



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΕ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ



Μελέτη του επιπέδου ρύπανσης υπόγειων και παράκτιων υδάτων στην περιοχή Αγ Κυριακή Χαλέπα Χανίων



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πουλόπουλος Χρήστος

Επιβλέπων
Καθηγητής Γιώργος Σταυρουλάκης

ΧΑΝΙΑ 2016





ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΕ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ & ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Μελέτη του επιπέδου ρύπανσης υπόγειων και παράκτιων υδάτων στην περιοχή Αγ Κυριακή Χαλέπα Χανίων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πουλόπουλος Χρήστος

Επιβλέπων :

Σταυρουλάκης Γιώργος
Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης :

Κώττη Μελίνα
Επίκουρη Καθηγήτρια

Καλδέρης Δημήτρης
Καθηγητής Εφαρμογών

Ημερομηνία παρουσίασης

Αύξων Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας : 64

Περιεχόμενα

<u>Περίληψη</u>	Σελ. 5
-----------------------	--------

Κεφάλαιο 1

Παράμετροι ποιότητας υδάτων

Συγκέντρωση ιόντων_υδρογόνων ή pH.....	Σελ. 6
Θερμοκρασία.....	Σελ. 6
Αγωγιμότητα- ολικά στερεά.....	Σελ. 7
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)	Σελ. 7
Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	Σελ. 8
Μικροβιακό φορτίο.....	Σελ. 8

Καταστάσεις ρύπανσης- μόλυνσης του νερού

- Ρύπανση θρεπτικών- Ευτροφισμός

Πηγές του ευτροφισμού- πορεία και συσχέτιση με ανθρώπινες δράσεις.....	Σελ. 10
Συνέπειες ευτροφισμού.....	Σελ. 10
Εμφάνιση ευτροφισμού σε κλειστά συστήματα της Ελλάδας.....	Σελ. 12
Προέλευση των ουσιών-στοιχείων που συντελούν στο φαινόμενο.....	Σελ. 13
Παραδείγματα ευτροφικών γεγονότων και ρύπανσης θρεπτικών σε διάφορες περιοχές	Σελ. 15
Η περίπτωση του λιμένας της Γκάντια.....	Σελ. 16
Άλλες περιπτώσεις ρύπανσης και επίδρασης θρεπτικών.....	Σελ. 19

Μόλυνση υδάτων από μικροοργανισμούς

Γενικά για τους μικροοργανισμούς.....	Σελ. 22
Μικροβιακοί δείκτες.....	Σελ. 23
Θαλάσσια μόλυνση.....	Σελ. 24
Παραδείγματα μικροβιακής μόλυνσης.....	Σελ. 25
Η περιοχή του Αιγαίου πελάγους-επιβάρυνση από ποταμούς.....	Σελ. 25
Η περιοχή της νότιας Αδριατικής Θάλασσας- μικροβιακές ποικιλίες.....	Σελ. 28
Υδατική ποιότητα στην περιοχή της Καταλονίας.....	Σελ. 33
Το νησί Penang.....	Σελ. 35

Οργανική ρύπανση υδάτων

Οργανικές ενώσεις.....	Σελ. 39
Περιπτώσεις σχετικά με την οργανική ρύπανση νερών από κατηγορίες οργανικών ενώσεων.....	Σελ. 39
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες.....	Σελ. 39
Η περιοχή της Μασσαλίας.....	Σελ. 40
Άλλες περιπτώσεις οργανικής ρύπανσης.....	Σελ. 45

Κεφάλαιο 2

Μελέτη του επιπέδου ρύπανσης υπόγειων και παράκτιων υδάτων στην περιοχή Αγ Κυριακή Χαλέπα Χανίων

Εισαγωγή.....	Σελ. 48
Υλικά και Μέθοδοι.....	Σελ. 48
Παράμετροι προς μέτρηση και μεθοδολογία μετρήσεων.....	Σελ. 50
Αποτελέσματα και ανάλυση.....	Σελ. 54

Βιβλιογραφία	Σελ. 79
---------------------------	---------

Περίληψη

Ο αστικός ιστός, καθώς και οι λιμενικές δραστηριότητες, έχουν αποκτήσει κυρίαρχο ρόλο στην κατάσταση των υδάτινων εκτάσεων, όπως επίσης και λοιπές ενέργειες (εργατικές και αγροτικές ή βιομηχανικές ενέργειες). Παράλληλα επηρεάζονται οι ζώντες οργανισμοί και τα πλησιέστερα οικοσυστήματα, ενώ σημαντικότερος είναι και ο αντίκτυπος στην ανθρώπινη υγεία. Από την λανθασμένη και απερίσκεπτη διάθεση των αποβλήτων σωμάτων δεν αποφεύγεται και η υποβάθμιση των υδάτινων και άλλων σχετικών φυσικών πόρων, με την προσβολή της καταλληλότητας χρήσης τους. Αυτά τα αυξανόμενα συμπτώματα καταστροφής του φυσικού και ανθρώπινου περιβάλλοντος έχουν γίνει αφορμή για συστηματική και οργανωμένη μελέτη των φαινομένων ρύπανσης, μόλυνσης και υποβάθμισής των, καθώς και για διασκόπηση και παρακολούθηση των υφιστάμενων καταστάσεων διαφόρων περιοχών. Οι παραπάνω δραστηριότητες ασκούν αρνητική επιρροή και σε καίριες περιοχές ανθρώπινου ενδιαφέροντος, τις παράκτιες ζώνες. Αυτές οι συχνά πυκνοκατοικημένες περιοχές, που αφορούν ταυτόχρονα κέντρα υψηλού τουριστικού δυναμικού και δραστηριοτήτων αναψυχής, είναι αρκετά ευαίσθητες όσον αφορά την υποβάθμισή τους σε θέματα περιβαλλοντικών και υγειονομικών παραγόντων. Αυτό κάνει ακόμη πιο αναγκαία την προστασία τους, και συνεπώς τη συνεχή γνώση της κατάστασής τους. Στην παρούσα εργασία ερευνήσαμε τα επίπεδα ρύπανσης και κοπρανόδους μόλυνσης θαλάσσιων και υπόγειων υδάτων στην παράκτια ζώνη της Αγίας Κυριακής Χαλέπας Χανίων, με σκοπό την εκτίμηση της υγειονομικής κατάστασής τους και την απόκτηση ενός σημείου αναφοράς για τους οικολογικούς κινδύνους. Μετά από πρότερη βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου αναπτύξαμε το θέμα της εργασίας, αναλύσαμε τα αποτελέσματα δειγματοληψιών, οι οποίες διήρκεσαν από τις 12/3/2015 ως τις 13/10/2015, σε σημεία του λιμένος της Αγίας Κυριακής και στην πηγή της περιοχής.

Abstract

The town net, as well as port activities, have obtained predominant role in the water bodies' situation, as well as other activities (working and agricultural or industrial activities). In addition the living organisms and the neighboring ecosystems are affected, and there is a major influence in human health. From the wrong and thoughtless wastes' disposal, the impoverishment of water or other natural resources is also inevitable, through the offense of their usage suitability. These increasing natural and human environment destruction symptoms have been the cause of systematic and organized study of their pollution, contamination and impoverishment effects, and for investigation and observation of the existing conditions in the different areas. The above activities are also employing negative influence in major human interest areas, the coastal zones. These usually densely populated areas, that constitute centers of high tourism dynamic and recreation activities, are very sensitive in cases of impoverishment in environmental and health factors. That makes their protection, and therefore the continuous knowledge of their condition, even more necessary. In the present study we investigated the pollution and fecal contamination levels of sea and underground waters in the coastal zone of Agia Kyriaki Xalepa Xania, in order to determine their sanitary condition and to obtain of a reference point for the ecological risks. After a precedent review, in which we deployed the subject of the study, we analysed the results of the samplings, that started on 12/3/2015 and finished on 13/10/2015, in parts of the Agia Kyriaki harbor and the area's spring.

Κεφάλαιο 1

Παράμετροι ποιότητας υδάτων

Για τη σωστή εκτίμηση των περιβαλλοντικών καταστάσεων και κινδύνων και την αξιολόγηση της δυναμικότητας των ρύπων και μολυσματικών παραγόντων, έχει καθιερωθεί να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι που εκφράζουν ιδιότητες του νερού ως μίγματος ουσιών. Αυτές οι παράμετροι είτε υπήρχαν ανέκαθεν η εκ φύσεως, είτε απέκτησαν τη σημασία τους ως μάρτυρες της ποιότητας του νερού. Παρακάτω εκτίθενται οι σημαντικότεροι και πιο ευρείς από αυτούς.

Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνων ή pH

Το pH εκφράζει την συγκέντρωση των κατιόντων υδρογόνου. Ο υπολογισμός του γίνεται μέσω της μοριακότητας κατ' όγκο (γραμμομοίοντα ανά όγκο διαλύματος). Η δύναμη υδρογόνων όμως δεν ταυτίζεται με το προαναφερθέν μέγεθος αλλά με τον αρνητικό δεκαδικό του λογάριθμο. Δηλαδή αν η μοριακότητα κατ' όγκο συμβολιστεί ως $[H^+]$ τότε $pH = -\log[H]$, όπου το $[H^+]$ μετράται σε mol/L ή M.

Αντίστοιχα υπάρχει και η δύναμη υδροξυλίων ή **pOH** ($pOH = -\log[OH^-]$). Όταν το νερό είναι διαλύτης, υπάρχουν πάντα H^+ και OH^- και συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση $K_w = [H^+][OH^-]$, όπου $K_w = 10^{-14} M^2$. Με αρνητική λογαρίθμηση έχουμε $pH + pOH = 14$. Φυσικά, η K_w εξαρτάται από τη θερμοκρασία, που συνεπάγεται και εξάρτηση από αυτήν των 2 προαναφερθέντων σχέσεων. Συγκεκριμένα, εφόσον η αντίδραση $H^+ + OH^-$ προς H_2O είναι εξώθερμη, αναμένουμε με αύξηση θερμοκρασίας η ισορροπία να οδηγηθεί προς την πλευρά παραγωγής των ιόντων, δηλαδή προς την διάσταση/αυτοπρωτόλυση του νερού, με αύξηση επομένως του γινομένου $[H^+][OH^-]$ που αποτελεί ένδειξη ότι η K_w αυξάνει με τη θερμοκρασία (συνεπώς μείωση της θερμοκρασίας θα έχει τα ακριβώς αντίθετα αποτελέσματα από όλα αυτά που επιφέρει η αύξηση). Παρόμοια είναι η επίδραση της θερμοκρασίας σε όλες τις χημικές ισορροπίες.

Θερμοκρασία

Όπως προειπώθηκε η θερμοκρασία έχει αντίκτυπο στις χημικές ισορροπίες που λαμβάνουν χώρα στο νερό προς μελέτη. Οι ισορροπίες όμως που επηρεάζονται από τη θερμοκρασία δεν αφορούν μόνο καθ' εαυτού χημικές αντιδράσεις μετατροπής ουσιών σε άλλες αλλά και διεργασίες ανάμειξης και διαχωρισμού ουσιών διαλυμάτων. Πιο αναλυτικά, τα αέρια που διαλύονται στο νερό βρίσκονται σε μια ισορροπία συγκεντρώσεων με τα ίδια αέρια στην αέρια φάση. Η αύξηση θερμοκρασίας γενικά μετατοπίζει την ισορροπία προς την εξαγωγή των αερίων από το υγρό ενώ η μείωσή της ευνοεί τη μεγαλύτερη διαλυτότητά τους.

Στα στερεά που διαλύονται στο νερό η επίδραση της θερμοκρασίας είναι αντίθετη: αύξηση θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση διαλυτότητας του στερεού ενώ μείωσή της το αντίθετο.

Αυτές οι συνέπειες έχουν σημαντικότερη επίδραση στην βιοδυναμικότητα των υδάτων. Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της διαλυτότητας των αερίων και άρα και του O_2 . Αυτό φυσικά συνεπάγεται εμποδισμό της συνέχειας της δυνατότητας αναπνοής των οργανισμών και ακολούθως της διαμονής και επιβίωσης τους σε υπερ-θερμό υδάτινο οικοσύστημα.

Πέρα από τη φυσικοχημική της σημασία η θερμοκρασία έχει και βιολογική σημασία, επηρεάζοντας τις φυσιολογικές λειτουργίες των οργανισμών και κατά συνέπεια των οργανισμών που μπορούν να επιβιώσουν σε μια υδάτινη έκταση. Για τους λόγους αυτούς υπάρχει ειδική κατηγορία ρύπανσης, η **θερμική ρύπανση**.

Αγωγιμότητα- ολικά στερεά

Όταν συγκεκριμένες ουσίες διαλύονται στο νερό (οξέα, υδροξείδια, άλατα), έχουν την ιδιότητα να διασπώνται (δίστανται) σε ιόντα. Μερικές παράγουν ιόντα με άτομα που δεν βρίσκονται στα μόρια/χημικές μονάδες τους, (όπως τα όξινα και τα βασικά οξείδια και βάσεις όπως η αμμωνία) και τα οποία άτομα τα βρίσκουν από το νερό. Το ίδιο το νερό αναφέρθηκε ότι έχει την ιδιότητα της αυτοπρωτόλυσης, δηλαδή δίσταται από μόνο του σε ιόντα. Ως εκ τούτου κάθε νερό παρουσιάζει αγωγιμότητα L , η οποία είναι το αντίστροφο διαστατικά μέγεθος της αντίστασης. Εφόσον υπάρχουν ιόντα, η αντίσταση δεν είναι άπειρη άρα και η αγωγιμότητα είναι διάφορη του 0. Επομένως ακόμα και το απιονισμένο νερό έχει μια συγκεκριμένη αγωγιμότητα, εξαιτίας των σταθερών συγκεντρώσεων H^+ και OH^- , που ισούνται και οι δύο με $10^{-14}M$ σε πρότυπες συνθήκες.

Η αγωγιμότητα όμως των φυσικών νερών δεν είναι ποτέ ίση με αυτή του απιονισμένου, πράγμα που υποδηλώνει ύπαρξη επιπλέον ιόντων. Αυτά τα ιόντα πρέπει από κάπου να προέρχονται. Αυτό σημαίνει ότι στο νερό έχουν αναμειχθεί και άλλες ουσίες. Τέτοιες είναι συνήθως το CO_2 της ατμόσφαιρας και τα φυσικά άλατα τα οποία διαλύει το νερό κατά την υπόγεια ή υπέργεια διαίτα του.

Πολλές φορές όμως υπάρχουν ουσίες οι οποίες δημιουργούν ιόντα στο νερό και προέρχονται από ή σχετίζονται με ανθρώπινες ενέργειες. Αυτός είναι και ένας λόγος που η αγωγιμότητα χρησιμοποιείται σαν στοιχείο ρύπανσης, πέρα από τον κατεξοχήν ρόλο της ως παράμετρο ποιότητας του νερού (οι πολύ υψηλές και οι πολύ χαμηλές αγωγιμότητες δεν είναι αποδεκτές από τα έμβια όντα λόγω φαινομένων ώσμωσης και διατάραξης βιοδιεργασιών, ανάλογα και με τον ρυπαντή).

Για λόγους απλούστευσης θεωρείται ότι όλα τα ιόντα στα ύδατα προέρχονται από διαλυμένες στερεές ενώσεις και ότι, όλες οι στερεές ενώσεις που διαλύθηκαν στο νερό διαστάθηκαν σε ιόντα. Έτσι με την αγωγιμότητα γίνεται μια χονδρική ταύτιση για τον προσδιορισμό των **ολικών διαλυμένων στερεών, TDS (Total Dissolved Solids)**. Κάτι τέτοιο όμως αποτελεί χονδρική εργαστηριακή απλούστευση καθώς τα ιόντα μπορούν να προέρχονται και από αέριες (π.χ. το προαναφερθέν παράδειγμα του CO_2) ή υγρές ενώσεις που διαστάθηκαν απευθείας είτε με την παρεμβολή αντίδρασης με το νερό. Στον αντίποδα, υπάρχουν πολλά διαλυμένα στερεά που δεν δίστανται πλήρως στο νερό, αλλά πολλά μόριά τους παραμένουν αδιάστατα αλλά, παρόλα αυτά, διαλυμένα. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα στερεά ασθενή οξέα όπως τα οργανικά ή οξέα όπως το φωσφορικό οξύ, για τα οποία δεν ισχύει πλήρης διάσταση και πολλά ή τα περισσότερα μόριά τους διαλύονται αδιάστατα στο νερό.

Τα ολικά διαλυμένα στερεά, μαζί με τα **ολικά αιωρούμενα στερεά TSS (Total Suspended Solids)**, αθροίζονται ως συνιστώσες των ολικών στερεών (**Total Solids, TS**).

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) και Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο αποτελεί παράγοντα μέτρησης του οργανικού φορτίου το οποίο μπορεί να οξειδωθεί με βιολογικές μεταβολικές δραστηριότητες. Μικροοργανισμοί υπάρχουν σε οποιοδήποτε υδάτινο τμήμα (όχι υποχρεωτικά παθογόνοι) οι οποίοι για να τραφούν και να παράγουν ενέργεια τρέφονται με οργανικές ουσίες που υπάρχουν

στο νερό. Η παραγωγή ενέργειας απαιτεί την οξείδωση των ουσιών αυτών με οξυγόνο. Το οξυγόνο αυτό, που δεν είναι υποχρεωτικά αέριο (είναι όμως αέριο για τη χρήση του δείκτη BOD), χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς για την οξείδωση των ουσιών που μπορούν να μεταβολιστούν από αυτούς, γιατί κάθε μικροοργανισμός έχει εξειδίκευση σε οργανικές ουσίες που μπορεί να μεταβολίσει, επομένως το BOD μετρά μόνο τις βιομεταβολίσιμες οργανικές ουσίες.

