800 m υπαγορεύτηκε από την ανάγκη ώστε η απόληξη του αγωγού να βρίσκεται σε απόσταση από την ακτή μεγαλύτερη των 700μ. καθώς στην ενδιάμεση περιοχή ενδημούν λειβάδια Ποσειδωνίας τα οποία δεν πρέπει να επηρεαστούν από την απορριπτόμενη άλμη.

Ο αγωγός έχει διάμετρο 750 χιλιοστών, θα κατασκευαστεί από υαλόνημα (fiberglass) και για λόγους ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος θα περιβάλλεται από εξωτερικό σωλήνα, όπως ακριβώς συμβαίνει για τον αγωγό άντλησης.

Οι προδιαγραφές που τέθηκαν από τον Τομέα Θαλάσσιου Περιβάλλοντος του

Τμήματος Αλιείας και Θαλάσσιων Ερευνών (βάθος στο σημείο απόληξης αγωγού απόρριψης τουλάχιστον 5 μέτρα και 3 μέτρα τουλάχιστον από την επιφάνεια της θάλασσας) επέβαλαν την εγκατάσταση του αγωγού απόρριψης με τέτοιο τρόπο ώστε η απόληξη αυτού να αιωρείται σε ύψος περίπου 4 μέτρων από τον πυθμένα (στο σημείο εγκατάστασης το βάθος της θάλασσας είναι περίπου 7.25 μέτρα). Η απόληξη του αγωγού δεν φέρει κάποια ειδική διαμόρφωση (π.χ. διαχύτη πολλαπλών απολήξεων).

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CORMIX

Δεδομένα εισόδου και παραδοχές παρούσας εφαρμογής

Η προσομοίωση της ροής και του τρόπου ανάμιξης του ρεύματος άλμης το οποίο προωθείται στην θάλασσα έγινε με το λογισμικό CORMIX και είχε παραμετρικό χαρακτήρα καθώς εξετάστηκαν δύο εναλλακτικές επιλογές όσον αφορά το μήκος του αγωγού και τη μορφή της απόληξης αυτού. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι περιπτώσεις απλής απόληξης (**Επιλογή Α**)

απλός σωλήνας ο οποίος καταλήγει χωρίς κάποια ειδική διαμόρφωση) και απόληξης τύπου διαχύτη πολλαπλών ακροφυσίων (**Επιλογή Β**) για μήκος αγωγού 800 μέτρων (από την ακτή).

Στοιχεία εισόδου

Τα στοιχεία/δεδομένα που λήφθηκαν υπόψη κατά την εφαρμογή του μοντέλου για τις προαναφερόμενες περιπτώσεις αναφέρονται στον Πίνακα 10 που ακολουθεί.

Πίνακας 10 Παράμετροι εναλλακτικών εφαρμογών λογισμικού CORMIX

Παράμετροι	Επιλογή Α	Επιλογή Β
Υπερβάλλουσα αλατότητα (%)	70	70
Παροχή αγωγού απόρριψης (m^3/s)	0.68	0.68
Πυκνότητα διαλύματος άλμης (kg/m^3)	1,051	1,051
Βάθος στο σημείο απόρριψης (m)	7.5	7.5 (μέσο βάθος – κέντρο διαχύτη)
Ταχύτητα αέρα	6	6
Ταχύτητα θαλάσσιου ρεύματος (m/s)	0.15	0.15
Μέση πυκνότητα θαλάσσιας περιοχής kg/m^3	1,028	1,028
Συντελεστής Darcy-Weisbach	0.0328	0.0328
Διατομή διαχύτη (m^2)	0,4	0,4
Ύψος διαχύτη από τον πυθμένα (m)	4,5	4,5
Μήκος διαχύτη (m)	-	100
Αριθμός διαχυτών	-	10

Κριτήρια επιλογής μήκους αγωγού

Τα κύρια κριτήρια για την επιλογή του μήκους του αγωγού απόρριψης άλμης ήταν το οικονομικό κόστος και οι ενδεχόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, ήταν απαραίτητο η απόληξη του αγωγού απόρριψης να βρίσκεται σε απόσταση από την ακτή μεγαλύτερη από 700 μέτρα καθώς στην ενδιάμεση περιοχή ενδημούν φυτείες Ποσειδωνίας οι οποίες δεν θα πρέπει να επηρεαστούν από την απορριπτόμενη άλμη. Επιλέχθηκε μία απόσταση ασφαλείας 100 μέτρων η οποία περιορίστηκε από την οικονομική παράμετρο καθώς όσο το μήκος του αγωγού αυξάνεται τόσο το κόστος των υλικών και εγκατάστασης πολλαπλασιάζεται.

Σχόλια επί των αποτελεσμάτων

Είναι προφανές από την παρατήρηση του παραπάνω διαγράμματος ότι ο βαθμός ανάμιξης της ροής άλμης στον θαλάσσιο αποδέκτη αποκτά μεγάλες τιμές (ουσιαστικά καθίσταται απόλυτος -100%) σε μικρή απόσταση από τον διαχύτη και για τις δύο περιπτώσεις. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το ποσοστό υπερβάλλουσας αλατότητας γίνεται **10%** σε απόσταση **7.5** και **4** μέτρων αντίστοιχα από την απόληξη του διαχύτη.

Επίσης, παρατηρείται ότι για την περίπτωση του διαχύτη πολλαπλών απολήξεων η συγκεκριμένη απόσταση είναι σε σημαντικό βαθμό μικρότερη ενώ η μεταβολή του ποσοστού υπερβάλλουσας αλατότητας είναι αρκετά πιο ομαλή, γεγονός αναμενόμενο καθώς η διάχυση πραγματοποιείται τμηματικά και η ροή που αντίστοιχα προκύπτει είναι πολύ πιο περιορισμένη δυναμικά και γεωμετρικά.

Όσον αφορά, την πλήρη επαναφορά της αλατότητας του θαλάσσιου αποδέκτη παρατηρείται ότι αυτή επιτυγχάνεται στην πρώτη περίπτωση σε απόσταση περίπου 50 μέτρων από την απόληξη του διαχύτη και στην δεύτερη περίπτωση σε απόσταση περίπου 36 μέτρων. Όσον αφορά και αυτήν την παράμετρο η επιλογή του διαχύτη πολλαπλών απολήξεων εμφανίζεται ανώτερη αυτής της απλής μονής απόληξης.

5.3. Μονάδα αφαλάτωσης scattergood στην Καλιφόρνια (Jenkins, 2005)

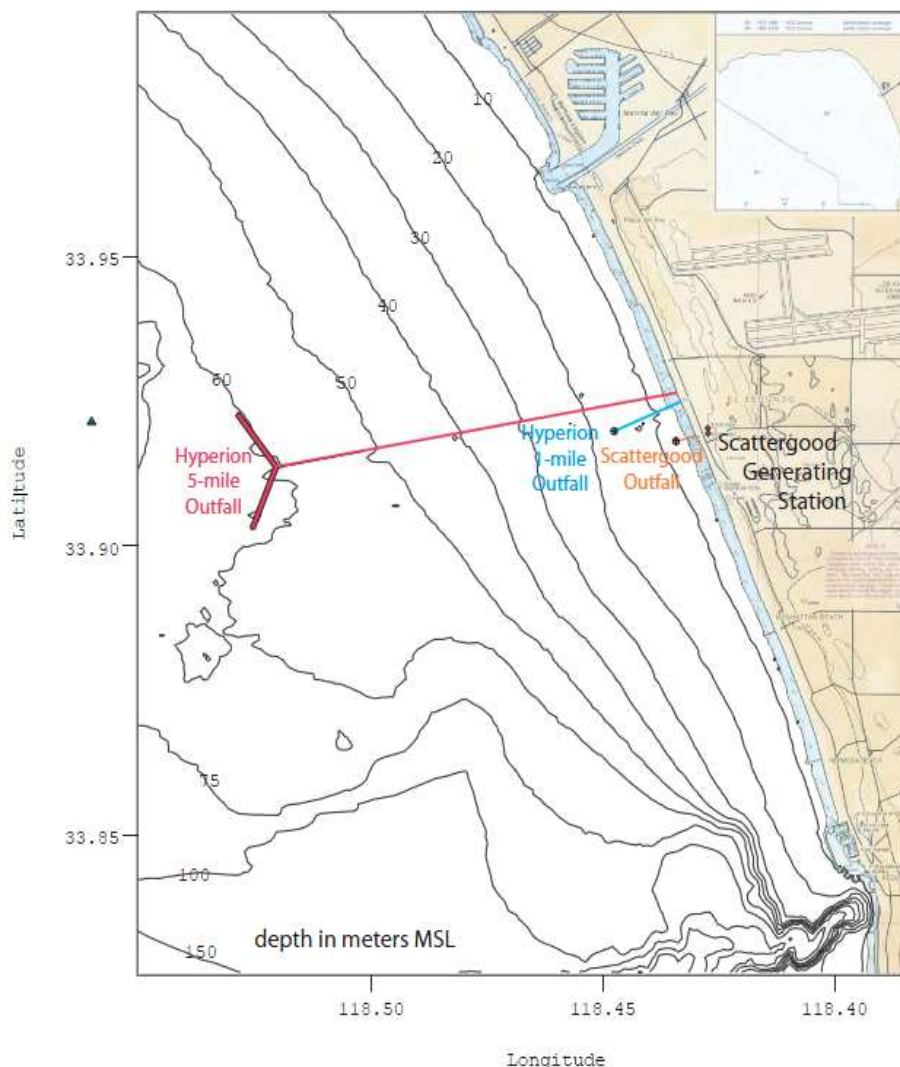


Εικόνα 13. Γενική άποψη της μονάδας (A. Jenkins, 2005)

Πρόκειται για μια μονάδα αφαλάτωσης στην Καλιφόρνια του Λος Άντζελες με δυναμικότητα $220000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$. Η μονάδα αυτή είναι συνδεδεμένη με το προϋπάρχον σύστημα κυκλοφορίας κρύου νερού από τον παρακείμενο σταθμό παραγωγής ενέργειας. Το αλμόλοιπο εδώ, δηλαδή το νερό με την αυξημένη περιεκτικότητα σε αλάτι που μένει από την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης, αφού αναμειχθεί με κρύο νερό μεταφέρεται για

απόρριψη στη θάλασσα μέσω ενός ή περισσοτέρων από τους υπάρχοντες αγωγούς. Οι αγωγοί αυτοί είναι:

1. Ένας αγωγός με διάμετρο 5.25m θερμικής απόρριψης που εξυπηρετεί τον σταθμό παραγωγής με σημείο εκροής τοποθετημένο 360m από την ακτή
2. Ένας αγωγός με διάμετρο 3.6m που χρησιμοποιείται σε έκτακτες συνθήκες τοποθετημένος 1615m από την ακτή
3. Ένας αγωγός με διάμετρο 3.6m βαθιάς εκροής τοποθετημένος 8262m από την ακτή



Εικόνα 14. Χάρτης της περιοχής όπου απεικονίζονται τα σημεία εκβολής των αγωγών (A. Jenkins, 2005)

Οι καθαρές επιπτώσεις στον ωκεανό από την άντληση υδάτων για την αφαλάτωση δεν διαφέρουν αρχικώς από αυτές της εξάτμισης, με τη διαφορά ότι 2100 μονάδες αφαλάτωσης σαν αυτήν αντιστοιχούν σε απώλειες φυσικής εξάτμισης ίσες με του κόλπου της νότιας Καλιφόρνιας.

Μετά από μελέτη που πραγματοποιήθηκε εκτιμήθηκε η διάλυση και η διασπορά του αλμόλοιπου για κάθε μια από τις τρεις εναλλακτικές επιλογές εκροής. Τα σενάρια που μελετήθηκαν έλαβαν υπόψη τις συνθήκες που επικρατούν στον ωκεανό και είχαν εύρος τιμών για το παραγόμενο νερό μεταξύ 52800 και 220000 m^3 /ημέρα. Αυτό έγινε για να για να εκτιμηθεί η ικανότητα παροχής κάθε επιλογής εκροής.

Οι υδροδυναμικές μελέτες καθώς και τα στοιχεία που υπάρχουν για την περιοχή εδώ και 20 χρόνια έδωσαν μερικά πολύ χρήσιμα συμπεράσματα:

- Όταν η παραγωγή καθαρού νερού είναι περιορισμένη μεταξύ 52800 και 110000 m^3 /ημέρα τότε ο αγωγός που είναι τοποθετημένος 360m από την ακτή προσφέρει επαρκή διάλυση του αλμόλοιπου κάτω από όλες τις συνθήκες.
- Όταν η παραγωγή καθαρού νερού αυξάνεται σε 220000 m^3 /ημέρα τότε το αλμόλοιπο που εκρέει παραμένει κάτω από τα θαλάσσια βιολογικά όρια κατά 82% των περιπτώσεων. Το υπόλοιπο 18% όταν η αλατότητα του πυθμένα υπερβαίνει την ανοχή των βιολογικών ορίων μια μεγάλη περιοχή φυσικού περιβάλλοντος υπεραλατώνεται.
- Εκροή αλμόλοιπου από τον δεύτερο αγωγό που βρίσκεται 1615m από την ακτή υπερβαίνει τα όρια στο 98% των περιπτώσεων αν η παραγωγή νερού είναι της τάξεως των 52800 m^3 /ημέρα. Αν η ποσότητα του παραγόμενου νερού αυξηθεί στα 220000 m^3 /ημέρα τότε τα όρια υπερβαίνονται στο 100% των περιπτώσεων. Η εκροή από αυτόν τον αγωγό δεν είναι μια εφικτή λύση εκτός εάν το αλμόλοιπο αναμιγνύεται επιπλέον με θαλασσινό νερό πριν την εκροή. Η αναλογία θαλασσινού νερού που απαιτείται για εξάλειψη της υπεραλατότητας είναι 3.25 προς 1.
- Εκροή αλμόλοιπου από τον τρίτο βαθύ αγωγό που βρίσκεται 8262m από την ακτή δεν προκαλεί προβλήματα υπεραλατότητας. Η εκροή από αυτόν τον αγωγό προσφέρει το μικρότερο ρίσκο όσον αφορά τις επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον ενώ επιτρέπει την μέγιστη παραγωγή νερού από την μονάδα
- Η χρησιμοποίηση αυτού του αγωγού δεν παρουσιάζει συγκεκριμένες επιδράσεις στην ποιότητα του νερού που αντλείται προς επεξεργασία από άλλο αγωγό. m^3 /ημέρα

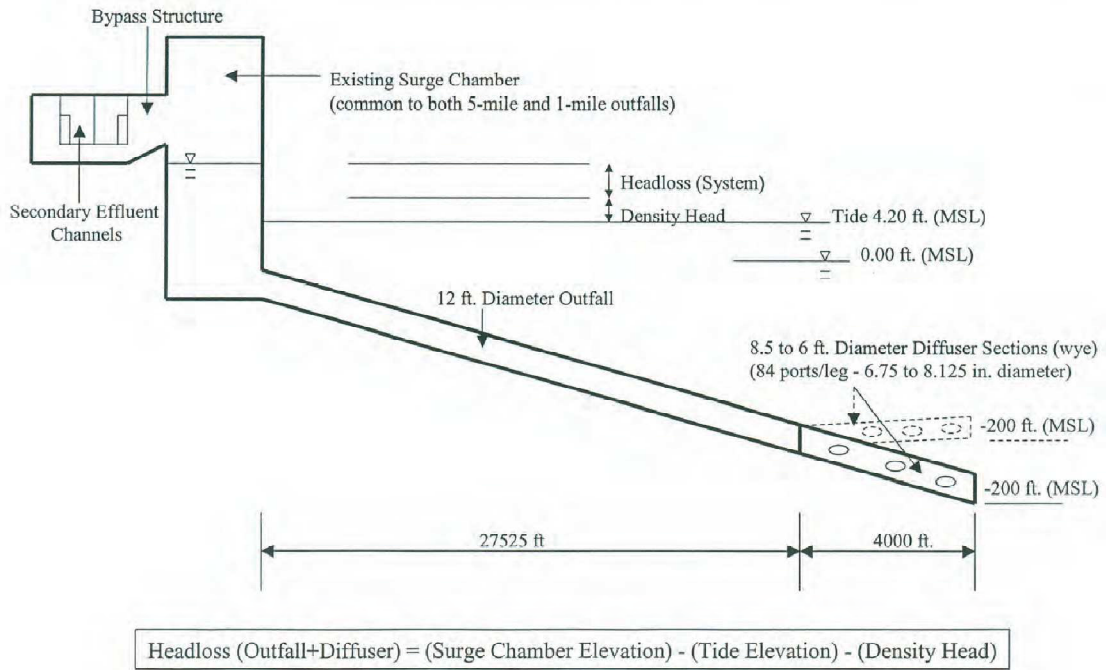
Ο δεύτερος αγωγός μπήκε σε λειτουργία το 1951 αλλά χρησιμοποιείται πια μόνο σε έκτακτη ανάγκη με δυνατότητα παροχής 2640000 m^3 /ημέρα. Είναι ένας αγωγός με διάμετρο 3.6m από οπλισμένο σκυρόδεμα που εκρέει μέσω ενός συστήματος διάχυσης τοποθετημένο σε βάθος 15m στον κόλπο της Santa Monica. Αυτό είναι 90m μήκος και έχει 4 ελλειπτικές οπές στο πάνω μέρος και 6 ελλειπτικές οπές στο πλάι με διαστάσεις αξόνων 0.975 και 0.45m οι οποίες προκαλούν αρχική διάλυση 13 προς 1.

Ο τρίτος αγωγός μπήκε σε λειτουργία το 1960 και έχει δυνατότητα παροχής 3366000 m^3 /ημέρα. Έχει διάμετρο 3.6m στο κύριο μέρος του αγωγού και το σύστημα διάχυσης αποτελείται από δύο σκέλη σε σχήμα Y τοποθετημένο σε βάθος 57m. Κάθε ένα σκέλος του διαχυτήρα είναι 1200m και είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα με μειούμενη διάμετρο από 2.55m μέχρι 1.8m. σε κάθε σκέλος υπάρχουν 84 κυκλικές οπές που διαφέρουν σε διάμετρο από 17 εως 21cm. Η αρχική διάλυση που επιτυγχάνεται με αυτήν την κατασκευή είναι 84 προς 1.

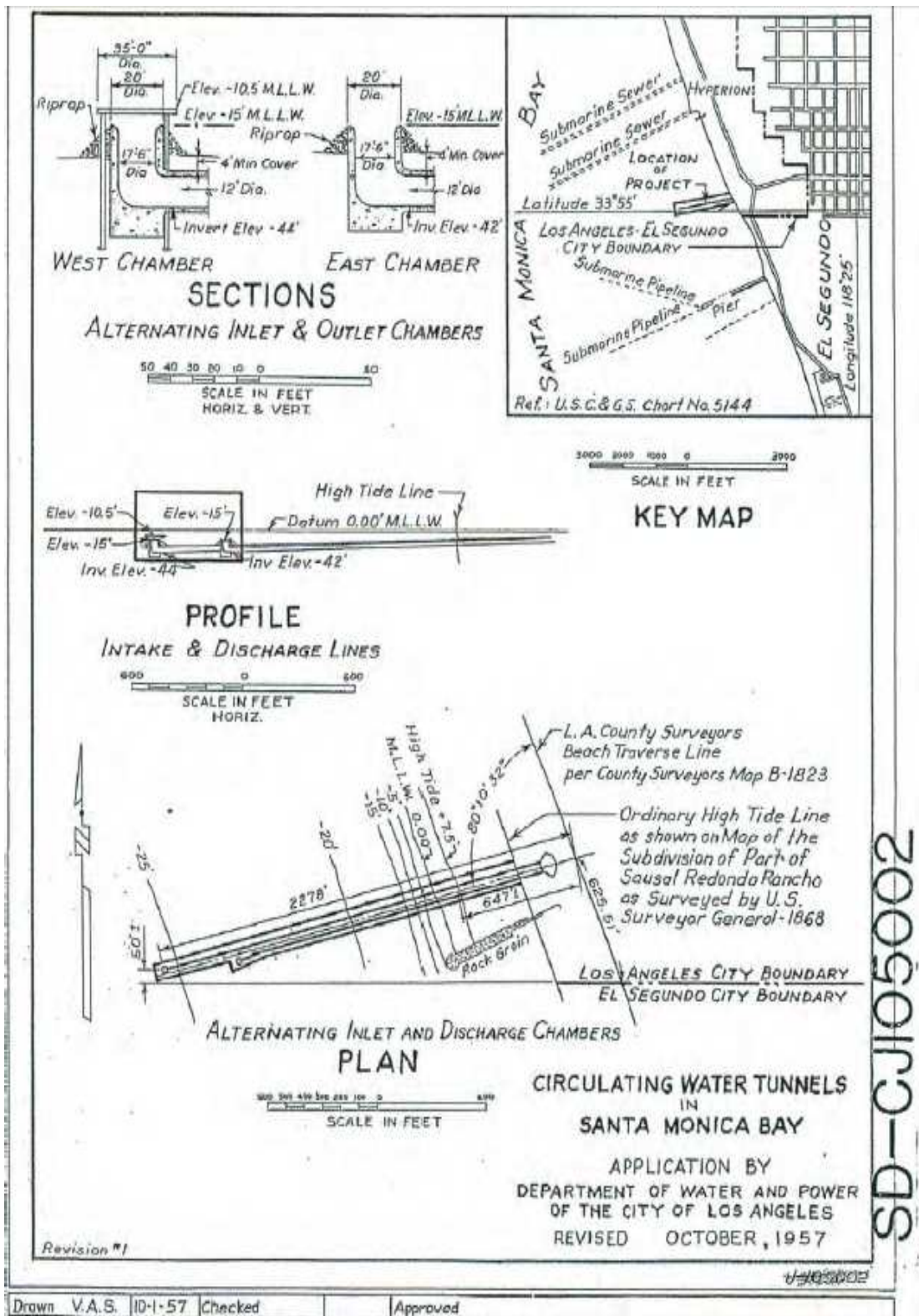
Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά αγωγών 2 και 3

χαρακτηριστικά	Αγωγός 3	Αγωγός 2
Διάμετρος	3.6m	3.6m
Υλικό κατασκευής	Προκατ. σκυρόδεμα	Προκατ. Σκυρόδεμα
Μήκος	8262m	1615m
Βάθος εκροής	57m	15m
Διάμετρος διαχυτή	2.55m	1.8 έως 2.55m
Μήκος διαχυτή	2 x 1200m	1 x 90m
Οπές διαχυτή	2 x 83	4 κεφαλής 6 πλαϊνές
Μέγεθος οπών	17 εως 21cm(διάμετρο)	0.975 και 0.45m (ελλειπτικές)
Αρχική διάλυση	84:1	13:1

**Hyperion Treatment Plant
Five-Mile Ocean Outfall and Diffuser**



Εικόνα 15 Σχεδιάγραμμα αγωγού 3 (Jenkins, 2005)



Εικόνα 16 Σχεδιάγραμμα λεπτομεριών αγωγών εισροής εκροής (Jenkins,2005)

5.4. Μονάδες αφαλάτωσης στα Κανάρια νησιά, Ισπανία (Sadhwani, 2005)

5.4.1. Bocabarranco (SWRO)

Η μονάδα αυτή βρίσκεται στα νοτιοδυτικά του νησιού στα Κανάρια, στην παραλία Bocabarranco στο Galdar. Έχει δυναμικότητα παραγωγής $7000 \text{ m}^3/d$, ποσοστό ανάκτησης 45%, και τα συνολικά αιωρούμενα στερεά στην εκροή (TDS) είναι 400 ppm και το νερό που παράγει χρησιμοποιείται για οικιακή κατανάλωση.

Η μονάδα αυτή είναι μέρος μιας ενιαίας εγκατάστασης αφαλάτωσης σε μια έκταση 10000 m^2 και χρησιμοποιεί τις ίδιες υποδομές. Υπάρχει ακόμα μια μονάδα αντίστροφης όσμωσης στο συγκρότημα που παράγει νερό για γεωργική χρήση, και μια μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων πολύ κοντά.

Το αλμόλοιπο διχτετεύεται μέσω δύο αγωγών στην αιγιαλίτιδα ζώνη, ο πρώτος είναι διπλός για την εκροή αλμόλοιπου από τη μονάδα πόσιμου νερού με διάμετρο 300mm και ο δεύτερος 400mm για τη γεωργική χρήση. Και οι δύο αγωγοί εκρέουν κοντά στην παραλία. Η λύση που για όλες τις εκροές ακόμα και αυτές από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων ήταν εκροή μέσω μεγάλου αγωγού στη θάλασσα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η χημική σύσταση του θαλασσινού νερού και της εκροής:

Πίνακας 12. Χημική σύσταση εισροής και εκροής της μονάδας (Sadhwani, 2005)

Συγκέντρωση (Mg/l)	Θαλασσινό νερό	Άλμη
Ca^{2+}	450	814
Mg^{2+}	1.520	2.751
Na^+	11.415	20.657
K^+	450	814
Bicarbonate	250	452
Cl^-	20.800	37.639
SO_4^{2-}	3.110	5.628
Silicon	5	9
TDS	38.000	68.764

Η συχνότητα καθαρισμού του φίλτρου της άμμου στο στάδιο προεπεξεργασίας είναι περίπου μια φορά την εβδομάδα και τα υπολοίματα

εκρέουν και αυτά στον αγωγό της άλμης. Το ίδιο συμβαίνει και με τις μεμβράνες που καθαρίζονται 3-4 φορές το χρόνο.

Τα χημικά που χρησιμοποιούνται στην προεπεξεργασία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 13. Χημικά που χρησιμοποιήθηκαν στην προεπεξεργασία (Sadhvani, 2005)

Χημικά	Kg/m ³	ppm
NaOCl	0.053	3.0
H ₂ SO ₄	0.068	16.4
NaHSO ₄	0.027	2.0
Πρόσθετα κατά της καθίζησης	0.009	4.1
FeCl ₃	0.055	1.7
Calcium hypochloride	0.005	2.8

5.4.2. Arucas (SWRO)

Αυτή η μονάδα βρίσκεται στα νότια του νησιού, σε μια περιοχή που ονομάζεται Punta de Camello, σε υψόμετρο 33.27m πάνω από τη θάλασσα. Έχει δυναμικότητα 5000 m³/d, ποσοστό ανάκτησης 45%, συνολικά αιωρούμενα στερεά στην εκροή 400 ppm και το νερό που παράγει χρησιμοποιείται για γεωργική χρήση.

Η μονάδα είναι κοντά σε μια άλλη με παρόμοιο σχεδιασμό, με διαφορετική όμως χρήση. Η άλμη συναντά τον ήδη προυπάρχων από το 1994 αγωγό με διάμετρο 400 mm και εκρέουν κατευθείαν στην ακτογραμμή.

Υπάρχει ένας κατάλογος με ενδημικά θαλάσσια είδη, κοκκίνα φύκια (Rissoella Verruculosa), υπήρχαν σε εκείνο το μέρος και τώρα είναι κατεστραμμένα από προηγούμενες επιπτώσεις.

Η σύσταση του θαλασσινού νερού και της άλμης είναι παρόμοια με την προηγούμενη, αλλά οι δόσεις χημικών για προεπεξεργασία και επεξεργασία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 14. Χημικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προεπεξεργασία και επεξεργασία (Sadhvani, 2005)

Χημικά	g/m^3	Kg/day
NaOCl	11.10	3.0
H_2SO_4	68.02	230
$NaHSO_4$	6.80	34
HSFM	6.67	33.3
$FeCl_3$	11.10	55.5
Calcium hydroxide	20	103

5.4.2.1. Roque prieto (SWRO)

Και αυτή η μονάδα βρίσκεται νοτιοδυτικά του νησιού στην περιοχή Roque prieto, Guía, όχι μακριά από το Bocabarranco. Έχει δυναμικότητα $5000 m^3/d$ ανάκτηση 45%, TDS 400 ppm, και παράγει πόσιμο νερό.

Η μονάδα είναι παρακείμενη σε μια μονάδα εξάτμισης με $1500 m^3/d$ παραγόμενο νερό. Το νερό τροφοδοσίας λαμβάνεται μέσω φρεάτων (beach wells) και η εκροή γίνεται μαζί και των δυο μονάδων κατευθείαν στην ακτή.

5.4.3. Aldea

Βρίσκεται δυτικά του νησιού La Aldea, στο San Nicolas de Tolentino, σε μια έκταση $5500 m^2$. Και εδώ υπάρχει κοντά μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η βασική χρήση του νερού που παράγεται είναι γεωργική. Η μονάδα έχει δυναμικότητα $10000 m^3/d$, με ανάκτηση 45%. Είχε όμως αρχικά σχεδιαστεί για παραγωγή $5000 m^3/d$ και για TDS λιγότερο από $400 mg/L$.

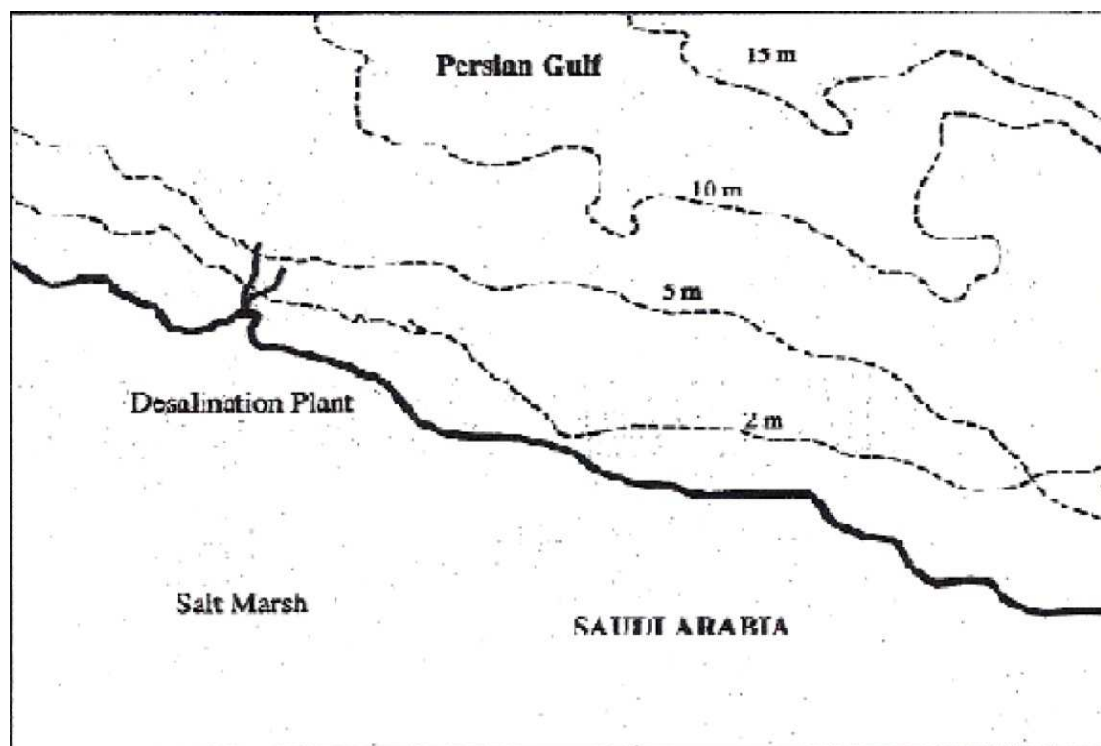
Η άλμη εδώ αναμειγνύεται με την εκροή της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και εκρέουν με αγωγό διαμέτρου 500mm μέσα στη θάλασσα

5.4.4. Maspalomas II

Βρίσκεται νότια του νησιού αριστερά από το Barranco del Toro, μετά την εκροή του στην παραλία Playa del Toro. Τροφοδοτείται με $42000 m^3/d$ θαλάσσιο νερό και παράγει $25000 m^3/d$ πόσιμο νερό. Έχει TDS $90000 mg/L$, επειδή χρησιμοποιείται και δεύτερο στάδιο με πίεση 90 bar αυξάνοντας την ανάκτηση στο 60%. Η εκροή γίνεται με αγωγούς στη θάλασσα και η διάλυση από τα 75 psu στα 38 psu επιτυγχάνεται 20m από το σημείο εκροής. Παρόλα αυτά η χλωρίδα και η πανίδα της περιοχής επηρεάστηκαν αρκετά.

5.5. Μονάδα αφαλάτωσης στο Al-Jubail (MSF) (Al-Mutaz, 2006)

Η μονάδα αφαλάτωσης του Al- Jubail βρίσκεται στον αραβικό κόλπο. Η θάλασσα που βρίσκεται δίπλα από την μονάδα αφαλάτωσης είναι αβαθής και ο πυθμένας είναι καλυμμένος από φύκια. Το βάθος της θάλασσας κυμαίνεται από 3 έως 8m μέχρι μεγάλη απόσταση από την ακτογραμμή. Η ισοβαθής των 2 m απέχει περίπου 2km από την ακτή, η ισοβαθής των 5 m απέχει 2 έως 4km και η ισοβαθής των 10m 4 έως 6 km.



Εικόνα 17 Χάρτης της περιοχής που απεικονίζει τις ισοβαθής (Al-Mutaz, 2006)

Ο αγωγός εκροής άλμης της εγκατάστασης βρίσκεται περίπου 2km μακριά από την ακτογραμμή και σε βάθος περίπου 4m. Ο αγωγός εισροής νερού βρίσκεται σε βάθος 2.5m. Τα χαρακτηριστικά του αγωγού εκροής είναι:

- Μήκος = 2km
- Διάμετρος = 0.9m
- Βάθος σημείου εκροής = 4m
- Κατακόρυφη εκροή

Το βάθος της θάλασσας στο σημείο αυτό είναι 5m. Η μέση πυκνότητα της θάλασσας στην περιοχή είναι 1027.5 kg/m^3 ενώ η πυκνότητα του

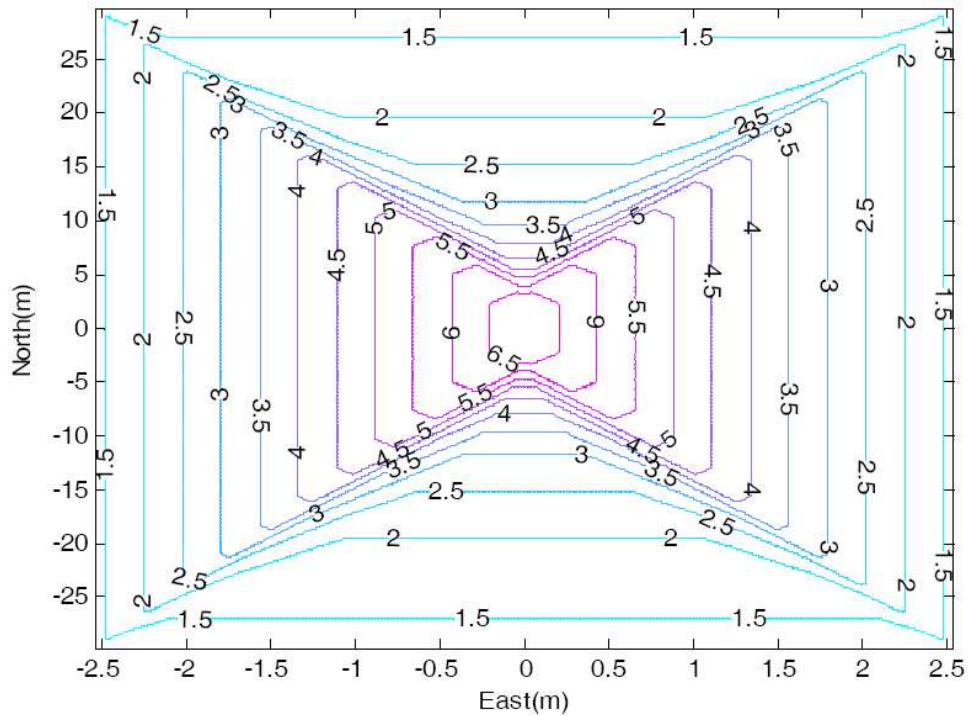
αλμόλοιπου είναι 1046.5 kg/m^3 . Η δυνατότητα παραγωγής νερού της μονάδας είναι $1115400 \text{ m}^3/\text{day}$ και η εκροή του αλμόλοιπου είναι $1632400 \text{ m}^3/\text{day}$ ή $16.25 \text{ m}^3/\text{sec}$. Η μέση θερμοκρασία της θάλασσας στην περιοχή είναι $32 \text{ }^\circ\text{C}$ ενώ του αλμόλοιπου είναι $38 \text{ }^\circ\text{C}$.

Έχει αποδειχτεί ότι υψηλή θερμοκρασία θάλασσας σε συνδυασμό με την εκροή θερμού αλμόλοιπου από την εγκατάσταση θερμικής αφαλάτωσης δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στους θαλάσσιους οργανισμούς η υψηλή θερμοκρασία καθώς και η αυξημένη αλατότητα μειώνουν δραστικά την συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στη θάλασσα περιορίζοντας τις μορφές ζωής των θαλάσσιων οργανισμών.

Ο άλλος μολυντής που ενδιαφέρει είναι τα συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS). Στη θάλασσα έχουμε 46000 ppm (TDS) ενώ στην άλμη έχουμε περιεκτικότητα 67000 ppm .

Όλες οι παραπάνω παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα στο CORMIX για να εκτιμηθούν τα προφίλ της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας για την εκροή του αλμόλοιπου.

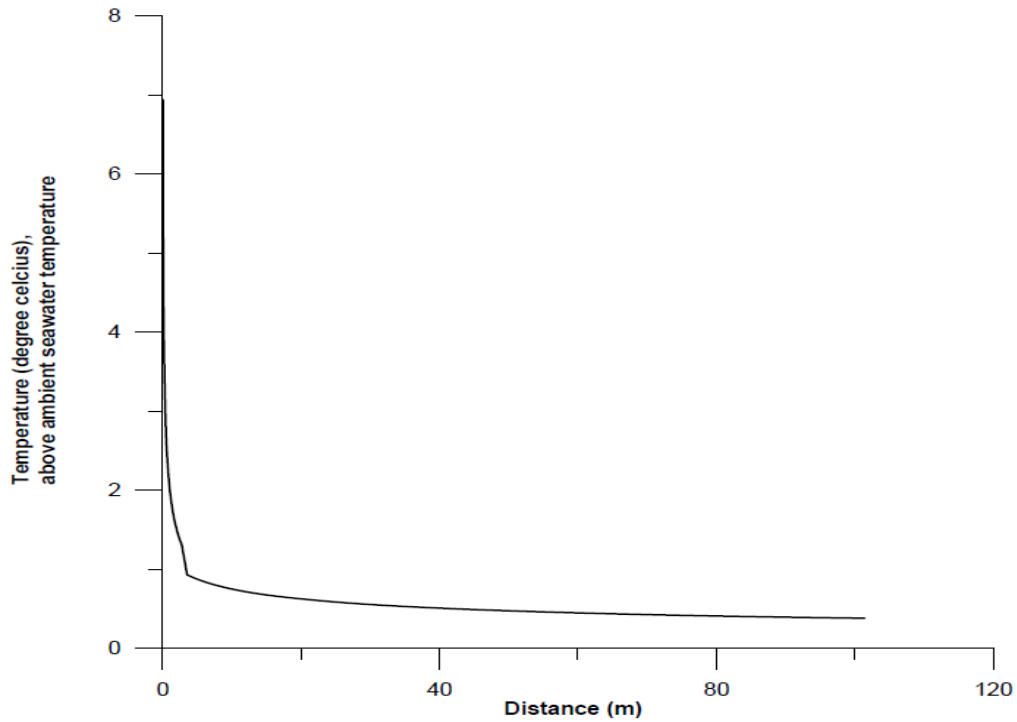
Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η διανομή της θερμοκρασίας καθώς διαχέεται το αλμόλοιπο στη θάλασσα. Στο σημείο εκροής έχει μέγιστη θερμοκρασία η οποία μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε μέχρι να φτάσει στα επίπεδα θερμοκρασίας της θάλασσας.



Διάγραμμα 2. Διανομή θερμοκρασίας συναρτήσει της απόστασης από το σημείο εκροής (Al-Mutaz, 2006)

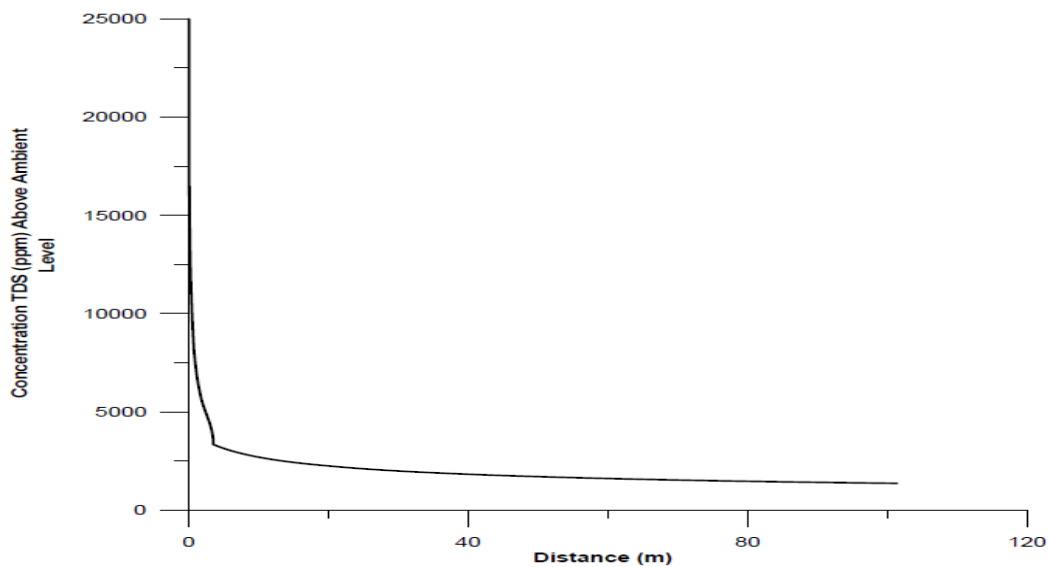
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πτώση της θερμοκρασίας είναι πολύ έντονη στην αρχή μέχρι το πλούμιο να ακουμπήσει τον πυθμένα σε απόσταση 2.77m από το σημείο εκροής. Μέσα στην απόσταση αυτή το πλούμιο έχει αναμειχθεί σημαντικά και η διάλυση στον άξονα του είναι 30 φορές μεγαλύτερη από το σημείο εκροής. Καθώς το πλούμιο ταξιδεύει πιο μακριά η θερμοκρασία του πέφτει σταδιακά και φτάνει σχεδόν στα επίπεδα της θάλασσας σε απόσταση 101.41m από το σημείο εκροής. Από αυτά τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι δεν η εκροή του θερμού αλμολοίπου από την μονάδα αφαλάτωσης του Al- Jubail δεν έχει δραστικές επιδράσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον του Αραβικού κόλπου.

Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τη μεταβολή της διαφοράς θερμοκρασίας συναρτήσει της απόστασης από το σημείο εκροής.



Διάγραμμα 3. Μεταβολή θερμοκρασίας συναρτήσει της απόστασης (Al-Mutaz, 2006)

Το επόμενο διάγραμμα δείχνει ότι στην αρχή της εκροής η μίξη και διάλυση των συνολικά διαλυμένων στερεών TDS είναι γρήγορη έως την απόσταση των 4m από την πηγή. Από εκεί και πέρα καθώς το πλούμιο ταξιδεύει αργά η μίξη και η διάλυση είναι πιο αργή. Είναι ξεκάθαρο ότι η συγκέντρωση των στερεών δεν επηρεάζει δραστικά το θαλάσσιο περιβάλλον καθώς χρειάζονται μόλις 5 με 6 λεπτά για τη διάλυση της συγκέντρωσης από 25000 ppm σε 1300 ppm πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.



Διάγραμμα 4. Συγκέντρωση στερεών συναρτήσει της απόστασης (Al-Mutaz, 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Βασική μηχανική ανωστικών φλεβών

Παρακάτω συνοψίζονται μερικά βασικά στοιχεία της μηχανικής ανωστικών φλεβών (Fisher, 1979).

Απλή φλέβα ή φλέβα(jet) είναι η εκροή ρευστού από ένα στόμιο μέσα σε αποδέκτη με ρευστό της ίδιας πυκνότητας. **Πλούμιο** είναι μια ροή που δείχνει σαν απλή φλέβα, αλλά προκαλείται από την πηγγή δυναμικής ενέργειας που παρέχει στο ρευστό θετική ή αρνητική άνωση ως προς το περιβάλλον ρευστό. Η απλή φλέβα στην εκροή της χαρακτηρίζεται από ορμή (ποσότητα κίνησης) και μηδενική διαφορά πυκνότητας, ενώ το πλούμιο στην εκροή του δεν έχει ορμή ή ταχύτητα αλλά χαρακτηρίζεται από διαφορά πυκνότητας η οποία προκαλεί την ροή. Η διαφορά πυκνότητας προκαλεί άνωση, οπότε μια φλέβα η οποία εκτός από ποσότητα κίνησης στην εκροή της έχει και διαφορά πυκνότητας από το ρευστό του αποδέκτη ονομάζεται **ανωστική φλέβα (buoyant jet)**.

Μια ανωστική φλέβα μπορεί να είναι φλέβα θετικής ή αρνητικής άνωσης. Θεωρούμε ότι μια ανωστική φλέβα πυκνότητας ρ παροχετεύεται με ρυθμό Q σε αποδέκτη πυκνότητας ρ_α σε χρονικό διάστημα Δt . Ο όγκος δέχεται την δύναμη της ποσότητας κίνησης (που αρχικά έχει την κατεύθυνση της αρχικής ταχύτητας), το βάρος F_w του όγκου του ρευστού της φλέβας και τη δύναμη F_b λόγω άνωσης. Η συνισταμένη F του βάρους και της άνωσης έχει μέτρο (θετική φορά προς τα πάνω):

$$F = F_b - F_w = \rho_\alpha gV - \rho gV = gV(\rho_\alpha - \rho) = g(\rho_\alpha - \rho)Q\Delta t$$

Η δύναμη F ονομάζεται συνολική ανωστική δύναμη.

Θεωρώντας στην εκροή της φλέβας $\rho = \rho_\alpha$, τότε για:

- $\rho_\alpha > \rho_0$ είναι $F_b > F_w$ δηλαδή η F έχει φορά προς τα πάνω. Αυτό σημαίνει ότι για παροχέτευση προς τα πάνω η κατακόρυφη συνιστώσα της ποσότητας κίνησης και η F έχουν ίδια φορά (θετική άνωση), ενώ για παροχέτευση προς τα κάτω η κατακόρυφη συνιστώσα της ποσότητας κίνησης και η F έχουν αντίθετη φορά (αρνητική άνωση).
- $\rho_\alpha < \rho_0$ είναι $F_b < F_w$ δηλαδή η F έχει φορά προς τα κάτω. Αυτό σημαίνει ότι για παροχέτευση προς τα πάνω η κατακόρυφη συνιστώσα της ποσότητας κίνησης και η F έχουν αντίθετη φορά (αρνητική άνωση), ενώ για παροχέτευση προς τα κάτω η κατακόρυφη συνιστώσα της ποσότητας κίνησης και η F έχουν την ίδια φορά (θετική άνωση).

Συνεπώς μια φλέβα είναι:

- **Θετικής άνωσης** όταν η συνολική ανωστική δύναμη και η κατακόρυφη συνιστώσα της ποσότητας κίνησης έχουν την ίδια φορά.
- **Αρνητικής άνωσης** όταν η συνολική ανωστική δύναμη και η κατακόρυφη συνιστώσα της ποσότητας κίνησης έχουν αντίθετη φορά.

Αρχικά η ροή οφείλεται στην ποσότητα κίνησης του ρευστού που εκρέει και η επίδραση της ανωστικής δύναμης είναι αμελητέα. Βαθμιαία αρχίζει η επίδραση της ανωστικής δύναμης και μετά από αρκετή απόσταση όλες οι ανωστικές φλέβες συμπεριφέρονται ως πλούμια, δηλαδή κυριαρχούν σ' αυτές οι ανωστικές δυνάμεις.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη ροή μιας φλέβας είναι:

- I.* οι παράμετροι της φλέβας, όπως η αρχική ταχύτητα εκροής από το στόμιο παροχέτευσης και η αρχική διαφορά πυκνότητας. Η πρώτη δημιουργεί την αρχική ποσότητα κίνησης, ενώ η διαφορά πυκνότητας δημιουργεί την αρχική ανωστική δύναμη.
- II.* Οι παράμετροι του περιβάλλοντος ρευστού (του αποδέκτη), όπως η ύπαρξη κίνησης ή όχι, η στρωμάτωση ως προς την πυκνότητα και το επίπεδο τύρβης του αποδέκτη.
- III.* Οι γεωμετρικές παράμετροι, όπως το σχήμα του στωμίου παροχέτευσης, η γωνία ως προς το οριζόντιο επίπεδο με την οποία παροχετεύεται η φλέβα και η γειτνίαση με άλλες φλέβες ή στερεά όρια. Έτσι οι φλέβες διακρίνονται σε κυκλικές όταν η παροχέτευση γίνεται από κυκλική οπή και σε δισδιάστατες όταν η παροχέτευση γίνεται από σχισμή πολύ μικρού πλάτους σε σχέση με το μήκος της. Η γωνία παροχέτευσης καθορίζει σε σημαντικό βαθμό αν ο άξονας της φλέβας θα είναι κεκλιμένος ή όχι.

Η ροή των φλεβών και των πλουμιών (ή γενικά των ανωστικών φλεβών) μπορεί να είναι στρωτή ή τυρβώδης ανάλογα με τον αριθμό Reynolds στην εκροή, ο οποίος για κυκλικό στόμιο παροχέτευσης ορίζεται ως εξής:

$$Re_0 = U_0 D / \nu$$

όπου U_0 είναι η ταχύτητα εξόδου από το στόμιο διαμέτρου D και ν είναι η κινηματική συνεκτικότητα του ρευστού της φλέβας. Μεγάλοι αριθμοί Reynolds έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό τυρβωδών φλεβών. Έχει βρεθεί ότι για $Re_0 > 2000$ η ροή της φλέβας είναι συνήθως τυρβώδης (Fisher, 1979).

Στην εκροή μιας φλέβας τα κυριότερα μεγέθη είναι:

Παροχή:

$$Q_0 = U_0 \alpha_0$$

Ροή ειδικής ποσότητας κίνησης:

$$M_0 = U_0 Q_0$$

Ροή ειδικής άνωσης:

$$B_0 = g'_0 Q_0$$

Όπου U_0 είναι η ταχύτητα εξόδου από το στόμιο εμβαδού α_0 ,

$g'_0 = g(\rho_\alpha - \rho_0)/\rho_\alpha$ η άνωση της φλέβας,

ρ_α η πυκνότητα του αποδέκτη και ρ_0 η πυκνότητα της φλέβας.

Η εκροή του αλμόλοιπου στον αποδέκτη(θάλασσα) παράγει έντονη ροή εξαιτίας της ασυνέχειας των ταχυτήτων μολυντή-αποδέκτη προκαλώντας τυρβώδη μίξη. Η ασυνέχεια των ταχυτήτων προκύπτει από την αρχική ειδική ποσότητα κίνησης, από την ροή ειδικής άνωσης η από συνδυασμό αυτών των δύο. Η συμπαράσυρση υγρού του αποδέκτη αραιώνει τον μολυντή (αλμόλοιπο) με αποτέλεσμα να μειώνονται οι διαφορές στη συγκέντρωση ή στις ιδιότητες του ρευστού(πυκνότητα, αλατότητα, θερμοκρασία(για MSF)) ανάμεσα σε μολυντή και αποδέκτη. Η ροή ειδικής ποσότητας κίνησης και η συγκέντρωση της άλμης διασκορπίζονται μέσα στον υδάτινο αποδέκτη(θάλασσα). Αυτή η μίξη αναφέρεται ως μίξη υποβρύχιας ανωστικής φλέβας.

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος παίζουν και αυτές κάποιο ρόλο στη διαδικασία της μίξης στο κοντινό πεδίο (near-field). Τα ρεύματα που υπάρχουν στον αποδέκτη εκτρέπουν την τροχιά της φλέβας προς την κατεύθυνση των ρευμάτων προκαλώντας υψηλότερη διάλυση. Η στρωματοποίηση της πυκνότητας έχει αρνητική επίπτωση καθώς εμποδίζει την κάθετη επιτάχυνση με αποτέλεσμα να παγιδεύεται το πλούμιο σε ένα τελικό επίπεδο.

Ανάλογα με τα δυναμικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ροής, η διαδικασία αλληλεπίδρασης ορίων εμφανίζεται σε κάθετα όρια περιβάλλοντος όπως η επιφάνεια του νερού, ο πυθμένας της θάλασσας ή εσωτερικά όρια(pycnoclines). Η αλληλεπίδραση των ορίων καθορίζει την μετάβαση από το κοντινό (near-field) στο μακρινό πεδίο (far-field).

Για να καθορίσουμε τη συμπεριφορά του πλουμίου και τον επηρεασμό βασικών υδροδυναμικών μηχανισμών (cross-flow, διαστρωμάτωση) στη μίξη του άλμης που εκρέει, χρησιμοποιούνται κατάλληλα μεγέθη (κλίμακες μήκους) διαστατικής ανάλυσης βασισμένα στα μεγέθη της ροής Q_0 , M_0 , J_0 , (Nash, 1995), (Jirka,2007).

Ένα σημαντικό εργαλείο στην ανάλυση των ανωστικών φλεβών αποτελεί η διαστατική ανάλυση (dimensional analysis) μέσω της οποίας συνάγεται η μορφή της εξίσωσης που διέπει ένα φαινόμενο προϋποθέτοντας μόνο τη γνώση των σχετικών μεταβλητών που υπεισέρχονται στο φαινόμενο και των διαστάσεων τους. Χρησιμοποιώντας διαστατική ανάλυση για μια κυκλική ανωστική φλέβα δεδομένου ότι κάθε παράμετρος της ροής εξαρτάται από τα Q_0 , M_0 , B_0 και την απόσταση από την πηγή s για κεκλιμένο άξονα προκύπτουν οι εξής χαρακτηριστικές κλίμακες μήκους:

$$l_Q = Q_0/M_0^{1/2} \quad \text{και} \quad l_M = M_0^{3/4}/B_0^{1/2}$$

Η φυσική ερμηνεία των οποίων είναι :

- i. Σε απόσταση από την πηγή ίση με l_Q , η παροχή από τη συμπάραιση περιβάλλοντος ρευστού είναι περίπου ίση με την αρχική παροχή Q_0 . Σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες της l_Q ($z/l_Q \gg 1$) η παροχή από τη συμπάραιση είναι πολύ μεγαλύτερη από την αρχική παροχή η οποία μπορεί να αμεληθεί, ενώ σε αποστάσεις $z/l_Q \ll 1$ δηλαδή πολύ κοντά στην πηγή η αρχική παροχή και η γεωμετρία του στωμίου εκροής παίζουν σημαντικό ρόλο.
- ii. Σε απόσταση από την πηγή ίση με l_M η ποσότητα κίνησης που δημιουργείται από την άνωση είναι περίπου ίση με την αρχική ποσότητα κίνησης M_0 . Σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες της l_M ($z/l_M \gg 1$) η ποσότητα κίνησης που δημιουργείται από την άνωση είναι πολύ μεγαλύτερη από την αρχική ποσότητα κίνησης, η οποία μπορεί να αμεληθεί, ενώ σε αποστάσεις $z/l_M \ll 1$ η αρχική ποσότητα κίνησης είναι ιδιαίτερα σημαντική. Βέβαια στην περίπτωση των φλεβών αρνητικής άνωσης, η αρχική ποσότητα κίνησης είναι σημαντική σε όλη την τροχιά πριν την αντιστροφή φοράς της ροής, αφού η κατακόρυφη συνιστώσα της αντιτίθεται στην άνωση.

Σε μια ανωστική φλέβα διακρίνουμε τις εξής περιοχές:

- Περιοχή $z/l_M \ll 1$ όπου η ανωστική φλέβα συμπεριφέρεται ως απλή φλέβα (jet regime)
- Ενδιάμεση ή μεταβατική περιοχή η οποία απέχει απόσταση από την πηγή της τάξης κλίμακας l_M (buoyant jet ή forced plume)

- Περιοχή $z/l_M \gg 1$ όπου η ανωστική φλέβα συμπεριφέρεται ως πλούμιο (plume regime). Στην περίπτωση των φλεβών αρνητικής άνωσης η συμπεριφορά πλουμίου επιτυγχάνεται συνήθως μετά την αντιστροφή της ροής.

Η αναλογία l_Q/l_M ονομάζεται αριθμός Richardson και εκφράζει το λόγο των αδρανειακών δυνάμεων προς τις ανωστικές δυνάμεις. Για μια κυκλική φλέβα ο αρχικός αριθμός Richardson Ri_0 ορίζεται ως εξής:

$$Ri_0 = l_Q/l_M = Q_0 B_0^{1/2} / M_0^{5/4}$$

Συχνά χρησιμοποιείται ο πυκνομετρικός αριθμός Froude:

$$F_0 = u_0 / \sqrt{|g'_0| D}$$

Όπου u_0 είναι η αρχική ταχύτητα της φλέβας, δηλαδή η ταχύτητα εξόδου από το στόμιο παροχέτευσης διαμέτρου D .

Για κυκλική φλέβα συνδέεται με τον αριθμό Richardson ως εξής:

$$Ri_0 = \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right)^{1/4}}{F_0}$$

Τέλος, μια σημαντική παράμετρος στις ανωστικές φλέβες είναι η διάλυση. Η μέση διάλυση στη διατομή S ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού όγκου (παροχής) της φλέβας στην εκάστοτε θέση προς τον αρχικό όγκο (παροχή):

$$S = Q/Q_0$$

Η διάλυση σε μια θέση της φλέβας με πυκνότητα ρ ή με φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας g' μπορεί να οριστεί ως (P. J. W. Roberts, 1997):

$$S = g'_0/g' = (\rho_\alpha - \rho_0)/(\rho_\alpha - \rho)$$

Ή ισοδύναμα συναρτήσει της συγκέντρωσης ως:

$$S = (c_0 - c_\alpha)/(c - c_\alpha)$$

Όπου c_α είναι η συγκέντρωση του αποδέκτη, c_0 η συγκέντρωση της φλέβας στη θέση όπου υπολογίζεται η διάλυση.

Συχνά υπολογίζεται η ελάχιστη διάλυση, δηλαδή η διάλυση στον άξονα της φλέβας:

$$S = \frac{g'_0}{g'} = (c_0 - c_a)/(c_c - c_a)$$

Όπου ο δείκτης c δηλώνει μεγέθη στη θέση του άξονα της φλέβας (centerline).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Μεθοδολογία σχεδιασμού

Η διασπορά των φλεβών εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού του διαχυτήρα καθώς και συνθήκες που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον της εκροής τους. Εξαιτίας του διαφορετικού επηρεασμού της φυσικής διαδικασίας, η μίξη και η διασπορά των φλεβών κατηγοριοποιούνται σε μίξη κοντινού πεδίου(near-field mixing) και μίξη μακρινού πεδίου(far-field mixing).

Η μίξη κοντινού πεδίου επιτυγχάνεται από την ορμή της ροής από την ταχύτητα της εκροής και πρόσθετα από δυνάμεις που δέχονται εξαιτίας των ρευμάτων που επικρατούν στον αποδέκτη-θάλασσα. Η μίξη στο μακρινό πεδίο και η αραιώση βασίζονται απλά στις φυσικές διαδικασίες των ανέμων και των κυμάτων.

Αντίθετα με τις φλέβες θετικής άνωσης που κινούνται προς την επιφάνεια της θάλασσας, οι φλέβες αρνητικής άνωσης βυθίζονται προς τον πάτο της θάλασσας. Και τα δυο είδη έχουν παρόμοια διαδικασία μίξης στο κοντινό πεδίο καθώς επηρεάζονται περισσότερο από την ορμή της ροής. Όμως στο μακρινό πεδίο οι φλέβες θετικής άνωσης έχουν καλύτερη και γρηγορότερη διαδικασία μίξης από τις φλέβες αρνητικής άνωσης καθώς πηγαίνουν στην επιφάνεια της θάλασσας όπου εξαιτίας των ανέμων και των κυμάτων έχουμε τυρβώδη μίξη.

Στο μακρινό πεδίο οι φλέβες αρνητικής άνωσης βρίσκονται στον πυθμένα της θάλασσας όπου η μίξη επηρεάζεται μόνο από τις ταχύτητες πυθμένα, από βαρομετρικές ροές και από την τυρβώδη μίξη κάτω από την επιφάνεια που είναι λιγότερο ισχυρή από την διαδικασία κοντά στην επιφάνεια. Για αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντικός ο σχεδιασμός διαχυτήρα της εκροής για την καλύτερη δυνατή αραιώση στο κοντινό πεδίο.

7.1. Εργαλεία σχεδιασμού

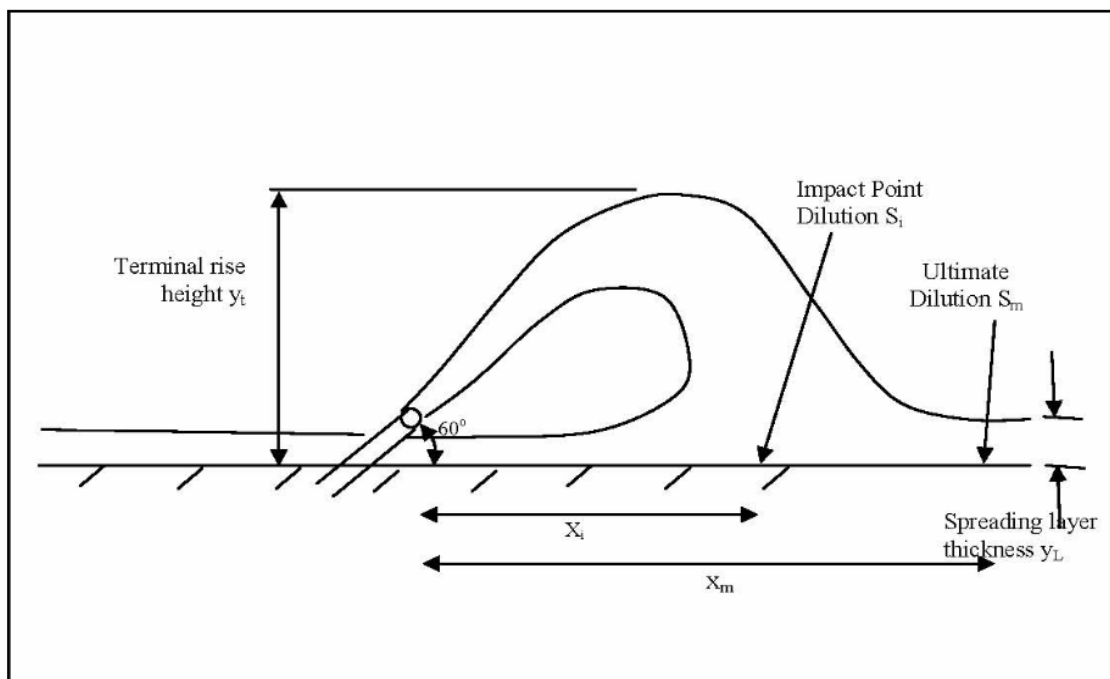
Τα δύο εργαλεία που χρησιμοποιούνται για προκαταρκτικό σχεδιασμό και ανάλυση της μίξης κοντινού πεδίου είναι:

- Εμπειρικές σχέσεις (Roberts, 1997)

- Υδροδυναμική διερεύνηση με χρήση μαθηματικών μοντέλων - CORMIX software

7.1.1. Εμπειρικές σχέσεις (Roberts, 1997)

Οι εμπειρικές σχέσεις που αναπτύχθηκαν από τους Roberts et al. (1997) έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για το σχεδιασμό διάχυσης και την ανάλυση της μίξης στο κοντινό πεδίο. Τα χαρακτηριστικά μιας φλέβας αρνητικής άνωσης που εξέρχεται από το στόμιο του διαχυτήρα, όπως περιγράφονται από τους Roberts et al. (1997). δίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 18. Χαρακτηριστικά πυκνής φλέβας (Roberts, 2007)

Οι παρακάτω εμπειρικές σχέσεις αναπτύχθηκαν από τους Roberts et al. (1997) και εκφράζουν τα χαρακτηριστικά της φλέβας συναρτήσει της διαμέτρου του στομίου του διαχυτήρα (d) και του πυκνομετρικού αριθμού Froude (Fr).

$$y_t = 2.2dFr$$

$$S_i = 1.6Fr$$

$$S_m = 2.6Fr$$

$$x_i = 2.4dFr$$

$$x_m = 9.0dFr$$

$$y_L = 0.7dFr$$

$$Fr = u/\left\{\left[\frac{g(\rho - \rho_\alpha)}{\rho_\alpha}\right]d\right\}^{1/2}$$

Όπου:

y_t = τερματικό ύψος ανόδου της φλέβας

S_i = αξονική διάλυση στη θέση επιστροφής της φλέβας στο επίπεδο παροχέτευσης

S_m = διάλυση στο τέλος της ζώνης ανάμειξης

x_i = οριζόντια απόσταση από το κέντρο του στομίου παροχέτευσης μέχρι τη θέση πρόσπτωσης της φλέβας στο επίπεδο

x_m = οριζόντια απόσταση από το κέντρο του στομίου παροχέτευσης μέχρι το σημείο που τελειώνει η ανάμειξη (end of near-field)

y_L = πάχος του στρώματος

g = επιτάχυνση της βαρύτητας

Fr = πυκνομετρικός αριθμός Froude

ρ = πυκνότητα της φλέβας

ρ_α = πυκνότητα του αποδέκτη

u = ταχύτητα της φλέβας

Οι Roberts et al. έβγαλαν αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζοντας πειράματα σε δεξαμενή μήκους 9.1 m, πλάτους 0.91 m και ύψους 0.61 m, εντός της οποίας παροχετευόταν από τον πυθμένα προς τα πάνω υγρό βαρύτερο από αυτό της δεξαμενής. Προσδιορίστηκαν το τερματικό ύψος ανόδου της φλέβας, η οριζόντια απόσταση από την εκροή της θέσης του άξονα στην περιοχή πρόσπτωσης της φλέβας στον πυθμένα και η αντίστοιχη διάλυση, το πάχος του σχηματιζόμενου στρώματος στον πυθμένα, η θέση όπου τελειώνει η ζώνη ανάμειξης (θέση όπου οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης πέφτουν στο 5% της αντίστοιχης μέσης τιμής τους) και η αντίστοιχη διάλυση.

Η παροχέτευση της φλέβας στα πειράματα αυτά έγινε υπό γωνία 60° ως προς την οριζόντια. Οι Roberts et al. απέδειξαν ότι η κλίση αυτή είναι προτιμότερη για το σχεδιασμό του διαχυτήρα, καθώς προκαλεί τη μεγαλύτερη τροχιά της φλέβας και επομένως τη μέγιστη αραίωση πριν προσπέσει στον πυθμένα.

Το κέντρο θαλάσσιων ερευνών (πανεπιστήμιο δυτικής Αυστραλίας) ανέλαβε μια μελέτη έτσι ώστε να εξακριβώσει την συνθήκες εκροής στη μονάδα αφαλάτωσης στο Cockburn Sound. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι οι σχέσεις των Roberts et al. είναι κατάλληλες για αριθμούς Froude υψηλότερους του 20, ενώ υποτιμούν την αραίωση για αριθμούς Froude μικρότερους του 20.

7.1.2. Υδροδυναμική διερεύνηση:

Στόχος της υδροδυναμικής διερεύνησης:

Η υδροδυναμική διερεύνηση έχει ως στόχο την παρακολούθηση της συμπεριφοράς (πορεία και αραίωση) της φλέβας στον αποδέκτη για τον εντοπισμό πιθανών επιπτώσεων στις περιοχές διάθεσης (κοντινό και μακρινό πεδίο), αλλά και απόληψης (για την αποφυγή «βραχυκυκλώσεων διάθεσης-απόληψης» που οδηγούν σε αύξηση της αλατότητας στην περιοχή της εισροής και τη μείωση της απόδοσης της εγκατάστασης αφαλάτωσης).