Εφόσον οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες που περιέχονται μπορεί σε πρώτη όψη να είναι άγνωστες (άρα είναι άγνωστο το μοριακό βάρος και η στοιχειομετρία αντίδρασής τους με το οξυγόνο), αυτό που μετράται με το δείκτη BOD είναι η μάζα του αερίου O_2 που καταναλώθηκε από τους οργανισμούς ανά όγκο δείγματος. Κυριότερη μονάδα μέτρησής του είναι τα χιλιοστόγραμμα ανά λίτρο ($mg O_2/L$).

Η μέτρηση του BOD επιτυγχάνεται με εγκλεισμό του δείγματος γνωστού όγκου (που περιέχει πάντα μικροοργανισμούς) και μέτρηση ανά ημέρα της διαφοράς πίεσης που προκλήθηκε από την κατανάλωση του αερίου O_2 από τους μικροοργανισμούς για το μεταβολισμό των ουσιών. Έτσι υπάρχουν π.χ. οι μετρήσεις του BOD_5 για την παρέλευση 5 ημερών και του BOD_{20} για την παρέλευση 20 ημερών.

Επειδή όμως όπως αναφέρθηκε οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες μπορεί να μη συνιστούν το σύνολο των οργανικών ενώσεων στο υδάτινο τμήμα, είναι καθιερωμένος και ο παράγοντας του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD). Αφορά το σύνολο των οργανικών ουσιών που υπάρχουν στο δείγμα, ανεξάρτητα από τη δυνατότητα ή μη της βιοαποικοδόμησής τους. Και εδώ η αοριστία των οργανικών ουσιών απαιτεί μέτρηση του οξυγόνου που χρησιμοποιείται για οξείδωση μόνο που σε αυτήν την περίπτωση η μέθοδος απαιτεί όχι οξείδωση με μοριακό O_2 αλλά με απευθείας μεταφορά οξυγόνου από μια οξειδωτική ένωση (π.χ. $H_2Cr_2O_7$) στις οργανικές ουσίες. Αυτό που μετράται είναι η μάζα των ατόμων οξυγόνου που μεταφέρθηκαν από το οξειδωτικό στις ουσίες (mg/L).

Μικροβιακό φορτίο

Ορισμένες διαταραχές σε οικοσυστήματα και σε νερό ανθρώπινης κατανάλωσης προκαλούνται από λύματα τα οποία είναι επιβαρυνμένα με υψηλές συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αυτοί συνήθως προέρχονται από σώματα που είτε προέρχονται από το πεπτικό σύστημα των ανώτερων οργανισμών είτε έχουν έρθει σε επαφή με απεκκρίσεις του. Το μικροβιακό φορτίο που αφορά βακτήρια μετράται μετά από φίλτραση γνωστού όγκου δείγματος για κατακράτηση των βακτηρίων και τοποθέτησή του σε υπόστρωμα τροφής κατάλληλης για το βακτήριο προς μέτρηση. Εκφράζεται ως αποικίες που μετρήθηκαν (CFU: Colony Forming Units) ανά όγκο δείγματος που διηθήθηκε (συνήθως 100 mL: 0,1L).

Καταστάσεις ρύπανσης- μόλυνσης νερού

Υπάρχουν σε ορισμένες περιπτώσεις ευρείες κατηγορίες καταστάσεων ρύπανσης νερού, οι οποίες εξαρτώνται από τις παραμέτρους που διαταράσσονται. Για παράδειγμα, αναφέρθηκε για την θερμοκρασία η θερμική ρύπανση. Αντίστοιχα για την διαταραχή του οργανικού φορτίου (BOD-COD) συναντάται η κατηγορία της οργανικής ρύπανσης.

Η παρουσία των ανεπιθύμητων μικροβιακών παραγόντων υπεισέρχεται στην κατηγορία της *μικροβιακής μόλυνσης*. Η *μόλυνση*, με χρήση απλών όρων, αναφέρεται στην ύπαρξη μικροοργανισμών (πρωτόζωων, μυκήτων, βακτηρίων, ιών) σε είδη, συγκεντρώσεις, χώρο και κατάστασή του τέτοια που να ευνοεί την εμφάνιση απειλών για ανθρώπους και οικοσυστήματα. Η *ρύπανση* αντίστοιχα έχει παρόμοιο ορισμό μόνο που δεν αφορά παρουσία μικροβίων ή άλλων

ζώντων οργανισμών αλλά ανεπιθύμητων χημικών ουσιών, μιγμάτων και μορφών ενέργειας. Στο παράδειγμα της θερμικής ρύπανσης αυξάνεται η θερμική ενέργεια του συστήματος, ενώ στην οργανική ρύπανση διαταράσσεται το οργανικό φορτίο του.

Μια μεγάλη και πολύ διερευνημένη κατηγορία περιβαλλοντικού κινδύνου ποιότητας φυσικών υδάτων αφορά το αποτέλεσμα της *ρύπανσης θρεπτικών*. Τα θρεπτικά συστατικά που αφορούν αυτό το είδος ρύπανσης είναι τα φωσφορικά και νιτρικά ιόντα καθώς και τα ιόντα αμμωνίου. Τα συστατικά αυτά προκαλούν υπέρμετρη ανάπτυξη συγκεκριμένων οργανισμών, που με τη σειρά τους προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία εντάσσονται στην κατηγορία του ευτροφισμού.

Ρύπανση από θρεπτικά- Ευτροφισμός

Γενικά, ο ευτροφισμός δεν είναι φαινόμενο ξένο για το περιβάλλον. Δεν απαιτεί δηλαδή την επιρροή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων για την εμφάνισή του, σε ομαλούς ρυθμούς. Ο ευτροφισμός προκύπτει από αύξηση κάποιου από τους περιοριστικούς παράγοντες που υποβοηθούν τη φωτοσύνθεση (CO₂, ηλιακό φως και θρεπτικά συστατικά). Ο κύριος τρόπος με τον οποίον ο άνθρωπος υποθάλλει την εμφάνιση ευτροφισμού είναι η προσθήκη θρεπτικών με τη μορφή γεωργικών λιπασμάτων (Chislock et al, 2013). Άλλα αίτια μπορούν να αναζητηθούν στην παροχέτευση ανεπεξέργαστων λυμάτων και στις ποικίλες διαθέσεις αποβλήτων (Leng, 2009).

Ο συνοπτικός μηχανισμός του ευτροφισμού είναι η προώθηση της δυνατότητας ανάπτυξης πλαγκτονικών ειδών, εξαιτίας της ευνοϊκής επιρροής σε αυτό των αζωτούχων και φωσφορούχων ουσιών. Αυξάνεται ο ρυθμός ανάπτυξης φυτοπλαγκτόν, που με τη σειρά του προκαλεί σχετική αύξηση ζωοπλαγκτόν το οποίο τρέφεται με αυτό. Το αποτέλεσμα καταλήγει συνήθως σε δημιουργία επιφανειακού καλύμματος από πλαγκτόν το οποίο μειώνει την συγκέντρωση οξυγόνου στο νερό με 2 τρόπους : με την κατανάλωση οξυγόνου για την αναπνοή του πλαγκτόν και με την παρεμπόδιση της εισροής του φωτός στο υδάτινο οικοσύστημα εξαιτίας της επιφανειακής μάζας. Ο δεύτερος απότοκος μειώνει τη δυνατότητα φωτοσύνθεσης στους υπόλοιπους φυτικούς οργανισμούς και έτσι όχι μόνο μειώνονται οι ίδιοι, αλλά δεν παράγεται και αρκετό οξυγόνο για την αναπνοή των υπόλοιπων οργανισμών.

Στο τέλος, οι υποξικές-ανοξικές συνθήκες οδηγούν συγκεκριμένους ευπροσάρμοστους οργανισμούς στη χρήση των NO₃⁻, CO₃²⁻ και SO₄²⁻ για πηγές οξυγόνου. Στην προσπάθειά τους να βρουν οξυγόνο για να αναπνεύσουν, αφαιρούν το οξυγόνο αυτών των ιόντων ανάγοντάς τις πέρα από το όριο, με συνέπεια να παράγονται αντίστοιχα NH₃, H₂S και CH₄. Αν και το τελευταίο δεν είναι δηλητήριο, το υδρόθειο είναι και όπως και η αμμωνία αλλάζει δραματικά το pH. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η νέκρωση του οικοσυστήματος και η αλλαγή της φύσης του (σε περιπτώσεις λιμνών υφίσταται ακόμη και χερσοποίησή τους, εξαιτίας της εμφάνισης ιζημάτων).

Το φαινόμενο αυτό, θεωρώντας τις καταστάσεις που επάγονται από ανθρώπινες πηγές, αποτελεί ραγδαία αυξανόμενη απειλή για θαλάσσια και γλυκού νερού οικοσυστήματα. Εκτιμάται ότι γύρω στις 500 παράκτιες περιοχές επηρεάζονται από ευτροφικά φαινόμενα. Σημαντικά έχει πολλαπλασιαστεί ο αριθμός των νεκρών ζωνών, από 10 καταγεγραμμένες το 1960 σε 405 το 2008, και η επιδείνωση εξακολουθεί. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα σφοδρό στις ενδοχώριες υδάτινες εκτάσεις (γλυκού νερού), όπως φαίνεται από τα γεγονότα. Ακόμη και στην κατηγορία των μεγαλύτερων λιμνών του πλανήτη, πολλές είναι ευτροφικές. Παραδείγματος χάριν η λίμνη Erie στην Βόρεια Αμερική, η πολύ γνωστή λίμνη Βικτώρια και η λίμνη Τάι (Κίνα). Στις Ηνωμένες Πολιτείες μάλιστα ο ευτροφισμός είναι η κυριότερη αιτία υποβάθμισης

των γλυκών νερών (Selman and Greenhalgh, 2009). Είχε καταγραφεί το 38% σχεδόν των λιμνών αυτού του κράτους να πλήττονται από ευτροφικές συνθήκες (SAMAB 1996).

Αν και ειπώθηκε ότι ο ευτροφισμός είναι φυσικό φαινόμενο (αποτελεί μέρος των φυσιολογικών κύκλων διαδοχής των νερών, όταν συσσωρεύεται οργανική ύλη), η ανθρωπογενής επιτάχυνσή του δημιουργεί στάδια πολύ πιο διαφοροποιημένα από αυτά της φυσικής διαδικασίας. Οι περιοριστικοί παράγοντες, N- και P-, προκαθορισμένοι να συμμετέχουν στην ομαλή εμφάνισή του, αυξάνονται δραματικά με την απορροή λιπασμάτων και οικιακών απορρυπαντικών. Καθώς αυτά τα 2 στοιχεία καθορίζουν την πρωτογενή βιολογική παραγωγικότητα ενός υδάτινου οικοσυστήματος, η θετική διαταραχή τους δημιουργεί το φαινόμενο της “έκρηξης αλγών”. Πρόκειται για την πληθυσμιακή έκρηξη της κατηγορίας των αλγών, που δημιουργεί μια αλυσίδα φαινομένων.

Πηγές του ευτροφισμού- πορεία και συσχέτιση με ανθρώπινες δράσεις

Η ένταση των ευτροφικών φαινομένων μπορεί να αποδοθεί σε ανθρωπογενείς αιτίες όπως αγροκαλλιέργεια, υδατοκαλλιέργεια, απόρριψη αστικών λυμάτων (βιομηχανικών και οικιακών) και σηπτικές δεξαμενές, σε βρόχινες απορροές προερχόμενες από τις πόλεις, ακόμα και σε ατμοσφαιρικές αποθέσεις αζώτου από την καύση ορυκτών καυσίμων. Οι πηγές αυτές υποβοηθούνται από τη δράση φυσικών φαινομένων (βροχή και δίαιτα υπόγειου και επιφανειακού νερού για τα λιπάσματα γεωργίας, μεταφορά αζωτούχων καυσαερίων από τον άνεμο κ.α.). Όσο για τη διαχρονική πορεία τους, ακολουθούν την ανάπτυξη του σύγχρονου κόσμου και αναμένεται σημαντική επιδείνωση τα επόμενα χρόνια.

Καθώς ο πληθυσμός της Γης αναμένεται να φτάσει σε ύψη 9.2 δισεκατομμυρίων ως το 2050, θα προκύψει και αυξημένη πίεση στις αγροτικές και βιομηχανικές παραγωγικές δραστηριότητες. Προβλέπεται αυξητική τάση της χρήσης γης για γεωργικές σοδειές, εκτροφές ζώων και για υδατοκαλλιέργειες. Αυτό θα επηρεάσει κυρίως τις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι αυξημένες ανάγκες θα προκύψουν όχι μόνο από την ανοδική πορεία του πληθυσμού, αλλά και από τις αλλαγές στο διατροφικό πρόγραμμα των καταναλωτών (π.χ. έχει προβλεφθεί αύξηση της κατανάλωσης κρέατος κατά 54% από το 2002 ως το 2030).

Όσον αφορά τη συνεισφορά αερίων αζωτούχων αποθέσεων, τα αίτια αποδίδονται σε χρήση καυσίμων που απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα NO και NO₂. Καθώς οι ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας τείνουν διαρκώς να αυξάνονται (50% από το 2005 ως το 2030), επάγεται και μεγάλος φόρτος στη καύση ορυκτών καυσίμων, που αυτόν τον αιώνα θα κρατήσουν την θέση τους ως η κυρίαρχη πηγή ενέργειας για τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Μια σημαντική πληροφορία έχει να κάνει με την κατανομή της δράσης των θρεπτικών ανάλογα με την κατηγορία του οικοσυστήματος. Οι P και N έχουν διαφορετικό βαθμό ευθύνης για την εμφάνιση ευτροφισμού σε κάθε υδάτινο αποδέκτη. Ο φώσφορος είναι η κυριότερη πηγή θρεπτικών στα χερσαία οικοσυστήματα του γλυκού νερού. Στον αντίποδα οι αζωτούχες ενώσεις φαίνονται να πλήττουν τα θαλάσσια-παράκτια ύδατα σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι ο φώσφορος (Selman and Greenhalgh, 2009).

Οι σχετικές επιπτώσεις των θρεπτικών σε τοπικά ή παράκτια ύδατα παρουσιάζουν γενικά ποικίλες διακυμάνσεις.

Συνέπειες ευτροφισμού

Το φαινόμενο, που αφορά την αλλοίωση του φυσικοχημικού σκηνικού των νερών, προκαλεί σωρεία αποτόκων με υπολογίσιμες και επικίνδυνες επιπτώσεις τόσο σε βιολογικό-οικολογικό όσο και σε ανθρώπινο επίπεδο.

Σε πρώτα στάδια, το νερό γίνεται θολό, και σε πιο προχωρημένα παχύρρευστο. Για αυτό ευθύνονται τα μεμονωμένα κύτταρα αλγών αλλά και η νεκρή οργανική ύλη που συσσωρεύεται και αποσυντίθεται. Το αποτέλεσμα, μαζί με την καθαρή εμφάνιση κρούστας από άλγη και τη δημιουργία δυσάρεστων οσμών, καθιστά τα νερά αποκρουστικά για τις συνηθισμένες χρήσεις αναψυχής, όπως κολύμβηση και πλεύση.

Αυτές οι συνέπειες όμως, ίσως είναι λιγότερο σημαντικές μπροστά στη νέκρωση του οικοσυστήματος. Τα υπολείμματα της νεκρής άλγης προσελκύουν αερόβια βακτήρια. Και μπορεί αυτό το έλλειμμα οξυγόνου να αντισταθμίζεται κάπως την ημέρα λόγω της φωτοσύνθεσης (κατά περίπτωση δεν γίνεται καν αντιληπτό), τη νύχτα όμως η απουσία της αφήνει την αναπνοή το μόνο επικρατές φαινόμενο, που οδηγεί στην μαζική θανάτωση ψαριών, λόγω της έλλειψης οξυγόνου (Cornell University, eutrofication experiments).

Οι συνέπειες του ευτροφισμού σε πελαγικά οικοσυστήματα περιλαμβάνουν: α) την επιλογή των ανθεκτικότερων ειδών μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών, β) αυξημένη ανάπτυξη φυτοπλαγκτού ως προς το ζωοπλαγκτό και δέσμευση της ενέργειας στους παραγωγούς, με αδυναμία μεταβίβασης προς τους καταναλωτές, γ) μείωση της βιοποικιλότητας και δ) απουσία οργανισμών στα υψηλότερα τροφικά επίπεδα. Ο μηχανισμός μείωσης της βιοποικιλότητας, περιλαμβάνει κατ' αρχήν τη μείωση της διαπερατότητας του φωτός εμποδίζοντας τη φωτοσύνθεση σε κατώτερα στρώματα, με αποτέλεσμα τη νέκρωση των βενθικών φυτών. Η μειωμένη είσοδος φωτός οδηγεί ακόμη και σε παρεμπόδιση της ικανότητας των ζωικών οργανισμών να βρουν τροφή (π.χ. αδυναμία θήρευσης από τους θηρευτές).

Και ενώ στα κατώτερα στρώματα η φωτοσύνθεση υστερεί, στα επιφανειακά στρώματα με την έκθεση του υπερβολικού φυτοπλαγκτού στο ηλιακό φως παρατηρείται υψηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα, που με τη σειρά της συνεπάγεται μείωση του CO₂ και άνοδο του pH. Αυτό «τυφλώνει» τις αισθήσεις των οργανισμών που βασίζονται σε βιοχημικές μεθόδους εξεύρεσης τροφής μέσω χημικών αισθητήριων οργάνων. Το επόμενο βήμα είναι η νέκρωση των πυκνών φυτοπλαγκτονικών ειδών και η δημιουργία υποξικών ή ανοξικών νεκρών ζωνών εξαιτίας της αερόβιας αποδόμησής τους (Chislock et al, 2013).