Υδροδυναμική προσομοίωση και μαθηματικά μοντέλα:

Η υδροδυναμική διερεύνηση πραγματοποιείται με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων, τα οποία ρυθμίζονται και επιβεβαιώνονται με κατάλληλες μετρήσεις πεδίου.

Τα μαθηματικά μοντέλα εφαρμόζονται για τα ακόλουθα:

1. Να προσδιορίσουν τα κύρια υδροδυναμικά χαρακτηριστικά των παράκτιων νερών στην περιοχή διάθεσης της άλμης (ταχύτητες ροής και συνθήκες ανάμιξης)
2. Να προσομοιώσουν τις επιδράσεις από τη διάθεση της ροής της άλμης στα παράκτια νερά
3. Να προσομοιάσουν τις επιδράσεις της απόληψης (συχνά σημαντικών) ποσοτήτων νερών στην περιοχή απόληψης

Τα αποτελέσματα της υδροδυναμικής προσομοίωσης χρησιμοποιούνται για να υποστηρίξουν:

1. Το σχεδιασμό διατάξεων απόληψης και διάθεσης
2. Τον προσδιορισμό του επιπέδου της απαιτούμενης αραίωσης της διάταξης διάθεσης (διαχυτήρες)

3. Την ερμηνεία των οικολογικών επιπτώσεων από τη διάθεση της άλμης και την απόληψη θαλασσινού νερού.

Τα μαθηματικά μοντέλα που εφαρμόζονται συνήθως είναι τα ακόλουθα 3:

1. Μοντέλο τύπου I για τον υπολογισμό των υδροδυναμικών συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή (με διαστάσεις πλέγματος της τάξης των μερικών km) για τον προσδιορισμό των κυρίων ρευμάτων. Το μοντέλο I αυτό μπορεί να είναι 2-D ή ολοκληρωμένο κατά βάθος και θα πρέπει να βαθμονομείται.
2. Μοντέλο τύπου II για τον υπολογισμό του μακρινού πεδίου (far field) στην περιοχή μελέτης (με διαστάσεις πλέγματος της τάξης των 100 m) για τον προσδιορισμό των κύριων υδροδυναμικών χαρακτηριστικών στην περιοχή μελέτης. Το μοντέλο II πρέπει να είναι 3-D ή ψεύδο-3-D διατυπωμένο σε στρώσεις και να λαμβάνει υπόψη τις διαφορές πυκνότητας, ώστε να έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης και των κατακόρυφων κινήσεων της πορείας της βαρύτερης από το θαλασσινό νερό άλμης.
3. Μοντέλο τύπου III για τον υπολογισμό των υδροδυναμικών συνθηκών και των χαρακτηριστικών του κοντινού πεδίου (near field), κυρίως της αρχικής αραίωσης και του μήκους ανάμιξης δηλ. κοντά στην περιοχή διάθεσης της άλμης. Το μοντέλο III είναι το σημαντικότερο από τα τρία , καθώς προσομοιώνει τη ροή της παροχής της άλμης κοντά στο έργο διάθεσης και υπολογίζει την αρχική ανάμιξη και διάλυσή της με το περιβάλλον θαλασσινό νερό. Έτσι με το μοντέλο III προσδιορίζονται τα επίπεδα της αλατότητας της άλμης και εκτιμάται η περιβαλλοντική επιβάρυνση στους θαλάσσιους οργανισμούς. Το μοντέλο III, το οποίο είναι συχνά τύπου VISJET (2002) ή CORMIX(1996), οδηγεί στο βέλτιστο σχεδιασμό της διάταξης διάθεσης ώστε οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις να είναι ελάχιστες.

Δύο σημαντικά σημεία της διαδικασίας της υδροδυναμικής διερεύνησης είναι τα ακόλουθα:

1. Η σύνδεση των 3 μοντέλων και ειδικότερα των μοντέλων τύπου II και III.
2. Η βαθμονόμηση και επιβεβαίωση των μοντέλων τύπου I και τύπου II με μετρήσεις πεδίου, κυρίως στάθμες της ελεύθερης επιφάνειας.

Εφαρμογή του μοντέλου τύπου III- υπολογισμοί κοντινού πεδίου

Η διεθνής βιβλιογραφία παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά της φλέβας της άλμης από εγκαταστάσεις αφαλάτωσης

θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση, κατά τη διάθεση τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ενδεικτικά αναφέρονται τα ακόλουθα:

1. Στο στάδιο σχεδιασμού της μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης θαλάσσιου νερού στο Ashkelon του Ισραήλ εφαρμόστηκε το μαθηματικό μοντέλο CAMERI 3D για τον προσδιορισμό της κατανομής της αλατότητας από τη διάθεση άλμης στην παράκτια περιοχή. Το μήκος του αγωγού διάθεσης ήταν ίσο με 500 m και η παροχή εκροής ήταν ίση με $25000m^3/h$. Οι τιμές της διαφοράς αλατότητας (από την τιμή του περιβάλλοντος) σε αποστάσεις 400 m και 800 m από τη θέση διάθεσης, υπολογίστηκαν ίσες με 10 % και 1 %, αντίστοιχα (Safrai, 2005).
2. Για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την διάθεση της άλμης 3 εγκαταστάσεων αφαλάτωσης (Al Ghubrah, Barka, Fujairah) παροχής $577354 m^3/d$ στον κόλπο του Ομάν, διερευνήθηκε η συμπεριφορά της άλμης με την εφαρμογή 2-D μοντέλων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι α) η έκταση της φλέβας της άλμης σε έναν παλιρροϊκό κύκλο ήταν 100 m και β) η αύξηση του μήκους του αγωγού διάθεσης μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις επιπτώσεις από τη διάθεση της άλμης (Purnama, 2005).
3. Από τους Bene et al. (1994) (Del Bene, 1994) εφαρμόστηκε το μαθηματικό μοντέλο CORMIX της EPA για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της φλέβας της άλμης (από εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη όσμωση) κατά τη διάθεση της σε παράκτιες περιοχές.

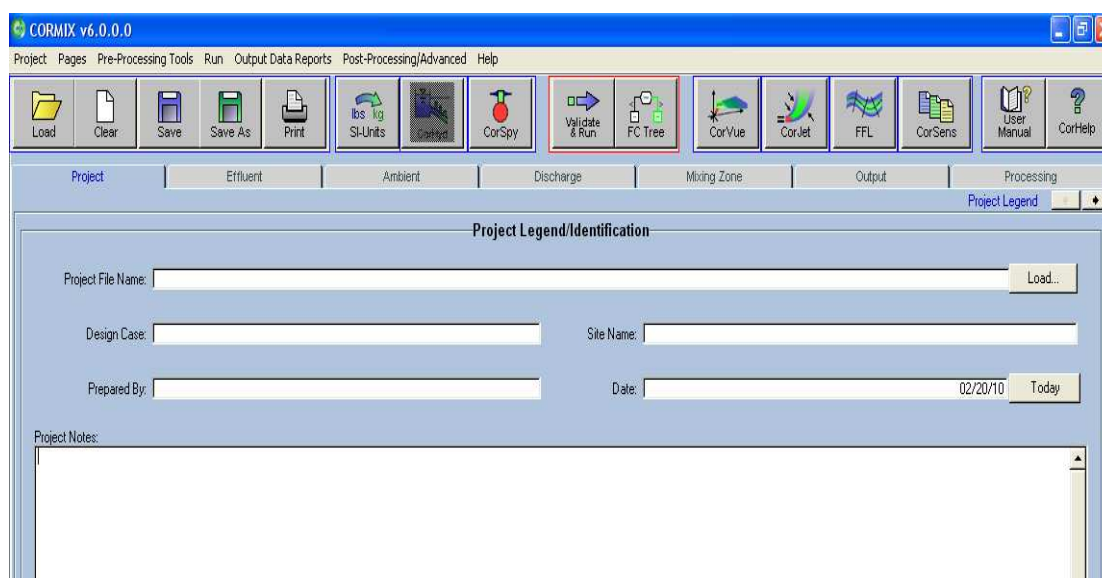
7.2. Περιγραφή CORMIX

Το λογισμικό προσομοίωσης διάχυσης ρύπων σε υδατικούς όγκους CORMIX έχει δημιουργηθεί από το πανεπιστήμιο του Cornell με την υποστήριξη της Αμερικάνικης Αρχής Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA). Το εν λόγω λογισμικό αποτελεί υποστηρικτικό σύστημα λήψης αποφάσεων κατά την διαδικασία εκτίμησης επιπτώσεων στο περιβάλλον που προκύπτουν από συνεχείς σημειακές πηγές ρύπων. Η χρήση του λογισμικού CORMIX δίνει τη δυνατότητα διαμόρφωσης προβλέψεων συγκέντρωσης ουδέτερων και δραστικών ουσιών όπως και την προσομοίωση της ανάμιξης κίνησης εκροών μικρότερης αλλά και μεγαλύτερης πυκνότητας σε σχέση με την πυκνότητα του υδατικού φορέα όπου εκρέει ο εκάστοτε ρύπος. Έχει επίσης την ικανότητα προσομοίωσης εκροών διαφορετικής θερμοκρασίας από αυτήν του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ταυτόχρονα, το CORMIX έχει μελετηθεί και βαθμονομηθεί για μία σειρά υδροδυναμικών συνθηκών, βάση των οποίων εκπονούνται οι προβλέψεις διασποράς και μεταφοράς ρύπων. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί το κυριότερο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου λογισμικού σε σχέση με παρόμοια πρακτικής εφαρμογής μοντέλα. Διαθέτει δηλαδή την δυνατότητα αναγνώρισης των υδροδυναμικών συνθηκών στην ζώνη ανάμιξης και στην ευρύτερη ζώνη μεταφοράς των εκροών και στην

συνέχεια αξιολόγησης της συμβατότητας των υπολογισμών που πραγματοποιούνται.

Το CORMIX είναι ένα έμπειρο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάλυση, πρόβλεψη και σχεδιασμό της διάθεσης αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων μέσα σε υδάτινους αποδέκτες (θάλασσα, ποτάμι, λίμνη, εκβολή ποταμού). Στοχεύει στον υπολογισμό της τροχιάς και της μεταβολής της αραίωσης αξιsymμετρικών ανωστικών ροών, δισδιάστατων ανωστικών ροών και επιφανειακών πλουμιών, τόσο στην «κοντινή» όσο και στην «μακρινή» περιοχή της ανάμιξης.

Παρακάτω θα γίνει μια περιγραφή της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί μέσω του CORMIX. Η επόμενη εικόνα δείχνει το γραφικό περιβάλλον που χρησιμοποιεί το λογισμικό CORMIX.



Εικόνα 19. Γραφικό περιβάλλον CORMIX

Τα δεδομένα εισόδου είναι χωρισμένα σε έξι τοπικά παράθυρα (κατηγορίες):

- Περιγραφή σχεδίου- μελέτης (project)
- Ιδιότητες μολυντή (effluent)
- Συνθήκες περιβάλλοντος (ambient)
- Γεωμετρία εκροής
- Προσδιορισμός περιοχής μίξης (mixing zone)
- Έλεγχος δεδομένων εξόδου (output)

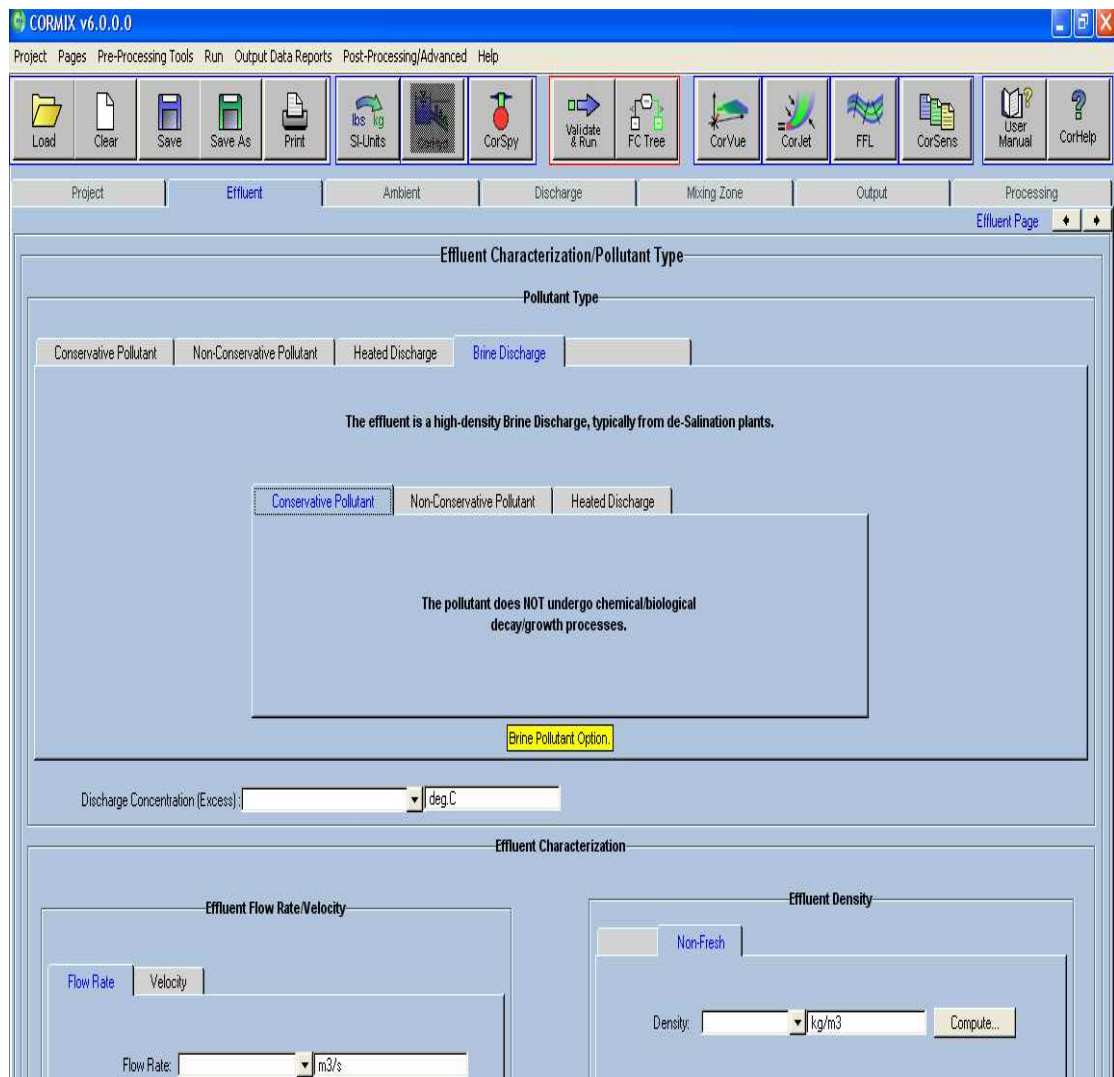
Το παράθυρο processing χρησιμεύει για την εκτέλεση του προγράμματος και δεν απαιτεί δεδομένα εισόδου.

Δεδομένα project:

Είναι το πρώτο παράθυρο που απαιτεί δεδομένα και περιέχει βασικές πληροφορίες αναγκαίες για το χειρισμό και την αποθήκευση αρχείων και περιγραφή προσομοιώσεων για μετέπειτα χρήση. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι η αποθήκευση (save) για τη δημιουργία ενός νέου αρχείου δεδομένων μελέτης. Αυτά που ζητούνται να συμπληρωθούν είναι το όνομα του αρχείου (project file name) , όνομα περιοχής (site name), υπόθεση σχεδιασμού (design case) καθώς επίσης μπορεί να συμπληρωθεί και το όνομα του χρήστη (prepared by).

Δεδομένα Ιδιότητες εκροής-λυμάτων:

Ένα τέτοιο παράθυρο δεδομένων ενεργό φαίνεται στην εικόνα παρακάτω. Πρέπει καταρχάς να διαλέξουμε τον τύπο μολυντή που έχουμε. Conservative pollutant (συντηρητικός), non-conservative pollutant (αναπτυσσόμενος), heated discharge(εκροή θερμού υγρού), brine discharge (άλμη). Αυτός ο τύπος εκροής (brine) είναι αποτέλεσμα από τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Στο CORMIX η άλμη τείνει να έχει πάντα πυκνότητα μεγαλύτερη από το περιβάλλον όπου εκρέει (οι φλέβες της άλμης είναι φλέβες αρνητικής άνωσης). Για τις πολύ πυκνές φλέβες προτείνεται να γίνεται πρώτα εξακρίβωση χρησιμοποιώντας σαν τύπο μολυντή conservative και βάζοντας τιμή πυκνότητας μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Εφόσον επιλέγεται η εκροή άλμης ο χρήστης μπορεί να εισάγει τη συγκέντρωση της άλμης η οποία μπορεί να είναι conservative, non conservative, heated όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως.



Εικόνα 20. Γραφικό περιβάλλον CORMIX δεδομένα μολυντή

Δεδομένα συνθήκες περιβάλλοντος:

Ένα ενεργό παράθυρο δεδομένων περιβάλλοντος φαίνεται παρακάτω. Οι συνθήκες περιβάλλοντος καθορίζονται από τη γεωμετρία και τις υδρολογικές συνθήκες στην γειτονία της εκροής. Εξαιτίας της σημαντικής επίπτωσης που έχει στη διαδικασία της μίξης η αλληλεπίδραση με τα όρια οι απαιτήσεις δεδομένων περιβάλλοντος για ανάλυση σε πλευρικά περιορισμένο περιβάλλον ή όχι παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι αναλύσεις του CORMIX, όπως και όλες οι εκτιμήσεις στην περιοχή μίξης, πραγματοποιούνται συνήθως με την υπόθεση σταθερών συνθηκών περιβάλλοντος. Παρόλο που το πραγματικό υγρό περιβάλλον δεν είναι ποτέ σταθερό, αυτή η υπόθεση είναι αρκετή όταν η διαδικασία της μίξης είναι αρκετά γρήγορη σχετικά με τις κλίμακες μήκους των υδρογραφικών παραλλαγών. Σε μη σταθερές παλιρροιακές συνθήκες η υπόθεση αυτή δεν

είναι χρήσιμη και μπορεί να σημειωθούν σημαντικές συγκεντρώσεις. Το CORMIX εκτιμά αυτήν την κατάσταση και υπολογίζει κάποιες επιδράσεις στην συμπεριφορά του πλουμίου.

Το CORMIX απαιτεί πως τα σύνορα που περιβάλλουν το υγρό σώμα μπορούν να περιγραφούν από ένα ορθογώνιο κανάλι το οποίο μπορεί να περιορίζεται πλευρικά ή όχι. Επιπλέον το κανάλι αυτό υποτίθεται ομοιόμορφο κατά τη κατεύθυνση του ρεύματος, ακολουθούμενο από την κύρια ροή του υδάτινου σώματος η οποία μπορεί να είναι ανομοιόμορφη ή μαιανδρική.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να προσδιορίσουμε είναι αν ο υδάτινος αποδέκτης είναι περιορισμένος ή όχι. Για να το κάνουμε αυτό όπως και να απαντήσουμε άλλα ερωτήματα για τη γεωμετρία του περιβάλλοντος(π.χ βάθος, κλίση πυθμένα) θα πρέπει να έχουμε πρόσβαση σε χάρτες-διαγράμματα αποτύπωσης του βυθού. Αν το υδάτινο σώμα περιορίζεται και στις δύο πλευρές του όπως τα ποτάμια, ρέματα, στενές εκβολές ή τάφρους κλπ., τότε χαρακτηρίζεται περιορισμένο “bounded”. Υπάρχει περίπτωση όμως το οι αλληλεπιδράσεις της φλέβας με τη μία από τις δύο πλευρές που περιορίζουν το σώμα να είναι ανύπαρκτες επειδή η μία όχθη βρίσκεται πολύ μακριά. Τότε έχουμε μη περιορισμένο αποδέκτη “unbounded”.

Όταν ο τύπος του μολυντή είναι άλμη τότε υποτίθεται μη περιορισμένος αποδέκτης σε όλες τις προσομοιώσεις.

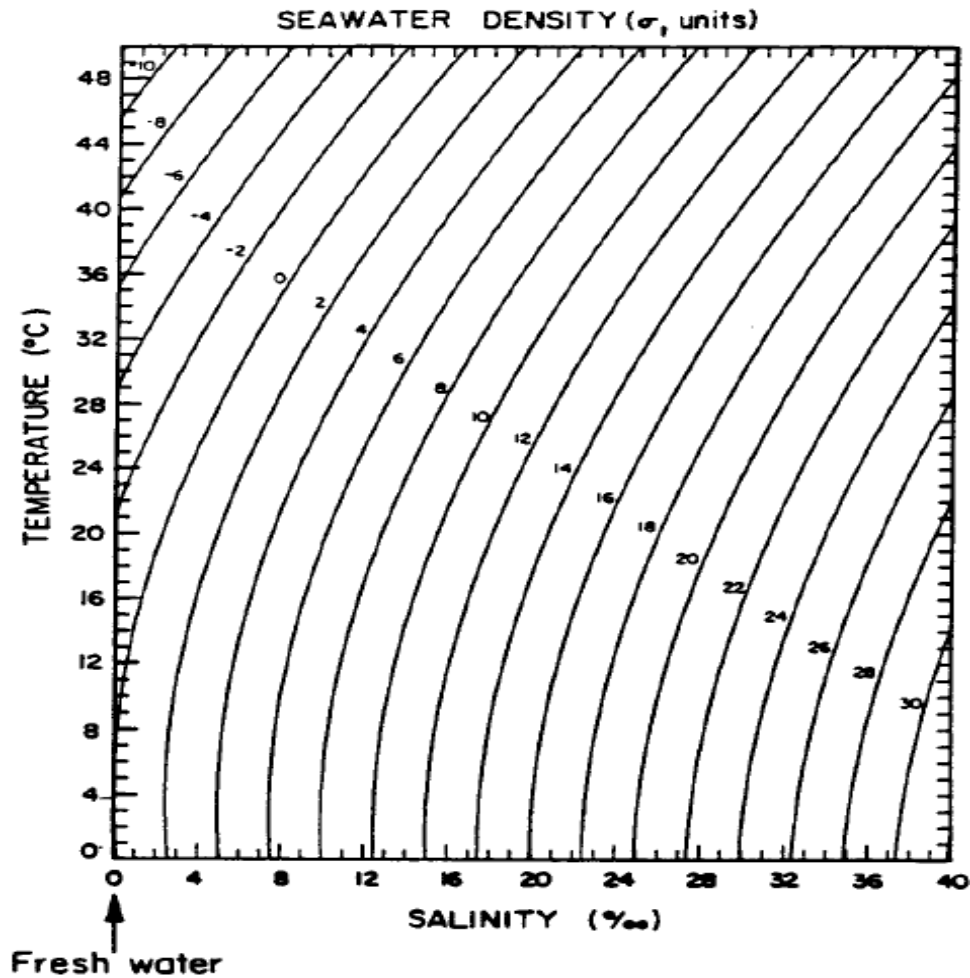
Τραχύτητα: Ένα άλλο στοιχείο που πρέπει να δώσουμε σαν δεδομένο είναι είτε ο αριθμός Manning’s n είτε ο συντελεστής Darcy- Weisbach f που μπορεί να καθοριστούν ανάλογα με την τραχύτητα του καναλιού. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται το n για διαφορετικές τραχύτητες.

Πίνακας 15 Αριθμός Manning's n συναρτήσει της τραχύτητας

Τύπος καναλιού	Manning's n
Φυσικό κανάλι επίπεδο, χωρίς βλάστηση	0.020
Φυσικό κανάλι με κάποιες πέτρες και βλάστηση	0.025
Καθαρό ευθύγραμμο φυσικό ποτάμι	0.025 – 0.030
Ελικοειδές κανάλι με στέρνες και ύφαλους	0.033 – 0.040
Ελικοειδές κανάλι με πυκνή βλάστηση	0.050 – 0.150
Καθαρό ευθύγραμμο αλουβιακό κανάλι	$0.031d^{1/6}$ d= 75% της εναπόθεσης ιζήματος σε πόδια(feet)

Πυκνότητα: οι πληροφορίες για την διανομή της πυκνότητας στον αποδέκτη είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για τη σωστή πρόβλεψη της συμπεριφοράς της φλέβας. Το CORMIX εξετάζει πρώτα αν το περιβάλλον υγρό είναι υφάλμυρο ή αλμυρό. Αν είναι υφάλμυρο και η θερμοκρασία του είναι πάνω από 4°C , το σύστημα δίνει τη δυνατότητα να εισάγουμε τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και υπολογίζει την πυκνότητα. Αυτός είναι και ο τρόπος που προτείνεται για να υπολογίσουμε την πυκνότητα υφάλμυρου νερού, παρόλο που η θερμοκρασία δεν χρειάζεται για την ανάλυση των συνθηκών μίξης. Στην περίπτωση θαλασσινού νερού το παρακάτω διάγραμμα περιλαμβάνεται για τον υπολογισμό της πυκνότητας αν ξέρουμε έχοντας την αλατότητα (σε ppt). Τυπικές τιμές αλατότητας για ανοιχτή θάλασσα είναι 33-35 ppt.

Ο χρήστης καθορίζει πότε η πυκνότητα είναι ομοιόμορφη ή όχι. Πρακτικά μεταβολές της πυκνότητας μικρότερες από 0.1 kg/m^3 και θερμοκρασίας λιγότερο από 1°C μπορούν να αμεληθούν. Για ομοιόμορφες συνθήκες καθορίζονται η μέση πυκνότητα και μέση θερμοκρασία.

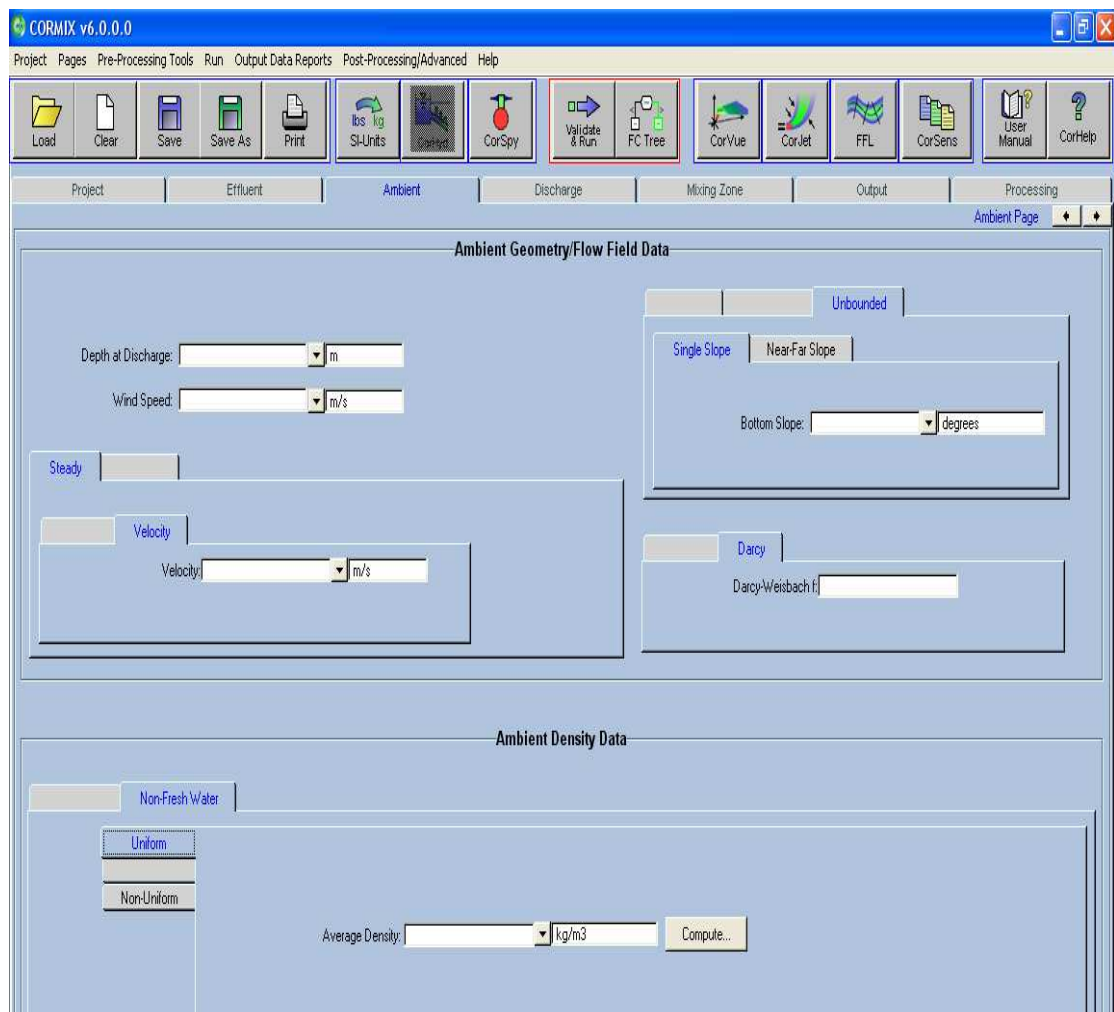


$$\text{Density [kg/m}^3\text{]} = 1000.0 + \sigma_t$$

Διάγραμμα 5. Διάγραμμα πυκνότητας θαλασσινού νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας και της αλατότητας

Ταχύτητα ανέμου: αφού καθορίσουμε την ταχύτητα ανέμου σχεδιασμού, θα πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας ότι η ταχύτητα ανέμου δεν παίζει ρόλο στη μίξη της κοντινής περιοχής και μπορεί μόνο να επηρεάσει την συμπεριφορά του πλουμίου στην μακρινή περιοχή (και ιδιαίτερα για θερμές φλέβες).

Το γραφικό περιβάλλον για αυτό το παράθυρο δεδομένων φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 21. Γραφικό περιβάλλον CORMIX δεδομένα συνθήκες περιβάλλοντος

Δεδομένα γεωμετρίας εκροής:

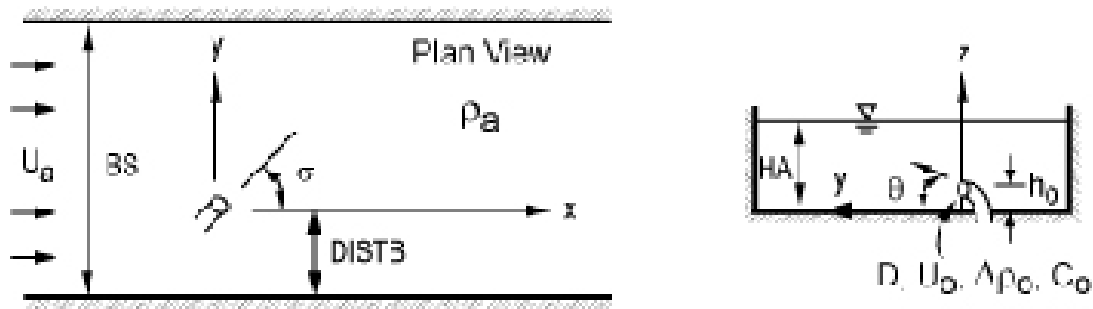
Υπάρχουν τρεις διαφορετικές επιλογές, εκροή από βυθισμένο στόμιο(CORMIX 1), από βυθισμένο διαχυτήρα πολλών στομιών(CORMIX 2) και επιφανειακή εκροή(CORMIX 3).

Για να μπορέσει Το CORMIX 1 να προσανατολίσει την φλέβα χρειάζεται να προσδιορίσουμε κάποια στοιχεία.

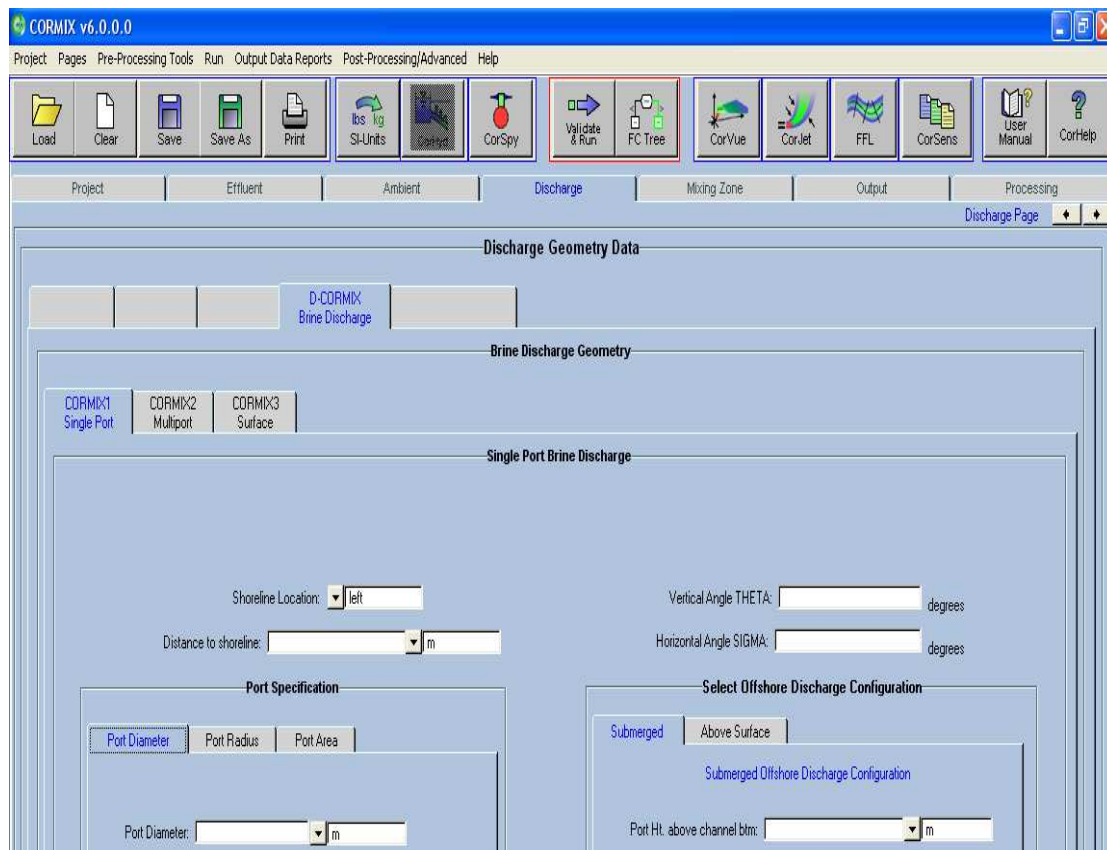
- I. Τοποθεσία της πλησιέστερης ακτής (δεξιά ή αριστερά) όπως τη βλέπει κάποιος παρατηρητής που κοιτάζει κατά τη φορά της εκροής.
- II. Απόσταση από την πλησιέστερη ακτή (DISTB).
- III. Διάμετρος στομίου εκροής(για κυκλικούς αγωγούς).
- IV. Για βυθισμένες εκροές, ύψος από το κέντρο του στομίου μέχρι τον πυθμένα (HO).