Οι συνέπειες του φαινομένου επεκτείνονται πέρα από τις ορατές και αισθητικές επιπτώσεις, και οι οικολογικοί κίνδυνοι δεν είναι οι μόνοι που χρίζουν ανησυχίας. Παράλληλα με την ανάπτυξη των πλαγκτονικών ειδών και των βενθικών φυτών, εξαιτίας της βιολογικής εξάρσης, σημειώνεται υψηλή άνοδος της βακτηριακής πυκνότητας όπως επίσης και άλλων μικροοργανισμών. Αυτό φυσικά περιλαμβάνει και τους παθογόνους μικροοργανισμούς, με σημαντικότερους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Πολύ συχνές είναι οι ανεπιθύμητες συνέπειες της μικροβιακής εξάρσης, όπως δερματίτιδες, μυκητιάσεις, ερεθισμό στα μάτια, διαρροϊκά φαινόμενα από τυχόν κατάποση του νερού κ.α.

Επίσης, όπως είναι γνωστό, τα δίθυρα ή διβάλβιδα μαλάκια (κοχύλια, στρείδια, μύδια ...) για εξεύρεση τροφής, φιλτράρουν το νερό με σκοπό την κατακράτηση χρήσιμων οργανικών τροφών. Αυτό όμως σημαίνει ότι έχουν και τη δυνατότητα κατακράτησης, άθελά τους, και παθογόνων μικροοργανισμών, όπως μερικών πλαγκτονικών ειδών. Και εξαιτίας της συνεχούς φίλτρασης η συγκέντρωση αυτών των μικροοργανισμών στα διβάλβιδα είναι πολλές φορές τεράστια. Σε κανονικές συνθήκες δεν παρατηρείται μόλυνση αυτών των προς ανθρώπινη κατανάλωση τροφών. Σε περιπτώσεις περιοχών που έχουν πληγεί από υψηλό ευτροφισμό όμως, η τεράστια συγκέντρωση παθογόνων μικροοργανισμών σε αυτά προκαλούν διαρροϊκά σύνδρομα, παράλυση, αμνησία και μπορούν πολύ εύκολα να οδηγήσουν στο θάνατο, αν καταναλωθούν από τον άνθρωπο.

Φυτοπλαγκτονικές εξάρσεις (HAB's)

Τα παραπάνω σύνδρομα, το αναφερθέν παραλυτικό σύνδρομο (PSP), το αμνησιακό σύνδρομο (ASP) και το διαρροϊκό σύνδρομο (DSP), είναι μόνο μερικά από τα συμπτώματα που μπορεί να προκαλέσει η παρουσία σε δίθυρα ορισμένων φυτοπλαγκτονικών ειδών. Η επάρκεια σε θρεπτικό P και N δημιουργεί το φαινόμενο που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως σήμα κατατεθέν του ευτροφισμού, την φυτοπλαγκτονική έξαρση.

Τα φυτοπλαγκτονικά είδη που ευνοούνται από τα θρεπτικά γίνονται ορατά με την απόδοση χρώματος στα νερά. Πολλά απλώς κάνουν αισθητή την παρουσία τους με τη χρώση, δίχως να είναι επιβλαβή. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να έχει επικρατήσει να ονομάζεται <<κόκκινη παλίρροια>>, όμως στην πραγματικότητα τα χρώματα μπορούν να ποικίλουν από κόκκινο και καφέ ως κίτρινο και πράσινο, κάτι που εξαρτάται από τα είδη του φυτοπλαγκτού.

Δεν είναι όμως όλα τα φυτοπλαγκτονικά είδη αβλαβή. Μερικά έχουν τη δυνατότητα παραγωγής τοξινών, επικίνδυνων όχι μόνο για το οικοσύστημα αλλά και για τον άνθρωπο, όπως αναφέρθηκε. Γενικά, από τα 5000 φυτοπλαγκτονικά είδη τα 300 έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας εξάρσης και λιγότερα από 100 μπορούν να παράγουν τοξίνες. Παρόλα αυτά η παρουσία των HAB's θέτει σε σοβαρό κίνδυνο ανθρώπους και ζωντανούς οργανισμούς.

Πέρα από την εμφάνιση γλοιώδους μάζας κατά μήκος των ακτών και τη νυχτερινή κατανάλωση οξυγόνου, που οδηγεί τους οργανισμούς σε ασφυξία, οι τοξίνες ορισμένων ειδών προκαλούν περεταίρω θανάτωση οργανισμών όπως τα ψάρια. Πολλές τοξίνες, επικίνδυνες για άγρια και καλλιεργούμενα ψάρια, ευθύνονται για τη θανάτωση εκατομμυρίων τόνων σε παγκόσμια κλίμακα. Οι χρόνιες ή οξείες ασθένειες που προκαλούν στον άνθρωπο μέσω της κατανάλωσης διβάλβιδων, έχουν γίνει αιτία της απαγόρευσης συλλογής τους από υδατοκαλλιέργειες και συνεπώς σημαντικής οικονομικής ζημίας στο εμπόριο.

Από την εκτεταμένη μελέτη του φαινομένου τα τελευταία χρόνια, έχει διαπιστωθεί η σημαντικότητα των θρεπτικών, με τον φώσφορο να κατέχει την κυρίαρχη θέση στις παραμέτρους ανάπτυξης αλγών και φυτών κατά τον ευτροφισμό σε χερσαία ύδατα. Οπότε οι κύριες προσπάθειες για την αναστολή του φαινομένου κινούνται στα πλαίσια της μείωσης παροχέτευσης φωσφόρου στους υδάτινους αποδέκτες. Η σωστή διαχείριση των λιμναίων οικοσυστημάτων, θα μπορούσε να συγχωνεύσει τις δυνατότητες περιορισμού του φωσφόρου και ελέγχου της βιομάζας, προκειμένου να ελεγχθεί ο πληθυσμός των αλγών, το κύριο συστατικό στοιχείο του ευτροφισμού. Επίσης, συναντάται τρομερά μεγάλη δυσκολία στην επαναφορά των οικοσυστημάτων από την καταστροφή λόγω ευτροφικών καταστάσεων. Εκτιμάται ότι η μετατροπή λιμνών σε ευτροφικές, που χρειάστηκε 60 χρόνια, θα χρειαστεί 1000 χρόνια για να ανατραπεί και να επιτευχθεί αποκατάστασή τους, και αυτό θεωρώντας τις βέλτιστες συνθήκες (Leng, 2009).

Εμφάνιση ευτροφισμού σε κλειστά συστήματα της Ελλάδας

Τα πιο ευαίσθητα στον ευτροφισμό οικοσυστήματα είναι κυρίως αυτά που αφορούν λίμνες και κλειστούς αβαθείς κόλπους. Λόγω της δυσκολίας ανταλλαγής αερίων και απομάκρυνσης βιοαποικοδομήσιμων οργανικών και της αναπτυσσόμενης βιομάζας, οι περιοχές αυτές είναι αρκετά ευπαθείς όσον αφορά την εμφάνιση του φαινομένου. Δυστυχώς, οι περιοχές αυτές έχουν παράλληλα σημασία για τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Στη χώρα μας οι πιο έντονες εκφράσεις των ευτροφικών καταστάσεων παρουσιάζονται στους κλειστούς κόλπους της Ελευσίνας, του Σαρωνικού, του Παγασητικού και του Θερμαϊκού. Στους 2 τελευταίους, καθώς και τον Μαλλιικό κόλπο το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικό. Παρατηρείται η εμφάνιση πράσινης γλοιώδους μάζας, που κάνει αδύνατη τη

χρήση διχτύων από ψαράδες, και ταυτόχρονα καθιστά τα νερά αποκρουστικά για τους κολυμβητές.

Παράλληλα εμφανίζονται κάθε χρόνο φαινόμενα ευτροφισμού σε χερσαία ύδατα (λίμνες) όπως στη λίμνη της Καστοριάς, Βιστονίδας, Ιωαννίνων και Κορώνιας. Αλλά και αυτές, όπως και οι θαλάσσιες παράκτιες, αντιμετωπίζουν ένα συνδυασμό φυσικής και ανθρωπογενούς επιρροής. Παλαιότερα δεν υπήρχε παρουσία αζωτούχων και φωσφορούχων λιπασμάτων στα εδάφη. Με τον πρόσφατο εμπλουτισμό τους όμως σε αυτά τα στοιχεία, η συνδυασμένη και περιοδική δράση των βροχών προκαλεί έκπλυση των ουσιών αυτών στους αποδέκτες. Σημαντική επίσης είναι και η δράση της βιο-οργανικής ουσίας. Σε πολλές ελληνικές λίμνες παλαιότερα, μετά το τέλος της βλαστικής περιόδου, οι κάτοικοι έκοβαν υδρόβια φυτά, όπως ψαθιά, καλάμια και παπύρια για διάφορους σκοπούς. Έτσι μειωνόταν η οργανική ύλη στο σύστημα και αντισταθμιζόταν η δράση των ευτροφικών παραγόντων. Τα τελευταία χρόνια διάφορες υπηρεσίες απαγόρευσαν τις δραστηριότητες αυτές, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των παραπάνω υδρόβιων φυτών. Έτσι, σε λίμνες όπως η Μικρή Πρέσπα, η έλλειψη του ανασταλτικού αυτού παράγοντα δημιούργησε ευτροφικές βλάβες σε έναν διεθνούς σημασίας υγρότοπο.

Προέλευση των ουσιών-στοιχείων που συντελούν στο φαινόμενο

Σε προηγούμενο στάδιο έγινε νύξη ως προς τις πηγές ευτροφικών παραγόντων. Οι πηγές αυτές αφορούν τα νιτρικά και φωσφορικά ιόντα και διάφορες οργανικές ουσίες. Η δυναμικότητα της εισόδου των παραγόντων αυτών στα νερά θα αναλυθεί περαιτέρω ως προς την χωροχρονική πορεία τους προς τους αποδέκτες.

Τα μέσα εισόδου των θρεπτικών στους υδάτινους αποδέκτες είναι ο αέρας, τα ρεύματα υπόγειου νερού και τα επιφανειακά νερά. Ακόμη, οι σχετικοί βαθμοί της σημασίας κάθε πηγής για το φαινόμενο ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή. Τυπικά αναφέρουμε ότι στις ασιατικές και αφρικανικές χώρες η κύρια πηγή θρεπτικών είναι η απόρριψη αστικών λυμάτων, ενώ στις ΗΠΑ και την Ευρωπαϊκή Ένωση το κύριο βάρος της προέλευσης θρεπτικών επιρρίπτεται στις αγροτικές δραστηριότητες.

Πηγές συσχετιζόμενες με αστικά συστήματα

Όσον αφορά τις πηγές που αφορούν αστικές περιοχές, οι αστικές και βιομηχανικές περιοχές πρέπει να ειπωθεί ότι ανήκουν στις σημειακές πηγές, γενικά, λόγω της χρήσης αγωγίων συστημάτων για την παροχέτευσή τους. Τέτοιου είδους πηγές είναι εύκολο να ελεγχθούν, ιδίως σε αναπτυγμένες χώρες. Σε τέτοιες πηγές τροφοδότες μπορεί να είναι τα όμβρια ύδατα, τα οικιακά και τα βιομηχανικά λύματα. Τα όμβρια ύδατα μπορούν να συμβάλλουν στην παροχέτευση θρεπτικών κυρίως λόγω της έκπλυσης των ουσιών αυτών από τις επιφάνειες. Όχι μόνο μπορούν να αποπλύνουν φωσφορικά απορρυπαντικά από τα οδοστρώματα και τις οικιακές επιφάνειες, αλλά ταυτόχρονα παρασύρουν ακόμη και τα λιπάσματα που μπορεί να χρησιμοποιούνται σε γκαζόν και οικιακούς κήπους. Ο κίνδυνος χειροτερεύει με τις περιπτώσεις υψηλού νετού, οπότε υπερχειλίζει το αποχετευτικό δίκτυο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, υπερκεράται και η χωρητική δυνατότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, με αποτέλεσμα η περίσσεια να διοχετεύεται στον πλησιέστερο ταμιευτήρα. Ακόμη και ακατέργαστα λύματα μπορούν να οδηγηθούν σε ποτάμια και ρεύματα με αυτόν τον τρόπο.

Τα ανθρώπινης οικιακής προέλευσης λύματα κατέχουν την κυρίαρχη θέση όσον αφορά την προέλευση των θρεπτικών στα αστικά λύματα. Αυτές οι πηγές παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές ως προς τις χώρες που προέρχονται. Οι κύριες αιτίες των διαφορών οφείλονται σε

διαφορετικούς βαθμούς επεξεργασίας των λυμάτων που μπορεί και δύναται να έχει μια περιοχή. Στις αναπτυσσόμενες χώρες λιγότερο από το 35% των άστων διαθέτει μονάδες επεξεργασίας λυμάτων αλλά ακόμη και στην περίπτωση που υφίσταται, χρησιμοποιείται κυρίως η πρωτοβάθμια επεξεργασία για απομάκρυνση όχι θρεπτικών, αλλά στερεών. Όταν δεν υπάρχει δυνατότητα χρήσης μονάδας επεξεργασίας, χρησιμοποιούνται οι σηπτικές δεξαμενές. Από αυτές όμως τα στραγγίσματα περνούν στο έδαφος και καταλήγουν, πολλές φορές, σε επιφανειακά νερά.

Και οι πιο προηγμένες χώρες όμως δεν διαφεύγουν την κατάσταση της ρύπανσης υδάτων με θρεπτικά μέσω λυμάτων. Αναφέρεται ότι στις ΗΠΑ το 12% της εισόδου αζωτούχων στα ποτάμια οφείλεται στις απορροές λυμάτων. Αντίστοιχα στην Δυτική Ευρώπη το 25%, στην Κίνα το 33% και στην Κορέα το 68% της ρύπανσης θρεπτικού αζώτου σε ποταμούς προέρχεται από αστικά λύματα (Selman and Greenhalgh, 2009).

Πηγές λόγω καλλιεργητικών δραστηριοτήτων

Οι καλλιεργητικές δραστηριότητες, που ακολουθούν απότομη ανοδική πορεία προκειμένου να καλύψουν τις ολοένα αυξανόμενες διατροφικές ανάγκες, είναι από ότι φαίνεται οι κύριοι τροφοδότες της παρουσίας θρεπτικών στα φυσικά νερά. Οι πιο κραταιές καλλιεργητικές δραστηριότητες όσον αφορά την συνεισφορά τους ως πηγές αζώτου και φωσφόρου είναι οι αγροκαλλιέργειες, οι υδατοκαλλιέργειες και οι κοπριές από συγκεντρωμένες επιχειρήσεις βοοειδών.

Στις αγροτικές δραστηριότητες οι πηγές των θρεπτικών είναι τα φωσφορούχα και αζωτούχα λιπάσματα. Αυτές οι ουσίες (η περίσσειά τους που δεν απορροφάται από τα φυτά), μπορούν να εισέλθουν στους υδάτινους αποδέκτες είτε μέσω στράγγισης τους στο έδαφος και στα υπόγεια νερά, είτε και μέσω της επιφανειακής απορροής από τα καλλιεργούμενα εδάφη. Για το άζωτο συγκεκριμένα, μπορεί να συμμετέχει και η διαδικασία της αμμωνιοποίησης. Η αναγωγή των νιτρικών ιόντων προς αμμωνία μπορεί να τροφοδοτήσει τον αέρα με θρεπτικό άζωτο, καθιστώντας τον ένα ακόμη μέσο εισόδου σε δίαιτες και ταμειυτήρες νερού, γιατί μπορεί να επιστρέψει ως ατμοσφαιρική απόθεση. Μάλιστα, το 40% του αζώτου που προστίθεται ως λίπασμα υφίσταται αμμωνιοποίηση σε συνηθισμένες συνθήκες (το ποσοστό αυτό μπορεί κατά περίπτωση να ανέλθει στο 60%), και έτσι αυτή η διαδικασία εμπλουτισμού θρεπτικών δεν είναι και αμελητέα. Στην πηγή ουσιών προς αμμωνιοποίηση μπορούν να χρησιμεύσουν και οι εδαφοβελτιωτικές κοπριές.

Από την άλλη, ο φώσφορος παραμένει πιο σταθερά συνδεδεμένος με το έδαφος και ο μηχανισμός απομάκρυνσής του και συμμετοχής του στην τροφοδοσία θρεπτικών περιλαμβάνει κυρίως διαδικασίες διάβρωσης του εδάφους από τη δράση του κινούμενου επιφανειακού νερού. Η δράση του νερού γενικά ίσως αποτελεί τον κύριο παράγοντα μεταφοράς των θρεπτικών σε υδάτινους αποδέκτες. Για τα αζωτούχα, έχει υπολογιστεί ότι κατά μέσο όρο το 20% της ποσότητάς τους χάνεται λόγω επιφανειακής έκπλυσής τους ή διείσδυσής τους στο υπέδαφος.

Και όπως οι ανοδικές γραμμές των αναγκών και των διαδικασιών αγροτικής εκμετάλλευσης, έτσι και η χρήση των λιπασμάτων σημειώνει απότομες αυξητικές τάσεις κατά την πορεία του χρόνου. Από το 1960 ως το 1990 έχει λάβει χώρα τριπλασιασμός της χρήσης φωσφορούχων λιπασμάτων, ενώ τα αζωτούχα έχουν επταπλασιαστεί σε εφαρμογή, με συχνό το φαινόμενο της προσθήκης πέρα από τις ανάγκες στα εδάφη.

Αλλά και οι εκτροφές βοοειδών και διαφόρων ζώων έχουν συμμετοχή στην παρουσία θρεπτικών λόγω της απόρριψης/επαναχρησιμοποίησης της κοπριάς. Η κοπριά μπορεί να αποθηκευθεί σε κοιλάτιες εδάφους, συχνά όμως χρησιμοποιείται ως λίπασμα για το

καλλιεργούμενο έδαφος. Μάλιστα, η ποσότητα και ο ρυθμός διάθεσής της πολλές φορές εξαρτάται όχι από τις ανάγκες των καλλιεργειών, αλλά από την διαθεσιμότητά της. Αυτό οδηγεί πολλές φορές σε υπερβολική προσθήκη στο έδαφος, με αυξανόμενες επιπτώσεις στην ποσότητα των θρεπτικών που οδηγούνται στις απορροές.