- V. Γωνία θ που σχηματίζεται στο κατακόρυφο επίπεδο από τον άξονα του στομίου με την οριζόντιο (THETA).
- VI. Γωνία σ που σχηματίζεται στο οριζόντιο επίπεδο από τον άξονα της φλέβας δεξιόστροφα ως τον άξονα x (SIGMA).

Για καλύτερη κατανόηση ακολουθούν τα παρακάτω σχήματα.



Το γραφικό περιβάλλον για αυτό το παράθυρο δεδομένων φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 22. Γραφικό περιβάλλον CORMIX δεδομένα γεωμετρίας εκροής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

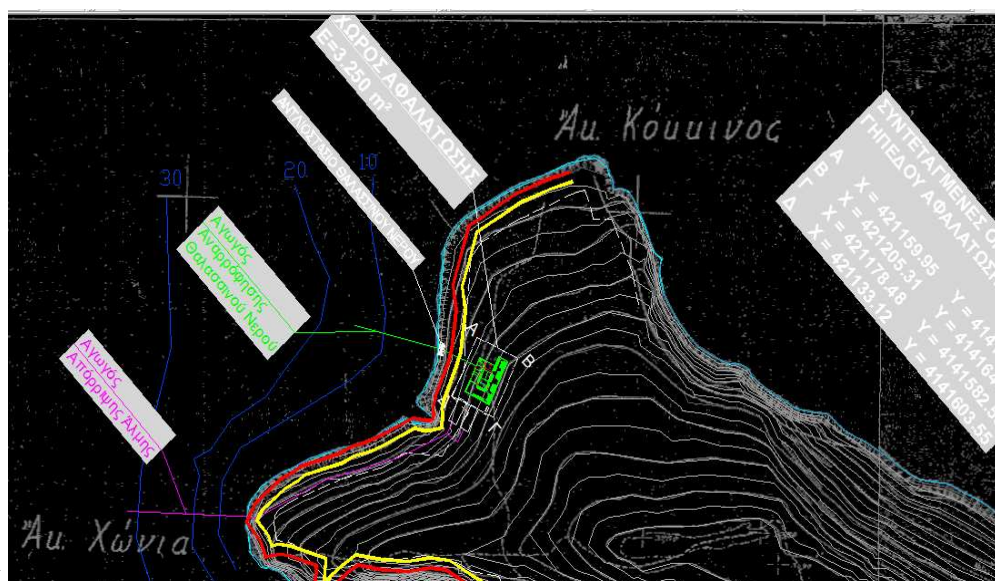
8.Εφαρμογή

8.1. Περιγραφή έργου αφαλάτωσης

Το έργο της μονάδας αφαλάτωσης έχει ως σκοπό την εξασφάλιση νερού καλής ποιότητας (επιπέδου πόσιμου νερού) για τις ανάγκες του δήμου Κρανιδίου. Ειδικότερα, το νερό αυτό θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες πόσιμου νερού των κατοίκων και διάφορων τουριστικών εγκαταστάσεων εντός των ορίων του δήμου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση εκτάσεων του δήμου και τουριστικών εγκαταστάσεων. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται ένας χάρτης προσανατολισμού της περιοχής και ένας χάρτης με τη διάταξη της μονάδας.



Εικόνα 23 Χάρτης προσανατολισμού



Εικόνα 24. Γενική διάταξη της μονάδας

Σκοπός της παρούσας παραγράφου είναι η περιγραφή των διαδικασιών (διεργασιών) που θα ακολουθούνται στη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσιού ύδατος για την ωριαία παραγωγή $530 \text{ m}^3/\text{h}$ ή $12.720 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ νερού ποιότητας πόσιμου. Ως ακατέργαστο νερό θα λαμβάνεται νερό από τη θάλασσα, η ποιότητα του οποίου ελέγχεται με χημικές αναλύσεις, όπως διευκρινίζεται παρακάτω. Το επεξεργασμένο νερό θα αποθηκεύεται σε αρχική νέα δεξαμενή κοντά στη μονάδα αφαλάτωσης, από όπου με κατάλληλο αντλητικό συγκρότημα θα οδηγείται στις υφιστάμενες δεξαμενές του Δήμου κοντά στο Κρανίδι, που θα είναι και ο κύριος χρήστης του νερού αυτού.

Η εγκατάσταση θα αποτελείται από τέσσερις (4) τουλάχιστον μονάδες αφαλάτωσης, ώστε να παράγονται σε ημερήσια βάση 12.720 m^3 . Με το τρόπο αυτό θα είναι δυνατή η κάλυψη των κυμαινόμενων χρονικά αναγκών νερού των χρηστών του δήμου.

Η άλμη ή αλμόλοιπο, το υγρό δηλαδή υπόλειμμα από την επεξεργασία του θαλασσινού νερού θα διατίθεται και πάλι στη θάλασσα με υποθαλάσσιο αγωγό διάθεσης. Το υγρό αυτό όπως και άλλα υγρά από τις διαδικασίες καθαρισμού και συντήρησης της μονάδας θα διοχετεύονται στη θάλασσα και μπορούν να θεωρηθούν ως υγρά απόβλητα, που αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

8.2. Παράμετροι σχεδιασμού συστήματος

Η μονάδα αφαλάτωσης σχεδιάζεται για θερμοκρασία θαλασσινού νερού 20°C, το οποίο έχει την κάτωθι χημική ανάλυση και θεωρώντας συντελεστή απόφραξης fouling factor (f.f.) ίσο με 0,85 για τις μεμβράνες του συστήματος της αντίστροφης όσμωσης για συνεχή λειτουργία 3 ετών επί 24ώρου βάσεως: Το τελικώς παραγόμενο νερό είναι 530 m³/h Πόσιμου νερού σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας.

8.2.1. Χημική ανάλυση θαλασσινού νερού

Σαν βάση σχεδιασμού της μονάδας αφαλάτωσης χρησιμοποιείται η χημική ανάλυση που παρατίθεται κάτωθι, σύμφωνα με χημικές αναλύσεις για ελληνικές θάλασσες θερμοκρασίας 20°C και δείκτη ρυπαρότητας Silt Density Index < 5.

Πίνακας 16 Χημική ανάλυση βάσης σχεδιασμού μονάδας αφαλάτωσης

pH	8,20
TDS	42000 ppm
NH ₄	0,00 ppm
K	415,00 ppm
Na	12177,00 ppm
Mg	1423,00 ppm
Ca	562,00 ppm
Sr	3,70 ppm
Ba	0,06 ppm
CO ₃	30,62 ppm
HCO ₃	166,00 ppm
NO ₃	0,00 ppm
Cl	22.924,00 ppm
F	0,50 ppm
SO ₄	3.360,00 ppm
SiO ₂	0,50 ppm
Boron	4,51 ppm
CO ₂	0,57 ppm

8.2.2. Περιγραφή αγωγών

Είσοδος θαλασσινού νερού

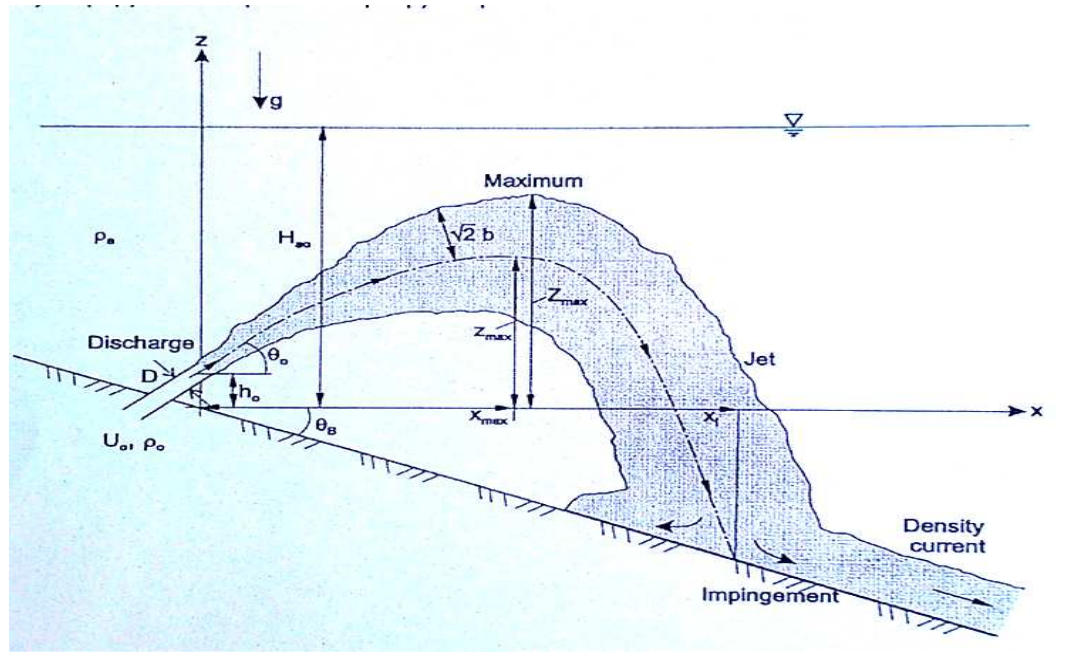
Το θαλασσινό νερό θα εισέρχεται με φυσική ροή σε φρεάτιο μέσω αγωγού συνολικού μήκους περίπου 132 m από περιοχή βάθους 17 m περίπου και σε ύψος 2 m από το πυθμένα και στη συνέχεια από εκεί θα αντλείται. Κάθε μονάδα παραγωγής θα διαθέτει ξεχωριστό συγκρότημα άντλησης, ενώ θα εγκατασταθεί και ανάλογος αριθμός εφεδρικών αντλιών.

Απόρριψη άλμης

Η παραγόμενη ποσότητα άλμης που ανέρχεται σε $970m^3/h$ ($23.300m^3/day$) θα συλλέγεται σε ξεχωριστή τσιμεντένια δεξαμενή, από την υψομετρική θέση της οποίας εξασφαλίζεται ένα ελάχιστο πιεζομετρικό φορτίο (υψόμετρο δεξαμενής συγκέντρωσης άλμης μείον το μέσο υψόμετρο θάλασσας, αφαιρούμενων και των απωλειών του αγωγού) ίσο προς 1,0 Atm και έτσι προκύπτει η απαιτούμενη ταχύτητα ροής. Σύμφωνα με τη προτεινόμενη χάραξη του αγωγού απόρριψης της άλμης για την επιλεγμένη θέση εγκατάστασης, ο αγωγός κινείται παράλληλα προς την ακτογραμμή με νότια κατεύθυνση, μέχρι το ακρωτήριο Χώνια από την άκρη του οποίου εισέρχεται στη θάλασσα. Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 417 m εκ των οποίων τα 277 m χερσαία και τα 140 m υποθαλάσσια. Το βάθος εκβολής του αγωγού είναι περίπου 30. και τελικά εκβάλλει στη θάλασσα. Ο αγωγός έχει διάμετρο 500 χιλιοστών, και είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας HDPE και πάχους 26,7 mm. Ο αγωγός κινείται παράλληλα προς την ακτογραμμή με νότια κατεύθυνση, μέχρι το ακρωτήριο Χώνια από την άκρη του οποίου εισέρχεται στη θάλασσα. Το συνολικό μήκος της χάραξης αυτής είναι 410 m εκ των οποίων τα 270 m χερσαία και τα 140 m υποθαλάσσια. Και στις δύο χαράξεις, το βάθος εκβολής του αγωγού είναι μεγαλύτερο των 30,0 m. Η απόρριψη της άλμης θα γίνεται σε ύψος 3 m από το πυθμένα, με ειδικά σχεδιασμένο διαχυτήρα στον οποίο θα επιτυγχάνονται υψηλές σχετικά ταχύτητες ροής και ο οποίος θα είναι επισκέψιμος και προστατευμένος από ναυτιλιακούς κινδύνους.

8.3. Μαθηματική περιγραφή

Στο σχήμα 28 παρουσιάζεται η πλευρική όψη της φλέβας άλμης αρνητικής άνωσης (negatively buoyant jet) κατά τη διάθεση της στη θάλασσα.



Εικόνα 25. Σχηματική απεικόνιση της πλευρικής όψης της φλέβας της άλμης

Οι μεταβλητές που φαίνονται στο σχήμα 28 είναι οι ακόλουθες:

b : πλάτος της φλέβας άλμης

D : διάμετρος του αγωγού διάθεσης

F_0 : πυκνομετρικός αριθμός Froude

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

g_0 : ανωστική επιτάχυνση στη θέση διάθεσης της άλμης

H_{ao} : βάθος νερού θάλασσας στη θέση διάθεσης της άλμης

H_0 : ύψος του στομίου θέση διάθεσης της άλμης

U_0 : ταχύτητα διάθεσης της άλμης

x_i : οριζόντια θέση του σημείου πρόσκρουσης στον πυθμένα

x, z : οριζόντια και κάθετη συντεταγμένη

x_{max}, z_{max} : οριζόντια και κάθετη θέση του μέγιστου ύψους της φλέβας

Z_{max} : μέγιστο ύψος του επάνω ορίου της φλέβας

θ_β : γωνία κλίσης πυθμένα

θ_0 : γωνία κλίσης του στομίου διάθεσης της άλμης

ρ_α : πυκνότητα της θάλασσας

ρ_0 : πυκνότητα της άλμης

Η θάλασσα που είναι ο αποδέκτης της φλέβας της άλμης θεωρείται ότι έχει ενιαία πυκνότητα ίση με ρ_α . Όπως φαίνεται στο σχήμα 1 η φλέβα της άλμης έχει ταχύτητα διάθεσης U_0 και πυκνότητα $\rho_0 > \rho_\alpha$. Για τον υπολογισμό της τιμής της παροχής της φλέβας της άλμης (volume flux) (Q_0), της ορμής της (momentum flux) (M_0) και της ανωστικής ροής (buoyancy flux) (J_0) χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις (Jirka, 2008) :

$$Q_0 = U_0 \alpha_0$$

$$M_0 = U_0 Q_0$$

$$J_0 = g'_0 Q_0$$

$$g'_0 = g(\rho_\alpha - \rho_0)/\rho_\alpha$$

Τα γεωμετρικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά της τυρβώδους φλέβας άλμης προσδιορίζονται από τις κλίμακες μήκους L_Q και L_M (Jirka et al. 1991, Wright 1977).

$$L_Q = Q_0 / M_0^{1/2}$$

$$L_M = M_0^{3/4} / B_0^{1/2}$$

Ο αδιάστατος πυκνομετρικός αριθμός Froude υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση (Jirka, 2008).

$$F_0 = u_0 / \sqrt{|g'_0| D}$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει

$$Ri_0 = l_Q / l_M = Q_0 B_0^{1/2} / M_0^{5/4}$$

8.4. Εφαρμογή λογισμικού CORMIX

Η προσομοίωση της ροής και του τρόπου ανάμιξης του ρεύματος άλμης το οποίο προωθείται στην θάλασσα είχε παραμετρικό χαρακτήρα καθώς εξετάστηκαν δύο εναλλακτικές επιλογές αγωγού όσον αφορά τη μορφή της απόληξης αυτού. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι περιπτώσεις απλής απόληξης (**Επιλογή “Α”**) απλός σωλήνας ο οποίος καταλήγει χωρίς κάποια ειδική διαμόρφωση) και απόληξης τύπου διαχυτή πολλαπλών ακροφυσίων (**Επιλογή “Β”**) για μήκος αγωγού 140 μέτρων από την ακτή(132 σε κάτοψη).

Ειδικότερα, έγινε και μια βελτιστοποίηση για κάθε επιλογή (Α και Β) ως προς την γωνία εκπομπής ως προς την οριζόντιο.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Τα στοιχεία/δεδομένα που λήφθηκαν υπόψη κατά την εφαρμογή του μοντέλου για τις προαναφερόμενες περιπτώσεις αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 17 Δεδομένα εισόδου

Παράμετροι	Επιλογή Α	Επιλογή Β
Υπερβάλλουσα αλατότητα (%)	100	100
Παροχή αγωγού απόρριψης (m^3/s)	0,27	0,27
Πυκνότητα διαλύματος άλμης (kg/m^3)	1058	1058
Βάθος στο σημείο απόρριψης (m)	30	30
Κλίση πυθμένα (°)	12,8	12,8
Ταχύτητα αέρα (m/s)	3	3
Ταχύτητα θαλάσσιου ρεύματος (m/s)	0,1	0,1
Μέση πυκνότητα θαλάσσιας περιοχής (kg/m^3)	1029	1029
Συντελεστής Darcy-Weisbach	0,02	0,02
Διατομή διαχυτή (m^2)	0,3	0,08
Διάμετρος διαχυτή (m)	0,6	0,3
Ύψος διαχυτή από τον πυθμένα (m)	3	3
Μήκος διαχυτή (m)	-	24
Αριθμός διαχυτών	-	4

8.4.1. Επιλογή A (απλή απόληξη)

Για να κάνουμε την βελτιστοποίηση της επιλογής A ως προς την γωνία εκπομπής ως προς την οριζόντιο κάναμε δοκιμές για εύρος γωνιών από 0° έως 90°.

Θεωρείται ότι ο υποθαλάσσιος αγωγός του σχήματος 1 διοχετεύει την άλμη από την εγκατάσταση αφαλάτωσης στη θάλασσα. Η άλμη εξέρχεται από τον αγωγό και δημιουργεί μια φλέβα άλμης με συγκεκριμένα γεωμετρικά και δυναμικά χαρακτηριστικά.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των παραπάνω μεγεθών για την εγκατάσταση αφαλάτωσης στο Κρανίδι για την οποία θα κάνουμε την προσομοίωση με το μοντέλο CORMIX.

Πίνακας 18. Τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών

Μεγέθη	Εξισώσεις	Μονάδες	Τιμές
Q_0	$Q_0 = U_0 \alpha_0$	m^3/s	0,27
M_0	$M_0 = U_0 Q_0$	m^4/s^2	1,031
J_0	$J_0 = g'_0 Q_0$	m^4/s^3	-0,07462
L_Q	$L_Q = Q_0 / M_0^{1/2}$	m	0,27
L_M	$L_M = M_0^{3/4} / B_0^{1/2}$	m	3,75
F_0	$F_0 = u_0 / \sqrt{ g'_0 } D$	-	13,27
Ri_0	$Ri_0 = l_Q / l_M l_M = Q_0 B_0^{1/2} / M_0^{5/4}$	-	0,072

Στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα του μοντέλου CORMIX, το οποίο εφαρμόσαμε για γωνίες αγωγού διάθεσης ως προς την οριζόντιο από 0° έως 90°. Όπου x, y, z είναι οι συντεταγμένες S η διάλυση στον άξονα της φλέβας, C η υπερβάλλουσα αλατότητα, B ημιπλάτος κατανομής Gauss 1/e (37%) κάθετο στην τροχιά, U_c η ταχύτητα στον άξονα της φλέβας και TT ο χρόνος διανυθείσας απόστασης (travel time).

Πίνακας 19 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=0$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,82	0,00
0,01	-1,37	-26,97	1,0	100	0,16	3,82	0,0096
Maximum jet height has been reached							
0,02	-1,83	-26,96	1,1	87,1	0,21	3,82	0,1113
0,03	-2,34	-26,97	1,5	68,3	0,26	3,078	0,2566
0,06	-2,85	-26,99	1,8	56,1	0,31	2,529	0,4354
0,09	-3,35	-27,03	2,1	47,5	0,38	2,144	0,6476
0,13	-3,86	-27,09	2,4	41,0	0,43	1,861	0,8927
0,18	-4,36	-27,17	2,8	36,0	0,49	1,644	1,1705
0,24	-4,85	-27,27	3,1	31,9	0,55	1,473	1,4803
0,31	-5,34	-27,41	3,5	28,5	0,61	1,337	1,8212
0,39	-5,81	-27,57	3,9	25,7	0,67	1,226	2,1922
0,49	-6,32	-27,78	4,4	23,0	0,74	1,128	2,6336
0,59	-6,77	-28,01	4,8	20,8	0,80	1,054	3,0634
0,69	-7,20	-28,26	5,3	19,0	0,86	0,993	3,5188
0,80	-7,62	-28,53	5,8	17,3	0,92	0,943	3,9977
0,92	-8,01	-28,83	6,3	15,9	0,98	0,902	4,4975
1,04	-8,35	-29,11	6,8	14,7	1,03	0,873	4,9630
1,17	-8,71	-29,45	7,3	13,6	1,08	0,845	5,4954
1,30	-9,05	-29,80	7,9	12,6	1,14	0,823	6,0420
1,44	-9,38	-30,17	8,5	11,7	1,19	0,803	6,6009
1,59	-9,68	-30,55	9,1	10,9	1,25	0,787	7,1710
1,74	-9,97	-30,94	9,8	10,2	1,30	0,772	7,7510
Cumulative travel time = 7,7510 sec							

Πίνακας 20 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=5$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	-0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,82	0,00
0,01	-1,36	-26,87	1,0	100	0,16	3,82	0,0103
0,02	-1,91	-26,83	1,2	83,0	0,22	3,732	0,1357
0,04	-2,46	26,80	1,5	64,8	0,28	2,907	0,3005
0,07	-3,01	26,79	1,9	53,0	0,34	2,377	0,5044
Maximum jet height has been reached							
0,11	-3,55	-26,80	2,2	44,8	0,40	2,007	0,7473
0,16	-4,1	-26,84	2,6	38,6	0,46	1,735	1,0290
0,21	-4,58	-26,90	2,9	34,3	0,52	1,547	1,3151
0,28	-5,12	-26,99	3,3	30,3	0,58	1,381	1,6688
0,36	-5,65	-27,12	3,7	27,0	0,65	1,250	2,0591
0,46	-6,16	-27,28	4,1	24,2	0,71	1,144	2,4846
0,56	-6,66	-27,49	4,6	21,8	0,78	1,059	2,9435
0,67	-7,14	-27,72	5,1	19,7	0,84	0,989	3,4337
0,79	-7,61	-27,99	5,6	17,8	0,91	0,934	3,9524
0,92	-8,05	-28,29	6,1	16,3	0,97	0,891	4,4958
1,06	-8,46	-28,62	6,7	14,9	1,03	0,857	5,0605
1,20	-8,86	-28,97	7,3	13,7	1,09	0,830	5,6432
1,35	-9,23	-29,34	7,9	12,6	1,15	0,807	6,2415
1,51	-9,58	-29,73	8,6	11,7	1,20	0,789	6,8531
1,67	-9,92	-30,14	9,2	10,8	1,26	0,773	7,4766
1,83	-10,23	-30,56	9,9	10,1	1,32	0,759	8,1105
2,00	-10,52	-30,99	10,6	9,41	1,37	0,747	8,7540
Cumulative travel time = 8.754 sec							

Πίνακας 21 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=10$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,82	0,00
0,01	-1,35	-26,75	1,0	100	0,16	3,82	0,0113
0,02	-1,93	-26,66	1,2	81,0	0,22	3,632	0,1497
0,04	-2,46	-26,58	1,6	64,0	0,28	2,855	0,3141
0,07	-3,06	-26,52	1,9	51,8	0,35	2,3	0,5410
0,12	-3,65	-26,49	2,3	43,4	0,42	1,921	0,8144
Maximum jet height has been reached							
0,18	-4,24	-26,48	2,7	37,2	0,48	1,645	1,1344
0,25	-4,89	-26,52	3,1	32,0	0,56	1,42	1,5397
0,34	-5,47	-26,60	3,5	28,3	0,63	1,264	1,9557
0,44	-6,04	-26,73	4	25,1	0,70	1,142	2,4156
0,55	-6,60	-26,90	4,5	22,4	0,77	1,045	2,9173
0,67	-7,14	-27,12	5	20,1	0,84	0,968	3,4578
0,81	-7,66	-27,38	5,5	18,1	0,91	0,91	4,0328
0,95	-8,15	-27,69	6,1	16,4	0,98	0,866	4,6368
1,11	-8,61	-28,03	6,7	15,0	1,04	0,833	5,2650
1,25	-9,00	-28,36	7,2	13,8	1,10	0,809	5,8475
1,42	-9,41	-28,76	7,9	12,7	1,16	0,788	6,5106
1,59	-9,80	-29,18	8,6	11,7	1,22	0,771	7,1878
1,77	-10,16	-29,62	9,3	10,8	1,28	0,757	7,8772
1,95	-10,49	-30,07	10	9,96	1,34	0,744	8,5773
2,13	-10,81	-30,54	10,8	9,24	1,39	0,733	9,2871
2,32	-11,11	-31,02	11,6	8,6	1,45	0,723	10,006
Cumulative travel time = 10.006 sec							

Πίνακας 22 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=15$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,82	0,00
0,01	-1,32	26,64	1,0	100	0,16	3,82	0,0121
0,02	-1,94	26,48	1,3	79,1	0,23	3,536	0,164
0,05	2,57	26,34	1,7	60,4	0,30	2,667	0,3702
0,09	3,2	26,22	2,0	48,8	0,37	2,144	0,6312
0,14	3,83	26,14	2,4	40,9	0,44	1,78	0,9472
0,21	4,47	26,10	2,9	35,1	0,52	1,517	0,1318
Maximum jet height has been reached							
0,29	5,1	26,11	3,3	30,5	0,59	1,32	0,1745
0,40	5,73	26,17	3,7	26,8	0,67	1,169	0,2226
0,51	6,35	26,29	4,2	23,8	0,75	1,052	0,2760
0,64	6,95	26,47	4,7	21,1	0,82	0,963	0,3342
0,79	7,53	26,71	5,3	18,9	0,90	0,897	0,3967
0,93	8,02	26,97	5,8	17,2	0,96	0,854	0,4561
1,10	8,54	27,31	6,4	15,5	1,03	0,818	0,5248
1,28	9,02	27,69	7,1	14,1	1,09	0,791	0,5958
1,46	9,48	28,10	7,8	12,9	1,16	0,772	0,6687
1,65	9,89	28,55	8,5	11,8	1,22	0,756	0,7430
1,84	10,28	29,02	9,2	10,8	1,28	0,743	0,8185
2,04	10,65	29,51	10,0	9,96	1,34	0,732	0,8951
2,25	10,98	30,02	10,9	9,19	1,41	0,722	0,9726
2,45	11,30	30,53	11,7	8,51	1,47	0,713	0,1051
2,66	11,59	31,06	12,7	7,90	1,53	0,705	0,1130
Cumulative travel time = 11.30 sec							

Πίνακας 23 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=20$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,82	0,00
0,01	-1,29	-26,52	1,0	100	0,16	3,82	0,0130
0,02	-1,87	-26,32	1,3	80	0,23	3,57	0,1582
0,05	-2,52	-26,11	1,7	60,1	0,30	2,648	0,3787
0,09	-3,17	-25,93	2,1	48,1	0,38	2,090	0,6622
0,15	-3,84	-25,79	2,5	40,1	0,46	1,715	1,0096
0,23	-4,51	-25,70	2,9	34,3	0,54	1,447	1,4220
0,33	-5,19	-25,66	3,4	29,7	0,62	1,248	1,8996
Maximum jet height has been reached							
0,44	-5,86	-25,69	3,8	26,1	0,70	1,097	2,4417
0,57	-6,52	-25,80	4,3	23	0,78	0,984	3,0458
0,73	-7,16	-25,98	4,9	20,4	0,86	0,901	3,7057
0,89	-7,77	-26,23	5,5	18,2	0,94	0,843	4,4122
1,09	-8,41	-26,58	6,2	16,2	1,02	0,800	5,2309
1,29	-8,94	-26,97	6,8	14,6	1,09	0,774	6,0030
1,49	-9,43	-27,40	7,6	13,2	1,15	0,756	6,7943
1,69	-9,88	-27,86	8,3	12	1,22	0,742	7,6001
1,90	-10,30	-28,36	9,1	11	1,28	0,731	8,4172
2,12	-10,69	-28,88	9,9	10,1	1,34	0,722	9,2441
2,34	-11,04	-29,42	10,8	9,25	1,41	0,714	1,0080
2,56	-11,37	-29,98	11,7	8,53	1,47	0,706	1,0924
2,79	-11,68	-30,55	12,7	7,88	1,54	0,698	1,1776
3,02	-11,96	-31,12	13,6	7,36	1,60	0,691	1,2550
Cumulative travel time = 12.5504 sec							

Πίνακας 24 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=25$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-1,24	-26,41	1,0	100	0,16	3,820	0,0138
0,02	-1,83	-26,14	1,3	78,6	0,23	3,496	0,1659
0,05	-2,50	-25,87	1,7	58,6	0,31	2,561	0,4092
0,10	-3,18	-25,62	2,1	46,8	0,39	2,001	0,7204
0,17	-3,87	-25,42	2,6	38,9	0,48	1,628	1,1049
0,26	-4,57	-25,27	3,0	33,2	0,56	1,362	1,5648
0,37	-5,28	-25,19	3,5	28,8	0,65	1,166	2,1012
Maximum jet height has been reached							
0,50	-5,99	-25,19	4,0	25,2	0,74	1,019	2,7134
0,65	-6,69	-25,29	4,5	22,2	0,82	0,912	3,3974
0,83	-7,36	-25,48	5,1	19,7	0,91	0,839	4,1431
1,02	-8,00	-25,76	5,7	17,5	0,98	0,791	4,9366
1,22	-8,59	-26,11	6,4	15,7	1,06	0,761	5,7638
1,44	-9,14	-26,53	7,1	14,1	1,12	0,743	6,6133
1,66	-9,64	-27,01	7,8	12,8	1,19	0,731	7,4777
1,88	-10,09	-27,52	8,6	11,6	1,25	0,722	8,3525
2,12	-10,51	-28,06	9,5	10,5	1,32	0,715	9,2354
2,35	-10,89	-28,63	10,4	9,63	1,38	0,709	10,126
2,59	-11,24	-29,22	11,3	8,82	1,45	0,702	11,023
2,83	-11,56	-29,82	12,3	8,11	1,52	0,695	11,928
3,07	-11,86	-30,43	13,4	7,47	1,59	0,688	12,841
3,32	-12,14	-31,05	14,5	6,91	1,66	0,681	13,762
Cumulative travel time = 13,7623 sec							

Πίνακας 25 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=30$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-1,19	-26,31	1,0	100	0,16	3,820	0,0145
0,02	-1,78	-25,97	1,3	77,4	0,23	3,432	0,1797
0,06	-2,45	-25,62	1,7	57,4	0,32	2,486	0,4371
0,11	-3,14	-25,31	2,2	45,7	0,40	1,925	0,7742
0,18	-3,84	-25,04	2,6	38	0,49	1,552	1,1943
0,29	-4,63	-24,81	3,1	32	0,59	1,265	1,7562
0,42	-5,37	-24,70	3,6	27,8	0,68	1,075	2,3603
Maximum jet height has been reached							
0,57	-6,11	-24,68	4,1	24,3	0,78	0,936	3,0529
0,75	-6,84	-24,77	4,7	21,4	0,87	0,839	3,8268
0,95	-7,54	-24,99	5,3	18,9	0,95	0,778	4,6657
1,17	-8,19	-25,30	5,9	16,8	1,03	0,744	5,5489
1,40	-8,79	-25,71	6,6	15,1	1,10	0,725	6,4584
1,63	-9,33	-26,18	7,4	13,5	1,17	0,716	7,3821
1,87	-9,82	-26,70	8,2	12,2	1,23	0,711	8,3135
2,12	-10,26	-27,27	9,1	11	1,30	0,707	9,2498
2,37	-10,66	-27,86	10,0	10	1,36	0,703	10,191
2,62	-11,03	-28,47	11,0	9,13	1,43	0,698	11,137
2,87	-11,36	-29,10	12,0	8,35	1,50	0,693	12,089
3,13	-11,67	-29,74	13,1	7,66	1,57	0,687	13,047
3,39	-11,95	-30,40	14,2	7,05	1,64	0,680	14,014
3,65	-12,22	-31,06	15,3	6,56	1,71	0,674	14,891
Cumulative travel time = 14.891 sec							

Πίνακας 26 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=35$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-1,12	-26,20	1,0	100	0,16	3,820	0,0151
0,03	-1,77	-25,76	1,4	73,7	0,25	3,250	0,2128
0,06	-2,44	-25,34	1,8	54,9	0,33	2,351	0,4954
0,12	-3,12	-24,96	2,3	43,9	0,42	1,813	0,8667
0,21	-3,83	-24,62	2,7	36,7	0,52	1,452	1,3311
0,32	-4,57	-24,36	3,2	31,5	0,61	1,195	1,8944
0,46	-5,33	-24,19	3,7	27,4	0,71	1,005	2,5609
Maximum jet height has been reached							
0,63	-6,09	-24,14	4,2	23,9	0,81	0,866	3,3318
0,83	-6,85	-24,23	4,8	21	0,91	0,777	4,1961
1,06	-7,57	-24,46	5,4	18,5	0,99	0,727	5,1278
1,30	-8,23	-24,82	6,1	16,4	1,06	0,705	6,0975
1,55	-8,83	-25,27	6,8	14,7	1,13	0,698	7,0830
1,81	-9,36	-25,79	7,6	13,1	1,19	0,697	8,0726
2,07	-9,83	-26,36	8,5	11,8	1,26	0,697	9,0621
2,33	-10,26	-26,97	9,4	10,7	1,32	0,697	10,051
2,59	-10,65	-27,61	10,3	9,67	1,39	0,696	11,042
2,86	-10,99	-28,26	11,4	8,79	1,46	0,692	12,035
3,13	-11,31	-28,93	12,5	8,02	1,53	0,688	13,034
3,40	-11,60	-29,62	13,6	7,34	1,61	0,682	14,039
3,67	-11,87	-30,30	14,8	6,74	1,68	0,675	15,052
3,95	-12,12	-31,00	16,0	6,26	1,75	0,669	15,972
Cumulative travel time = 15,972 sec							