Και οι εκτροφές ζώων ακολουθούν επίσης ανοδική πορεία λόγω της αυξημένης διατροφικής ανάγκης του πληθυσμού, και των διαφοροποιήσεων στις διατροφικές συνήθειες. Μεταξύ 1990 και 2002, η παραγωγή κρέατος στην Κίνα ανήλθε κατά 127% με λιγότερο από το 10% να έχει λάβει περιοριστικά μέτρα κατά της απόρριψης ρυπαντών. Και για να δοθεί μια εικόνα της δυνατής έκτασης μιας επιχείρησης εκτροφής, στην περιοχή της Μαύρης Θάλασσας, μια επιχείρηση εκτροφής χοίρων εξέτρεφε πάνω από 1 εκατομμύριο χοίρους και παρήγαγε απόβλητα ισοδύναμα με μια πόλη πληθυσμού 5 εκατομμυρίων.

Παράλληλα, και οι υδατοκαλλιέργειες συμμετέχουν στη ρύπανση θρεπτικών με διάφορες οργανικές απορριπτόμενες ουσίες, μη καταναλωμένη τροφή και περιττώματα. Χωρίς κατάλληλη διαχείριση οι εγκαταστάσεις αυτές μπορεί να είναι υψηλού κινδύνου πηγές θρεπτικών, λόγω της απευθείας εισόδου των απόβλητων αυτών στο περιβάλλον νερό. Οι καλλιέργειες γαρίδων και θαλάσσιων ψαριών συνήθως αποτελούνται από δικτυωτά κλουβιά ή μάντρες, σε κλειστούς όρμους, και σε απευθείας επικοινωνία με το υδάτινο σύστημα. Κάθε τόνος ιχθύων ισοδυναμεί με απόβλητο φώσφορο της τάξεως των 7,2 με 10,5 kg και αντίστοιχο απόβλητο άζωτο μεταξύ 42 και 66 kg.

Η ετήσια παραγωγή από υδατοκαλλιέργειες παγκοσμίως σημείωσε άνοδο κατά 500%, από 8 εκατομμύρια τόνους το 1985 στους 48 εκατομμύρια τόνους το 2005. Το 43% των υδατοκαλλιεργειών σήμερα υφίσταται σε θαλάσσια ή υφάλμυρα ύδατα, με το υπόλοιπο να εδρεύει σε λίμνες και ρυάκια γλυκού νερού, ή σε ανθρωπογενείς δεξαμενές. Όπως και οι άλλες πηγές θρεπτικών, έτσι και η υδατοκαλλιέργεια αυξάνει σε σημασία λόγω της ανάγκης για κάλυψη των διατροφικών συνηθειών (Selman and Greenhalgh, 2009).

Μια άλλη λιγότερο αναμενόμενη πηγή ρύπανσης από θρεπτικά είναι οι εκπομπές καυσαερίων, κυρίως από τη βιομηχανία, λόγω καύσης ορυκτών καυσίμων με σημαντικό ποσοστό αζώτου. Η κύρια πάντως διεργασία παραγωγής οξειδίων του αζώτου που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα, είναι η απευθείας αντίδραση N_2 και O_2 του ατμοσφαιρικού αέρα μέσω σπινθήρα, κάτι που λαμβάνει χώρα στις μηχανές εσωτερικής καύσης λόγω της δράσης σπινθηρητήρων (μπουζί). Το παραγόμενο μονοξείδιο του αζώτου οξειδώνεται μερικώς σε διοξείδιο (αυθόρμητα), ως το σημείο που υπαγορεύει η χημική τους ισορροπία. Το NO_2 με ενυδάτωση δίνει νιτρικά, και νιτρώδη ιόντα που με αλληλοοξειδοαναγωγή μετατρέπονται και αυτά σε νιτρικά και σε μονοξείδιο του αζώτου. Τα νιτρικά ιόντα, όπως είπαμε, ευθύνονται εν μέρει για τη ρύπανση θρεπτικών.

Τα υπεύθυνα για την αρχή της όλης διαδικασίας οξειδία του αζώτου, επικάθονται στα νερά μέσω της βροχής και του χιονιού, αλλά μπορούν να κατακαθίσουν και με μια διαδικασία καλούμενη ξηρή εναπόθεση. Παγκοσμίως, κάθε χρόνο η καύση ορυκτών καυσίμων συνεισφέρει με 22 Tg ρύπανση αζώτου. Αυτό αντιστοιχεί στο 1/5 της συνολικής ρύπανσης θρεπτικών από συνθετικά αζωτούχα λιπάσματα. Στον κόλπο Chesapeake, η ατμοσφαιρική απόθεση αζώτου αποτελεί το 30% των συνολικών εισροών ενώ το αντίστοιχο ποσοστό της στη Βαλτική Θάλασσα (κυρίως λόγω ορυκτών καυσίμων) αριθμεί το 25%. Η ατμοσφαιρική απόθεση σε ορισμένες περιοχές, μπορεί ακόμη και να υπερβεί την εισροή του αζώτου μέσω ποταμών, όπως συμβαίνει στο τμήμα του Βόρειου Ατλαντικού που αντιστοιχεί στις ΗΠΑ (Selman and Greenhalgh, 2009).

Παραδείγματα ευτροφισμού σε διάφορες περιοχές

Η περίπτωση του λιμένος της Γκάντια

Ο κύριος συσχετισμός της εμφάνισης ευτροφικών γεγονότων αφορά τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ως εκ τούτου, οι κατοικημένες περιοχές και οι περιοχές πλησίον αγροκαλλιεργειών είναι οι πιο επιρρεπείς στην ρύπανση από θρεπτικά συστατικά. Ένα τέτοιο παράδειγμα περιοχών, με πολύ συχνές αναφορές σε φαινόμενα ευτροφικής ρύπανσης, είναι οι λιμένες, και ιδίως οι λιμένες που βρίσκονται σε πόλεις. Ο πιο επικρατής μηχανισμός ρύπανσης αυτών των λιμένων είναι τα συστήματα αστικών απορροών.

Αυτό όμως δεν αποκλείει και τη συνεισφορά των αγροτικών περιοχών, όσο και αν η πιθανότητα επιρροής που ασκούν δεν φαίνεται σημαντική. Αυτό πολλές φορές δεν θα συνέβαινε χωρίς τη δράση του ανθρώπου. Ως παράδειγμα, αναφέρεται το λιμάνι της Γκάντια, στη δυτική Μεσόγειο, Ισπανία. Εξαιτίας των ανθρώπινων έργων, το λιμάνι αυτό επικοινωνεί υδρολογικά με τον υγρότοπο Safor. Ο υγρότοπος αυτός αποτελεί προστατευόμενο οικοσύστημα βάσει της Οδηγίας Κατοικιών. Οι αγροτικές δραστηριότητες, που ανέκαθεν λάμβαναν χώρα στην περιοχή, απαίτησαν την αναδιαμόρφωση της υδρολογίας. Έτσι, το αποτέλεσμα αυτής της ανθρωπογενούς επέμβασης, ήταν η απορροή μέσω καναλιών του νερού στο λιμάνι της Γκάντια. Το λιμάνι αυτό αποτελεί χώρο με αβαθή νερά και μεγάλο χρόνο υδατικής στασιμότητας, ιδανικό συνδυασμό για τη διευκόλυνση της δράσης οποιασδήποτε ρυπαντικής ουσίας.

Γενικότερα, οι αγροτικές δραστηριότητες, που αποτελούν την κύρια πηγή αζώτου σε πολλές υδατικές περιοχές, δεν τυγχάνουν και ταυτόχρονης ιδανικής απορροφητικότητας του αζώτου. Λιγότερο από το μισό άζωτο απορροφάται από τις καλλιέργειες και το υπόλοιπο οδηγείται σε υδάτινους αποδέκτες, εγκυμονώντας οικολογικούς κινδύνους και ανθυγιεινές καταστάσεις.

Κάτι που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι το άζωτο και ο φωσφόρος δεν αποτελούν τους μόνους παράγοντες που επηρεάζουν τη πρωτογενή παραγωγικότητα. Σημαντική συνεισφορά στη δυναμική των πλαγκτονικών κοινοτήτων αποδίδεται και σε ένα άλλο χημικό στοιχείο, το πυρίτιο. Με τη συνδυασμένη δράση των στοιχείων αζώτου, φωσφόρου και πυριτίου, καθώς και με τους σχετικούς λόγους των συγκεντρώσεών τους, προκύπτουν ιδιαίτερες αλλαγές στην φυτοπλαγκτονική βιοκοινότητα, όπως η μεταστροφή της διαδικασίας ανάπτυξης από διάτομα σε μη-πυριτικά άλγη, που μπορούν πολλές φορές να πλήξουν το ισοζύγιο του οικοσυστήματος.

Το προαναφερθέν λιμάνι της Γκάντια αποτελεί παράδειγμα όπως είπαμε, επιρροής της υδρορύθμισης ενός σχετικά κοντινού υγρότοπου. Πολλοί τέτοιοι υγρότοποι έχουν δεχτεί ανθρωπογενείς επεμβάσεις στις δίαιτες των υδάτων τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική διαχείριση του νερού που χρησιμοποιείται για τις καλλιέργειες. Δυστυχώς όμως, οι θρεπτικές ουσίες που στραγγίζονται από τις περιοχές των καλλιεργειών είναι δύσκολο έως αδύνατο να ελεγχθούν, λόγω της μη-σημειοκότητάς τους ως πηγές. Αυτός είναι και ο πιο σημαντικός λόγος της αδυναμίας ελέγχου του αζώτου για την αποφυγή θρεπτικής ρύπανσης, εφόσον οι κύριες πηγές του συνίστανται από αγροτικές εκτάσεις. Έτσι, παρά τις πρακτικές διαχείρισης και προστασίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το άζωτο παραμένει σε αυξητικές τάσεις, αντίθετα με το φωσφόρο, που σημειώνει μείωση από τη δεκαετία του 1990. Αυτό κυρίως οφείλεται στη σημειοκή κατάσταση των πηγών του φωσφόρου και στην ευκολία ελέγχου τους, λόγω της κατάργησης των φωσφορικών καθαριστικών και τις πρακτικές απομάκρυνσης από εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων.

Η κύρια εισροή νερού στον υγρότοπο Safor συνίσταται από τον υπόγειο υδροφόρο, με την βροχόπτωση και την κατείσδυση να ακολουθούν σε συμμετοχή στην είσοδο γλυκού νερού. Η αλλαγή της υδρολογίας της περιοχής υπαγορεύεται από ένα σύνολο παραγόντων που ως κοινό στοιχείο και αιτία έχουν την ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Η καλλιέργεια των

σοδειών, κίτρου κυρίως, έχουν την ανάγκη αποφυγής της δημιουργίας ασφυκτικών συνθηκών για το ριζικό σύστημα, κυρίως τους φθινοπωρινούς μήνες και τους ανοιξιάτικους μήνες (που αποτελούν και τις περιόδους υετού στις μεσογειακές αυτές περιοχές, με το καλοκαίρι να είναι η ξηρή περίοδος). Ο υδροφόρος όμως ο οποίος παρέχει το απαιτούμενο νερό για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, χαρακτηρίζεται ταυτόχρονα και από ένα ρηχό επίπεδο στάθμης, το οποίο την περίοδο των βροχών μπορεί εύκολα να πλησιάσει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Για το σκοπό αυτό, τα αρδευτικά κανάλια αναλαμβάνουν δράση μεταφοράς νερού που αντλείται από το υδροφόρο στρώμα. Σκοπός είναι να επιτευχθεί πτώση της στάθμης του υδροφόρου, ώστε οι ρίζες των καλλιεργειών να μην εκτίθενται σε καταστάσεις ασφυξίας. Αυτή η δράση είναι συνεπώς πιο έντονη τους μήνες έντονου υετού. Το νερό αυτό όμως, όταν δεν χρησιμοποιείται, διοχετεύεται από τα αρδευτικά κανάλια κατευθείαν στη θάλασσα.

Η άντληση από τον υδροφόρο δεν προκύπτει μόνο για τις ανάγκες των αγροτικών δραστηριοτήτων, αλλά και από την εξέλιξη των αστικών και τουριστικών περιοχών. Για να αποφευχθεί άνοδος της στάθμης του υδροφόρου κοντά στις βάσεις των αστικών κέντρων, έχει κριθεί αναγκαία η μείωση του επιπέδου των υδροφόρων στρωμάτων, και αυτό επιτυγχάνεται με την αντλητική δράση των αγωγών στον υδροφόρο. Πέρα από αυτό, οι περιοχές της συγκεκριμένης παράκτιας μεσογειακής ζώνης, δέχονται σημαντικό αριθμό τουριστών κάθε καλοκαίρι. Αυτές οι περιοχές όμως αποτελούν μια ζώνη εξαιρετικά ξηρής καλοκαιρινής περιόδου, με αποτέλεσμα να καθίσταται υποχρεωτική η εξασφάλιση αποθεμάτων νερού προς κατανάλωση. Αυτό το νερό, για άλλη μια φορά, αποδίδεται από την εντατική άντληση που δέχεται ο δεντροειδής υδροφόρος ο οποίος διατρέχει ολόκληρο τον υγρότοπο Safor.

Αυτές οι υδρορυθμίσεις όμως μπορούν να έχουν και ένα αναπάντεχο αποτέλεσμα. Η αποφόρτιση του νερού από τις καλλιέργειες και τον υδροφόρο προς τη θάλασσα και το λιμάνι της Γκάντια, έχουν επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα και την πλαγκτονική ανάπτυξη των οικοσυστημάτων της περιοχής. Λόγω της προέλευσής του, που προέρχεται δηλαδή από έναν υδροφόρο επηρεασμένο από τα στραγγίσματα των καλλιεργειών, το νερό που καταλήγει στο λιμάνι είναι πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία και δη, σε άζωτο. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών στα νερά που φτάνουν στο λιμάνι από την άντληση του υδροφόρου, υπερβαίνουν το όριο των 50 mg/L, καθορισμένο από την Οδηγία για τα Νιτρικά, με αποτέλεσμα την υπερβολική τροφοδότηση του λιμένας σε θρεπτικό άζωτο.

Τα αντλούμενα από τον υδροφόρο νερά φτάνουν στο λιμάνι μέσω του αγωγού του San Nicolas. Η συνεχής ροή στον αγωγό αυτό λαμβάνει χώρα μόνο κατά το τελευταίο 1,5 km, γιατί αυτή είναι και η ροή που αντιστοιχεί στις παροχές νερού από τον υγρότοπο Safor. Το λιμάνι της Γκάντια που δέχεται τα νερά, είναι τόσο περιορισμένης έκτασης και βάθους που αν συνδυαστεί με την εκροή νερού από τον αγωγό, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μικρό, διαβαθμισμένο δέλτα με ένα ρηχό επίπεδο γλυκού νερού. Το μέσο βάθος του αριθμεί τα 5 μέτρα, με ένα μέγιστο τάξης 10 μέτρων. Αυτό το μικρό βάθος, σε συνδυασμό με τον μεγάλο χρόνο παραμονής των νερών (30 ημέρες κατά μέσον όρο) συνιστούν μια ιδανική διαμόρφωση για εμφάνιση ευτροφικών φαινομένων.

Αποτελέσματα έρευνας στην περιοχή

Για την διερεύνηση της κατάστασης και την εξακρίβωση των κινδύνων ή της παρουσίας ευτροφικών φαινομένων στο λιμάνι της Γκάντια, διεκπεραιώθηκε στοχευμένη μελέτη σχετικά με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών και την κατάσταση της φυτοπλαγκτονικής κοινότητας. Λήφθηκαν δείγματα νερού από 8 σημεία. Τα σημεία αυτά αφορούσαν ορισμένα κανάλια (όχι μόνο του San Nicolas) που κατέληγαν στο λιμάνι. Οι αντίστοιχες χρονικές τοποθετήσεις των

δειγματοληψιών εκπροσωπούσαν την υγρή ανοιξιάτικη περίοδο (15/4/2009) και την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο (6/8/2009).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των αναλύσεων, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ακολουθούσαν γεωγραφική διαβάθμιση από τα σημεία εκροής προς τις εξώτερες περιοχές της θάλασσας. Τυπικά, στην εκβολή του καναλιού Moli η αλατότητα ποίκιλε από 19,1 και 22,4 , ενώ στο σημείο εκτός του λιμανιού το αντίστοιχο εύρος ήταν 37 με 37,5. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα δείγματα των καναλιών και των εκβολών τους παρουσίασαν τις χαμηλότερες αλατότητες με διαφορά, λόγω του γλυκού/ υφάλμυρου νερού.

Αυτές οι περιοχές δειγματοληψίας όμως σημείωσαν και τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε θρεπτικά. Ένα πάλι ευνόητο αποτέλεσμα, αφού τα κανάλια ήταν οι πηγές των θρεπτικών. Γενικά, το μοτίβο διαβάθμισης των θρεπτικών ήταν ακριβώς αντίθετο από της αλατότητας σε κάθε συστάδα (θάλασσα ή κανάλια-εκροές), δεδομένου ότι τα κανάλια ήταν ο περιέκτης-τροφοδότης των θρεπτικών και η θάλασσα ο περιέκτης των αλάτων. Γενικά δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές των θρεπτικών μεταξύ των 2 εποχών. Το άζωτο απαντήθηκε κυρίως με τη μορφή νιτρικών, με κορυφαία τιμή στα κανάλια τα 200 μM . Από τη μεριά των φυτοπλαγκτονικών συγκεντρώσεων, η χλωροφύλλη-α είχε αξιοσημείωτη ποικιλία με μια πτωτική διαβάθμιση από τις περιοχές εκροών προς την θάλασσα.

Η έρευνα αφορούσε όχι μόνο τα ποσά, αλλά και την κατανομή των ειδών του πλαγκτόν. Την άνοιξη στα κανάλια κυριαρχούσαν τα διάτομα, τα οποία όμως μειώνονταν το καλοκαίρι.