Πίνακας 27 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=40$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-1,05	-26,11	1,0	100	0,16	3,820	0,0157
0,03	-1,68	-25,59	1,4	72,9	0,25	3,202	0,2217
0,07	-2,33	-25,10	1,8	54,1	0,34	2,296	0,5193
0,13	-3,00	-24,64	2,3	43,3	0,43	1,756	0,9130
0,21	-3,62	-24,28	2,7	36,9	0,52	1,424	1,3552
0,33	-4,36	-23,94	3,2	31,7	0,62	1,156	1,9516
0,48	-5,12	-23,70	3,6	27,6	0,72	0,956	2,6669
0,67	-5,90	-23,60	4,2	24	0,83	0,811	3,5070
Maximum jet height has been reached							
0,89	-6,68	-23,67	4,8	21	0,93	0,723	4,4572
1,14	-7,42	-23,91	5,4	18,5	1,02	0,683	5,4787
1,41	-8,09	-24,29	6,1	16,4	1,09	0,672	6,5291
1,68	-8,68	-24,78	6,9	14,6	1,15	0,676	7,5818
1,97	-9,25	-25,40	7,8	12,9	1,22	0,683	8,7306
2,25	-9,70	-26,02	8,6	11,6	1,28	0,689	9,7662
2,52	-10,11	-26,67	9,6	10,4	1,34	0,692	10,796
2,80	-10,47	-27,35	10,6	9,41	1,41	0,692	11,825
3,07	-10,79	-28,04	11,7	8,54	1,49	0,689	12,855
3,35	-11,09	-28,74	12,9	7,78	1,56	0,685	13,890
3,64	-11,36	-29,46	14,1	7,11	1,64	0,679	14,931
3,92	-11,61	-30,18	15,3	6,52	1,72	0,673	15,981
4,21	-11,84	-30,90	16,5	6,05	1,79	0,666	16,934
Cumulative travel time = 16.934 sec							

Πίνακας 28 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=45$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,97	-26,02	1,0	100	0,16	3,820	0,0160
0,02	-1,50	-25,50	1,3	75	0,24	3,292	0,2031
0,06	-2,12	-24,93	1,8	55	0,34	2,323	0,5026
0,13	-2,75	-24,40	2,3	43,8	0,43	1,755	0,9040
0,23	-3,50	-23,87	2,8	36,1	0,54	1,344	1,4739
0,36	-4,22	-23,47	3,2	31,2	0,64	1,079	2,1214
0,53	-4,98	-23,18	3,7	27,1	0,76	0,875	2,9085
0,75	-5,77	-23,06	4,2	23,6	0,88	0,732	3,8464
Maximum jet height has been reached							
1,00	-6,56	-23,14	4,8	20,6	0,98	0,658	4,9080
1,27	-7,29	-23,42	5,5	18,2	1,06	0,637	6,0300
1,56	-7,94	-23,86	6,2	16,1	1,12	0,645	7,1564
1,85	-8,50	-24,41	7,0	14,3	1,17	0,660	8,2635
2,10	-8,94	-24,96	7,8	12,9	1,22	0,673	9,2410
2,39	-9,37	-25,61	8,7	11,5	1,28	0,683	10,311
2,67	-9,75	-26,30	9,7	10,4	1,35	0,689	11,371
2,95	-10,09	-27,01	10,7	9,34	1,42	0,691	12,426
3,24	-10,40	-27,73	11,8	8,46	1,49	0,689	13,481
3,53	-10,67	-28,46	13,0	7,69	1,57	0,685	14,541
3,82	-10,93	-29,20	14,3	7,01	1,65	0,679	15,607
4,11	-11,16	-29,94	15,6	6,42	1,73	0,672	16,682
4,41	-11,37	-30,69	17,0	5,89	1,81	0,665	17,767
Cumulative travel time = 17,767 sec							

Πίνακας 29 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=50$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,88	-25,94	1,0	100	0,16	3,820	0,0163
0,03	-1,43	-25,30	1,4	72	0,25	3,138	0,2336
0,07	-1,94	-24,73	1,8	54,7	0,34	2,292	0,5150
0,13	-2,54	-24,14	2,3	43,6	0,44	1,720	0,9296
0,23	-3,17	-23,58	2,7	36,6	0,54	1,336	1,4624
0,38	-3,93	-23,06	3,2	31,4	0,66	1,032	2,2041
0,56	-4,67	-22,70	3,7	27,2	0,78	0,813	3,0492
0,80	-5,47	-22,54	4,2	23,6	0,91	0,664	4,0804
Maximum jet height has been reached							
1,08	-6,26	-22,61	4,9	20,6	1,02	0,599	5,2560
1,38	-6,98	-22,93	5,5	18,1	1,08	0,598	6,4757
1,65	-7,55	-23,36	6,2	16,2	1,13	0,620	7,5507
1,95	-8,08	-23,95	6,9	14,4	1,18	0,647	8,7035
2,25	-8,54	-24,60	7,8	12,8	1,23	0,668	9,8194
2,54	-8,93	-25,29	8,7	11,5	1,29	0,682	10,910
2,83	-9,28	-26,00	9,7	10,3	1,35	0,690	11,987
3,12	-9,59	-26,74	10,8	9,25	1,42	0,692	13,058
3,41	-9,86	-27,48	12,0	8,36	1,50	0,691	14,128
3,70	-10,11	-28,24	13,2	7,59	1,58	0,687	15,203
4,00	-10,34	-29,00	14,5	6,91	1,66	0,681	16,284
4,29	-10,55	-29,77	15,8	6,32	1,74	0,673	17,375
4,60	-10,74	-10,53	17,2	5,80	1,83	0,665	18,477
Cumulative travel time = 18.477 sec							

Πίνακας 30 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=55$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,79	-25,87	1,0	100	0,16	3,820	0,0165
0,02	-1,23	-25,24	1,3	74,5	0,24	3,252	0,2098
0,07	-1,75	-24,56	1,8	54,6	0,34	2,272	0,5220
0,14	-2,29	-23,90	2,3	43,6	0,44	1,697	0,9447
0,24	-2,87	-23,28	2,7	36,8	0,54	1,307	1,4911
0,37	-3,50	-22,73	3,1	32,1	0,65	1,017	2,1819
0,56	-4,21	-22,29	3,6	27,9	0,79	0,774	3,0592
0,81	-4,98	-22,04	4,2	24,1	0,94	0,604	4,1699
Maximum jet height has been reached							
1,12	-5,77	-22,09	4,8	21,0	1,05	0,540	5,4660
1,48	-6,55	-22,47	5,5	18,2	1,11	0,563	6,9170
1,80	-7,13	-23,01	6,2	16,1	1,14	0,606	8,1619
2,11	-7,61	-23,64	7,0	14,3	1,18	0,644	9,3364
2,41	-8,01	-24,33	7,9	12,7	1,23	0,670	10,462
2,70	-8,36	-25,06	8,8	11,3	1,29	0,686	11,559
2,99	-8,66	-25,80	9,9	10,1	1,36	0,694	12,640
3,28	-8,93	-26,55	11,0	9,13	1,43	0,696	13,715
3,58	-9,18	-27,32	12,1	8,24	1,51	0,694	14,789
3,87	-9,40	-28,09	13,4	7,48	1,59	0,689	15,869
4,17	-9,60	-28,87	14,7	6,81	1,67	0,683	16,956
4,47	-9,78	-29,65	16,1	6,22	1,75	0,675	18,054
4,77	-9,95	-30,43	17,4	5,75	1,83	0,667	19,052
Cumulative travel time = 19.052 sec							

Πίνακας 31 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,68	-25,80	1,0	100	0,16	3,820	0,0162
0,02	-1,07	-25,14	1,3	74,5	0,24	3,248	0,2099
0,07	-1,57	-24,34	1,9	53,4	0,35	2,195	0,5599
0,14	-2,05	-23,64	2,3	43,0	0,45	1,640	0,9964
0,24	-2,51	-23,03	2,7	37,2	0,54	1,291	1,4987
0,38	-3,08	-22,41	3,1	32,6	0,66	0,989	2,2023
0,57	-3,73	-21,89	3,5	28,2	0,81	0,722	3,1191
0,85	-4,47	-21,58	4,1	24,3	0,98	0,530	4,3339
Maximum jet height has been reached							
1,19	-5,24	-21,62	4,7	21,1	1,09	0,478	5,7851
1,54	-5,92	-22,00	5,4	18,6	1,12	0,526	7,2093
1,88	-6,45	-22,57	6,1	16,4	1,14	0,589	8,5020
2,19	-6,88	-23,24	6,9	14,6	1,17	0,638	9,6934
2,49	-7,24	-23,95	7,7	13,0	1,22	0,670	10,823
2,78	-7,55	-24,70	8,7	11,6	1,28	0,689	11,916
3,07	-7,82	-25,45	9,7	10,3	1,34	0,698	12,991
3,36	-8,06	-26,22	10,8	9,28	1,41	0,701	14,059
3,65	-8,27	-27,00	11,9	8,37	1,49	0,699	15,127
3,94	-8,46	-27,78	13,2	7,58	1,57	0,695	16,199
4,24	-8,63	-28,56	14,5	6,90	1,65	0,688	17,279
4,54	-8,79	-29,34	15,9	6,30	1,74	0,680	18,370
4,87	-8,96	-30,21	17,3	5,77	1,82	0,671	19,473
Cumulative travel time = 19,473 sec							

Πίνακας 32 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=65$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,58	-25,75	1,0	100	0,16	3,820	0,0163
0,02	-0,91	-25,06	1,3	74,8	0,24	3,256	0,2078
0,07	-1,32	-24,23	1,9	53,7	0,35	2,201	0,5540
0,14	-1,72	-23,49	2,3	43,4	0,45	1,642	0,9861
0,25	-2,16	-22,77	2,7	37,1	0,55	1,253	1,5473
0,39	-2,66	-22,10	3,1	32,7	0,67	0,943	2,2691
0,60	-3,24	-21,51	3,5	28,3	0,84	0,654	3,2392
0,90	-3,93	-21,15	4,1	24,2	1,05	0,442	4,6046
Maximum jet height has been reached							
1,29	-4,67	-21,22	4,7	21,1	1,14	0,420	6,2567
1,66	-5,27	-21,68	5,4	18,6	1,13	0,507	7,7573
2,00	-5,72	-22,31	6,1	16,5	1,14	0,588	9,0549
2,31	-6,08	-23,01	6,8	14,7	1,17	0,643	10,232
2,60	-6,38	-23,75	7,7	13,0	1,21	0,677	11,342
2,89	-6,63	-24,50	8,6	11,6	1,27	0,697	12,416
3,17	-6,85	-25,27	9,6	10,4	1,33	0,706	13,472
3,46	-7,05	-26,04	10,7	9,32	1,41	0,708	14,522
3,74	-7,23	-26,82	11,9	8,41	1,48	0,705	15,572
4,03	-7,39	-27,60	13,1	7,62	1,56	0,700	16,628
4,32	-7,53	-28,39	14,4	6,93	1,64	0,693	17,693
4,62	-7,66	-29,17	15,8	6,33	1,73	0,684	18,768
4,91	-7,79	-29,95	17,1	5,85	1,81	0,676	19,747
Cumulative travel time = 19.747 sec							

Πίνακας 33 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=70$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,47	-25,70	1,0	100	0,16	3,820	0,0161
0,02	-0,73	-25,00	1,3	75,3	0,24	3,275	0,2038
0,07	-1,06	-24,14	1,8	54,2	0,35	2,218	0,5424
0,14	-1,38	-23,38	2,3	44	0,44	1,655	0,9644
0,24	-1,73	-22,63	2,7	37,7	0,55	1,262	1,5130
0,36	-2,09	-21,98	3,0	33,8	0,65	0,974	2,1415
0,56	-2,56	-21,32	3,4	29,4	0,82	0,657	3,0793
0,87	-3,15	-20,83	4,0	25	1,08	0,384	4,4977
Maximum jet height has been reached							
1,30	-3,84	-20,82	4,6	21,6	1,19	0,349	6,4043
1,70	-4,38	-21,31	5,2	19,2	1,14	0,476	8,0238
2,04	-4,76	-21,97	5,9	17,1	1,13	0,577	9,3403
2,34	-5,06	-22,68	6,6	15,2	1,15	0,642	10,507
2,63	-5,31	-23,43	7,4	13,5	1,19	0,681	11,597
2,91	-5,51	-24,18	8,3	12	1,24	0,703	12,648
3,19	-5,69	-24,95	9,3	10,7	1,31	0,713	13,679
3,46	-5,85	-25,72	10,4	9,64	1,38	0,716	14,703
3,74	-5,99	-26,50	11,5	8,69	1,45	0,713	15,727
4,02	-6,12	-27,27	12,7	7,86	1,53	0,708	16,756
4,30	-6,24	-28,05	14,0	7,15	1,61	0,700	17,795
4,59	-6,35	-28,82	15,3	6,53	1,70	0,691	18,843
4,91	-6,46	-29,68	16,7	5,98	1,78	0,682	19,905
Cumulative travel time = 19.905 sec							

Πίνακας 34 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=75$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,35	-25,67	1,0	100	0,16	3,820	0,0157
0,03	-0,57	-24,88	1,4	73,3	0,25	3,174	0,2233
0,07	-0,79	-24,10	1,8	54,9	0,34	2,246	0,5261
0,13	-1,03	-23,32	2,2	44,6	0,44	1,680	0,9335
0,22	-1,27	-22,63	2,6	38,9	0,53	1,317	1,4033
0,35	-1,56	-21,88	2,9	34,6	0,64	0,990	2,0681
0,54	-1,91	-21,17	3,3	30,2	0,81	0,656	2,9779
0,85	-2,37	-20,58	3,9	25,4	1,12	0,325	4,4503
Maximum jet height has been reached							
1,33	-2,98	-20,52	4,6	21,8	1,25	0,283	6,7303
1,75	-3,42	-21,05	5,1	19,7	1,14	0,458	8,4412
2,08	-3,72	-21,73	5,7	17,6	1,11	0,576	9,7452
2,38	-3,94	-22,46	6,4	15,6	1,13	0,647	10,883
2,66	-4,12	-23,21	7,2	13,9	1,17	0,688	11,941
2,96	-4,29	-24,04	8,2	12,2	1,23	0,712	13,059
3,22	-4,42	-24,80	9,1	10,9	1,29	0,722	14,057
3,49	-4,54	-25,56	10,2	9,83	1,36	0,724	15,048
3,76	-4,65	-26,32	11,3	8,86	1,43	0,721	16,040
4,03	-4,74	-27,09	12,5	8,03	1,51	0,715	17,038
4,30	-4,83	-27,85	13,7	7,31	1,59	0,707	18,045
4,58	-4,91	-28,62	15,0	6,67	1,67	0,698	19,062
4,86	-4,98	-29,38	16,2	6,17	1,75	0,689	19,988
Cumulative travel time = 19.988 sec							

Πίνακας 35 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=80$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,24	-25,64	1,0	100	0,16	3,820	0,0153
0,02	-0,36	-24,94	1,3	76,6	0,24	3,336	0,1918
0,06	-0,51	-24,16	1,8	57,1	0,33	2,354	0,4733
0,12	-0,66	-23,38	2,2	46,2	0,42	1,762	0,8527
0,21	-0,83	-22,61	2,5	39,6	0,52	1,342	1,3445
0,33	-1,02	-21,85	2,8	35,3	0,62	1,021	1,9762
0,51	-1,25	-21,11	3,2	31,0	0,79	0,680	2,8349
0,80	-1,56	-20,44	3,8	26,1	1,13	0,302	4,2680
Maximum jet height has been reached							
1,34	-2,03	-20,28	4,5	22,2	1,32	0,214	7,0882
1,78	-2,35	-20,84	4,9	20,3	1,14	0,442	8,9006
2,14	-2,57	-21,61	5,6	18,0	1,10	0,584	10,301
2,42	-2,71	-22,34	6,2	16,0	1,11	0,657	11,395
2,68	-2,83	-23,08	7,0	14,2	1,15	0,698	12,412
2,94	-2,94	-23,82	7,9	12,7	1,20	0,721	13,391
3,20	-3,02	-24,57	8,8	11,4	1,26	0,731	14,352
3,45	-3,10	-25,32	9,8	10,2	1,33	0,733	15,307
3,71	-3,17	-26,07	10,8	9,22	1,40	0,730	16,262
3,97	-3,24	-26,82	12,0	8,36	1,47	0,724	17,224
4,23	-3,30	-27,57	13,1	7,61	1,55	0,716	18,193
4,49	-3,35	-28,31	14,4	6,95	1,63	0,707	19,173
4,76	-3,40	-29,06	15,6	6,43	1,70	0,698	20,066
Cumulative travel time = 20,066 sec							

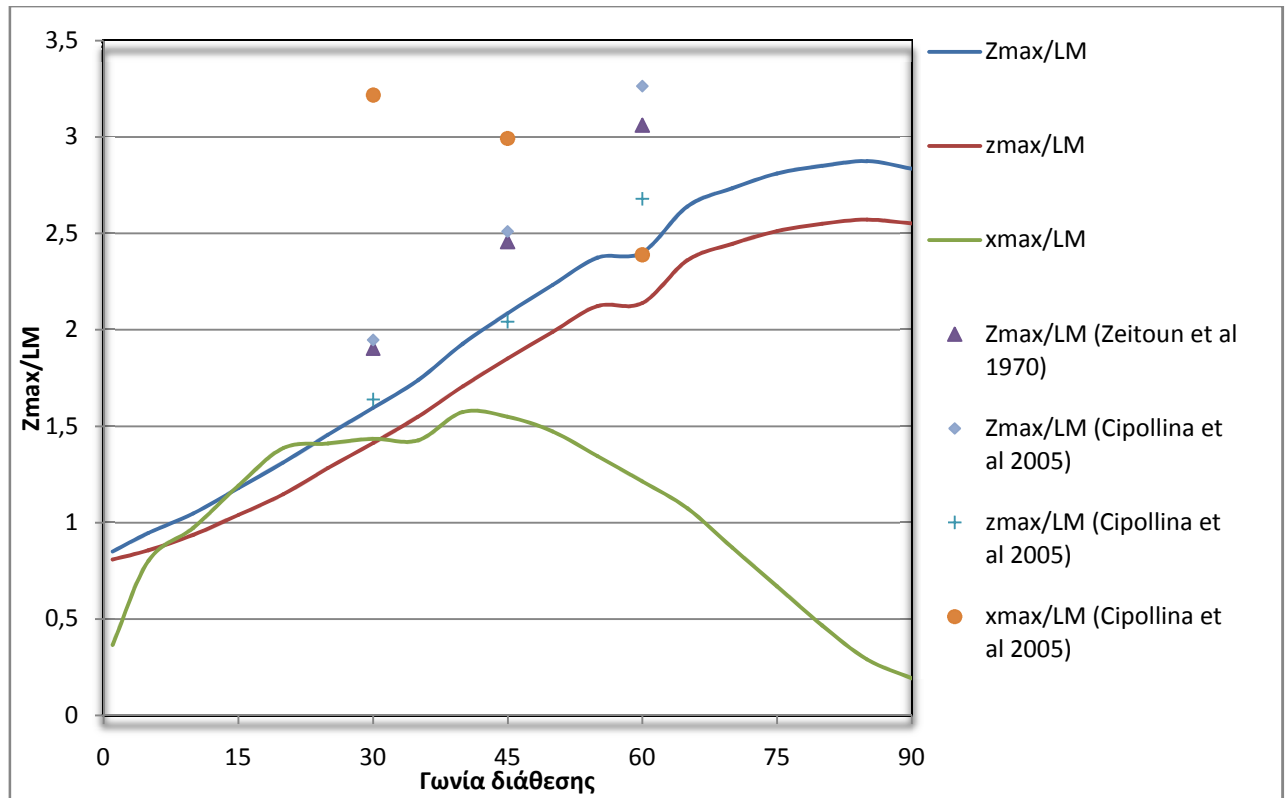
Πίνακας 36 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=85$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,12	-25,63	1,0	100	0,16	3,820	0,0148
0,02	-0,18	-24,93	1,3	77,4	0,24	3,373	0,1852
0,06	-0,25	-24,17	1,7	57,9	0,32	2,394	0,4551
0,11	-0,33	-23,40	2,1	47,0	0,41	1,800	0,8170
0,20	-0,41	-22,63	2,5	40,2	0,51	1,385	1,2843
0,31	-0,50	-21,88	2,8	36,0	0,61	1,059	1,8809
0,50	-0,62	-21,06	3,2	31,4	0,78	0,687	2,7778
0,78	-0,77	-20,36	3,8	26,4	1,14	0,285	4,1829
Maximum jet height has been reached							
1,37	-1,04	-20,14	4,4	22,5	1,37	0,172	7,7483
1,81	-1,21	-20,74	4,8	21,0	1,12	0,442	9,5765
2,10	-1,30	-21,37	5,3	19,0	1,08	0,570	10,704
2,37	-1,38	-22,09	5,9	17,0	1,04	0,654	11,778
2,62	-1,44	-22,81	6,6	15,1	1,11	0,701	12,766
2,87	-1,49	-23,54	7,4	13,5	1,16	0,726	13,712
3,12	-1,54	-24,28	8,3	12,1	1,22	0,738	14,639
3,36	-1,58	-25,01	9,2	10,8	1,28	0,742	15,558
3,60	-1,61	-25,74	10,2	9,78	1,35	0,740	16,476
3,85	-1,65	-26,47	11,3	8,86	1,42	0,734	17,399
4,10	-1,68	-27,20	12,4	8,06	1,50	0,726	18,330
4,36	-1,70	-27,93	13,6	7,36	1,57	0,717	19,271
4,61	-1,73	-28,66	14,8	6,75	1,65	0,707	20,223
Cumulative travel time = 20.223 sec							

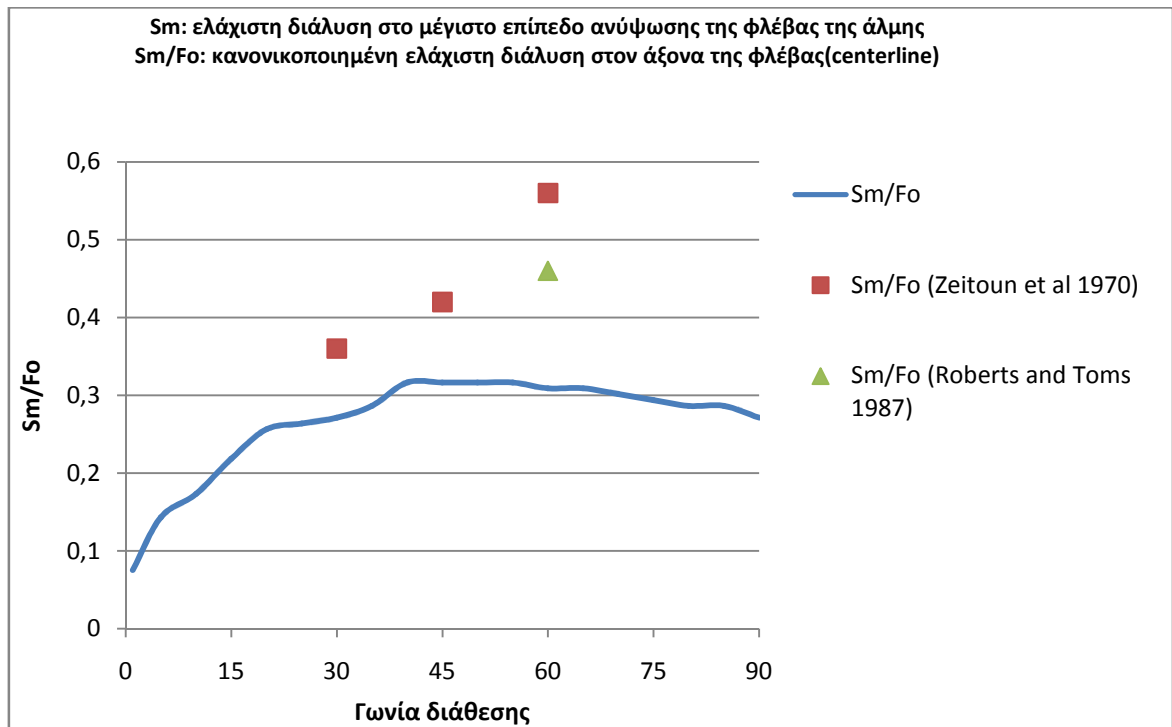
Πίνακας 37 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=90$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	0,00	-25,62	1,0	100	0,16	3,820	0,0144
0,02	0,00	-24,94	1,3	78,1	0,23	3,408	0,1791
0,06	0,00	-24,19	1,7	58,7	0,32	2,434	0,4383
0,11	0,00	-23,44	2,1	47,7	0,41	1,839	0,7845
0,20	0,00	-22,62	2,5	40,3	0,50	1,387	1,2794
0,31	0,00	-21,88	2,8	36,2	0,60	1,068	1,8573
0,47	0,00	-21,14	3,1	32,2	0,75	0,739	2,6237
0,72	0,00	-20,43	3,6	27,5	1,06	0,354	3,8463
Maximum jet height has been reached							
1,28	0,00	-20,03	4,4	22,6	1,47	0,085	7,6891
1,76	0,00	-20,59	4,6	22,0	1,13	0,409	9,7755
2,07	0,00	-21,27	5,1	19,8	1,06	0,566	11,027
2,34	0,00	-21,97	5,7	17,6	1,06	0,654	12,075
2,59	0,00	-22,68	6,4	15,7	1,09	0,704	13,035
2,83	0,00	-23,40	7,1	14,0	1,13	0,731	13,952
3,04	0,00	-24,04	7,9	12,7	1,18	0,743	14,759
3,27	0,00	-24,75	8,8	11,4	1,24	0,748	15,647
3,51	0,00	-25,47	9,7	10,3	1,31	0,747	16,534
3,75	0,00	-26,18	10,7	9,34	1,38	0,742	17,425
3,99	0,00	-26,89	11,8	8,50	1,45	0,734	18,322
4,23	0,00	-27,61	12,9	7,76	1,53	0,725	19,229
4,48	0,00	-28,32	14,1	7,12	1,60	0,716	20,146
Cumulative travel time = 20.146 sec							

Στα σχήματα 29 και 30 που ακολουθούν παρουσιάζονται διαγράμματα που περιέχουν στοιχεία (καμπύλες) από τη χρήση του μοντέλου CORMIX για την προσομοίωση της φλέβας της άλμης καθώς και στοιχεία από πειραματικά δεδομένα.

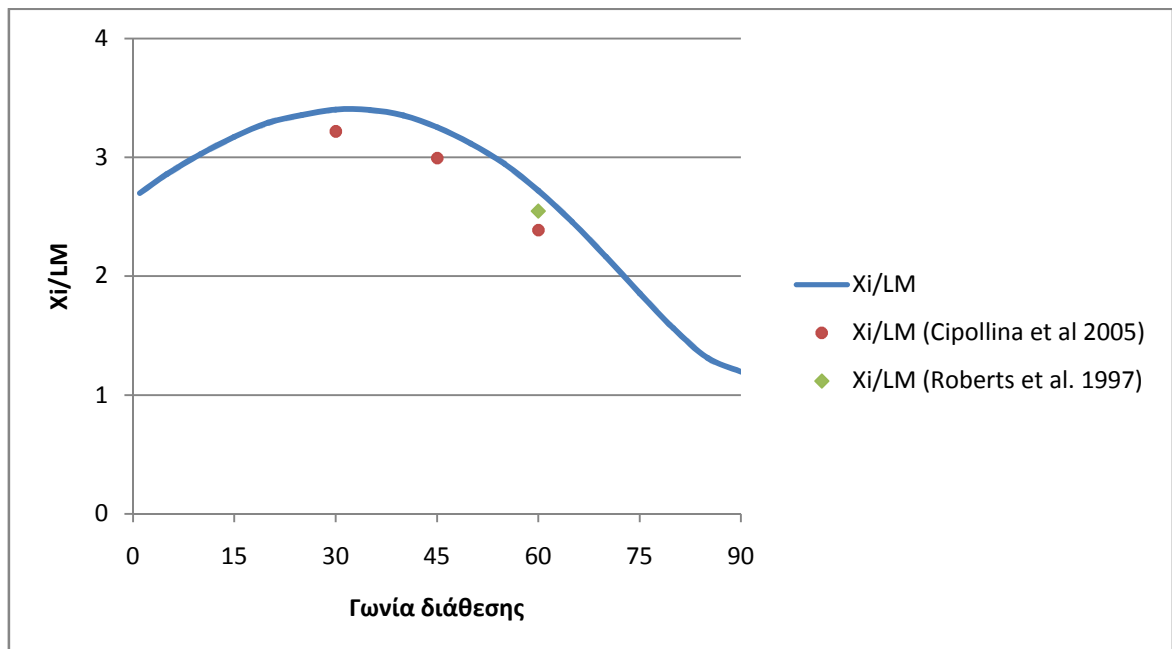


Εικόνα 26. Χαρακτηριστικά της φλέβας της άλμης στο μέγιστο ύψος ανύψωσης. Σύγκριση του μοντέλου CORMIX με πειραματικά δεδομένα

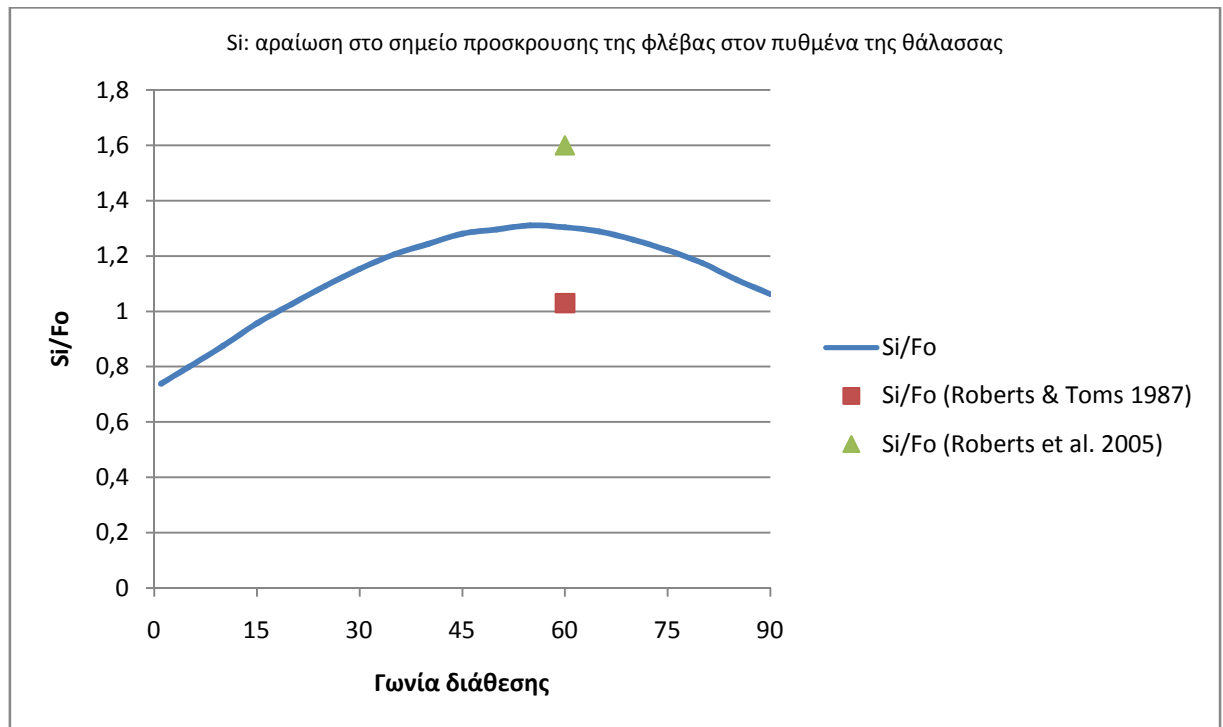


Εικόνα 27. Σύγκριση του μοντέλου CORMIX με τα πειραματικά δεδομένα με βάση τη μικρότερη διάλυση στον άξονα της φλέβας και τη γωνία διάθεσης

Στα σχήματα 4 και 5 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της φλέβας της άλμης (θέση και επιτυγχανόμενη αραίωση) στο σημείο πρόσκρουσης της στον πυθμένα της θάλασσας για κλίση πυθμένα $\theta=12^\circ$.

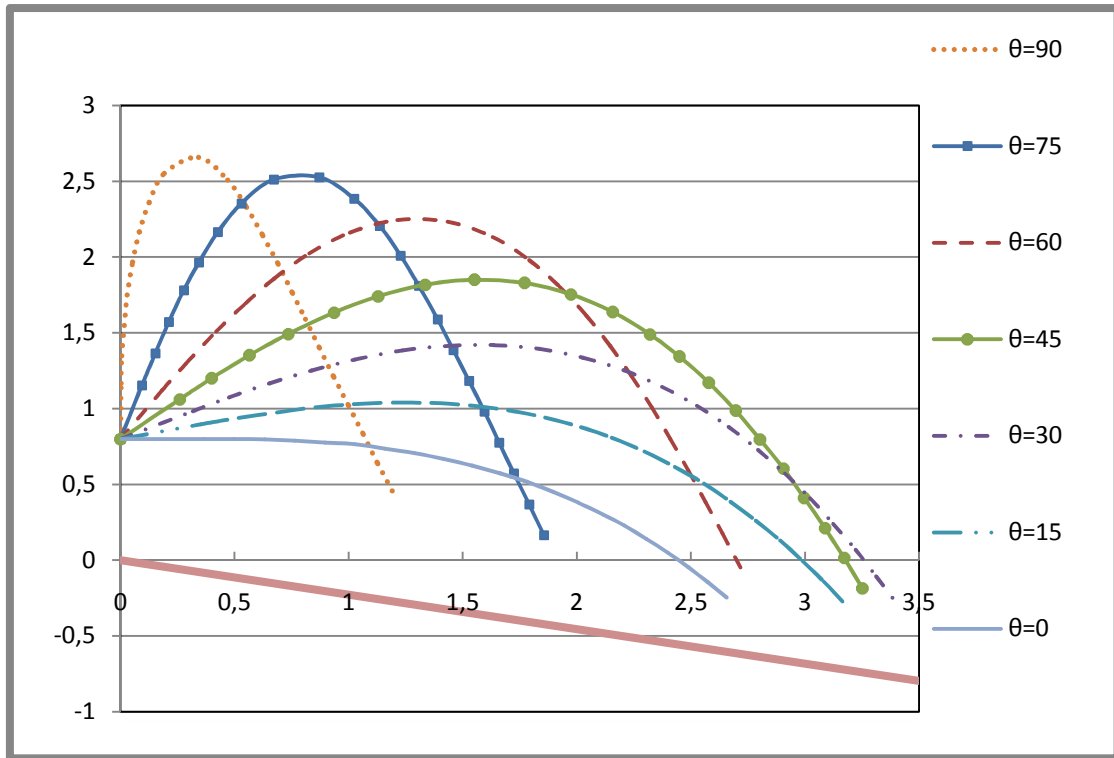


Εικόνα 28. Θέση σημείου πρόσκρουσης του άξονα της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης



Εικόνα 29. Αραίωση της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεςης

Το μοντέλο CORMIX εφαρμόστηκε για κλίσεις αγωγού διάθεςης της άλμης από 0 έως 90° και για κλίση πυθμένα 12,8°. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της προσομοίωσης σε γραφική μορφή.