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Την βροχερή περίοδο της άνοιξης τα κανάλια έχουν συνεχή ροή με μεγάλη παροχή προς το λιμάνι, για να επιτευχθεί μείωση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα. Από την άλλη πλευρά το καλοκαίρι η παροχή λιγοστεύει, λόγω της χρήσης του νερού του υδροφόρου για την κάλυψη του αυξημένου αρδευτικού φορτίου των καλλιιεργειών και του υδρευτικού φορτίου του αυξημένου πληθυσμού. Το αποτέλεσμα είναι το αβαθές επίπεδο γλυκού νερού, που εξαιτίας των καναλιών χαρακτηρίζει το λιμάνι, σχεδόν να εξαφανίζεται. Σε αυτό σημαντικό ρόλο κατέχει και η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου.

Αν και οι συγκεντρώσεις νιτρικών και πυριτίου χαρακτηρίστηκαν εκτός ορίων, από τη μεριά του φωσφόρου παρατηρήθηκαν αρκετά χαμηλές, σε αποδεκτά επίπεδα που προσομοιάζαν σε μη ρυασμένες από θρεπτικό φώσφορο περιοχές. Η υπεραφθονία αζώτου και πυριτίου θεωρήθηκε υψηλή όχι μόνο σε σχέση με τα μέτρα των ουδέτερων, αλλά και με τα μέτρα των θρεπτικά ρυπασμένων περιοχών. Από ότι φάνηκε για τη συγκεκριμένη περιοχή δειγμάτων, τα θρεπτικά στα κανάλια και στο θαλασινό νερό εξαρτώντο από την χρήση του εδάφους στην περιοχή αποστράγγισης.

Αξίζει εδώ να αναφέρουμε ότι, σε αντίθεση με την πλειοψηφία των θαλάσσιων παράκτιων περιοχών, όπου προαναφέρθηκε ότι το άζωτο αποτελεί τον περιοριστικό θρεπτικό παράγοντα, στη Μεσόγειο οι μελέτες δείχνουν ότι ο περιοριστικός θρεπτικός παράγον για την πρωτογενή παραγωγικότητα είναι ο φώσφορος. Η διαπίστωση αυτή έχει σημαντικές συνέπειες στο λιμάνι της Γκάντια, όπου η εισροή νερού από τη θάλασσα οδηγεί και στην κυριαρχία του φωσφόρου στη θρεπτική βαθμίδα. Είναι επίσης λογική η εσωτερική ανατροφοδότηση του υδάτινου αυτού συστήματος σε φώσφορο. Αυτή η υπόθεση προέκυψε από την αδυναμία ανανέωσης του νερού, εξαιτίας της δράσης των ανέμων και της μειωμένης ροής. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβάλλει σε αυξημένο χρόνο επαφής των νερών με τα ιζήματα-πηγές φωσφόρου. Η αύξηση των συγκεντρώσεων φωσφόρου την άνοιξη όμως, που συμπίπτει με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων στους αγρούς, δείχνει ως κυρίαρχη μια πιο εξωγενή, αλλόχθονη ανατροφοδότηση. Μια σημαντική πληροφορία που αποδόθηκε ήταν ως το καλοκαίρι

παρατηρήθηκε επίσης αύξηση των συγκεντρώσεων φωσφόρου. Κάτι τέτοιο δεν θα δικαιολογούνταν από τη μειωμένη, (λόγω μικρότερης παροχής καναλιών αλλά και χρήσης λιπασμάτων) ροή φωσφόρου από τα κανάλια. Η ταυτόχρονη όμως αύξηση της παροχής της υποθαλάσσιας απορροής νερού από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, λόγω αύξησης της κατανάλωσης νερού από τον πληθυσμό, είναι η αιτία για τις ανώτερες συγκεντρώσεις φωσφόρου το καλοκαίρι.

Για την φυτοπλαγκτονική βιομάζα, η χλωροφύλλη-α μπορεί να ήταν πέραν των συνηθισμένων τιμών για ολιγότροφα ή ευτροφικά συστήματα εκβολών ή λιμνοθαλασσών, αλλά ήταν πολύ χαμηλότερες από υπερευτροφικά αντίστοιχα συστήματα. Η κυριαρχία των ευγληνόφυτων που παρατηρήθηκε έχει παρατηρηθεί και σε άλλα ευτροφικά συστήματα και έχει συσχετιστεί με αυξημένη αναταραχή του νερού και επίσης αυξημένα επίπεδα θρεπτικών. Οι chlorophytes αποτελούν ένα χαρακτηριστικό είδος σε πολύ εύτροφα νερά. Στην εκβολή του Moli, η συγκέντρωσή τους μπορεί να αποδοθεί σε διαδικασίες ιζηματοποίησης εξαιτίας της αλατότητας. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο ήταν η μειωμένη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α στα σημεία κυριαρχίας των flagellates. Ως μικρά φυτοπλαγκτονικά είδη, αυτό εξηγείται από την προσέλκυση θηρευτών, που με ένα μηχανισμό αυτοδιόρθωσης μειώνει τη φυτική βιομάζα. Τέλος, εκτός του λιμανιού παρατηρήθηκε υψηλή συγκέντρωση prymnesiohytes την άνοιξη ενώ το καλοκαίρι η μείωσή τους συνέπεσε με αύξηση των κυανοβακτηρίων, που είχαν περισσότερη συμμετοχή στη χλωροφύλλη-α. Κάτι τέτοιο συμβαίνει σε συνθήκες μείωσης θρεπτικού φορτίου και ανόδου της θερμοκρασίας, αφού τα μικρά κύτταρα προτιμούν υψηλές θερμοκρασίες όπου αναπτύσσονται ταχύτερα από τις άλγεις και τα διάτομα. Τα 2 προαναφερθέντα είδη, που προσιδιάζουν σε ολιγότροφα νερά, δείχνουν ότι ο ευτροφισμός περιορίζεται εντός του λιμένος (Sebastiá *et al.* , 2012).

Άλλες περιπτώσεις ρύπανσης από θρεπτικά στοιχεία

Είναι ευνόητο ότι, οι μεσογειακές περιοχές, ως πυκνοκατοικημένες και κέντρα δραστηριοτήτων, έχουν να επιδείξουν σημαντικά προβλήματα όσον αφορά την υπέρμετρη παρουσία θρεπτικών και δυνητικά ευτροφισμού. Η περιοχή της Αδριατικής κάποτε χαρακτηριζόταν από την χαμηλή της παραγωγικότητα. Το 1977 όμως, η καθαρή παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτόν στο βόρειο μέρος της κυμαίνεται σε επίπεδα πρωτόγνωρα για τα τελευταία 10 χρόνια μελετών στην περιοχή. Τα υψηλά αυτά επίπεδα συνοδεύονταν από ασυνήθιστα χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στον πυθμένα.

Οι έρευνες που είχαν πραγματοποιηθεί αφορούσαν την παρακολούθηση της πορείας του φυτοπλαγκτόν. Παρατηρήθηκαν απροσδόκητες ανθίσεις την άνοιξη και το φθινόπωρο, ιδίως σε περιοχές της ΒΔ Αδριατικής, που βρίσκονται σε καθεστώς επιρροής από ιταλικά ποτάμια, κυρίως του ποταμού Πο. Πέρα από τις φυσικές πηγές απορροής θρεπτικών του Πο, υπάρχουν και ανθρωπογενείς απορροές, εξαιτίας του ότι η λεκάνη απορροής του περιλαμβάνει πυκνοκατοικημένες περιοχές και γεωργικές εκτάσεις. Αυτό έχει ως συνέπεια να διατίθενται στον ίδιο και στους πολυάριθμους παραποτάμους του σημαντικές ποσότητες θρεπτικής και οργανικής ύλης, οι οποίες αποτίθενται στα ιζήματα της ΒΔ Αδριατικής.

Σχετική έρευνα που έγινε στα νερά αυτά αποκάλυψε περιοχές αλατότητας χαμηλότερης από ότι συνήθως σε μεγάλη απόσταση από τον ποταμό Πο, ενώ πριν το 1977 η περιοχή χαμηλής αλατότητας περιοριζόταν στο χώρο γύρω από τις εκβολές του. Όπως είναι ευνόητο οι περιοχές χαμηλής αλατότητας συσχετίζονται με τα ποτάμια μόνο αν ληφθεί υπόψη η απορροή γλυκού νερού που διαθέτουν στην θάλασσα. Επομένως, η αύξηση της περιοχής χαμηλής αλατότητας

συσχετίστηκε με αύξηση των απορροών του ποταμού, που με τη σειρά της συσχετίστηκε με έντονα μετεωρικά φαινόμενα την εποχή εκείνη.

Αυτό όμως αύξησε και τις απορροές θρεπτικών στην Αδριατική, που με τη σειρά τους αύξησαν τρομερά το φυτοπλαγκτόν. Η παραγωγικότητα άγγιξε τιμές αρκετά ανώτερες από όσες είχαν ποτέ καταγραφεί για την περιοχή. Συγκριτικά θα αναφέρουμε ότι η χλωροφύλλη *a* σε ένα σταθμό δειγματοληψίας έφτασε την τιμή 11-13 $\mu\text{g/L}$ τη στιγμή που η προηγούμενη υψηλότερη καταγεγραμμένη τιμή ήταν 4 $\mu\text{g/L}$, με το 76% των προηγούμενων μετρήσεων να υπολείπεται του 0.5 $\mu\text{g/L}$. Αντίστοιχα υψηλές σε σύγκριση με άλλες καταγεγραμμένες ήταν και οι τιμές για την πρωτογενή παραγωγικότητα. Αυτές οι μετρήσεις αφορούσαν τον Ιούλιο του 1977. Αν και τους άλλους μήνες οι τιμές ήταν μέσα στα όρια και, αν και ο ευτροφισμός στην Αδριατική δεν φαίνεται να εξελίσσεται ανοδικά, εν τούτοις κρίθηκε φρόνιμη η σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση της περιοχής και συνεχίζουν να υποβόσκουν ανησυχίες για τις πιθανές ευτροφικές καταστάσεις στην περιοχή και τις υποβαθμιστικές επιδράσεις τους στην βιοποικιλότητά της (Degrobbis, *et al*, 1979).

Η ανατολική Μεσόγειος είναι επίσης υποβαθμισμένη, μάλιστα θεωρείται από τις πιο υποβαθμισμένες υδάτινες εκτάσεις στον κόσμο, όσον αφορά τα θρεπτικά. Τα επίπεδα των θρεπτικών, γενικά για την ανατολική Μεσόγειο, κυμαίνονται σε εύρη 0.01-0.24 $\mu\text{g/l}$ για τα φωσφορικά, 0.05-6.0 $\mu\text{g/l}$ για τα νιτρώδη/νιτρικά και 1.0-11.0 $\mu\text{g/l}$ για την ενεργή πυριτία. Τα αποτελέσματά τους είναι εμφανή από τις συγκεντρώσεις χλωροφύλλης *a* και την πρωτογενή παραγωγικότητα.

Στο πλαίσιο της γενικότερης εικόνας της Α. Μεσογείου εντάσσεται και ο κόλπος του Ισκαντερούμ, στην επαρχία Hatay της Τουρκίας, όπου εμφανίζεται <<προ-ευτροφική>> κατάσταση, λόγω κυρίως των απορροών από ξηράς, τις οποίες ενισχύει και το μικρό βάθος που συνεπάγεται αυξημένο ηλιακό φωτισμό. Οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των φωσφορικών, νιτρικών/νιτρωδών και ενεργής πυριτίας εντάσσονται στην περιοχή των 0.1-1.5, 0.5-12 και 1-11 $\mu\text{g-at/l}$ αντίστοιχα. Η χλωροφύλλη *a* ανήκει στο εύρος 0-6.5 $\mu\text{g/l}$, αρκετά υψηλότερο από την πιο ενδοθαλάσσια πυκνότητα. Παρόλα αυτά δεν έχει παρατηρηθεί καθαυτό ευτροφισμός όσον αφορά το διαλυμένο οξυγόνο και τα γενικότερα στοιχεία, πιθανότατα λόγω της επαρκούς ανακυκλοφορίας των υδάτινων ρευμάτων στην περιοχή και του μικρού βάθους που επιτρέπει την σημαντική είσοδο οξυγόνου, όπως δείχνει το ότι τα ρεύματα ανέμων μπορούν να εισάγουν οξυγόνο ακόμη και στη περιοχή του πυθμένα (Yilmaz *et al*, 1992).

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι στην ακραία κατάσταση του ευτροφισμού παρατηρείται η ανάπτυξη τοξικών οργανισμών. Τέτοιος οργανισμός είναι τα διμαστιγωτά, από τα οποία πολλά είδη εκκρίνουν τοξικές ουσίες, ενώ άλλα είδη είναι δευτερευόντως τοξικά (Turkoglu, 2013). Ταυτοχρόνως, η υψηλή παρουσία τους χαρακτηρίζεται/αναγνωρίζεται από το ερυθρών ή πορτοκαλί αποχρώσεων χρώμα που προσδίδεται στα νερά, φαινόμενο το οποίο είναι ευρέως γνωστό ως κόκκινη παλίρροια (αν και στους ίδιους οργανισμούς οφείλονται και μεγαλύτερες ποικιλίες χρωμάτων όπως π.χ. οι πράσινες παλίρροιας). Οι κόκκινες παλίρροιας απασχολούν πολλές θαλάσσιες περιοχές, κατά κανόνα ίσως κλειστές, στον ευρύτερο χώρο της Μεσογείου. Η χώρα μας δεν εξαιρείται από τον κανόνα αυτό, καθώς τα φαινόμενα της κόκκινης παλίρροιας είναι ορατά σε κόλπους όπως ο Σαρωνικός και ο Θερμαϊκός, κόλποι αρκετά επιβαρυνμένοι από ανθρωπογενή θρεπτικά.

Και σε περιοχές πέριξ της χώρας μας όμως υπάρχει η παρουσία αυτού του φαινομένου, όπως η θάλασσα του Μαρμαρά στην περιοχή του Ελλησπόντου. Η περιοχή αυτή, μεταξύ άλλων είναι ανθρωπογενώς επηρεασμένη και στον τομέα των θρεπτικών. Παρόλα αυτά οι συνθήκες ακμής πολλών από τα είδη αυτά, όπως του *Noctiluca Scintillans* που εμφανίστηκε στην

περίπτωση αυτή των Δαρδανελίων, δεν είναι πλήρως αποκρυπτογραφημένες και ήταν ανάγκη να λάβουν χώρα συστηματικές παρακολούθησεις στην περιοχή. Σκοπός ήταν η εστίαση στις εβδομαδιαίες διακυμάνσεις της κυτταρικής πυκνότητας και όγκου του *N. Scintillans*. Κατά την περίοδο άνθισης του είδους (το διάστημα Μαρτίου-Ιουνίου και Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου), η κυτταρική πυκνότητα έφτασε σε τιμές $2.2 \cdot 10^5$ κύτταρα/L και είχε όγκο $1.32 \cdot 10^{12}$ $\mu\text{m}^3/\text{L}$. Οι υψηλές επιφανειακές συγκεντρώσεις συνοδεύονταν και από υπό-επιφανειακή αύξηση της πυκνότητας των κυττάρων κατά την περίοδο άνθισης. Οι συσχετισμοί που έγιναν αφορούσαν την συνύπαρξη του είδους με τόσο ευτροφικές, όσο και με θερμοκρασιακές καταστάσεις και καταστάσεις αλατότητας.

Μετρήθηκαν οι συνεισφορές διαφόρων παραμέτρων, όπως των θρεπτικών, του διαλυμένου O_2 , της χλωροφύλλης *a* και άλλων. Ταυτοχρόνως με τις μετρήσεις της ανάπτυξης του συγκεκριμένου είδους, η πυκνότητα κυττάρων του φυτοπλαγκτόν βρέθηκε να κυμαίνεται από 10^5 έως $1.84 \cdot 10^7$ κύτταρα/L, ενώ ο κυτταρικός όγκος βρισκόταν σε ένα εύρος $2.51 \cdot 10^9$ με $1.44 \cdot 10^{12}$ $\mu\text{m}^3/\text{L}$ που στελεχώνονταν από είδη αλγών σε άνθιση λόγω των φυτοπλαγκτονικών μικροκυτταρικών ειδών.

Αξιοσημείωτο ήταν επίσης το πόρισμα ότι η συγκέντρωση του θρεπτικού φωσφόρου ακολουθούσε αντίθετη συσχέτιση με το βάθος από τη συγκέντρωση των θρεπτικών N-. Η γενικότερη εικόνα πάντως που εξήχθη ήταν ότι η θάλασσα του Μαρμαρά είχε δεχτεί σοβαρή ευτροφική επιβάρυνση εξαιτίας του ότι επικοινωνεί με τη Μαύρη Θάλασσα (Turkoglu, 2013).

Τα κύρια θρεπτικά που συνεισφέρουν στον ευτροφισμό είναι άλατα (PO_4 , NO_3/NO_2 και NH_4), χωρίς αυτό να αποκλείει και την συνεισφορά λυμάτων. Η περίπτωση της χώρας μας ιδιαίτερα επιδεικνύει σημαντική επιβάρυνση λόγω θρεπτικών. Στην περιοχή του Θερμαϊκού, μια καθαυτό περίπτωση θαλάσσιας ρυπασμένης περιοχής, λόγω του δεύτερου σε μέγεθος ελληνικού αστικού κέντρου της Θεσσαλονίκης, έγιναν προσπάθειες για την παρακολούθηση και την μοντελοποίηση της διαίτας των θρεπτικών, και για τον προσδιορισμό της ακριβούς έκτασης ρύπανσης.