Εικόνα 30 Πορεία της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης

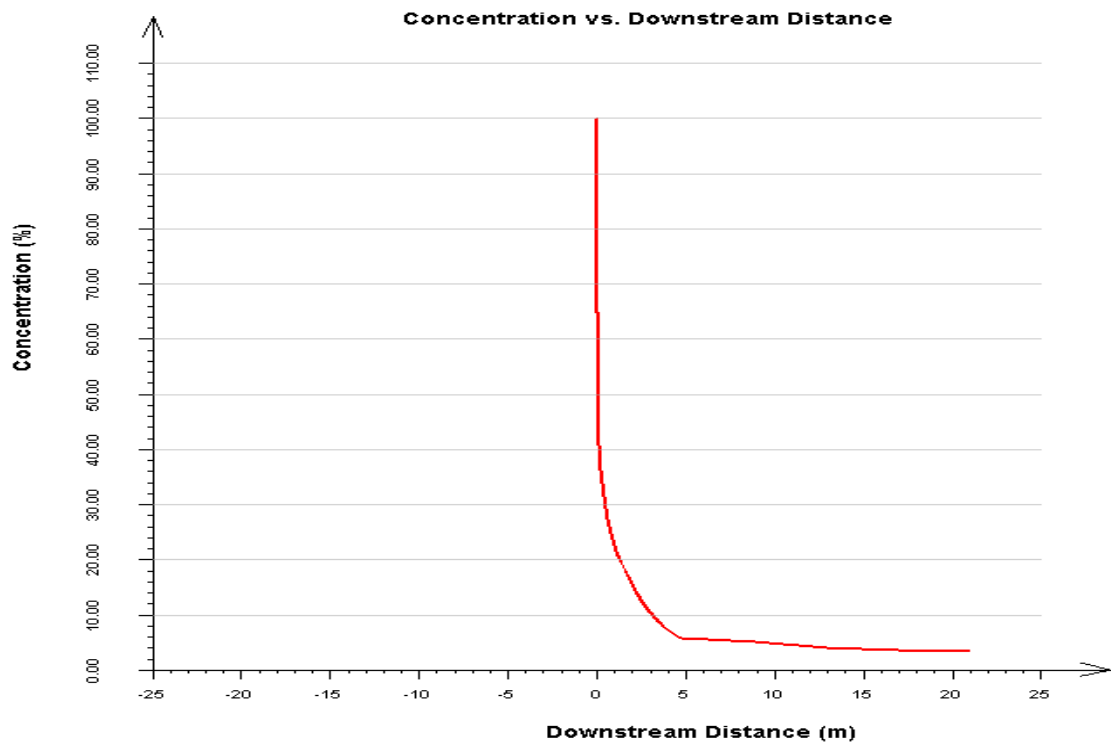
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της φλέβας στο τέλος του πεδίου μίξης της κοντινής περιοχής (end of near-field mixing region).

Πίνακας 38. χαρακτηριστικά φλέβας στο τέλος του πεδίου μίξης

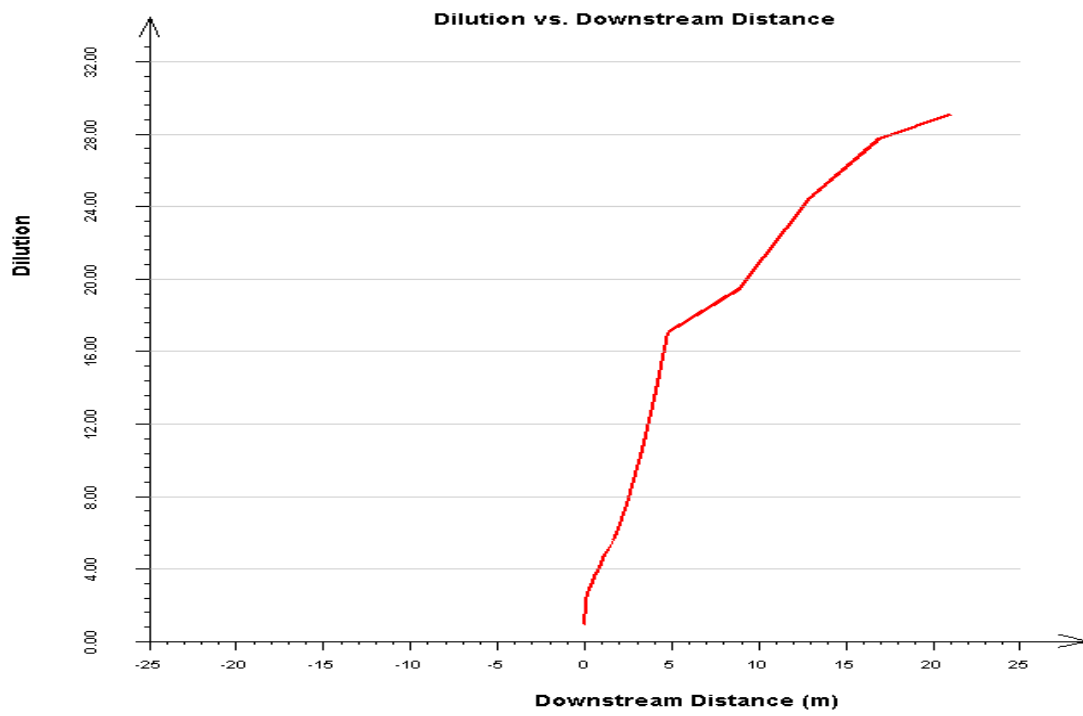
Γωνία αγωγού εκροής θ°	X(m)	y (m)	z (m)	Απόσταση από το σημείο εκροής L (m)	Διάλυση S	Υπερβάουσα αλατότητα C (%)	αλατότητα (ppt)
1,00	1,74	-9,97	-30,94	10,12	9,80	10,20	41,88
5,00	2,00	-	-30,99	10,71	10,60	9,41	41,58
10,00	2,32	-	-31,02	11,35	11,60	8,60	41,27
15,00	2,66	-	-31,06	11,89	12,70	7,90	41,00
20,00	3,02	-	-31,12	12,34	13,60	7,36	40,80
25,00	3,32	-	-31,05	12,59	14,50	6,91	40,63
30,00	3,65	-	-31,06	12,75	15,30	6,56	40,49
35,00	3,95	-	-31,00	12,75	16,00	6,26	40,38
40,00	4,21	-	-30,90	12,57	16,50	6,05	40,30
45,00	4,41	-	-30,69	12,20	17,00	5,89	40,24
50,00	4,60	-	-30,53	11,68	17,20	5,80	40,20
55,00	4,77	-	-30,43	11,03	17,40	5,75	40,19
60,00	4,87	-	-30,21	10,20	17,40	5,75	40,19
65,00	4,91	-	-29,95	9,21	17,10	5,85	40,22
70,00	4,91	-	-29,68	8,11	16,70	5,98	40,27
75,00	4,86	-	-29,38	6,96	16,20	6,17	40,34
80,00	4,76	-	-29,06	5,85	15,60	6,43	40,44
85,00	4,61	-	-28,66	4,92	14,80	6,75	40,57
90,00	4,48	0,00	-28,32	4,48	14,10	7,12	40,71

Βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη διάλυση επιτυγχάνεται για γωνίες του αγωγού διάθεσης 55° και 60° . επιπλέον για τις 60° παρατηρούμε ότι η διάλυση επέρχεται σε μικρότερη απόσταση από το σημείο εκροής. Επιλέγουμε γωνία διάθεσης 60° για περαιτέρω διερεύνηση.

Ακολουθούν τα διαγράμματα συγκέντρωσης και διάλυσης συναρτήσει της απόστασης για την επιλεγόμενη γωνία 60° .



Διάγραμμα 6. συγκέντρωση συναρτήσει της απόστασης απο το σημείο εκροής



Διάγραμμα 7. διάλυση συναρτήσει της απόστασης του σημείου εκροής

8.4.2. Διερεύνηση ως προς τα θαλάσσια ρεύματα:

Η παραπάνω διερεύνηση ως προς την γωνία του αγωγού διάθεσης έγινε υποθέτοντας ταχύτητα ανέμου 3m/s και ταχύτητα θαλάσσιου ρεύματος 0,1m/s. Όμως στην περιοχή δεν επικρατούν σταθερές ανεμολογικές συνθήκες. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι ταχύτητες ανέμου που επικρατούν καθώς και τα αντίστοιχα θαλάσσια ρεύματα.

Πίνακας 39. ανεμολογικά στοιχεία και θαλάσσια ρεύματα περιοχής

Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Ταχύτητα θαλάσσιου ρεύματος (m/s)
1	0,03
2	0,06
3	0,09
4	0,12
5	0,15
6	0,18
7	0,21
8	0,24
9	0,27
10	0,3

Με το μοντέλο CORMIX και για γωνία του αγωγού εκροής 60° κάναμε διερεύνηση ως προς τις ανεμολογικές συνθήκες της περιοχής. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για τις διάφορες ανεμολογικές συνθήκες.

Πίνακας 40 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta= 60$ και ταχύτητα ανέμου 1m/s

X	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,00	-0,73	-25,73	1,0	100	0,16	3,820	0,016
0,01	-1,17	-24,99	1,4	71,8	0,25	3,121	0,242
0,02	-1,62	-24,26	1,9	52,5	0,35	2,206	0,576
0,04	-2,11	-23,54	2,3	43,5	0,45	1,663	1,028
0,07	-2,63	-22,86	2,7	37,4	0,55	1,293	1,613
0,10	-3,16	-22,30	3,0	33,9	0,64	1,040	2,273
0,15	-3,83	-21,76	3,3	30,3	0,78	0,793	3,203
0,22	-4,62	-21,43	3,7	27,2	0,93	0,619	4,407
Maximum height has been reached							
0,30	-5,46	-21,47	4,1	24,5	1,00	0,584	5,802
0,38	-6,21	-21,87	4,5	22,1	1,00	0,650	7,134
0,46	-6,81	-22,48	5,0	19,8	1,00	0,724	8,328
0,53	-7,30	-23,19	5,7	17,7	1,03	0,777	9,425
0,59	-7,72	-23,94	6,4	15,7	1,07	0,810	10,467
0,66	-8,07	-24,72	7,1	14,0	1,12	0,828	11,479
0,73	-8,38	-25,52	8,0	12,5	1,18	0,834	12,478
0,79	-8,66	-26,33	8,9	11,2	1,24	0,834	13,473
0,86	-8,91	-27,15	9,9	10,1	1,31	0,829	14,472
0,93	-9,13	-27,98	11,0	9,12	1,39	0,822	15,479
0,99	-9,34	-28,82	12,1	8,28	1,47	0,813	16,495
1,06	-9,53	-29,65	13,2	7,55	1,54	0,803	17,522
1,13	-9,71	-30,49	14,5	6,91	1,62	0,793	18,563
Cumulative travel time = 18.563 sec							

Πίνακας 41 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 2m/s

x	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,00	-0,71	-25,76	1,0	100	0,16	3,820	0,016
0,01	-1,10	-25,10	1,3	74,5	0,25	3,251	0,212
0,04	-1,55	-24,37	1,8	54,9	0,34	2,275	0,530
0,08	-2,03	-23,66	2,3	44,2	0,44	1,704	0,961
0,14	-2,55	-22,98	2,6	37,7	0,54	1,318	1,521
0,21	-3,13	-22,35	3,0	33,5	0,64	1,029	2,230
0,32	-3,79	-21,82	3,4	29,8	0,78	0,776	3,142
0,46	-4,56	-21,48	3,8	26,4	0,94	0,595	4,327
Maximum height has been reached							
0,65	-5,39	-21,52	4,2	23,6	1,03	0,553	5,711
0,83	-6,12	-21,91	4,7	21,1	1,04	0,613	7,047
1,01	-6,71	-22,51	5,3	18,8	1,04	0,685	8,249
1,17	-7,18	-23,21	6,0	16,8	1,07	0,738	9,355
1,32	-7,58	-23,95	6,7	14,9	1,11	0,771	10,404
1,47	-7,92	-24,72	7,5	13,3	1,16	0,790	11,422
1,62	-8,22	-25,51	8,4	11,9	1,22	0,798	12,426
1,77	-8,49	-26,31	9,4	10,7	1,29	0,799	13,424
1,92	-8,73	-27,12	10,4	9,62	1,36	0,795	14,425
2,08	-8,95	-27,93	11,5	8,70	1,43	0,788	15,432
2,23	-9,15	-28,75	12,6	7,91	1,51	0,780	16,448
2,40	-9,35	-29,66	14,0	7,15	1,60	0,770	17,578
2,56	-9,52	-30,48	15,1	6,61	1,67	0,761	18,513
Cumulative travel time = 18.513 sec							

Πίνακας 42 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 3 m/s

x	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,68	-25,80	1,0	100	0,16	3,820	0,016
0,02	-1,07	-25,14	1,4	74,5	0,24	3,248	0,209
0,07	-1,57	-24,34	1,9	53,4	0,35	2,195	0,559
0,14	-2,05	-23,64	2,3	43,0	0,45	1,640	0,996
0,24	-2,51	-23,03	2,7	37,2	0,54	1,219	1,498
0,38	-3,08	-22,41	3,1	32,6	0,66	0,989	2,202
0,57	-3,73	-21,89	3,5	28,2	0,81	0,722	3,119
0,85	-4,47	-21,58	4,1	24,3	0,98	0,530	4,333
Maximum height has been reached							
1,19	-5,24	-21,62	4,7	21,1	1,09	0,478	5,785
1,54	-5,92	-22,00	5,4	18,6	1,12	0,526	7,209
1,88	-6,45	-22,57	6,1	16,4	1,14	0,589	8,502
2,19	-6,88	-23,24	6,9	14,6	1,17	0,638	9,693
2,49	-7,24	-23,95	7,7	13,0	1,22	0,670	10,823
2,78	-7,55	-24,70	8,7	11,6	1,28	0,689	11,916
3,07	-7,82	-25,45	9,7	10,3	1,34	0,698	12,991
3,36	-8,06	-26,22	10,8	9,28	1,41	0,701	14,059
3,65	-8,27	-27,00	11,9	8,37	1,49	0,699	15,127
3,94	-8,46	-27,78	13,2	7,58	1,57	0,695	16,199
4,24	-8,63	-28,56	14,5	6,90	1,65	0,688	17,279
4,54	-8,76	-29,34	15,9	6,30	1,74	0,680	18,370
4,87	-8,96	-30,21	17,3	5,77	1,82	0,671	19,473
Cumulative travel time = 19.473 sec							

Πίνακας 43 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 4 m/s

X	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,67	-25,83	1,0	100	0,16	3,820	0,016
0,03	-1,06	-25,16	1,3	74,4	0,25	3,240	0,209
0,08	-1,51	-24,43	1,8	54,5	0,34	2,251	0,522
0,17	-1,99	-23,73	2,3	43,5	0,44	1,666	0,947
0,31	-2,56	-22,99	2,8	36,1	0,56	1,230	1,564
0,49	-3,13	-22,38	3,2	31,3	0,68	0,923	2,295
0,75	-3,78	-21,89	3,8	26,6	0,85	0,653	3,265
1,11	-4,50	-21,63	4,5	22,5	1,03	0,472	4,564
Maximum height has been reached							
1,54	-5,23	-21,71	5,2	19,2	1,14	0,432	6,098
1,98	-5,84	-22,11	6,0	16,8	1,18	0,479	7,589
2,40	-6,33	-22,68	6,8	14,8	1,21	0,535	8,950
2,75	-6,68	-23,27	7,6	13,2	1,25	0,574	10,089
3,13	-7,01	-23,96	8,5	11,7	1,30	0,603	11,293
3,51	-7,29	-24,68	9,6	10,4	1,37	0,621	12,460
3,87	-7,54	-25,41	10,7	9,33	1,44	0,630	13,607
4,24	-7,75	-26,15	11,9	8,38	1,51	0,633	14,745
4,61	-7,95	-26,90	13,2	7,56	1,59	0,632	15,882
4,98	-8,12	-27,65	14,6	6,84	1,68	0,628	17,024
5,36	-8,28	-28,41	16,1	6,23	1,77	0,622	18,175
5,73	-8,42	-29,16	17,6	5,68	1,86	0,614	19,336
6,12	-8,55	-29,92	19,2	5,21	1,95	0,606	20,510
Cumulative travel time = 20.510 sec							

Πίνακας 44 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 5 m/s

x	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,65	-25,86	1,0	100	0,16	3,820	0,016
0,04	-1,09	-25,11	1,4	71,1	0,26	3,078	0,239
0,12	-1,55	-24,38	1,9	52,3	0,36	2,137	0,568
0,24	-2,04	-23,67	2,4	41,7	0,46	1,565	1,016
0,40	-2,51	-23,06	2,8	35,4	0,57	1,199	1,538
0,64	-3,08	-22,45	3,3	29,9	0,70	0,868	2,290
0,99	-3,71	-21,98	4,1	24,6	0,88	0,583	3,314
1,46	-4,39	-21,74	5,0	20,2	1,07	0,401	4,722
Maximum height has been reached							
2,02	-5,04	-21,83	5,9	17,0	1,19	0,360	6,400
2,59	-5,58	-22,20	6,8	14,6	1,26	0,395	8,051
3,13	-6,00	-22,73	7,8	12,8	1,31	0,441	9,573
3,65	-6,34	-23,34	8,9	11,2	1,37	0,477	10,994
4,15	-6,63	-23,99	10,1	9,88	1,44	0,501	12,350
4,64	-6,87	-24,66	11,4	8,76	1,52	0,515	13,668
5,13	-7,07	-25,35	12,8	7,82	1,60	0,522	14,967
5,62	-7,25	-26,05	14,3	7,01	1,69	0,524	16,257
6,11	-7,41	-26,75	15,8	6,31	1,78	0,522	17,548
6,60	-7,55	-27,45	17,5	5,71	1,87	0,518	18,845
7,10	-7,68	-28,15	19,3	5,19	1,97	0,512	20,153
7,60	-7,80	-28,85	21,1	4,74	2,07	0,505	21,473
8,10	-7,91	-29,55	23,0	4,34	2,17	0,497	22,810
Cumulative travel time = 22.810 sec							

Πίνακας 45 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 6 m/s

x	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,63	-25,89	1,0	100	0,16	3,820	0,017
0,05	-1,04	-25,20	1,4	72,8	0,25	3,155	0,219
0,14	-1,51	-24,40	1,9	52,4	0,36	2,138	0,551
0,31	-2,06	-23,64	2,5	40,1	0,48	1,478	1,065
0,53	-2,54	-23,03	3,0	33,5	0,59	1,098	1,628
0,86	-3,12	-22,40	3,7	27,2	0,75	0,743	2,465
1,34	-3,74	-22,02	4,6	21,6	0,95	0,464	3,655
Maximum height has been reached							
1,96	-4,36	-21,86	5,8	17,4	1,14	0,319	5,285
2,64	-4,92	-22,01	6,8	14,6	1,25	0,301	7,143
3,31	-5,36	-22,39	8,0	12,5	1,33	0,332	8,946
3,96	-5,72	-22,89	9,2	10,9	1,40	0,368	10,629
4,59	-6,00	-23,46	10,5	9,49	1,48	0,394	12,219
5,21	-6,24	-24,07	12,0	8,34	1,57	0,411	13,751
5,81	-6,44	-24,70	13,6	7,37	1,66	0,420	15,251
6,42	-6,61	-25,33	15,3	6,55	1,76	0,424	16,736
7,02	-6,76	-25,98	17,1	5,86	1,86	0,424	18,218
7,63	-6,89	-26,62	19,0	5,27	1,96	0,421	19,704
8,24	-7,00	-27,27	21,0	4,76	2,07	0,416	21,200
8,85	-7,10	-27,91	23,1	4,32	2,17	0,410	22,710
9,47	-7,20	-28,55	25,4	3,94	2,28	0,403	24,238
10,09	-7,28	-29,19	27,7	3,61	2,40	0,395	25,785
Cumulative travel time = 25.785 sec							

Πίνακας 46 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 7 m/s

X	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,01	-0,62	-25,92	1,0	100	0,16	3,820	0,0178
0,06	-1,04	-25,20	1,4	71,3	0,26	3,078	0,2307
0,19	-1,58	-24,34	2,0	49,1	0,38	1,962	0,6286
0,41	-2,10	-23,59	2,6	37,8	0,50	1,357	1,1466
0,74	-2,66	-22,92	3,3	30,0	0,65	0,917	1,8625
1,22	-3,25	-22,38	4,3	23,2	0,85	0,559	2,8887
1,86	-3,84	-22,06	5,6	18,0	1,05	0,334	4,3810
Maximum height has been reached							
2,62	-4,38	-22,03	6,8	14,7	1,20	0,225	6,2896
3,41	-4,82	-22,26	8,0	12,5	1,30	0,261	8,3021
4,17	-5,18	-22,66	9,3	10,7	1,39	0,289	10,227
4,91	-5,47	-23,14	10,8	9,28	1,48	0,314	12,047
5,64	-5,70	-23,68	12,4	8,08	1,58	0,332	13,795
6,36	-5,90	-24,25	14,1	7,07	1,68	0,342	15,501
7,07	-6,06	-24,84	16,0	6,25	1,78	0,346	17,186
7,78	-6,20	-25,43	18,0	5,55	1,89	0,347	18,865
8,49	-6,32	-26,02	20,2	4,96	2,00	0,344	20,548
9,20	-6,42	-26,62	22,4	4,46	2,11	0,340	22,241
9,92	-6,52	-27,21	24,8	4,03	2,23	0,334	23,950
10,57	-6,59	-27,74	27,1	3,69	2,33	0,329	25,503
11,29	-6,66	-28,32	29,7	3,37	2,45	0,322	27,250
12,03	-6,73	-28,90	32,4	3,08	2,57	0,315	29,018
Cumulative travel time = 29.018 sec							

Πίνακας 47 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 8 m/s

x	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,02	-0,60	-25,96	1,0	100	0,16	3,820	0,0187
0,08	-1,10	-25,11	1,5	66,6	0,27	2,843	0,2774
0,25	-1,61	-24,29	2,1	46,7	0,40	1,835	0,6788
0,54	-2,16	-23,53	2,8	35,1	0,54	1,208	1,2600
0,98	-2,73	-22,87	3,8	26,6	0,71	0,746	2,0998
1,62	-3,30	-22,39	5,1	19,7	0,93	0,416	3,3615
2,41	-3,84	-22,18	6,5	15,5	1,11	0,257	5,1438
Maximum height has been reached							
3,28	-4,29	-22,24	7,8	12,9	1,24	0,219	7,2416
4,06	-4,63	-22,47	8,9	11,2	1,33	0,229	9,1541
4,91	-4,94	-22,85	10,4	9,62	1,42	0,252	11,197
5,74	-5,19	-23,31	12,0	8,31	1,52	0,270	13,155
6,56	-5,39	-23,82	13,8	7,22	1,62	0,282	15,056
7,37	-5,55	-24,35	15,8	6,32	1,73	0,288	16,926
8,18	-5,69	-24,89	18,0	5,57	1,84	0,290	18,784
8,99	-5,81	-25,44	20,2	4,94	1,96	0,288	20,643
9,80	-5,91	-25,99	22,7	4,41	2,07	0,285	22,511
10,61	-6,00	-26,54	25,2	3,96	2,19	0,280	24,393
11,42	-6,08	-27,09	27,9	3,58	2,31	0,275	26,295
12,24	-6,15	-27,63	30,7	3,25	2,43	0,269	28,218
13,06	-6,21	-28,16	33,7	2,97	2,55	0,263	30,163
13,89	-6,26	-28,69	36,7	2,72	2,67	0,257	32,133
Cumulative travel time = 32.133 sec							

Πίνακας 48 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 9 m/s

x	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,02	-0,58	-25,99	1,0	100	0,16	3,820	0,0197
0,09	-1,05	-25,19	1,5	67,4	0,27	2,875	0,2630
0,29	-1,60	-24,33	2,2	45,6	0,40	1,770	0,6879
0,65	-2,16	-23,54	3,0	32,9	0,56	1,094	1,3281
1,22	-2,74	-22,89	4,2	23,7	0,76	0,612	2,3007
2,08	-3,33	-22,44	5,9	16,9	0,99	0,309	3,9676
Maximum height has been reached							
3,00	-3,80	-22,33	7,3	13,6	1,15	0,211	5,9934
3,95	-4,19	-22,45	8,7	11,5	1,26	0,196	8,2112
4,90	-4,50	-22,74	10,1	9,9	1,35	0,210	10,410
5,83	-4,76	-23,13	11,7	8,53	1,45	0,227	12,532
6,74	-4,96	-23,58	13,6	7,37	1,56	0,239	14,593
7,65	-5,13	-24,07	15,6	6,41	1,67	0,246	16,618
8,55	-5,27	-24,57	17,8	5,62	1,78	0,248	18,627
9,44	-5,38	-25,08	20,2	4,96	1,90	0,247	20,634
10,34	-5,48	-25,59	22,7	4,40	2,02	0,245	22,649
11,24	-5,57	-26,11	25,4	3,94	2,13	0,240	24,678
12,05	-5,64	-26,57	27,9	3,58	2,24	0,236	26,520
12,96	-5,70	-27,07	30,8	3,24	2,36	0,231	28,586
13,87	-5,76	-27,57	33,9	2,95	2,48	0,225	30,675
14,78	-5,81	-28,08	37,1	2,70	2,60	0,220	32,778
15,70	-5,86	-28,56	40,4	2,48	2,72	0,214	34,925
Cumulative travel time = 34.925 sec							

Πίνακας 49 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία αγωγού διάθεσης $\theta=60$ και ταχύτητα ανέμου 10 m/s

x	y	z	S	C	B	Uc	TT
0,00	0,00	-26,99	1,0	100	0,15	3,820	0,00
0,02	-0,56	-26,02	1,0	100	0,16	3,820	0,0209
0,11	-1,06	-25,18	1,5	65,2	0,28	2,758	0,2825
0,40	-1,69	-24,19	2,4	41,1	0,44	1,528	0,8142
0,90	-2,28	-23,41	3,5	28,5	0,63	0,859	1,5918
1,64	-2,84	-22,84	5,1	19,7	0,85	0,432	2,8315
2,48	-3,28	-22,56	6,6	15,2	1,02	0,253	4,4386
Maximum height has been reached							
3,50	-3,69	-22,50	8,0	12,5	1,15	0,186	6,6025
4,53	-4,03	-22,65	9,4	10,7	1,25	0,180	8,8912
5,55	-4,31	-22,94	10,9	9,19	1,35	0,192	11,151
6,56	-4,53	-23,32	12,6	7,92	1,45	0,205	13,352
7,55	-4,71	-23,75	14,6	6,85	1,56	0,213	15,507
8,54	-4,86	-24,21	16,8	5,96	1,67	0,217	17,639
9,52	-4,98	-24,68	19,2	5,22	1,79	0,217	19,763
10,51	-5,09	-25,17	21,7	4,61	1,91	0,215	21,891
11,49	-5,18	-25,65	24,4	4,10	2,02	0,212	24,031
12,47	-5,25	-26,13	27,2	3,67	2,14	0,208	26,188
13,46	-5,32	-26,61	30,2	3,31	2,26	0,203	28,364
14,45	-5,38	-27,09	33,3	3,00	2,38	0,198	30,562
15,44	-5,43	-27,55	36,6	2,73	2,50	0,193	32,783
16,44	-5,47	-28,03	39,9	2,51	2,61	0,188	35,027
17,44	-5,51	-28,47	43,4	2,31	2,73	0,183	37,293
Cumulative travel time = 37.293 sec							

Τα αποτελέσματα που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα αφορούν το τέλος της περιοχής μίξης του κοντινού πεδίου (end of near-field mixing region).

Πίνακας 50. χαρακτηριστικά στο τέλος του πεδίου μίξης της κοντινής περιοχής

άνεμος (m/s)	θαλάσσιο ρεύμα (m/s)	x	y	z	απόσταση από το σημείο εκροής L	Διάλυση S	Υπερβάουσα αλατότητα C (%)	Αλατότητα (ppt)
1,00	0,03	1,13	-9,71	-30,49	10,38	14,50	6,91	40,63
2,00	0,06	2,56	-9,52	-30,48	10,45	15,10	6,61	40,51
3,00	0,09	4,87	-8,96	-30,21	10,69	17,30	5,77	40,19
4,00	0,12	6,12	-8,55	-29,92	10,91	19,20	5,21	39,98
5,00	0,15	8,10	-7,91	-29,55	11,61	23,00	4,34	39,65
6,00	0,18	10,90	-7,28	-29,19	13,29	27,70	3,61	39,37
7,00	0,21	12,03	-6,73	-28,90	13,91	32,40	3,08	39,17
8,00	0,24	13,89	-6,26	-28,69	15,33	36,70	2,72	39,03
9,00	0,27	15,70	-5,86	-28,56	16,83	40,40	2,48	38,94
10,00	0,30	17,44	-5,51	-28,47	18,35	43,40	2,31	38,88

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι ακόμα και για το μικρότερο δυνατό άνεμο στην περιοχή η αλατότητα στο τέλος του πεδίου μίξης δεν ξεπερνά τα 40 ppt το οποίο τίθεται σαν όριο για τον μη επηρεασμό της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας.

8.4.3. Επιλογή Β (διαχυτής πολλαπλών ακροφυσίων)

Η διερεύνηση έγινε για διαχυτή μήκους 30 m και 4 ανοιγμάτων τοποθετημένο παράλληλα στην ακτογραμμή σε απόσταση 132 m. Το βάθος εκβολής είναι 30 m και θα γίνεται σε ύψος 3 m από τον πυθμένα με ειδικούς ανυψωτές (risers). Τα ακροφύσια του αγωγού είναι τοποθετημένα κάθετα στον διαχυτή, στην διεύθυνση του κυρίως αγωγού.

Στους παράτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου CORMIX για γωνίες διάθεσης ακροφυσίων ως προς την οριζόντιο από 0 έως 90° .