Ο Θερμαϊκός κόλπος αποδείχθηκε να έχει δεχτεί επιβάρυνση κυρίως σε μέρη του που βρίσκονται πλησίον αγροτικών εκτάσεων και στο λιμάνι της Θεσσαλονίκης, ενώ αναφέρεται και μια παρόμοια υψηλή συγκέντρωση στο σημείο όπου απορρίπτονταν ανεπεξέργαστα τα περισσότερα αστικά λύματα. Οι καταστάσεις αυτές έχουν οδηγήσει σε μείωση του πληθυσμού των ψαριών και ευτροφικές τάσεις. Μεγάλη συνεισφορά σε αυτό έχουν οι απορροές των ποταμών Αξιού και Λουδία, στους οποίους οδηγούνται τα ξεπλυμένα από τη βροχή αγροτικά λιπάσματα.

Η ανάγκη για μελέτη που προέκυψε από τον κίνδυνο της ρύπανσης, έδωσε αφορμή για μια έρευνα στα νερά του Θερμαϊκού, με σκοπό την παρακολούθηση της διάδοσης των θρεπτικών στον κόλπο και την εξακρίβωση του βαθμού ρύπανσής του. Παρατηρήθηκαν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών που μπορούν να οδηγήσουν σε ευτροφική κατάσταση. Υψηλή παρουσία θρεπτικών παρατηρήθηκε σε περιοχές που βρίσκονταν γειτονικά σε παρουσία απόνερων σφαγείων και αστικών λυμάτων. Σε ένα σταθμό δειγματοληψίας, όπου παρατηρήθηκαν εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου, αξίζει να σημειωθεί ότι κυριαρχούσαν και υψηλότερες συγκεντρώσεις των ιόντων ριζών αζώτου με σθένη κατώτερα της νιτρικής ρίζας (NO_2^- , NH_4^+). Αυτό γίνεται όταν τα βακτήρια λόγω έλλειψης οξυγόνου χρησιμοποιούν για πηγή οξυγόνου τα νιτρικά ιόντα, ανάγοντάς τα σε νιτρώδη και αμμωνιακά (ανοξικές συνθήκες), που μας παραπέμπει σε τελικά στάδια ευτροφισμού.

Τα αμμωνιακά σε εκείνο το σταθμό άγγιζαν την τιμή των $6.25 \mu\text{g}/\text{L}$, ενώ τα νιτρώδη σημείωναν συγκεντρώσεις σχεδόν 5 φορές ανώτερες του μέσου όρου. Σημαντική αύξηση των

νιτρικών (5.31μg/L) παρατηρήθηκε στην περιοχή των εκβολών του Αξιού. Αυτές οι συγκεντρώσεις αυξάνονταν την περίοδο των βροχοπτώσεων, λόγω έκπλυσης των λιπασμάτων από τις κοντινές αγροτικές εκτάσεις. Επίσης, ο λόγος αζώτου προς φώσφορο ήταν ιδιαίτερα μικρός στην περιοχή απόρριψης των λυμάτων, με τάσεις αύξησης προς τις περιοχές μεγαλύτερης απόστασης. Με βάση τα συμπεράσματα της μελέτης θεωρήθηκε ότι ο Θερμαϊκός μπορεί να χωριστεί σε 2 περιοχές διαφορετικής συμπεριφοράς, ώστε να διευκολυνθεί η μετέπειτα παρακολούθηση της κυκλοφορίας των θρεπτικών (Samanthiou, *et al*, 1986).

Συνοψίζοντας, η ρύπανση από θρεπτικά απασχολεί άμεσα τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Οι επιπτώσεις της, όπως αναφέρθηκε κινούνται σε ευρύ πλαίσιο θεμελιωδών θεμάτων, με πιο σημαντικά αυτά της υγείας και οικολογίας.

Μόλυνση υδάτων από μικροοργανισμούς

Γενικά για τους μικροοργανισμούς

Κοντά στις άλλες κατηγορίες ρύπανσης, υπάρχει και η κατάσταση της **μόλυνσης** του νερού. Η μόλυνση αφορά είσοδο παθογόνων **μικροοργανισμών** σε ποσότητα- συγκέντρωση ικανή να αποτελέσει πρόβλημα για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Αυτός είναι ο ουσιαστικός και συνοπτικός ορισμός της μόλυνσης. Για αντιπαράθεση, η **ρύπανση** οποιουδήποτε συστήματος (φυσικού- οικολογικού ή ανθρώπινου) με συνοπτικό ορισμό είναι η εισαγωγή στο σύστημα ουσιών ή ακτινοβολίας σε ποσότητα- συγκέντρωση τέτοια που να προκαλέσει περιβαλλοντικές οχλήσεις ή οχλήσεις στον άνθρωπο και στην υγεία του. Σε γενικό πλαίσιο, τα αποτελέσματα της μόλυνσης και της ρύπανσης είναι τα ίδια αλλά τα αίτια της μόλυνσης αφορούν είσοδο μικροοργανισμών ενώ της ρύπανσης είσοδο ουσιών ή ενέργειας.

Οι υπεύθυνοι για τη μόλυνση μικροοργανισμοί, δεν είναι υποχρεωτικό να είναι μονοκύτταροι. Υπάρχουν πολυκύτταροι μικροοργανισμοί με συνεργαζόμενα κύτταρα, χωρίς φυσικά την ποικιλομορφία και την λειτουργική πολυπλοκότητα των ανώτερων οργανισμών. Η κατηγορία των μικροοργανισμών, που ταυτίζεται με την κατηγορία των **μικροβίων**, δεν ταυτίζεται εντούτοις με την κατηγορία των βακτηρίων αλλά τα περιλαμβάνει αποτελούν δηλαδή τα βακτήρια ένα μόνο κομμάτι του συνόλου των μικροοργανισμών.

Οι μικροοργανισμοί περιλαμβάνουν τις ομάδες των **βακτηρίων**, **αρχαίων** και **πρωτοζώων**, αρκετούς **μύκητες** και **άλγεις**, ακόμη και ορισμένα ζωικά είδη (πολυκύτταρους οργανισμούς). Μπορούν να χωριστούν επίσης ανάλογα και με τη δομή των κυττάρων. Υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες κυττάρων, τα **ευκαρυωτικά** και τα **προκαρυωτικά** (αντίστοιχα **ευκαρυωτικοί** και **προκαρυωτικοί** οργανισμοί).

Οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα με πλήρως σχηματισμένο και περιβεβλημένο πυρήνα. Τα πρωτόζωα, μαζί με τα φύκη- άλγη και τους μύκητες απαντώνται σε αυτή την κατηγορία. Ο **κυτταρικός πυρήνας**, το **κυτταρόπλασμα**, και η **κυτταρική μεμβράνη** είναι τα βασικά τους μέρη, ενώ ο πυρήνας υφίσταται σαφή διαχωρισμό από το υπόλοιπο κύτταρο με την **πυρηνική μεμβράνη**. Περιέχουν δευτερεύοντα λειτουργικά μέρη (οργανίδια), όπως τα **μιτοχόνδρια** για παραγωγή ενέργειας, τα **ριβοσώματα** για παραγωγή πρωτεϊνών και τα **λυσσοσώματα** για αποθήκευση ουσιών κυτταρόλυσης. Τα φυτικά κύτταρα περιέχουν το επιπλέον λειτουργικό οργανίδιο **χλωροπλάστης**, στο οποίο συντελείται η διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Τα προκαρυωτικά κύτταρα αντίθετα δεν παρουσιάζουν οργανωμένο και σαφώς διαχωρισμένο από το κυτταρόπλασμα πυρήνα και διακατέχονται από μια απλοποιημένη και λιτή εσωτερική δομή. Η κυτταρική μεμβράνη, όπως και τα ριβοσώματα και τα μιτοχόνδρια είναι παρόντα, αλλά δεν περιέχουν κάποιον άλλο μεμβρανικό σχηματισμό και το γενετικό τους υλικό,

ένα δίκλωνο δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ είναι τυλιγμένο σε μια περιοχή που λέγεται πυρηνοειδές. Το μέγεθός τους είναι μικρότερο από τα ευκαρυωτικά και οι οργανισμοί που εντάσσονται σε αυτά είναι κυρίως μονοκύτταροι, όπως τα βακτήρια και τα αρχαία.

Στους μικροοργανισμούς ανήκει και μια ειδική ομάδα όντων, οι **ιοί**. Οι απόψεις σχετικά με την ορθή κατάταξή τους στα έμβια όντα πολλές φορές διχάζονται, αλλά η πιο ευρέως διατυπωμένη άποψη και πιο σαφής θεωρούμενη είναι αυτή της ένταξής τους ως **ακυτταρικές μορφές ζωής**. Η δομή τους περιλαμβάνει ουσιαστικά μόνο 2 μέρη, μια πρωτεϊνική κάψα και ένα κομμάτι γενετικού υλικού στο εσωτερικό. Η κύρια και καθοριστική διαφορά τους από τα συνηθισμένα έμβια όντα είναι ότι οι ιοί δεν παράγουν ενέργεια για να ζήσουν, και αυτό είναι ίσως ο κύριος παράγων που αποτρέπει την ένταξή τους στις κανονικές κυτταρικές μορφές ζωής. Η μόνη διαδικασία που διενεργούν είναι αυτή της αναπαραγωγής, αλλά ακόμη και για αυτήν χρειάζονται τη μεσολάβηση κάποιου ξενιστή με κανονικό κύτταρο (που παράγει ενέργεια για να ζήσει). Ο μηχανισμός της αναπαραγωγής τους περιλαμβάνει την εισαγωγή του γενετικού τους υλικού σε αυτό ενός κυττάρου και την χρήση των ουσιών και διαδικασιών του για παραγωγή πολλαπλάσιων αντιγράφων γενετικού υλικού τους και πρωτεϊνικής κάψας (δηλαδή νέων ιών).

Μικροβιακοί δείκτες

Στο θέμα της ανίχνευσης και προσδιορισμού των παθογόνων μικροοργανισμών, είναι χρήσιμο να κατανοηθεί ότι το τεράστιο πλήθος τους εμποδίζει τον προσδιορισμό της παρουσίας όλων τους είδος προς είδος. Ακόμη και στην περίπτωση του ελέγχου ποιότητας του νερού, όπου οι μικροοργανισμοί που ενδιαφέρουν κυρίως είναι οι **παθογόνοι**, υπάρχουν πολυάριθμοι μικροοργανισμοί ως πιθανοί αίτιοι μιας μόλυνσης γενικά. Η καταγραφή και προσδιορισμός κάθε είδους θα ήταν μια διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα, επίπονη και δαπανηρή. Για το λόγο αυτό υπήρξε αναγκαίος ο καταμερισμός των καταστάσεων μόλυνσης π.χ. ανάλογα με τις πηγές, και για κάθε πηγή, η επιλογή συγκεκριμένων μικροοργανισμών τους οποίους περιέχει και οι οποίοι θα πρωτοστατούσαν σε μια υποτιθέμενη μόλυνση από αυτήν. Αυτοί οι μικροοργανισμοί, γνωστοί στη βιβλιογραφία ως **μικροβιακοί δείκτες**, καλλιεργούνται από δείγματα με τρόπο κατάλληλο ώστε να γίνεται δυνατή η ταυτοποίησή τους.

Η επιλογή πρώτα της κατηγορίας μόλυνσης (με βάση την πηγή) γίνεται ανάλογα με τη γνώση των δυνατοτήτων μόλυνσης μιας υδάτινης περιοχής. Η ως επί το πλείστον διαδεδομένη πηγή και κατηγορία μόλυνσης για το νερό είναι αυτή της **κοπρανώδους μόλυνσης**. Έτσι καλείται η μόλυνση των νερών από παθογόνους μικροοργανισμούς που διαβιούν στο πεπτικό σύστημα των ανώτερων οργανισμών. Πολλοί από αυτούς χαρακτηρίζονται ως **δυνητικά παθογόνοι**. Είναι δηλαδή ακίνδυνοι, αλλά και απολύτως απαραίτητοι στο συγκεκριμένο μέρος του πεπτικού συστήματος του οργανισμού στο οποίο ενδημούν, αλλά η παρουσία τους σε μεγάλους αριθμούς και σε άλλο μέρος του σώματος προκαλεί παθογενείς καταστάσεις. Αυτό στην περίπτωση της κοπρανώδους μόλυνσης των υδάτων γίνεται με επαφή ή εισροή του νερού στο σώμα, όταν το νερό έχει αναμειχθεί με περιττώματα απέκκρισης των ανώτερων οργανισμών.

Ακόμη και ο περιορισμός της κατηγορίας μόλυνσης όπως ειπώθηκε δεν είναι αρκετός, με τους πολυάριθμους οργανισμούς που συμβιώνουν στο πεπτικό σύστημα, και χρειάζεται η επιλογή ορισμένων μόνο μικροοργανισμών που να χαρακτηρίζουν την κοπρανώδη μόλυνση. Αυτοί οι μικροβιακοί δείκτες πρέπει να χαρακτηρίζουν τις απεκκρίσεις όσο το δυνατόν περισσότερων οργανισμών που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη κατηγορία μόλυνσης.

Στην κοπρανώδη μόλυνση η ευρύτερη κατηγορία που περιλαμβάνει τους προσδιοριζόμενους μικροοργανισμούς αφορά τα **ολικά κολοβακτηριοειδή (Total Coliforms)**. Αυτός είναι και ο πρώτος μικροβιακός δείκτης και περιλαμβάνει τα είδη *Escherichia coli*,

Enterobacter, Citrobacter και Klebsiella. Τα είδη Escherichia coli και Klebsiella συνιστούν τον δεύτερο μικροβιακό δείκτη, την κατηγορία **κοπρικά κολοβακτηριοειδή (Fecal Coliforms)**. Τα κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή αποτελούν τον πιο χρήσιμο δείκτη κοπρανώδους μόλυνσης όσον αφορά την ανίχνευση λυμάτων και απορροών προερχόμενων από κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις βοοειδών, χοίρων, πουλερικών και αλόγων (Kacar, 2011). Όσον αφορά την **Escherichia coli** μπορεί να αποτελέσει ένα μικροβιακό δείκτη από μόνη της, καθώς μπορεί να ταυτοποιηθεί ξεχωριστά σε ειδικό υπόστρωμα καλλιέργειας.

Πέρα από τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτηριοειδή υπάρχουν άλλοι δύο ευρύτεροι μικροβιακοί δείκτες, οι **κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (fecal streptococci)** και οι **εντερόκοκκοι (enterococci)**. Οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι περιλαμβάνουν τα είδη S. faecalis, S. faecium, S. bovis, S. avium, S. equinus και S. gallinarum. Όπως και τα κοπρικά κολοβακτηριοειδή για τα ολικά, έτσι και οι εντερόκοκκοι αποτελούν υποκατηγορία για τους κοπρανώδεις στρεπτόκοκκους και περιλαμβάνουν τα είδη S. faecalis, S. faecium, S. avium και S. gallinarum. Γενικά πιστεύεται ότι οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι δεν αναπτύσσονται ή αναπαράγονται σε φυσικά εδάφη και νερά (Kacar 2011).

Όσον αφορά τώρα το πόσιμο νερό, βάσει οδηγίας έχουν προστεθεί στους προαναφερθέντες δείκτες και οι ακόλουθοι: **τα ετερότροφα βακτήρια που αναπτύσσονται στους 22 ή 37 βαθμούς Κελσίου, η Pseudomonas aeruginosa και το Clostridium perfringens**. Όλοι αυτοί οι δείκτες πρέπει να υπάρχουν σε μηδενικές τιμές στο νερό για να θεωρηθεί κατάλληλο για πόση.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί, ότι οι μικροβιακοί δείκτες μπορεί να αποτελούν αναγκαία, όχι όμως και ικανή συνθήκη για την παρουσία παθογόνων μικροβίων. Σε περίπτωση απουσίας μικροβιακών δεικτών, έχουμε να συμπεράνουμε ως πιο βέβαιη την απουσία και των παθογόνων μικροοργανισμών της πηγής που αφορά τους συγκεκριμένους δείκτες. Η παρουσία όμως των μικροβιακών δεικτών μπορεί να θέτει ως πιθανή, όχι όμως ως υποχρεωτική την παρουσία παθογόνων. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση του αριθμού και του είδους των μικροβιακών δεικτών που ανιχνεύθηκαν.

Θαλάσσια μόλυνση

Αν και γενικά οι μικροοργανισμοί της θάλασσας είναι κυρίως **αυτόχθονοι**, αποτελούν δηλαδή τη φυσική μικροβιακή κοινότητα του νερού, ορισμένοι προέρχονται από εξωγενείς πηγές και χαρακτηρίζονται ως **αλλόχθονοι**. Πηγές αυτών των μικροοργανισμών μπορεί να είναι φυσικές, όπως οι νετώδεις απορροές, ο άνεμος, ακόμα και η διάβρωση ακτών, ή και ανθρωπογενείς, από αστικά απόβλητα και λύματα. Οι συνήθεις αιτίες μόλυνσης των θαλάσσιων υδάτων μπορούν να περιλαμβάνουν συνδυασμό των 2 παραπάνω πηγών για τους αλλόχθονους μικροοργανισμούς.

Πολλοί από τους αλλόχθονους μικροοργανισμούς είναι παθογόνοι ή δυνητικά παθογόνοι, και στο χώρο της θάλασσας προκαλούν τις λεγόμενες **θαλασσογενείς λοιμώξεις**. Επηρεάζουν με κλινικά συμπτώματα τους γαστρεντερικό και αναπνευστικό σωλήνες, τα μάτια, τα ότια και το δέρμα. Τα κυρίως υπεύθυνα βακτήρια είναι η Pseudomonas, το δονάκιο της χολέρας, η Aeromonas, η σαλμονέλλα και ο σταφυλόκοκκος, αλλά υπάρχουν πολυάριθμοι ακόμη μικροοργανισμοί με ευθύνη για παθογενείς καταστάσεις. Αρκεί η παρουσία μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων ανά χιλιοστόλιτρο για να προκληθεί παθογένεια στο σώμα.