Πίνακας 51 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=0$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,03	0,00	27,81	1,0	100	0,20	0,20	13,429	0,00
0,03	0,00	27,81	1,0	100	0,20	0,20	0,781	0,0034
0,04	0,00	27,90	1,0	100	0,20	0,20	0,827	0,1149
0,04	0,00	28,00	1,0	100	0,20	0,20	0,859	0,2244
0,05	0,00	28,09	1,0	96,9	0,20	0,20	0,880	0,3275
0,06	0,00	28,18	1,1	90,3	0,21	0,21	0,892	0,4318
0,07	0,00	28,27	1,2	84,2	0,22	0,22	0,899	0,5349
0,08	0,00	28,36	1,3	78,8	0,22	0,22	0,901	0,6344
0,09	0,00	28,45	1,4	73,7	0,23	0,23	0,900	0,7368
0,10	0,00	28,55	1,4	69,0	0,24	0,24	0,897	0,8394
0,12	0,00	28,64	1,5	64,8	0,25	0,25	0,892	0,9393
0,13	0,00	28,73	1,6	60,9	0,25	0,25	0,886	1,0428
0,14	0,00	28,82	1,7	57,3	0,26	0,26	0,879	1,1470
0,16	0,00	28,91	1,8	54,1	0,27	0,27	0,872	1,2489
0,17	0,00	29,00	2,0	51,0	0,28	0,28	0,864	1,3547
0,19	0,00	29,10	2,1	48,2	0,29	0,29	0,856	1,4615
0,20	0,00	29,19	2,2	45,8	0,30	0,30	0,848	1,5660
0,22	0,00	29,28	2,3	43,4	0,31	0,31	0,839	1,6746
0,23	0,00	29,37	2,4	41,2	0,32	0,32	0,831	1,7842
0,25	0,00	29,46	2,5	39,2	0,33	0,33	0,823	1,8916
0,27	0,00	29,55	2,7	27,3	0,34	0,34	0,815	2,0033
0,28	0,00	29,64	2,8	35,6	0,35	0,35	0,807	2,1129
Cumulative travel time = 2.11 sec								

Πίνακας 52 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=5$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,02	0,00	26,02	1,0	100	0,14	0,14	13,429	0,00
0,02	0,00	26,02	1,0	100	0,14	0,14	1,639	0,003
0,03	0,00	25,70	1,0	100	0,17	0,17	1,211	0,232
0,06	0,00	25,38	1,1	94,50	0,20	0,20	0,893	0,539
0,10	0,00	25,06	1,1	88,80	0,27	0,27	0,526	0,983
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
0,19	0,00	24,84	1,9	51,70	0,10	15,10	-0,059	3,709
Maximum jet height has been reached								
0,39	0,00	25,18	4,5	22,20	0,08	15,08	0,190	6,021
0,55	0,00	25,46	7,2	14,00	0,13	15,13	0,192	7,350
0,72	0,00	25,74	9,9	10,10	0,18	15,18	0,189	8,694
0,89	0,00	26,00	12,7	7,90	0,22	15,22	0,187	10,016
1,07	0,00	26,27	15,4	6,49	0,27	15,27	0,185	11,342
1,26	0,00	26,54	18,2	5,49	0,32	15,32	0,183	12,695
1,45	0,00	26,80	21,0	4,76	0,37	15,37	0,181	14,028
1,64	0,00	27,06	23,8	4,20	0,42	15,42	0,179	15,365
1,84	0,00	27,32	26,6	3,76	0,47	15,47	0,178	16,730
2,04	0,00	27,57	29,4	3,40	0,52	15,52	0,176	18,074
2,24	0,00	27,82	32,2	3,10	0,57	15,57	0,175	19,421
2,44	0,00	28,07	35,1	2,85	0,62	15,62	0,174	20,796
2,65	0,00	28,32	37,9	2,64	0,67	15,67	0,172	22,149
2,86	0,00	28,56	40,7	2,46	0,72	15,72	0,171	23,506
3,07	0,00	28,81	43,5	2,30	0,77	15,77	0,170	24,890
3,28	0,00	29,05	46,3	2,16	0,82	15,82	0,169	26,238
Cumulative travel time = 26.238 sec								

Πίνακας 53 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=10$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,01	0,00	26,17	1,0	100	0,10	0,10	13,429	0,000
0,01	0,00	26,17	1,0	100	0,10	0,10	3,279	0,0011
0,02	0,00	25,69	1,3	79,2	0,15	0,15	2,055	0,1899
0,06	0,00	25,21	1,6	60,8	0,20	0,20	1,437	0,4729
0,11	0,00	24,74	2,0	51,2	0,26	0,26	1,051	0,8615
0,18	0,00	24,26	2,1	46,8	0,31	0,31	0,762	1,3928
0,29	0,00	23,79	2,4	42,3	0,41	0,41	0,429	2,1733
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
0,51	0,00	23,47	4,0	25,2	0,15	15,15	-0,029	4,3698
Maximum jet height has been reached								
0,89	0,00	23,85	7,4	13,6	0,14	15,14	0,159	8,2064
1,16	0,00	24,25	11,2	8,93	0,20	15,20	0,177	10,337
1,43	0,00	24,65	15,2	6,58	0,27	15,27	0,180	12,367
1,71	0,00	25,04	19,3	5,18	0,34	15,34	0,179	14,396
2,00	0,00	25,43	23,4	4,26	0,42	15,42	0,178	16,422
2,29	0,00	25,81	27,6	3,62	0,49	15,49	0,176	18,434
2,59	0,00	26,19	31,8	3,15	0,57	15,57	0,174	20,466
2,89	0,00	26,56	36,0	2,78	0,64	15,64	0,172	22,504
3,20	0,00	26,93	40,2	2,49	0,71	15,71	0,171	24,531
3,52	0,00	27,29	44,4	2,25	0,79	15,79	0,169	26,580
3,84	0,00	27,65	48,6	2,06	0,87	15,87	0,168	28,619
4,16	0,00	28,01	52,8	1,89	0,94	15,94	0,166	30,679
4,49	0,00	28,36	57,1	1,756	1,02	16,02	0,165	32,744
4,82	0,00	28,71	61,3	1,63	1,09	16,09	0,163	34,796
Cumulative travel time = 34.79 sec								

Πίνακας 54 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=15$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,29	1,0	100	0,08	0,08	13,429	0,00
0,00	0,00	26,29	1,0	100	0,08	0,08	4,895	0,0005
0,02	0,00	25,67	1,5	65,1	0,15	0,15	2,571	0,183
0,06	0,00	25,05	2,2	45,6	0,22	0,22	1,686	0,476
0,13	0,00	24,43	2,8	35,9	0,29	0,29	1,202	0,923
0,22	0,00	23,82	3,3	30,7	0,36	0,36	0,881	1,518
0,36	0,00	23,21	3,5	28,3	0,43	0,43	0,630	2,329
0,55	0,00	22,62	4,1	24,1	0,61	0,61	0,301	3,590
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
0,86	0,00	22,31	6,6	15,1	0,23	15,23	-0,013	6,289
Maximum jet height has been reached								
1,45	0,00	22,78	11,3	8,83	0,23	15,23	0,140	11,984
1,82	0,00	23,28	16,2	6,19	0,30	15,30	0,165	14,868
2,20	0,00	23,78	21,3	4,70	0,39	15,39	0,171	17,575
2,58	0,00	24,27	26,5	3,77	0,48	15,48	0,172	20,245
2,96	0,00	24,75	31,8	3,14	0,57	15,57	0,171	22,899
3,36	0,00	25,23	37,2	2,69	0,67	15,67	0,170	25,539
3,76	0,00	25,70	42,6	2,35	0,76	15,76	0,168	28,192
4,17	0,00	26,17	48,0	2,08	0,86	15,86	0,167	30,851
4,59	0,00	26,62	53,5	1,87	0,96	15,96	0,165	33,504
5,02	0,00	27,08	58,9	1,70	1,05	16,05	0,163	36,176
5,45	0,00	27,53	64,4	1,55	1,15	16,15	0,162	38,854
5,89	0,00	27,97	69,9	1,43	1,25	16,25	0,160	41,540
6,33	0,00	28,40	75,4	1,33	1,35	16,35	0,159	44,219
Cumulative travel time = 44.219 sec								

Πίνακας 55 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=20$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,36	1,0	100	0,07	0,07	13,429	0,00
0,00	0,00	26,36	1,0	100	0,07	0,07	6,473	0,0003
0,02	0,00	25,62	1,8	55,0	0,15	0,15	2,895	0,186
0,07	0,00	24,87	2,8	36,3	0,23	0,23	1,810	0,519
0,15	0,00	24,13	3,6	27,6	0,32	0,32	1,266	1,014
0,27	0,00	23,39	4,4	22,9	0,41	0,41	0,922	1,701
0,43	0,00	22,66	4,9	20,4	0,49	0,49	0,670	2,627
0,65	0,00	21,95	5,5	18,2	0,63	0,63	0,415	3,934
1,06	0,00	21,34	7,5	13,3	1,04	1,04	0,048	6,806
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
1,19	0,00	21,28	9,6	10,4	0,32	15,32	-0,004	8,131
Maximum jet height has been reached								
2,21	0,00	22,08	18,0	5,56	0,36	15,36	0,143	17,422
2,68	0,00	22,67	23,9	4,18	0,45	15,45	0,160	20,895
3,15	0,00	23,25	30,1	3,32	0,55	15,55	0,164	24,206
3,63	0,00	23,82	36,4	2,74	0,66	15,66	0,166	27,462
4,12	0,00	24,38	42,9	2,33	0,77	15,77	0,165	30,697
4,62	0,00	24,94	49,3	2,03	0,89	15,89	0,164	33,934
5,12	0,00	25,49	55,9	1,79	1,00	16,00	0,163	37,163
5,64	0,00	26,03	62,4	1,60	1,12	16,12	0,161	40,397
6,16	0,00	26,56	69,0	1,45	1,24	16,24	0,160	43,646
6,70	0,00	27,09	75,5	1,32	1,36	16,36	0,158	46,893
7,23	0,00	27,61	82,1	1,22	1,48	16,48	0,157	50,148
7,78	0,00	28,12	88,7	1,13	1,60	16,60	0,155	53,410
Cumulative travel time = 53.410 sec								

Πίνακας 56 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=25$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,42	1,0	100	0,06	0,06	13,429	0,00
0,00	0,00	26,42	1,0	100	0,06	0,06	8,002	0,0002
0,03	0,00	25,56	2,1	47,5	0,16	0,16	3,104	0,192
0,08	0,00	24,70	3,3	30,0	0,25	0,25	1,872	0,559
0,18	0,00	23,84	4,5	22,3	0,35	0,35	1,289	1,118
0,31	0,00	22,99	5,5	18,2	0,45	0,45	0,935	1,898
0,50	0,00	22,14	6,3	15,9	0,56	0,56	0,681	2,953
0,75	0,00	21,32	7,0	14,3	0,69	0,69	0,453	4,405
1,17	0,00	20,57	9,0	11,1	1,04	1,04	0,139	7,016
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
1,50	0,00	20,35	12,7	7,85	0,41	15,41	0,001	9,877
Maximum jet height has been reached								
2,58	0,00	21,02	20,4	4,90	0,44	15,44	0,121	19,893
3,15	0,00	21,67	27,0	3,70	0,53	15,53	0,147	24,177
3,71	0,00	22,33	34,0	2,94	0,64	15,64	0,156	28,144
4,28	0,00	22,98	41,3	2,42	0,76	15,76	0,160	31,996
4,85	0,00	23,62	48,6	2,06	0,89	15,89	0,160	35,805
5,44	0,00	24,25	56,1	1,78	1,02	16,02	0,160	39,587
6,04	0,00	24,87	63,6	1,57	1,15	16,15	0,159	43,363
6,65	0,00	25,48	71,1	1,41	1,29	16,29	0,157	47,145
7,27	0,00	26,09	78,7	1,27	1,42	16,42	0,156	50,925
7,89	0,00	26,68	86,3	1,16	1,56	16,55	0,155	54,711
8,53	0,00	27,27	93,9	1,07	1,70	16,70	0,153	58,512
9,17	0,00	27,85	101,5	0,98	1,83	16,83	0,152	62,314
Cumulative travel time = 62.314 sec								

Πίνακας 57 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=30$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,46	1,0	100	0,06	0,06	13,429	0,00
0,00	0,00	26,46	1,0	100	0,06	0,06	9,470	0,0002
0,03	0,00	25,49	2,4	41,8	0,16	0,16	3,242	0,200
0,09	0,00	24,52	3,9	25,6	0,27	0,27	1,901	0,602
0,20	0,00	23,56	5,3	18,7	0,38	0,38	1,295	1,224
0,36	0,00	22,60	6,6	15,1	0,50	0,50	0,934	2,099
0,57	0,00	21,66	7,7	13,0	0,61	0,61	0,680	3,287
0,86	0,00	20,73	8,5	11,7	0,75	0,75	0,466	4,909
1,31	0,00	19,87	10,7	9,31	1,08	1,08	0,183	7,600
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
1,79	0,00	19,51	16,0	6,25	0,50	15,50	0,006	11,500
Maximum jet height has been reached								
2,93	0,00	20,07	23,2	4,31	0,53	15,53	0,101	22,248
3,60	0,00	20,77	30,4	3,28	0,61	15,61	0,135	27,375
4,24	0,00	21,49	38,2	2,62	0,73	15,73	0,149	31,995
4,90	0,00	22,21	46,2	2,17	0,86	15,86	0,154	36,431
5,56	0,00	22,92	54,4	1,84	1,00	16,00	0,155	40,784
6,23	0,00	23,62	62,7	1,60	1,15	16,15	0,156	45,092
6,92	0,00	24,31	71,1	1,41	1,30	16,30	0,155	49,388
7,61	0,00	24,98	79,6	1,26	1,45	16,45	0,154	53,679
8,32	0,00	25,65	88,0	1,14	1,60	16,60	0,153	57,970
9,03	0,00	26,30	96,6	1,04	1,75	16,75	0,152	62,260
9,76	0,00	26,95	105,1	0,95	1,91	16,91	0,150	66,561
10,49	0,00	27,59	113,6	0,88	2,06	17,06	0,149	70,867
Cumulative travel time = 70.867 sec								

Πίνακας 58 Α ποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=35$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,49	1,0	100	0,05	0,05	13,429	0,000
0,00	0,00	26,49	1,0	100	0,05	0,05	10,865	0,001
0,03	0,00	25,43	2,7	37,4	0,17	0,17	3,331	0,208
0,10	0,00	24,36	4,5	22,4	0,29	0,29	1,913	0,645
0,22	0,00	23,30	6,2	16,2	0,41	0,41	1,292	1,329
0,40	0,00	22,24	7,7	12,9	0,54	0,54	0,928	2,298
0,64	0,00	21,20	9,1	11,0	0,67	0,67	0,675	3,613
0,96	0,00	20,18	10,1	9,91	0,81	0,81	0,468	5,406
1,44	0,00	19,24	12,6	7,96	1,14	1,14	0,205	8,264
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
2,05	0,00	18,75	19,3	5,19	0,60	15,60	0,010	12,977
Maximum jet height has been reached								
3,25	0,00	19,22	26,2	3,82	0,63	15,63	0,084	24,430
4,02	0,00	19,96	34,0	2,94	0,71	15,71	0,125	30,417
4,75	0,00	20,74	42,3	2,36	0,83	15,83	0,141	35,684
5,48	0,00	21,52	51,1	1,96	0,97	15,97	0,148	40,685
6,23	0,00	22,29	60,1	1,67	1,12	16,12	0,151	45,561
6,98	0,00	23,05	69,2	1,45	1,28	16,28	0,152	50,378
7,75	0,00	23,79	78,4	1,28	1,44	16,44	0,152	55,159
8,52	0,00	24,52	87,7	1,14	1,60	16,60	0,151	59,928
9,31	0,00	25,24	97,0	1,03	1,77	16,77	0,150	64,691
10,11	0,00	25,95	106,3	9,40	1,94	16,94	0,149	69,455
10,92	0,00	26,65	115,7	8,64	2,11	17,11	0,148	74,225
11,73	0,00	27,34	125,1	7,99	2,28	17,28	0,147	78,997
Cumulative travel time = 78.997 sec								

Πίνακας 59 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=40$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,52	1,0	100	0,05	0,05	13,429	0,00
0,00	0,00	26,52	1,0	100	0,05	0,05	12,178	0,0001
0,03	0,00	25,36	3,0	33,9	0,18	0,18	3,389	0,217
0,11	0,00	24,21	5,0	19,9	0,31	0,31	1,915	0,687
0,24	0,00	23,06	7,0	14,3	0,44	0,44	1,285	1,430
0,44	0,00	21,91	8,8	11,3	0,58	0,58	0,920	2,488
0,70	0,00	20,79	10,4	9,60	0,72	0,72	0,668	3,928
1,06	0,00	19,68	11,6	8,59	0,87	0,87	0,466	5,886
1,58	0,00	18,65	14,4	6,95	1,21	1,21	0,217	8,934
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
2,29	0,00	18,07	22,5	4,45	0,69	15,69	0,013	14,308
Maximum jet height has been reached								
3,55	0,00	18,45	29,2	3,42	0,74	15,74	0,070	26,444
4,41	0,00	19,23	37,5	2,67	0,80	15,80	0,116	33,269
5,22	0,00	20,06	46,5	2,15	0,93	15,93	0,135	39,166
6,03	0,00	20,89	55,9	1,79	1,07	16,07	0,143	44,700
6,85	0,00	21,71	65,5	1,53	1,23	16,23	0,147	50,072
7,68	0,00	22,52	75,3	1,33	1,40	16,40	0,148	55,357
8,52	0,00	23,32	85,3	1,17	1,58	16,58	0,148	60,593
9,37	0,00	24,10	95,3	1,05	1,75	16,75	0,148	65,807
10,24	0,00	24,87	105,4	0,949	1,93	16,93	0,147	71,017
11,11	0,00	25,63	115,5	0,866	2,11	17,11	0,146	76,217
11,99	0,00	26,38	125,7	0,796	2,30	17,30	0,146	81,427
12,89	0,00	27,11	135,8	0,736	2,48	17,48	0,145	86,634
Cumulative travel time = 86.634 sec								

Πίνακας 60 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=45$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,54	1,0	100	0,05	0,05	13,429	0,000
0,00	0,00	26,54	1,0	100	0,05	0,05	13,397	0,00007
0,03	0,00	25,30	3,2	31,1	0,18	0,18	3,429	0,226
0,12	0,00	24,07	5,5	18,0	0,32	0,32	1,912	0,727
0,26	0,00	22,83	7,8	12,9	0,46	0,46	1,277	1,527
0,47	0,00	21,61	9,9	10,1	0,61	0,61	0,911	2,667
0,76	0,00	20,41	11,7	8,55	0,77	0,77	0,661	4,223
1,15	0,00	19,23	13,1	7,62	0,93	0,93	0,463	6,337
1,71	0,00	18,13	16,2	6,18	1,27	1,27	0,223	9,581
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
2,51	0,00	17,45	25,5	3,92	0,77	15,77	0,016	15,502
Maximum jet height has been reached								
3,83	0,00	17,77	32,2	3,11	0,84	15,84	0,059	28,253
4,77	0,00	18,57	40,9	2,44	0,90	15,90	0,108	35,883
5,66	0,00	19,44	50,4	1,98	1,02	16,02	0,129	42,367
6,53	0,00	20,31	60,4	1,66	1,17	16,17	0,139	48,401
7,42	0,00	21,18	70,6	1,42	1,34	16,34	0,143	54,232
8,32	0,00	22,04	81,1	1,23	1,52	16,52	0,145	59,955
9,23	0,00	22,88	91,7	1,09	1,70	16,70	0,146	65,621
10,15	0,00	23,71	102,4	0,976	1,89	16,89	0,146	71,260
11,08	0,00	24,52	113,2	0,884	2,08	17,08	0,145	76,878
12,03	0,00	25,33	124,0	0,806	2,28	17,28	0,144	82,493
12,98	0,00	26,12	134,8	0,742	2,48	17,48	0,144	88,103
13,95	0,00	26,90	145,7	0,686	2,67	17,67	0,143	93,716
Cumulative travel time = 93.716 sec								

Πίνακας 61 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=50$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,56	1,0	100	0,05	0,05	13,429	0,000
0,00	0,00	26,56	1,0	100	0,05	0,05	13,429	0,0001
0,03	0,00	25,25	3,5	28,9	0,19	0,19	3,455	0,234
0,13	0,00	23,94	6,0	16,6	0,34	0,34	1,907	0,764
0,28	0,00	22,63	8,5	11,8	0,49	0,49	1,268	1,615
0,51	0,00	21,34	10,8	9,23	0,64	0,64	0,903	2,832
0,82	0,00	20,06	12,9	7,75	0,81	0,81	0,654	4,496
1,23	0,00	18,82	14,5	6,88	0,98	0,98	0,458	6,756
1,83	0,00	17,65	17,9	5,60	1,33	1,33	0,227	10,190
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
2,70	0,00	16,91	28,4	3,52	0,85	15,85	0,019	16,557
Maximum jet height has been reached								
4,08	0,00	17,16	35,0	2,85	0,94	15,94	0,051	29,903
5,10	0,00	17,98	44,2	2,26	0,99	15,99	0,101	38,281
6,05	0,00	18,89	54,1	1,85	1,11	16,11	0,124	45,313
6,99	0,00	19,80	64,6	1,55	1,27	16,27	0,135	51,812
7,94	0,00	20,71	75,4	1,33	1,44	16,44	0,140	58,072
8,90	0,00	21,61	86,5	1,16	1,63	16,63	0,142	64,196
9,87	0,00	22,49	97,7	1,02	1,83	16,83	0,143	70,252
10,86	0,00	23,36	109,0	0,918	2,02	17,02	0,143	76,263
11,86	0,00	24,21	120,4	0,831	2,23	17,23	0,143	82,256
12,86	0,00	25,06	131,8	0,759	2,43	17,43	0,143	88,236
13,88	0,00	25,89	143,3	0,698	2,64	17,64	0,142	94,211
14,91	0,00	26,70	154,7	0,646	2,85	17,85	0,141	100,18
Cumulative travel time = 100.18 sec								

Πίνακας 62 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=55$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,57	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,57	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,19	3,7	27,2	0,20	0,20	3,470	0,241
0,13	0,00	23,82	6,5	15,4	0,35	0,35	1,900	0,798
0,30	0,00	22,45	9,2	10,9	0,51	0,51	1,259	1,696
0,54	0,00	21,10	11,7	8,53	0,67	0,67	0,895	2,982
0,87	0,00	19,76	14,0	7,14	0,84	0,84	0,647	4,743
1,31	0,00	18,46	15,8	6,32	1,03	1,03	0,454	7,137
1,94	0,00	17,23	19,5	5,14	1,39	1,39	0,228	10,747
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
2,86	0,00	16,43	31,1	3,22	0,92	15,92	0,021	17,468
Maximum jet height has been reached								
4,30	0,00	16,64	37,7	2,65	1,03	16,03	0,044	31,367
5,39	0,00	17,47	47,2	2,12	1,08	16,08	0,096	40,427
6,41	0,00	18,40	57,6	1,74	1,20	16,20	0,120	47,954
7,41	0,00	19,35	68,5	1,46	1,36	16,36	0,132	54,883
8,41	0,00	20,30	79,8	1,25	1,54	16,54	0,137	61,522
9,42	0,00	21,23	91,4	1,09	1,73	16,73	0,140	68,009
10,45	0,00	22,15	103,1	0,97	1,94	16,94	0,141	74,409
11,49	0,00	23,05	114,9	0,87	2,14	17,14	0,142	80,760
12,55	0,00	23,94	126,8	0,79	2,35	17,35	0,141	87,083
13,61	0,00	24,81	138,8	0,72	2,57	17,57	0,141	93,396
14,68	0,00	25,68	150,8	0,66	2,79	17,79	0,140	99,694
15,77	0,00	26,53	162,8	0,61	3,00	18,00	0,140	105,99
Cumulative travel time = 105.99 sec								

Πίνακας 63 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=60$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,58	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,58	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,15	3,9	25,8	0,20	0,20	3,481	0,248
0,14	0,00	23,72	6,9	14,5	0,36	0,36	1,893	0,829
0,31	0,00	22,30	9,8	10,2	0,53	0,53	1,251	1,767
0,57	0,00	20,89	12,5	7,98	0,70	0,70	0,888	3,116
0,91	0,00	19,50	15,0	6,67	0,88	0,88	0,642	4,961
1,38	0,00	18,14	17,0	5,88	1,07	1,07	0,450	7,473
2,03	0,00	16,87	20,9	4,79	1,43	1,43	0,229	11,241
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
3,01	0,00	16,02	33,4	2,99	0,98	15,98	0,023	18,240
Maximum jet height has been reached								
4,49	0,00	16,18	40,2	2,49	1,12	16,12	0,039	32,645
5,65	0,00	17,02	50,0	2,00	1,15	16,15	0,092	42,305
6,72	0,00	17,98	60,7	1,65	1,28	16,28	0,117	50,275
7,76	0,00	18,96	72,0	1,39	1,44	16,44	0,129	57,577
8,82	0,00	19,93	83,7	1,19	1,63	16,63	0,135	64,560
9,88	0,00	20,90	95,7	1,04	1,83	16,83	0,138	71,364
10,96	0,00	21,84	107,9	0,92	2,03	17,03	0,139	78,069
12,05	0,00	22,78	120,2	0,83	2,25	17,25	0,140	84,716
13,15	0,00	23,70	132,5	0,75	2,47	17,47	0,140	91,335
14,26	0,00	24,60	145,0	0,69	2,69	17,69	0,140	97,928
15,39	0,00	25,49	157,4	0,63	2,92	17,92	0,139	104,51
16,52	0,00	26,37	169,9	0,58	3,14	18,14	0,139	111,09
Cumulative travel time = 111.09 sec								

Πίνακας 64 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=65$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,59	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,59	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,11	4,1	24,6	0,21	0,21	3,486	0,254
0,15	0,00	23,63	7,2	13,8	0,37	0,37	1,887	0,854
0,33	0,00	22,16	10,3	9,70	0,54	0,54	1,224	1,829
0,59	0,00	20,71	13,2	7,56	0,72	0,72	0,882	3,230
0,95	0,00	19,27	15,9	6,30	0,90	0,90	0,637	5,150
1,43	0,00	17,87	18,0	5,55	1,10	1,10	0,446	7,764
2,12	0,00	16,56	22,1	4,52	1,48	1,48	0,229	11,670
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
3,13	0,00	15,67	35,5	2,82	1,03	16,03	0,025	18,887
Maximum jet height has been reached								
4,66	0,00	15,80	42,3	2,36	1,19	16,19	0,036	33,730
5,87	0,00	16,65	52,4	1,91	1,22	16,22	0,088	43,902
6,98	0,00	17,63	63,4	1,58	1,34	16,34	0,114	52,263
8,07	0,00	18,63	75,1	1,33	1,51	16,51	0,126	59,885
9,17	0,00	19,63	87,1	1,15	1,70	16,70	0,133	67,156
10,27	0,00	20,61	99,5	1,01	1,91	16,91	0,136	74,235
11,39	0,00	21,59	112,0	0,893	2,12	17,12	0,138	81,204
12,52	0,00	22,55	124,7	0,802	2,34	17,34	0,139	88,108
13,66	0,00	23,49	137,4	0,728	2,57	17,57	0,139	94,971
14,82	0,00	24,42	150,2	0,666	2,80	17,80	0,139	101,81
15,98	0,00	25,33	163,1	0,613	3,03	18,03	0,138	108,64
17,16	0,00	26,24	176,0	0,568	3,26	18,26	0,138	115,46
Cumulative travel time = 115.46 sec								

Πίνακας 65 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=70$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,60	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,60	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,08	4,2	23,8	0,21	0,21	3,492	0,259
0,15	0,00	23,56	7,5	13,3	0,38	0,38	1,881	0,876
0,34	0,00	22,05	10,7	9,31	0,55	0,55	1,239	1,880
0,61	0,00	20,56	13,8	7,24	0,74	0,74	0,877	3,325
0,98	0,00	19,09	16,6	6,03	0,93	0,93	0,633	5,307
1,48	0,00	17,65	18,9	5,30	1,13	1,13	0,443	8,003
2,19	0,00	16,31	23,2	4,31	1,51	1,51	0,229	12,027
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
3,22	0,00	15,39	37,2	2,69	1,08	16,08	0,027	19,410
Maximum jet height has been reached								
4,80	0,00	15,49	44,2	2,26	1,25	16,25	0,033	34,622
6,05	0,00	16,34	54,4	1,84	1,28	16,28	0,085	45,221
7,20	0,00	17,33	65,7	1,52	1,40	16,40	0,111	53,894
8,33	0,00	18,36	77,6	1,29	1,57	16,57	0,124	61,789
9,45	0,00	19,38	90,0	1,11	1,76	16,76	0,131	69,301
10,59	0,00	20,38	102,6	0,97	1,97	16,97	0,135	76,607
11,74	0,00	21,38	115,4	0,87	2,16	17,19	0,137	83,792
12,91	0,00	22,36	128,4	0,78	2,42	17,42	0,138	90,906
14,09	0,00	23,32	141,5	0,71	2,65	17,65	0,138	97,975
15,27	0,00	24,27	154,6	0,65	2,88	17,88	0,138	105,01
16,47	0,00	25,20	167,8	0,60	3,12	18,12	0,137	112,04
17,68	0,00	26,13	181,0	0,55	3,36	18,36	0,137	119,06
Cumulative travel time = 119.06 sec								

Πίνακας 66 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=75$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,60	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,60	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,05	4,3	23,2	0,21	0,21	3,493	0,263
0,15	0,00	23,51	7,8	12,9	0,39	0,39	1,877	0,893
0,35	0,00	21,97	11,1	9,02	0,56	0,56	1,234	1,920
0,62	0,00	20,44	14,3	7,01	0,75	0,75	0,874	3,399
1,01	0,00	18,94	17,2	5,83	0,95	0,95	0,630	5,430
1,52	0,00	17,48	19,6	5,11	1,15	1,15	0,441	8,192
2,24	0,00	16,11	24,0	4,16	1,54	1,54	0,229	12,306
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
3,30	0,00	15,17	38,6	2,59	1,11	16,11	0,028	19,812
Maximum jet height has been reached								
4,90	0,00	15,24	45,6	2,19	1,30	16,30	0,031	35,316
6,19	0,00	16,10	56,0	1,79	1,33	16,33	0,083	46,246
7,37	0,00	17,11	67,5	1,48	1,45	16,45	0,110	55,179
8,52	0,00	18,14	79,6	1,26	1,62	16,62	0,123	63,282
9,68	0,00	19,18	92,2	1,08	1,81	16,81	0,130	70,982
10,84	0,00	20,20	105,0	0,952	2,03	17,03	0,134	78,463
12,02	0,00	21,21	118,1	0,847	2,25	17,25	0,136	85,817
13,21	0,00	22,21	131,3	0,761	2,48	17,48	0,137	93,098
14,42	0,00	23,19	144,7	0,691	2,71	17,71	0,137	100,33
15,63	0,00	24,15	158,0	0,633	2,95	17,95	0,137	107,53
16,86	0,00	25,10	171,5	0,583	3,19	18,19	0,137	114,71
18,09	0,00	26,04	185,0	0,541	3,44	18,44	0,136	12,188
Cumulative travel time = 121.188 sec								

Πίνακας 67 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=80$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,61	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,61	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,04	4,4	22,7	0,21	0,21	3,493	0,266
0,16	0,00	23,47	7,9	12,6	0,39	0,39	1,874	0,905
0,35	0,00	21,91	11,3	8,82	0,57	0,57	1,231	1,949
0,64	0,00	20,36	14,6	6,85	0,76	0,76	0,871	3,453
1,02	0,00	18,84	17,6	5,69	0,96	0,96	0,627	5,517
1,55	0,00	17,36	20,1	4,99	1,17	1,17	0,439	8,330
2,28	0,00	15,97	24,6	4,06	1,56	1,56	0,229	12,509
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
3,35	0,00	15,01	39,6	2,53	1,14	16,14	0,029	20,097
Maximum jet height has been reached								
4,98	0,00	15,07	46,7	2,14	1,34	16,34	0,029	35,812
6,29	0,00	15,93	57,2	1,75	1,36	16,36	0,082	46,983
7,49	0,00	16,94	68,8	1,45	1,48	16,48	0,108	56,092
8,67	0,00	17,99	81,1	1,23	1,65	16,65	0,122	64,381
9,84	0,00	19,04	93,8	1,07	1,85	16,85	0,129	72,187
11,02	0,00	20,07	106,8	0,93	2,06	17,06	0,133	79,797
12,22	0,00	21,09	120,1	0,83	2,29	17,29	0,135	87,273
13,43	0,00	22,10	133,4	0,75	2,52	17,52	0,136	94,669
14,65	0,00	23,09	146,9	0,68	2,76	17,76	0,137	102,01
15,89	0,00	24,07	160,5	0,63	3,00	18,00	0,137	109,33
17,13	0,00	25,03	174,1	0,57	3,25	18,25	0,136	116,62
18,38	0,00	25,98	187,8	0,53	3,49	18,49	0,136	123,90
Cumulative travel time = 123.90 sec								

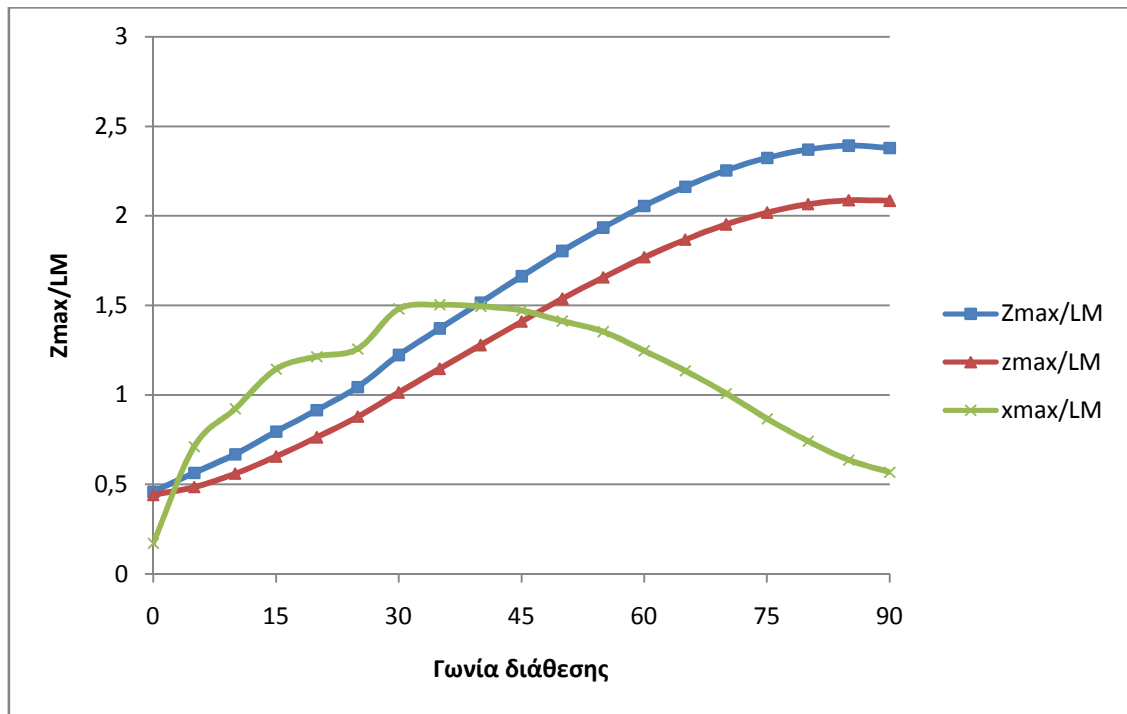
Πίνακας 68 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=85$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,61	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,61	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,02	4,5	22,5	0,22	0,22	3,494	0,267
0,16	0,00	23,44	8,0	12,5	0,39	0,39	1,872	0,913
0,36	0,00	21,87	11,5	8,70	0,57	0,57	1,229	1,966
0,64	0,00	20,31	14,8	6,75	0,76	0,76	0,869	3,485
1,04	0,00	18,78	17,8	5,61	0,97	0,97	0,626	5,570
1,56	0,00	17,28	20,4	4,91	1,18	1,18	0,438	8,411
2,30	0,00	15,89	25,0	4,00	1,57	1,57	0,228	12,630
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
3,38	0,00	14,92	40,2	2,49	1,15	16,15	0,029	20,271
Maximum jet height has been reached								
5,03	0,00	14,97	47,3	2,11	1,36	16,36	0,028	36,107
6,35	0,00	15,83	57,9	1,73	1,38	16,38	0,081	47,430
7,57	0,00	16,85	69,6	1,44	1,50	16,50	0,108	56,647
8,75	0,00	17,90	81,9	1,22	1,67	16,67	0,121	64,994
9,94	0,00	18,95	94,8	1,06	1,87	16,87	0,129	72,915
11,13	0,00	20,00	107,9	0,927	2,09	17,09	0,133	80,601
12,34	0,00	21,02	121,2	0,825	2,31	17,31	0,135	88,151
13,56	0,00	22,04	134,7	0,742	2,55	17,55	0,136	95,618
14,80	0,00	23,03	148,3	0,674	2,79	17,79	0,136	103,03
16,04	0,00	24,01	162,0	0,617	3,03	18,03	0,136	110,41
17,30	0,00	24,98	175,7	0,569	3,26	18,28	0,136	117,77
18,56	0,00	25,94	189,5	0,528	3,53	18,53	0,136	125,12
Cumulative travel time = 125.12 sec								