Παρόλα αυτά, το θαλασσινό νερό δρα παρεμποδιστικά στην επιβίωση και ανάπτυξη των βακτηρίων που αφορούν λύματα. Σύμφωνα με μελέτες, τα 9/10 του αρχικού πληθυσμού των λυματικών βακτηρίων δεν χρειάζονται παραπάνω από μερικές ώρες για να εξουδετερωθούν. Για

αυτό ευθύνονται κυρίως παράγοντες του θαλασσινού νερού που διαφοροποιούνται από αυτούς των λυμάτων. Τέτοιοι παράγοντες είναι το φως και η θερμοκρασία (φυσικοί), η αλατότητα και κυρίως η έλλειψη απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων (χημικοί), και ο ανταγωνισμός από ήδη υπάρχοντες μικροοργανισμούς (βιολογικοί), όπως η επίθεση και η λύση τους από ιούς (όπως οι βακτηριοφάγοι ιοί), και πιθανώς η επιλεκτική κατανάλωσή τους από είδη πρωτοζώων. Σημαντική, εφόσον σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα φωτός, είναι και η θολερότητα, ενώ, όσον αφορά τα κοπρανώδη βακτήρια στα επιφανειακά νερά, παρατηρείται έξαρσή τους ύστερα από βροχή (Kacar, 2011).

Αυτοί οι ήδη υπάρχοντες παράγοντες παράγοντες είναι το σύστημα αυτοκαθαρισμού του θαλασσινού νερού και δρουν αποτρεπτικά στη μόλυνση όσο ο ρυθμός εισροής των αλλόχθονων αυτών μικροοργανισμών είναι μικρότερος από αυτόν της απόσβεσης του πληθυσμού τους. Η μόλυνση συμβαίνει στην περίπτωση που η εισροή των παθογόνων μικροβίων ανά χρόνο υπερβαίνει την μείωσή τους από τις φυσικές διεργασίες, με αποτέλεσμα το θετικό ισοζύγιο στην παρουσία των μικροοργανισμών στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Πάντως, η παρεμπόδιση αυτή της ανάπτυξης και επιβίωσης των μικροοργανισμών στο θαλασσινό νερό, είναι και ο λόγος που η ανίχνευση μικροβιακών δεικτών πιστοποιεί την ύπαρξη πρόσφατης μόνο μόλυνσης, και δεν δηλώνει παρουσία επιμολυντικών παραγόντων σε προηγούμενες χρονικές περιόδους (Stabili, and Cavallo, 2011).

Παραδείγματα μικροβιακής μόλυνσης

Η μικροβιακή μόλυνση στα υδάτινα συστήματα σχετίζεται κυρίως με απορροές απόβλητα προερχόμενα από ανθρωπογενώς επηρεασμένες περιοχές. Τα αποτελέσματα πολλαπλασιάζονται όταν η υδάτινη περιοχή αφορά κλειστές εκτάσεις και θάλασσες. Οι θάλασσες είναι εξ' ορισμού κλειστά συστήματα, αν και σε περιπτώσεις μεγάλων θαλασσών η επίδραση μειώνεται λόγω αραίωσης. Ταυτόχρονα όμως ακόμη και τα εκτενή θαλάσσια συστήματα περιβάλλονται από σημαντικά αστικά κέντρα και εστίες ανθρώπινων δραστηριοτήτων, με αποτέλεσμα την πρόκληση τοπικής μόλυνσης στις επιμέρους θάλασσες, πελάγη και κόλπους. Και η συνήθης κατάσταση μόλυνσης σε αυτά τα συστήματα είναι η κοπρανώδης μόλυνση, κυρίως εξαιτίας των απορροών είτε από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, είτε από ανεξέλεγκτες απορροές, είτε από καταστραγγίσεις στους υδροφόρους προερχόμενες από γεωργοκτηνοτροφικές εκτάσεις.

Το τυπικό παράδειγμα ανθρωπογενώς επηρεασμένης θάλασσας, και στο θέμα της μόλυνσης, αφορά την θάλασσα της Μεσογείου. Ούσα ανέκαθεν κέντρο ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ήταν αναμενόμενη η ζημίωσή της και στο θέμα της μόλυνσης, κυρίως κοπρανώδους. Η αυξημένη αστικοποίηση, έχει υποβοηθήσει την απελευθέρωση εντερικών παθογόνων, στα επιφανειακά νερά της Μεσογείου. Έχουν υιοθετηθεί αρκετοί κανόνες και περιορισμοί όσον αφορά την ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για χρήσεις αναψυχής και κολύμβησης. Αυτοί οι κανόνες είχαν μέχρι τώρα ευεργετικά αποτελέσματα στην ποιότητα των θαλασσινών παράκτιων νερών και μείωσαν αισθητά την εμφάνιση θαλασσογενών ασθενειών από μολυσμένα νερά (Stabili and Cavallo, 2011)

Η περιοχή του Αιγαίου πελάγους

Το Αιγαίο πέλαγος αποτελεί χώρο με αξιόλογο πληθυσμιακό δυναμικό, και ως εκ τούτου μπορούν εύκολα να προκληθούν καταστάσεις μόλυνσης από τις πέριξ περιοχές. Π.χ., η περιοχή της Τουρκίας που βρέχεται από το Αιγαίο, με τις πυκνοκατοικημένες πόλεις της μπορεί από μόνη της να γίνει αφορμή καταστάσεων κοπρανώδους μόλυνσης. Τα παράλια της Τουρκίας

φιλοξενούν επίσης και σημαντικό αριθμό γεωργοκτηνοτροφικών δραστηριοτήτων, ενώ είναι αδιαμφισβήτητα χώροι εξεχουσών βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Από ότι φαίνεται οι κυρίαρχοι τρόποι επιβάρυνσης των προς την Τουρκία νερών του Αιγαίου είναι τα ποτάμια που εκβάλλουν στα μικρασιατικά παράλια, διατρέχοντας τις ανάντη περιοχές της Τουρκίας. Λόγω των 3 λόγων που αναφέρθηκαν, οι λεκάνες απορροής των τουρκικών ποταμών είναι ανθρωπογενώς επηρεασμένες, και το αποτέλεσμα μεταφέρεται μέσω αυτών στις περιοχές πλησίον των εκβολών.

Και δεν είναι μόνο η τυχαία καταστράγγιση από εδάφη ή οι βιολογικοί καθαρισμοί που οδηγούν μικροβιακούς παράγοντες στα ποτάμια. Αν και οι ποταμοί προσφέρουν την κύρια πηγή γλυκού νερού για την γεωργία, πολλές φορές χρησιμεύουν για το σκοπό της διάθεσης και διάλυσης οικιακών λυμάτων, καθώς και ανεπεξέργαστων αποβλήτων είτε από ανθρώπινες πηγές είτε ζωικής προέλευσης. Στη μόλυνση αυτή συντελούν οι σημειακές πηγές συστηματικής απόρριψης λυμάτων από τις κοινότητες και τα αστικά κέντρα.

Πέρα από τα κολοβακτήρια και τους κοπρανώδεις στρεπτόκοκκους, τα λύματα που προέρχονται από επαφή με περιτώματα ανθρώπων και ζώων μπορούν να περιέχουν και πλήθος άλλων μικροβίων με υγειονομική σημασία. Μικροοργανισμοί όπως οι σαλμονέλλες, οι σιγκέλλες και οι εντεροϊοί μεταδίδονται συχνά στον άνθρωπο μέσω νερών που περιέχουν επιβαρυνμένα λύματα.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες έκριναν αναγκαία τη διερεύνηση της κατάστασης μόλυνσης στα τουρκικά παράλια, με την διεξαγωγή έρευνας μέσω χρήσης μικροβιακών δεικτών. Η έρευνα δεν είχε ως μόνο στόχο την εκτίμηση της παρουσίας κοπρανώδους μόλυνσης λόγω των ποταμών, αλλά εμβάθυνε στη χωρική και χρονική διακύμανσή της και στη συσχέτισή της με παράλληλους φυσικοχημικούς παράγοντες.

Σταθμοί δειγματοληψιών

Αυτοί που μελετήθηκαν ήταν ορισμένοι τουρκικοί ποταμοί που εξέβαλλαν στο Αιγαίο, 5 στον αριθμό, οι ποταμοί Έβρος (Merik), Gediz (Ερμος), Bakircay (Κάικος), Kucuk Menderes (Κάυστρος) και Μαϊάνδρος (Buyuk Menderes). Από τους συγκεκριμένους ποταμούς λήφθηκαν τα δείγματα, τα οποία αφορούσαν εποχιακές δειγματοληψίες από το 2006 ως το 2008. Τα δείγματα λαμβάνονταν από τις ακτές των ποταμών κοντά στις εκβολές. Οι αναλύσεις τους έγιναν για κοπρανώδη κολοβακτήρια και κοπρανώδεις στρεπτόκοκκους, αλλά και για φυσικοχημικές παραμέτρους κατά την περίοδο δειγματοληψίας, όπως pH, αλατότητα και θερμοκρασία. Οι φυσικοχημικές παράμετροι συσχετίστηκαν με τις μικροβιολογικές και όλες μαζί αναλύθηκαν σε χρονικό πλαίσιο, ανά εποχές και έτη, και σε χωρικό όσον αφορούσε τους σταθμούς- ποταμούς δειγματοληψίας.

Αποτελέσματα και ανάλυση

Οι τιμές του pH στα ποτάμια ανήκαν σε ένα εύρος 6,2-9,8 και σε συνδυασμό με την στατιστική των τιμών φάνηκε ότι ο μέσος όρος ήταν πάνω από 7. Τα ποτάμια δηλαδή εκδήλωναν ένα μέσο αλκαλικό περιβάλλον. Οι τιμές pH μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση του ρυπαντικού φορτίου στις λεκάνες απορροής. Το ίδιο χρήσιμη είναι και η αγωγιμότητα, ως έκφραση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Οι ακραίες τιμές και διακυμάνσεις ήταν εξαιρετικά μεγάλες, ποίκιλαν μεταξύ 530 και 16730 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι μικρότερες τιμές γενικά παρατηρήθηκαν στις βροχερές περιόδους, λόγω αραίωσης. Οι υψηλές αγωγιμότητες αντίθετα παρατηρήθηκαν τις ξηρές περιόδους εξαιτίας μείωσης της ροής και εξάτμισης των νερών, αλλά και εξαιτίας της εισόδου θαλασσινού νερού στα δέλτα (που οφείλεται πάλι στη μείωση της

ροής). Όπως ήταν αναμενόμενο η αλατότητα αυξανόταν κοντά στα δέλτα με την συνηθισμένη μείωση μετά από βροχή.

Όσον αφορά το μικροβιολογικό κομμάτι τώρα, ή Τουρκία έχει θέσει ως όριο για τους κοπρανώδεις στρεπτόκοκκους τις 100 CFU/ 100mL και για τα κοπρανώδη κολοβακτήρια τις 200 CFU/ 100 mL. Τα κοπρανώδη παρ' όλα αυτά κυμαίνονταν σε εύρος 50 με 13×10^5 CFU/ 100 mL και οι στρεπτόκοκκοι από 30 με 63000 CFU/ 100mL. Ο ποταμός Μαϊάνδρος σημείωσε τιμές για κοπρανώδεις στρεπτόκοκκους 50- 30 CFU/ 100mL, που ήταν και οι μικρότερες για την ομάδα, και ειδικά την άνοιξη και το φθινόπωρο. Η ανώτατη τιμή των 13×10^5 CFU/100 mL που αναφέρθηκε για τα κοπρανώδη, και γενικά οι ανώτερες τιμές τους παρατηρήθηκαν τους χειμώνες ενώ το αντίστοιχο αποτέλεσμα για τους στρεπτόκοκκους (63000 CFU/ 100 mL) παρατηρήθηκε τις φθινοπωρινές περιόδους, όσον αφορά τον Κάυστρο (Kucuk Menderes). Όπως και να 'χει οι μέσες τιμές των βακτηριακών φορτίων σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας υπερέχον των ορίων.

Τα αποτελέσματα ερμηνεύτηκαν ως ένδειξη απορροών οικιακών λυμάτων, καθώς και ανεπεξέργαστων λυμάτων ανθρώπινης και ζωικής προέλευσης. Αυτό έγινε σε συσχέτισμό με άλλες μελέτες, όπως στην Β. Καρολίνα όπου ανιχνεύθηκαν υψηλές τιμές κοπρανωδών κολοβακτηρίων και E. coli και αποδόθηκαν σε αυξημένη αστικοποίηση. Οι υψηλές τιμές βακτηριακού φορτίου στους ποταμούς της Τουρκίας δείχνου σοβαρή μόλυνση και αναδεικνύουν τους κινδύνους για προσβολή από υδατογενείς ασθένειες στους καταναλωτές και χρήστες των νερών αυτών. Το νερό αυτό επίσης χρησιμοποιείται για άρδευση στις καλλιέργειες, και το βακτηριακό φορτίο μπορεί να μεταφερθεί στα φυτικά τρόφιμα με περαιτέρω σοβαρούς κινδύνους για την υγεία.

Ένα κομμάτι της ευθύνης για τη μόλυνση αποδόθηκε στα περιττώματα ζωικής προέλευσης, αλλά το μεγαλύτερο μέρος αποδόθηκε στην απόρριψη ανεπεξέργαστων ανθρώπινων λυμάτων. Επίσης είναι πιθανότατα και η συμβολή της γεωργίας στη δημιουργία της μόλυνσης. Υπάρχουν διεκπεραιωμένες μελέτες που αναδεικνύουν τη θετική συσχέτιση της μόλυνσης από κοπρικά βακτήρια με τη χρήση γης για γεωργικές δραστηριότητες.

Όσον αφορούσε τις διακυμάνσεις, με ειδική μέθοδο δείχθηκε πως οι σταθμοί δειγματοληψίας είχαν μεγάλη διακύμανση για τα κοπρικά βακτήρια, και για αυτό ενοχοποιήθηκε η υψηλή βακτηριακή πυκνότητα στον ποταμό Κάυστρο. Η υψηλή διακύμανση εμφανίστηκε και στην χρονική κλίμακα, με τις χειμερινές περιόδους γενικά να απέχουν κατά μεγάλη διαφορά από τις άλλες εποχές στο θέμα των κοπρανωδών. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν και άλλες μελέτες που δείχνουν την επίδραση των βροχών και της παροχής απορροής των ποταμών στο θέμα της διασποράς των τιμών των κοπρικών κολοβακτηρίων. Συγκεκριμένη έρευνα έχει διαπιστώσει την άνοδο κατά 5 φορές των κολοβακτηρίων και κατά 7 φορές των E. coli από τις ξηρές προς τις υγρές περιόδους. Όσον αφορά το βιβλιογραφικό κομμάτι όμως γενικότερα, οι χρονικές επιδράσεις περιβαλλοντικών παραγόντων (θερμοκρασία, αλατότητα...) είναι περιορισμένης γνώσης και ανάλυσης.

Αυτό που συσχετίστηκε επίσης ήταν οι σχέσεις των κοπρανωδών κολοβακτηρίων και στρεπτόκοκκων μεταξύ τους. Αποδείχθηκε πως η συσχέτιση που λάμβανε χώρα, με χρήση συντελεστή Pearson, ανήκε στη μέση κατηγορία ($0,5 < r = 0,68 < 0,7$). Πραγματοποιήθηκε και η απόπειρα συσχέτισης των βακτηρίων με τους φυσικοχημικούς παράγοντες αλλά δεν βρέθηκε σημαντικό αποτέλεσμα συσχέτισης. Η συσχέτιση των κοπρανωδών κολοβακτηρίων και στρεπτόκοκκων αντίστοιχα ήταν για τη θερμοκρασία -0,19 (ανύπαρκτη) και -0,22 (ανύπαρκτη), για το pH -0,18 και -0,28 (ανύπαρκτη και για τις 2 κατηγορίες) και για την αγωγιμότητα -0,08

και - 0,09 (ανύπαρκτη και για τις 2 κατηγορίες), επαληθεύοντας την αδυναμία συσχέτισης τους με περιβαλλοντικούς παράγοντες που συναντήθηκε σε άλλες έρευνες.

Το γενικό συμπέρασμα εν κατακλείδι της έρευνας ήταν η παρουσία κοπρανώδους μόλυνσης στα νερά των τουρκικών ποταμών που εκβάλλουν στο Αιγαίο. Οι ακραίες τιμές, οι χαμηλότερες στο Μαϊάνδρο (Buyuk Menderes), και οι υψηλότερες στον Κάυστρο, έδειξαν τη διαφορετική συνεισφορά των ποταμών στη μόλυνση των παράκτιων νερών του πελάγους. Ενώ κρίθηκε σημαντική η συνεισφορά οικιακών, ανθρώπινης και ζωικής προέλευσης απορροών, αλλά και αναγκαία η εφαρμογή μέτρων και περιορισμών στις εν λόγω περιοχές (Kacar, 2011).

Η περιοχή της νότιας Αδριατικής Θάλασσας- μικροβιακές ποικιλίες

Όσον αφορά την κοπρανώδη μόλυνση, είναι γνωστές οι επιπτώσεις των μολυσμένων νερών στον άνθρωπο, και είναι εύκολο να αναλυθούν τα δυναμικά μόλυνσης των νερών σε επιβαρυσμένες περιοχές. Αυτό όμως που δεν είναι ευρέως αναλυμένο, παρόλα τα συχνά περιστατικά θαλάσσιας μόλυνσης, είναι η δυνατότητα και με ποιο τρόπο της επιρροής, μέσω της εμφάνισης αλλόχθονων βακτηρίων, των οικολογικών διεργασιών και πληθυσμιακών στοιχείων που αφορούν τους οργανισμούς των υδάτινων κοινοτήτων, και ιδιαίτερα τους μικροβιακούς πλαγκτονικούς οργανισμούς.