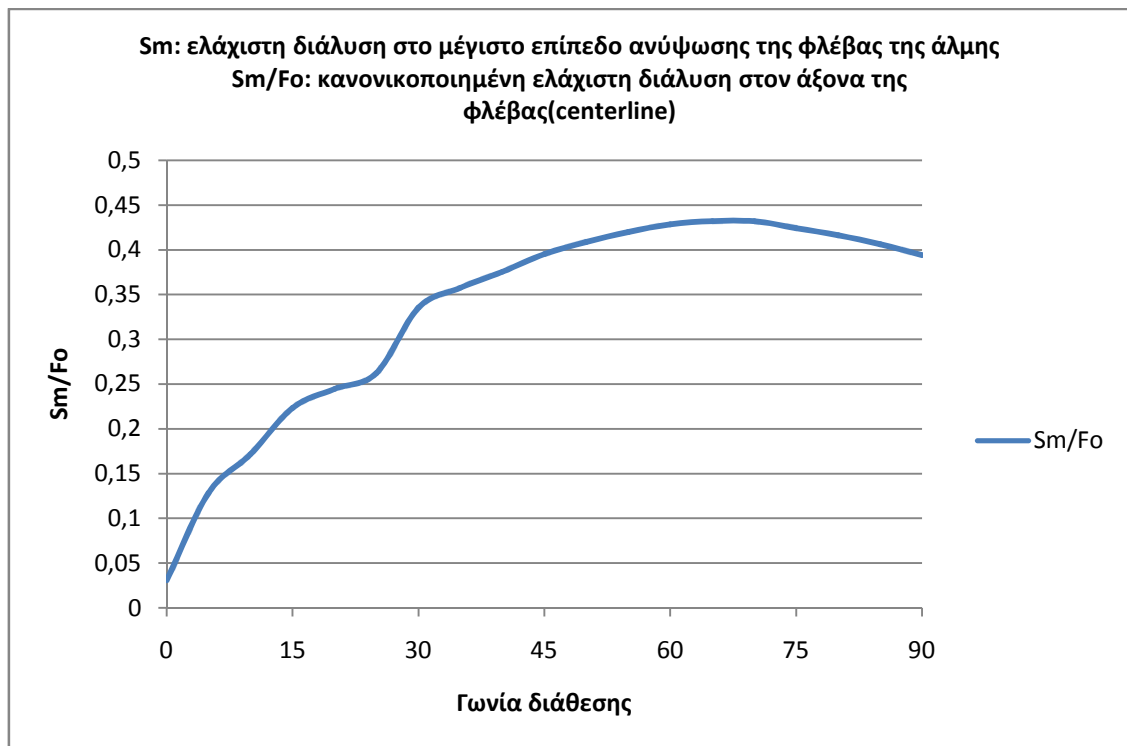
Πίνακας 69 Αποτελέσματα CORMIX για γωνία ακροφυσίων διάθεσης $\theta=90$

x (m)	y (m)	z (m)	S	C (%)	BV	BH	Uc (m/s)	TT (sec)
0,00	0,00	26,61	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,00
0,00	0,00	26,61	1,0	100	0,04	0,04	13,429	0,0001
0,04	0,00	25,02	4,5	22,4	0,22	0,22	3,495	0,268
0,16	0,00	23,44	8,1	12,4	0,39	0,39	1,872	0,915
0,36	0,00	21,86	11,5	8,66	0,58	0,58	1,229	1,972
0,64	0,00	20,30	14,9	6,72	0,77	0,77	0,869	3,496
1,04	0,00	18,76	17,9	5,58	0,97	0,97	0,626	5,589
1,57	0,00	17,26	20,5	4,89	1,18	1,18	0,438	8,439
2,31	0,00	15,86	25,1	3,98	1,57	1,57	0,228	12,673
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume								
3,39	0,00	14,88	40,4	2,48	1,16	16,16	0,029	20,324
Maximum jet height has been reached								
5,04	0,00	14,93	47,5	2,11	1,36	16,36	0,028	36,206
6,37	0,00	15,79	58,1	1,72	1,39	16,39	0,081	47,575
7,59	0,00	16,81	69,8	1,43	1,51	16,51	0,107	56,826
8,78	0,00	17,87	82,2	1,22	1,68	16,68	0,121	65,208
9,97	0,00	18,93	95,1	1,05	1,88	16,88	0,129	73,155
11,17	0,00	19,97	108,2	0,92	2,09	17,09	0,133	80,865
12,38	0,00	21,00	121,6	0,82	2,32	17,32	0,135	88,443
13,61	0,00	22,01	135,1	0,74	2,56	17,56	0,136	95,931
14,84	0,00	23,01	148,8	0,67	2,80	17,80	0,136	103,37
16,09	0,00	24,00	162,5	0,61	3,04	18,04	0,136	110,78
17,35	0,00	24,97	176,3	0,56	3,29	18,29	0,136	118,16
18,62	0,00	25,93	190,1	0,52	3,54	18,54	0,136	125,53
Cumulative travel time = 125.53 sec								

Τα αντίστοιχα διαγράμματα που περιέχουν στοιχεία (καμπύλες) από τη χρήση του μοντέλου CORMIX για την προσομοίωση της φλέβας της άλμης για αυτή την επιλογή διαχυτή φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.

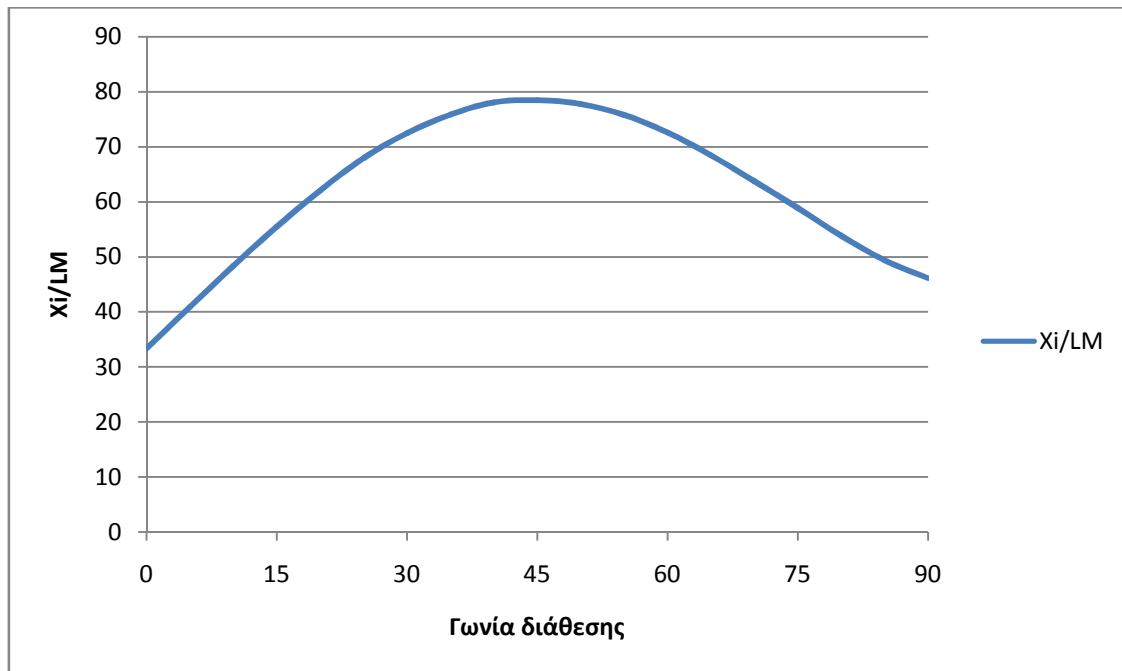


Εικόνα 31. Χαρακτηριστικά της φλέβας της άλμης στο μέγιστο ύψος ανύψωσης

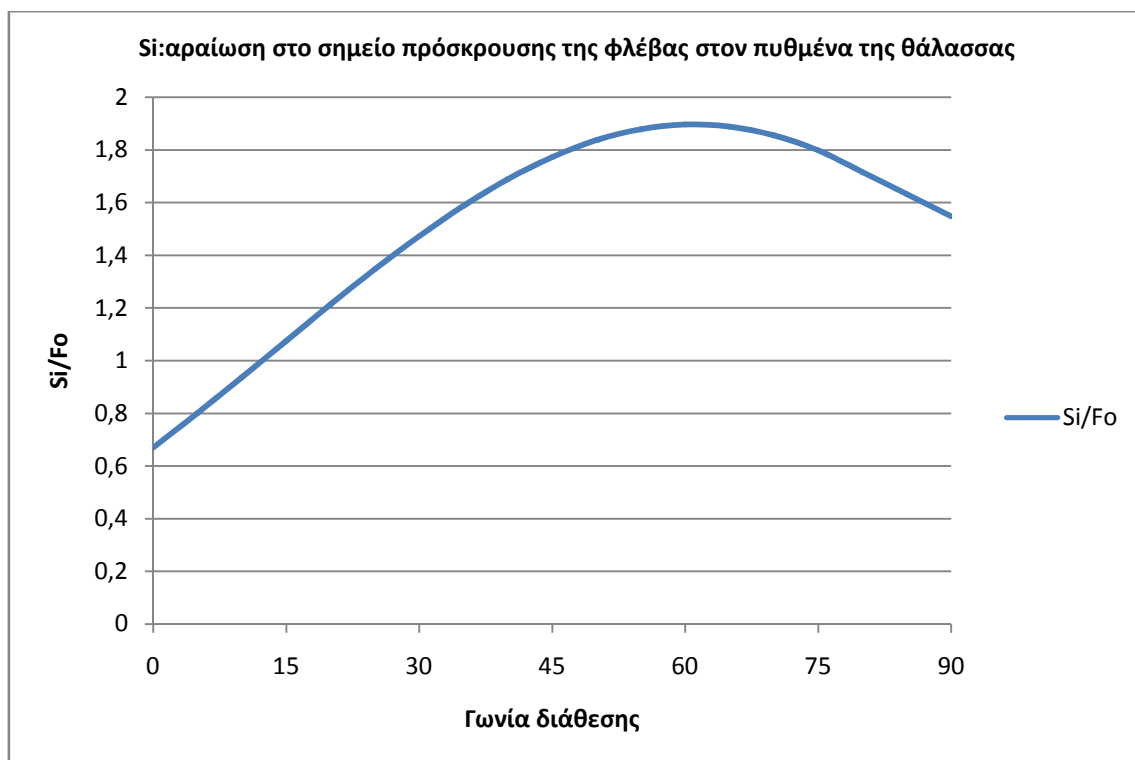


Εικόνα 32. Διάλυση στον άξονα της φλέβας για διάφορες γωνίες διάθεςης

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της φλέβας της άλμης (θέση και επιτυγχανόμενη αραιώση) στο σημείο πρόσκρουσης της στον πυθμένα της θάλασσας για κλίση πυθμένα $\theta=12^\circ$.



Εικόνα 33. Θέση σημείου πρόσκρουσης του άξονα της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης



Εικόνα 34. Αραίωση της φλέβας της άλμης για διάφορες γωνίες κλίσης του αγωγού διάθεσης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της φλέβας στο τέλος του πεδίου μίξης της κοντινής περιοχής (end of near-field mixing region).

γωνία αγωγού εκροής θ	x (m)	y (m)	z (m)	απόσταση από το σημείο εκροής L (m)	διάλυση S	υπερβάλλουσα αλατότητα C (%)	αλατότητα (ppt)
0,00	4,96	-14,21	-31,04	15,58	60,50	1,65	38,63
5,00	6,28	-15,45	-31,05	17,16	72,30	1,38	38,52
10,00	7,67	16,43	31,00	60,77	84,60	1,18	38,45
15,00	9,08	-17,17	-30,91	19,81	97,10	1,03	38,39
20,00	10,51	-17,65	-30,80	20,89	109,60	0,91	38,35
25,00	11,93	-17,88	-30,67	21,81	121,70	0,82	38,31
30,00	13,24	-17,82	-30,46	22,47	133,00	0,75	38,29
35,00	14,46	-17,51	-30,23	22,94	143,40	0,70	38,26
40,00	15,59	-16,96	-29,99	23,23	152,60	0,66	38,25
45,00	16,52	-16,14	-29,66	23,25	160,10	0,62	38,24
50,00	17,34	15,10	29,35	60,86	165,90	0,60	38,23
55,00	17,99	-13,84	-29,01	22,79	169,70	0,59	38,22
60,00	18,46	-12,36	-28,66	22,28	171,30	0,58	38,22
65,00	18,74	-10,70	-28,30	21,62	170,60	0,59	38,22
70,00	18,84	-8,86	-27,92	20,84	167,60	0,60	38,23
75,00	18,79	-6,86	-27,56	20,01	162,40	0,62	38,23
80,00	18,55	-4,70	-27,16	19,14	155,00	0,64	38,24
85,00	18,17	-2,40	-26,74	18,33	147,40	0,68	38,26
90,00	17,71	0,00	-26,31	17,72	139,80	0,72	38,27

Βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη διάλυση επιτυγχάνεται για γωνία του αγωγού διάθεσης 60° ως προς την οριζόντιο.

8.4.4. Σύγκριση επιλογής A και B

Όπως παρατηρούμε από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δύο επιλογών, η επιλογή B (διαχυτής πολλαπλών ακροφυσίων) είναι κατά πολύ ανώτερη από τεχνικής άποψης. Για γωνία του αγωγού εκροής ως προς την οριζόντιο ίση με 60° που επιλέχθηκε και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούμε τεράστια διαφορά στα αποτελέσματα. Η δάλυση στο τέλος του πεδίου μίξης της κοντινής περιοχής στην πρώτη περίπτωση, δηλαδή στην απλή απόληξη αγωγού είναι 17,4/1 και αλατότητα 40,19 ppt σε απόσταση 10,2 m. Αντίστοιχα στη δεύτερη περίπτωση, στο διαχυτή πολλαπλών ακροφυσίων, στο τέλος του πεδίου μίξης έχουμε διάλυση 171,3/1 και αλατότητα 38,22 ppt σε απόσταση 22,3 m.

Προφανώς είναι καλύτερη επιλογή ο διαχυτής πολλαπλών ακροφυσίων με τον οποίο επιτυγχάνουμε αλατότητα στο τέλος του πεδίου μίξης λίγο πάνω από την αλατότητα περιβάλλοντος η οποία είναι 38 ppt. Όμως και ο αγωγός απλής απόληξης μας δίνει αλατότητα στο τέλος του πεδίου μίξης 40,2 ppt η οποία είναι κάτω από το επιτρεπτό όριο επιβίωσης της θαλάσσιας χλωρίδας και πανίδας. Οπότε δεν θα πρέπει να απορίψουμε την επιλογή αυτή ιδιαίτερος αν σκεφτούμε ότι το κόστος κατασκευής θα είναι αρκετά μικρότερο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9. Συμπεράσματα - προτάσεις

Σύμφωνα με όσα εκτέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, η αφαλάτωση είναι πραγματικά μια λύση στο αδιέξοδο του υδατικού προβλήματος. Είναι μια λύση με την οποία αποφεύγονται σημαντικές επιπτώσεις από την έλλειψη του νερού, ο άνθρωπος μπορεί να ζήσει κάτω από συνθήκες υγιεινής, χωρίς να στερείται έναν φυσικό πόρο που έχει καθοριστικό ρόλο στην επιβίωση του.

Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος της αφαλάτωσης θα μπορούσε να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού, υπάρχουν κάποιες επιπτώσεις.

Θα πρέπει να μπορέσουμε να αμβλύνουμε τις επιπτώσεις που υπάρχουν από τις μονάδες αφαλάτωσης με την εκπόνηση μελετών σχετικά με την αναγκαιότητα των μονάδων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη λήψη ειδικών μέτρων και ρυθμίσεων τόσο κατά την εγκατάσταση όσο και κατά την επεξεργασία των μονάδων.

Για παράδειγμα θα πρέπει οι μονάδες να κτίζονται σε περιοχές μη κατοικημένες, περιοχές που δεν έχουν χρήση ψυχαγωγίας (θαλάσσιο μπάνιο, ψάρεμα κλπ.). Επίσης θα ήταν σκόπιμο οι μονάδες να βρίσκονται κοντά σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας, έτσι ώστε να αποφεύγεται το οικονομικό αλλά και το περιβαλλοντικό κόστος από την μεταφορά της ενέργειας.

Σημαντική παράμετρος επίσης είναι η εύκολη πρόσβαση του σταθμού στο δίκτυο διανομής του νερού για την κατανάλωση ώστε να αποφευχθεί το κόστος της μεταφοράς καθώς και το κόστος των εγκαταστάσεων που θα πρέπει να κατασκευαστούν για την μεταφορά του νερού.

Πρέπει να γίνεται επεξεργασία της άλμης και των χημικών ώστε να μην αποβάλλονται απευθείας στην θάλασσα και προκαλούν μόλυνση και καταστροφή στην θαλάσσια ζωή και στην παράκτια περιοχή.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι 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 υλοποίηση της, δημοτική ή κοινοτική επιχείρηση, ακόμα και το Δημόσιο.

Ο εξαιρετικά ενεργοβόρος χαρακτήρας των μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης, δυναμικότητας παραγωγής νερού μεγαλύτερης των 2.000 m³ ημερησίως, επιβάλλει την προσφυγή σε τοπικές εγκαταστάσεις ΑΠΕ για την ενεργειακή τους τροφοδοσία. Σε αντίθετη περίπτωση και μόνο εξαιτίας αυτού, το γενικότερο περιβαλλοντικό ισοζύγιο προκύπτει έντονα αρνητικό.

Τα αλμόλοιπα της εγκατάστασης συνιστούν παράγοντα έντονης όχλησης και εύλογης επικινδυνότητας στην περιοχή διάθεσης τους (ιζηματογενέσεις, αύξηση αλατότητας, επικίνδυνες ουσίες από την παραγωγική διαδικασία, θερμοκρασία). Εάν το υδραυλικό τους φορτίο είναι υψηλό (π.χ. μεγαλύτερο των 2.000 m³/ημέρα) η θαλάσσια περιοχή εκβολής τους είναι σχετικά αβαθής, με μέτριας ή χαμηλής ταχύτητας ρεύματα (π.χ. κόλποι), στοιχεία εν γένει αποτρεπτικά για την κατασκευή της μονάδας, τότε η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου θα πρέπει να εξετάσει διεξοδικά τους βιοτικούς παράγοντες της ευρύτερης θαλάσσιας περιοχής και της επιπτώσεις των αλμόλοιπων σ' αυτούς. Τούτο ισχύει κατά μείζονα λόγο, όταν η μη διατάραξη του θαλάσσιου οικοσυστήματος της περιοχής επιβάλλεται και για λόγους προστασίας της παραδοσιακής παράκτιας αλιείας.

Λόγω της ιδιαίτερης σημασίας των πιο πάνω επιπτώσεων των αλμολοίπων, θα πρέπει να διερευνώνται με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων διασποράς που να είναι αντιπροσωπευτικά των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος διάχυσης (βάθος και ρεύματα περιοχής, φυσικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού, στάθμη των σημείων εκβολής από τους διαχυτές, φυσικά χαρακτηριστικά και αλατότητα αλμολοίπων κλπ.).

Ιδιαίτερο βάρος θα πρέπει να δίνεται στην εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων επί του υπάρχοντος βιοτικού συστήματος κατά τη φάση κατασκευής των αγωγών εισρόφησης του θαλασσινού νερού και απόρριψης των αλμολοίπων. Θα πρέπει, επίσης, να εξετάζεται υπό τις πραγματικές, κάθε φορά συνθήκες, η επίπτωση που θα έχει στο συγκεκριμένο θαλάσσιο οικοσύστημα η αναπόφευκτη καταστροφή του ζωικού και φυτικού πλανκτόν, ωαρίων, γόνου και άλλων μικρών οργανισμών, που εισροφούνται προς τη μονάδα αφαλάτωσης, σε σχέση με τη δυνατότητα φυσικής ανανέωσης των πιο πάνω βιοτικών παραγόντων.

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 ως λύση.

Όσον αφορά την μονάδα αφαλάτωσης στο Κρανίδι που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία παρατηρούνται τα εξής:

- 1) Αποδέκτης. Η διάθεση της άλμης μπορεί να γίνει στα παράκτια νερά της περιοχής μελέτης.
- 2) Θέση. Η θέση που προτείνεται από τον μελετητή πληροί τα κριτήρια σε ικανοποιητικό βαθμό, σύμφωνα με τους υπολογισμούς και το μοντέλο που πραγματοποιήθηκαν κατά τη για την εργασία αυτή.
- 3) Βάθος και απόσταση διάθεσης από την ακτή. Το βάθος διάθεσης των 30 μέτρων και η απόσταση από την ακτή των 132 m που προτείνονται θεωρούνται ικανοποιητικά.
- 4) Διάταξη διάθεσης. Ο σχεδιασμός και κατασκευή της διάταξης διάθεσης θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή αραίωση με αποτέλεσμα η τοπική τιμή της αλατότητας να μην υπερβαίνει μια μέγιστη τιμή σε σχέση με την τιμή περιβάλλοντος (μετρήθηκε της τάξης των 38 ppt). Η μέγιστη τιμή που τίθεται σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι της τάξης των 40 ppt.

Προτείνεται επίσης να καθοριστεί μια ζώνη ασφαλείας ακτίνας 30 m (αν και στην πραγματικότητα η ζώνη ανάμιξης είναι αισθητά μικρότερη). Η τήρηση της μέγιστης τιμής αλατότητας στο όριο της ζώνης αυτής θα πρέπει να περιλαμβάνεται και στο αντικείμενο της παρακολούθησης του έργου.

Όσον αφορά τη συγκεκριμένη περίπτωση, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που έδωσε η εφαρμογή του μοντέλου μετά την διερεύνηση που έγινε παρατηρούνται τα εξής:

- Η πρώτη επιλογή (επιλογή Α) αφορούσε αγωγό απλής απόληξης δηλαδή απλό σωλήνα διατομής 0,3 m² ο οποίος καταλήγει χωρίς κάποια ειδική διαμόρφωση. Έγινε βελτιστοποίηση ως προς την γωνία διάθεσης του αγωγού, ως προς την οριζόντιο, και παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερη διάλυση, δηλαδή μικρότερη αλατότητα στο τέλος της ζώνης ανάμιξης, πραγματοποιείται για γωνία αγωγού διάθεσης 60° ως προς την οριζόντιο. Η τιμή της αλατότητας είναι 40,19 ppt και επιτυγχάνεται σε απόσταση 10,20 m από το σημείο εκροής. Παρόλο που η τιμή είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από το όριο που έχει τεθεί (40 ppt) είναι ικανοποιητική καθώς επιτυγχάνεται σε σχετικά μικρή απόσταση (πολύ κάτω από το όριο των 30m).
- Στη συνέχεια έγινε διερεύνηση ως προς τις ανεμολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Συγκεκριμένα για ταχύτητες ανέμου 1-10 m/s. Παρατηρήθηκε ότι για όλο το εύρος τιμών ταχύτητας του ανέμου η αλατότητα στο τέλος της ζώνης ανάμιξης δεν ξεπερνά σε καμία περίπτωση τα 40,63 ppt.

- Η δεύτερη επιλογή (επιλογή Β) αφορούσε απόληξη τύπου διαχυτή πολλαπλών ακροφυσίων. Συγκεκριμένα για διαχυτή μήκους 30 m και 4 ανοιγμάτων τοποθετημένο παράλληλα στην ακτογραμμή σε απόσταση 132 m. Τα ακροφύσια του αγωγού είναι τοποθετημένα κάθετα στον διαχυτή, στην διεύθυνση του κυρίως αγωγού. Σύμφωνα με την βελτιστοποίηση που έγινε ως προς την γωνία διάθεσης παρατηρείται ότι η μικρότερη τιμή της αλατότητας στο τέλος της ζώνης ανάμιξης πραγματοποιείται για γωνία διάθεσης 60° και είναι 38,22 ppt και σε απόσταση 22,28 m, δηλαδή λίγο υψηλότερη από την αλατότητα του αποδέκτη (θάλασσα).

Παρατηρείται ότι η επιλογή Β είναι κατά πολύ ανώτερη από τεχνικής άποψης καθώς παρατηρείται μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα, για την ίδια γωνία διάθεσης. Προφανώς είναι καταλληλότερη η επιλογή Β, όμως ίσως δεν θα πρέπει να απορρίψουμε και την περίπτωση Α ιδίως αν λάβουμε υπόψη μας ότι είναι κατά πολύ οικονομικότερη λύση.

- 5) Χαρακτηριστικά της άλμης στην έξοδο της εγκατάστασης. Η άλμη από την εγκατάσταση αφαλάτωσης θα πρέπει να έχει χαρακτηριστικά που δεν προκαλούν πρακτικά περιβαλλοντική επιβάρυνση στον αποδέκτη. Για το λόγο αυτό, αλλά και για λόγους ικανοποίησης της υφιστάμενης νομοθεσίας (π.χ παλιές υγειονομικές διατάξεις), θα πρέπει οι συγκεντρώσεις των χαρακτηριστικών της άλμης να ικανοποιούν τα κριτήρια που αναφέρονται συνήθως στις υφιστάμενες περιπτώσεις χαρακτηρισμού αποδέκτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdel-Jawad M., Al-Tabtabaei M., (1999) *Impacts of current power generation and water desalination activities on kuwaiti marine environment*. IDA San Diego Proceedings.
2. Ahmed M., Shayya W.H., Hoey D., Mahendran A., Morris R., Al-Handaly J., (2000) *Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants*. Desalination 130 pp. 155-168.
3. Al-Awadhi F.M.A. (1999) *The year of the ocean and its crucial importance to the Gulf*. Desalination 123 pp. 127-133.
4. Al-Gobaisi D. M. K.(1994) *A quarter-century of seawater desalination by large multistage flash plants in Abu Dhabi (Plant performance analysis, assessment, present efforts toward enhancement and future hopes)*. Desalination 99 pp. 509-512.
5. Al-Mutaz I. S., Al-Mojjly A., Abashar M. E., (2006) *Thermal and brine Dispersion from coastal MSF desalination plants*. 4th International conference on marine wastewater discharges and coastal environment (MWWP) Antalya Turkey.
6. Coutant C. (1992) *Biological aspects of thermal pollution. Entrainment and discharge canal effects*. pp.341-381.
7. Danoun Rashad (2007) *Potential impacts of brine discharge on marine life* pp. 1-17.
8. Del Bene J.V., Jirka G. and Largier J. (1994) *Ocean brine disposal*. Desalination 97 pp. 365-372.
9. Einvan R. Harussi. K, Perry. D.(2002) *The footprint of the desalination processes on the enviroment*. Desalination 152 pp. 141-154.
10. Finan M.A., Smith S., Evans C.K., Muir J.W.H., Belgard® EV (1989) *15 years' experience in scale control*. Desalination 73 pp. 341-357.
11. Fisher H. B., Kosh E. J., Imberger R.C.Y., Brooks N.H. (1979) *Mixing in inland and coastal waters*.
12. Glueckstern Dr. Pinhas (2001) *Desalination: Current situation and future prospects*.
13. GWI, Global Water Intelligence (2006) *The 19th IDA World Wide Desalination Plant Inventory*. Global Information.
14. Hassan A., Al-Sum E.A. and Aziz S. (1994) *Storage and retrieval of corrosion data of desalination plant owners*. Desalination 97 pp. 131-146.

15. Hoepner T. (1999) *A procedure for environmental impact assessement (EIA) for seawater desalination plants*. Desalination 124 pp. 1-12.
16. Hoepner T., Latteman S., (2002) *Chemicals impacts from seawater desalination plants- a case study of the northern Red Sea*. Desalination 152 pp. 133-140.
17. Hoepner T., Latteman S., (2003) *Seawater desalination: Impacts of brine and chemical discharge on the marine environment* Balaban Desalination Publications.
18. IEG, Independent Expert Group (2008) *Advise on the desalination project environment effects statements (EES)*
19. Iso S., Suizu S., Maejima A., (1994) *The lethal effect of hypertonic solution and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from a desalination plant*. Desalination 97 pp. 389-399.
20. Jenkins SA., Wasyl D.J. (2005) *Oceanographic considerations for desalination plants in southern California coastal waters*.
21. Jenkins SA. (2006) *Brine concentration and dilution, "Developing a Tool to Guide State and Local desalination planning:A Comprehensive Economic and Environmental Framework to fully Acces the Benefits and Costs of Desalination*. California.
22. Jensen L., Davies R., Brooks A., Meyers C., (1992) *The effects of elevated temperatures upon aquatic invertebrates*. Cooling water research project.
23. Jirka G. H., Doneker R. L., Nash J. D., (2007) *CORMIX User Manual: a Hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters*. MixZon Inc..
24. Jirka H., Bleninger T., (2008) *Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants*. Desalination 221 pp. 585-597.
25. Kennish M.J. (1994) *Practical Handbook of marine Science*.
26. Khordagui H. (1997) *Environmental aspects of brine reject from desalination industry in the ESCWA region. Groundwater recharge from treated wastewater*.
27. Laane R.W.P.M. (1992) *Concentrations of Natural Compounds in Rivers, Sea Water, Atmosphere and Mussels*. The Hague p. 84.
28. Madany A.M., Altayaran I.M. (1992) *Impact of a desalination plant on the physical and chemical properties of seawater*. Water Research 26 pp. 435-441.
29. Michels T. (1992) *Arabian Gulf Regional Water Desalination Symposium*.
30. Michels T. (1995) *Desalination and water reuse*. Desalination 2 p. 46.
31. Mickley M. *Environmental considerations for the disposal of desalination concentrates*. IDA. Abu Dhabi Proceedings. vol. VII.

32. Mickley M. (2001) *Membrane concentrate disposal: Practices and regulation* Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 69.
33. Miller James E. (2003) *Review of water resources and desalination technologiess.*
34. Morton A.J., Callister I.K., Wade N.M. (1996) *Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes.* Desalination 108 pp. 1-10.
35. Nash J. D. (1995) *Buoyant discharges into into reversing ambient current.*
36. Niepelt Anne (2007) *Development of interfaces for the coupling of hydrodynamic models for brine discharges from desalination plants.* pp. 1-15.
37. Niepelt Anne, Bleninger Tobias, Jirka Gerhard (2008) *Desalination Brine discharge modelling - Coupling of Hydrodynamic Models for Brine Discharge analysis.*
38. Purnama A., Al-Barwania H.H., Smith R., (2005) *Calculating the environmental cost of seawater desalination in the Arabian marginal seas.* Desalination 185 pp. 79-86.
39. Qdais H., Abu A., *Environmental impacts of desalination plants on the arabian gulf* IDA. San Diego Proceedings. vol. III
40. Reimold R. J., Loland-McLaughlin G., Bloetscher F., (1996) *An innovate opportunity for water reuse.* Florida water resources.
41. Roberts P. J. W., Ferrier A., Daviero G. (1997) *Mixing in the inclined dense jets J.* Hydraulic Engineering 123 pp. 693-699.
42. Sadhwani J. J., Veza M., Santana C., (2005) *Case studies on environmental impact of seawater desalination.* Desalination 185 pp. 1-8.
43. Safrai I., Zask A. (2005) *Reverse osmosis desalination plants — marine environmentalist regulator point of view.* Desalination 220 pp. 72-84.
44. Seegert G.L. (1979) *Observation on fish distribution below sewage treatment plants in relation to chlorinated effluents. Water chlorination-environmental impact and health effects.* Ann Arbor Science.
45. Shams El Din A.M., Shawki Aziz, Makkawi B., (1994) *Electricity and water production in the Emirate of Abu Dhabi and its impact on the environment.* Desalination 97 pp. 373-388.
46. Shiklomanov I.A. (2003) *World water resources at the beginning of the 21st century.* International Hydrology Series/UNESCO.
47. Squire D. (2000) *Reverse osmosis concentrate disposal in the UK.* Desalination 132 pp. 47-54.

48. Svensson M. (2005) *Desalination and the Environment: option and considerations for brine disposal in inland and coastal locations*. Department of Biometry and Engineering SLU.
49. Tawabini B., Khararjian H., Fayad N (1987) *Trihalomethanes (THMs) formation in a distillation process*. Desalination 66 pp. 403-414.
50. WHO, World Health Organization (2007) *Desalination for safe water supply, Guidance for health and environmental aspects applicable to desalination*. Public Health and the Environment.
51. Windelberg T., Hoepner J. (1997) *Elements of environmental impacts impact studies on coastal desalination plants*. Desalination 108 pp. 11-18.
52. www.istellas.gr/aquarium/aq_water_reverse_osmosis.html.
53. Αγγελάκη Ν. (2008) *Κλιματικές αλλαγές και υδατικοί πόροι: ανάγκη ανάπτυξης και χρήσης μη συμβατικών υδατικών πόρων*.
54. Βικιπαίδεια Online Encyclopedia: Wikipedia.
55. Κανενάκης Γ., Κατσαράκης Ν., Σαββάκης Ν. (2008) *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού*. ΤΕΙ Κρήτης Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών.
56. Μανωλάκος Δημήτρης (2009) *Συστήματα αφαλάτωσης στον νησιωτικό χώρο*.
57. Μουτάφης Παναγιώτης (2008) *Κάλυψη ζήτησης ενέργειας και νερού με αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο Σίκινο*. Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών.
58. ΤΑ ΝΕΑ, www.tanea.gr - 18/06/2007.
59. Τζεν Ε. (2001), *Μέθοδοι αφαλάτωσης - Συγκριτική Αξιολόγηση και εφαρμογές στα νησιά του Αιγαίου*. επιμ. ΚΑΠΕ.
60. Υπουργείο Γεωργίας Φυσικών πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου *Διυλιστήρια νερού και μονάδες αφαλάτωσης*