Με την αναφορά των πλαγκτονικών οργανισμών, είναι σημαντικό να αναφέρουμε και κατηγοριοποιήσουμε και ένα βασικό κρίκο των πλαγκτονικών κοινωνιών, τα **ετερότροφα βακτήρια**. Πρόκειται για μια χονδρική ομαδοποίηση των προκαρυωτικών οργανισμών που στερούνται φωτοσυνθετικής ικανότητας. Οι γνώσεις σχετικά με την κατηγορία είναι περιορισμένες, όσον αφορά τα είδη και την διάδοσή τους, και ως εκ τούτου στερούμαστε οικολογικών πληροφοριών όπως π.χ. οι διαδικασίες και οι δυναμικότητες ανταγωνισμού τους μεταξύ του συνόλου των προκαρυωτών. Παρόλα αυτά αποτελούν σημαντικό κομμάτι της τροφικής αλυσίδας στις μικροβιακές κοινωνίες των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και κατέχουν ζωτικό ρόλο στην κυκλοφορία των θρεπτικών και στη δόμηση του τροφικού πλέγματος.

Οι γνώσεις που στερούμαστε σε σημαντικό βαθμό για τα ετερότροφα βακτήρια, είναι και εκείνες που χρειαζόμαστε σε πρώτο πλάνο για τον οικολογικό χαρακτηρισμό μιας βιοκοινωνίας. Η κατανόηση της θέσης των ετερότροφων στον οικολογικό κύκλο μπορεί να αποφέρει σημαντικές πληροφορίες για ολιγότροφα συστήματα όπως η Μεσόγειος. Εφόσον στις τροφικές καταστάσεις ο μικροβιακός κύκλος μπορεί να θεωρηθεί εικόνα των αλλαγών στο οικοσύστημα, εξαιτίας της ευαισθησίας του και άμεσης απόκρισής του στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Για την ιδιότητά του αυτή κυρίως ευθύνονται οι υψηλή ρυθμοί μεταβολής των πληθυσμών τους και ο ρόλος τους στους βιογεωχημικούς κύκλους. Για τη διερεύνηση της παρουσίας και δράσης των ετερότροφων, έχουν λάβει χώρα μελέτες και στη Μεσόγειο, όπως στην Ιταλία, στη λιμνοθάλασσα της Βενετίας και στη Λιγυριανή θάλασσα. Έχει περιγραφεί επίσης η κοινότητα των περιβαλλοντικών βακτηρίων στη Βόρεια Αδριατική, καθώς και στη Νότια Αδριατική Θάλασσα.

Η Νότια Αδριατική Θάλασσα είναι ένα ολιγότροφο υδάτινο σύστημα με συνήθως χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών. Οι συγκεντρώσεις αυτές είναι σχετικά υψηλές μόνο κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Οι υδροθερμικές διαφορές μεταξύ του Ιονίου πελάγους και της Βόρειας Αδριατικής προκαλούν μια γρήγορη εναλλαγή νερού στη Νότια Αδριατική, εξαιτίας του Αδριατικού Επιφανειακού Νερού (Adriatic Surface Water, AdSW), που έρχεται από τη Βόρεια Αδριατική προς το Ιόνιο μέσω των στενών του Οτράντο, και του Ενδιάμεσου Νερού της Λεβαντίνης (Levantine Intermediate Water, LIW), ερχόμενου από το Ιόνιο.

Στη μελέτη της Νότιας Αδριατικής που προαναφέραμε, συλλέχθηκαν συνολικά 384 δείγματα νερού, για ένα χρόνο, από τον Απρίλιο του 1996 ως τον Μάρτιο του 1997. Τα δείγματα αφορούσαν 4 τομείς της Νότιας Αδριατικής, το Brindisi, το S. Cataldo, το Οτράντο και την Santa Maria di Leuca. Κάθε τομέας επιμερίστηκε σε 4 σημεία δειγματοληψίας, τα οποία ήταν διαβαθμισμένα σε κλίμακα κάθετης απόστασης από την ακτή. Σχετικά με το βάθος, τα δείγματα λαμβάνονταν μηνιαία σε 2 βάθη: το πρώτο βρισκόταν 5 dm από την επιφάνεια της θάλασσας και το δεύτερο 5 dm από το βυθό.

Παράμετροι προς ανάλυση και αποτελέσματα

Από φυσικοχημικούς παράγοντες μετρήθηκαν το pH, η αλατότητα, η θερμοκρασία και το διαλυμένο οξυγόνο. Από τους μικροβιολογικούς παράγοντες μετρήθηκαν τα ολικά και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια, οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι και η *Pseudomonas Aeruginosa*.

Η καλοκαιρινή άνοδος της θερμοκρασίας ξεκίνησε από το Μάιο, με όλες τις θερμομετρήσεις υπό των 19 βαθμών Κελσίου. Οι υψηλότερες εντάσσονταν τη χρονική περίοδο του Αυγούστου, ο οποίος είχε μέσο όρο 26 βαθμών Κελσίου, ενώ καταγράφηκε η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ επιφανείας και βάθους 50 μέτρων. Αυτή η διαφορά μειωνόταν κατά το πέρασμα του χρόνου ως το Σεπτέμβριο, όπου οι θερμοκρασίες επιφανειακών και πυθμενικών νερών εξισώνονταν (16 βαθμοί Κελσίου). Οι χαμηλότερες τιμές για αμφότερα επιφάνεια και βάθος, καταγράφηκαν το Μάρτιο, με μέση τιμή 11 βαθμούς Κελσίου. Οι υψηλότερες για το βυθό παρατηρήθηκαν στο Brindisi τον Αύγουστο (19 βαθμοί), στο Οτράντο και στη Santa Maria di Leuca τον Οκτώβριο (16,6 και 17,4 βαθμοί Κελσίου αντίστοιχα), και στο S. Cataldo το Σεπτέμβριο (19,4 βαθμοί Κελσίου).

Στο κομμάτι της αλατότητας τώρα, ο χειμώνας κατείχε τις χαμηλότερες τιμές, συγκεκριμένα $36,23/10^3$ στην επιφάνεια και $37,1/10^3$ στον πυθμένα, κατά μέσο όρο. Η υψηλότερη τιμή μέσου όρου ήταν $38,3/10^3$ το Μάιο, και στην επιφάνεια και στον πυθμένα. Ο μέσος όρος του διαλυμένου οξυγόνου όλων των σταθμών ήταν 109,7% του σημείου κορεσμού. Οι τιμές pH κυμαίνονταν μεταξύ 7,9 και 8,41.

Τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών δεικτών κοπρανώδους μόλυνσης έδειξαν περιστασιακή παρουσία ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων. Η *Pseudomonas aeruginosa* δεν εμφανίστηκε σε κανένα δείγμα, ενώ τα ολικά κολοβακτήρια και οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι σημείωσαν υψηλές τιμές στα δείγματα που ελήφθησαν το Μάιο από τη Santa Maria di Leuca (221 και 46 MPN/0,1L αντίστοιχα). Οι μέγιστες τιμές για τα ολικά (278 MPN/0,1L) και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια (172MPN/0,1L), εμφανίστηκαν τον Οκτώβριο στο Brindisi.

Η έρευνα όμως επεκτάθηκε και στο θέμα των ετερότροφων βακτηρίων όπως προείπαμε. Εξετάστηκε η συσχέτιση των συγκεντρώσεών τους χρονικά μεταξύ των τόπων δειγματοληψίας. Επίσης μελετήθηκε και η διαφορά μεταξύ των νερών του πυθμένα και των επιφανειακών νερών. Η τελευταία αυτή διαφορά όμως αποδείχθηκε λιγότερο ενδεικτική από αυτή μεταξύ των χώρων δειγματοληψίας. Από τους χώρους αυτούς το Brindisi και το S. Cataldo φάνηκε να συσχετίζονται πιο πολύ μεταξύ τους και με το Οτράντο από ότι με τη Santa Maria di Leuca.

Συνήθως, τα βακτήρια κυριαρχούσαν πιο πολύ στον πυθμένα από ότι στα επιφανειακά νερά, όσον αφορά το σύνολο των σταθμών δειγματοληψίας. Στο Brindisi τα βακτήρια ανέπτυξαν πολλαπλές κορυφές πληθυσμού κατά τη διάρκεια του έτους. Τον Οκτώβριο, στην πλειοψηφία των σταθμών έλαβε χώρα μείωσή τους, με εξαίρεση τον σταθμό 3 στην επιφάνεια και τους σταθμούς 1, 2 στον πυθμένα, οι οποίοι σημείωσαν ελάχιστο τον Ιανουάριο. Οι 4 σταθμοί κάθε τομέα, στον πυθμένα και στην επιφάνεια, όπως δείχθηκε από ανάλυση της διασποράς δεν σημείωσαν αξιόλογη διαφορά.

Σχετικά με την εξάρτηση βακτηριακού δυναμικού και θερμοκρασίας, το Brindisi δεν έδειξε σημαντική συσχέτιση ούτε στην επιφάνεια ούτε στον πυθμένα. Στο S. Cataldo, όπου οι βακτηριακοί πληθυσμοί αυξήθηκαν την περίοδο άνοιξης- καλοκαιριού και μειώθηκαν κυρίως τον Οκτώβριο και τον Φεβρουάριο, αποδείχθηκε θετικά συσχέτιση μεταξύ περιβαλλοντικών ετερότροφων βακτηρίων και θερμοκρασίας ($r=0,639$ για την επιφάνεια και $r=0,652$ για τον πυθμένα). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις των μικροβίων στο Οτράντο έλαβαν χώρα τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο, σε πυθμένα και επιφάνεια. Το μέγιστο παρατηρήθηκε στην επιφάνεια του σταθμού 3 και ήταν της τάξεως των 800000 CFU/0,1L. Αντίστοιχα οι μικρότερες τιμές συγκέντρωσης καταγράφηκαν τον Δεκέμβριο, σε όλους τους σταθμούς εκτός από την επιφάνεια του σταθμού 3, όπου οι ελάχιστες εμφανίστηκαν το Νοέμβριο.

Και στο Οτράντο παρατηρήθηκε η σημαντική συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και περιβαλλοντικών ετερότροφων βακτηρίων, θετική, για αμφότερα επιφάνεια ($r=0,545$) και βυθό ($r=0,567$). Η εικόνα όμως άλλαξε στη Santa Maria di Leuca, σχετικά με τη διακύμανση των ετερότροφων περιβαλλοντικών βακτηρίων, η οποία αποδείχθηκε πιο ανομοιόμορφη και διαφοροποιημένη ανά το χρόνο. Σημειώθηκαν αρκετές κορυφές και μειώσεις, και οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν Μάιο στο βυθό (250000 CFU/0,1L) και Ιούνιο στην επιφάνεια (110000 CFU/0,1L), στο σταθμό 3. Η εικόνα της Santa Maria di Leuca ήταν αντίθετη και στο θέμα της συσχέτισης θερμοκρασίας και βακτηριακής συγκέντρωσης, οι οποίες δεν έδειξαν αλληλοεξάρτηση.

Εξετάστηκε μέσα στα άλλα και η βακτηριακή βιοποικιλότητα, ανάμεσα στις 4043 συνολικά αποικίες που απομονώθηκαν σε Θαλασσινό άγαρ. Κανένα από τα δείγματα κάθε σταθμού, στην επιφάνεια και στο βυθό, σε κανένα τομέα, δεν έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ του ποσοστού κάθε βακτηριακού γένους που απομονώθηκε. Η *Aeromonas* αποδείχθηκε το κυρίαρχο γένος από τα gram-αρνητικά βακτήρια σε όλους τους χώρους δειγματοληψίας. Οι μέσοι όροι των αποικιών της που απομονώθηκαν, ως προς τις συνολικές, στις επιφανειακές λήψεις δειγμάτων ήταν 23% στο Brindisi, 13% στο S. Cataldo, 19,4% στο Οτράντο και 13,6% στη Santa Maria di Leuca. Οι αντίστοιχοι μέσοι όροι της *Aeromonas* στα δείγματα από το βυθό ήταν 15,5%, 15%, 18,2% και 15,2%. Ο Νοέμβριος στο Brindisi και S. Cataldo και ο Αύγουστος στο Οτράντο και στη S. Maria di Leuca ήταν οι μήνες της μέγιστης συμμετοχής της *Aeromonas*.

Στις αναλύσεις των δειγμάτων από το Brindisi το είδος *Enterobacteriaceae* αποτελούσε εξέχον τμήμα της βακτηριακής ποικιλότητας, (μέσος όρος στο έτος 11,9% στην επιφάνεια και 9,7% στον πυθμένα). Το *Photobacterium* έφτασε την υψηλότερη συμμετοχή του (60%) το Μάιο στην επιφάνεια. Συχνή ήταν και η απομόνωση της ψευδομονάδας, όχι όμως και του είδους *Aeruginosa* που όπως είπαμε δεν ανιχνεύθηκε σε κανένα δείγμα. Το Δονάκιο (*Vibrio*) κυριαρχούσε περισσότερο τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο με μια κορυφή 20% το Μάιο. *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Cytophaga*, *Chromobacterium*, *Flavobacterium*, *Flexibacter*, *Moraxella* και *Xanthomonas* είχαν ποσοστό λιγότερο από 6%. Οι βάκιλοι και οι *Alcaligenes* ήταν σε αρκετά υψηλότερες συγκεντρώσεις στον πυθμένα από ότι στην επιφάνεια.

Τώρα στο S. Cataldo το *Enterobacteriaceae* δεν φάνηκε μόνο τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο στον πυθμένα. Η *Pseudomonas* παρουσίασε μέγιστη συμμετοχή, 6,6%, το Δεκέμβριο, ενώ το γένος *Cytophaga* με 10,6% και το *Acinetobacter* με 9,1% παρουσίαζαν επίσης ισχυρό δυναμικό στη βακτηριακή ποικιλότητα. Το Δονάκιο στο S. Cataldo άγγιξε τη μεγαλύτερη συμμετοχή του τον Οκτώβριο στην επιφάνεια, με 8% και τον Ιανουάριο στο βυθό, στην τιμή 7%. Τα υπόλοιπα γένη υπολείπονταν του 6%. Το *Flavobacterium* και τα *Alcaligenes* ευνοούνταν στο βυθό ενώ το *Photobacter* στην επιφάνεια.

Το στενό του Οτράντο κατείχε επίσης σε σημαντικό βαθμό το Enterobacteriaceae, σε ποσοστό 13,4%. Το Photobacterium, με μέγιστο 13% τον Απρίλιο και Αύγουστο στην επιφάνεια, κορυφώθηκε σε 19% το Μάιο στο βυθό. Η Pseudomonas ήταν παρούσα όλο το χρόνο στο βυθό όπου συμμετείχε κατά 10%, ενώ στην επιφάνεια συμμετείχε λιγότερο, με 4%, και ήταν απύσχα κάποιες περιόδους του χρόνου. Τα Acinetobacter, Cytophaga και Moraxella ανήκαν γύρω στο 6,3%. Η Moraxella, το Flavobacterium και η Pseudomonas ήταν πιο υψηλά στην κυριαρχία στα πυθμενικά δείγματα.

Ο τελευταίος χώρος δειγματοληψιών, η Santa Maria di Leuca, είχε το Photobacterium σε μέσο όρο συμμετοχής 13,6%, για τα επιφανειακά δείγματα, και μέγιστο 50% το Νοέμβριο. Για τον πυθμένα, η συμμετοχή του ήταν 6,3%. Τα Cytophaga και Pseudomonas είχαν αδιαμφισβήτητη παρουσία, ενώ το Vibrio είχε χαμηλό σχετικό δυναμικό (2,6%), και απουσίαζε τον Οκτώβρη και τον Ιανουάριο. Επίσης το Enterobacteriaceae απουσίαζε τον Οκτώβριο και Νοέμβριο, και το μέσο ποσοστό του ήταν 10,4%. Οι Gram- θετικοί βάκιλοι και οι κόκκοι είχαν ίδιο ποσοστό απομόνωσης (9,5%) στην επιφάνεια, ενώ οι Gram-θετικοί βάκιλοι είχαν σημαντικότερη θέση στον πυθμένα (13,4%).

Αυτά τα ποσοστά αναλύθηκαν και διαπιστώθηκε η βακτηριακή βιοποικιλότητα για κάθε ένα από τα 4 μέρη δειγματοληψιών. Στο Brindisi η ποικιλία μειώθηκε ισχυρά το Μάιο στην επιφάνεια, γιατί τα μόνα παρόντα ήταν οι Gram- θετικοί βάκιλοι, το Vibrio και η Pseudomonas. Δεν παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις υψηλής σημασίας κατά τους άλλους μήνες. Στο Οτράντο δεν υπήρξαν αλλαγές βιοποικιλότητας ανά το χρόνο στον πυθμένα, αλλά στην επιφάνεια υπήρξε μείωση το Μάιο και αύξηση το Μάρτιο. Στη S. M. di Leuca το Νοέμβριο, όπου υπήρξε κυριαρχία Gram- θετικών βακτηρίων και Photobacterium, υπήρξε και μείωση της ποικιλότητας. Τέλος, στο S. Cataldo το αποτέλεσμα που παρουσιάστηκε ήταν μια ομοιόμορφη κατανομή της βακτηριακής ποικιλίας σε όλη τη διάρκεια του χρόνου δειγματοληψιών.

Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Στον τομέα της ποιότητας και καταλληλότητας των νερών για συνηθισμένες χρήσεις θαλάσσιων δραστηριοτήτων, καμία από τις προσδιορισθείσες τιμές δεν υπερέιχε των ορίων όπως αυτές ετέθησαν από την οδηγία CEE για νερά κολύμβησης. Συνεπώς, η υγειονομική κατάσταση των νερών, όσον αφορά πάντα την χρήση για κολύμβηση θεωρήθηκε αποδεκτή. Στην αποφυγή της έξαρσης των συγκεντρώσεων των μικροβιακών δεικτών και παραγόντων συνέβαλλε και η συνεχής αναταραχή και ανάμειξη των νερών από τα 2 ρεύματα που αναφέραμε, τα οποία διασταυρώνουν τους δρόμους τους στη Νότια Αδριατική. Αυτά τα ρεύματα, θεωρήθηκαν υπεύθυνα και για τη σχετικά σταθερή και μετριασμένη θερμοκρασία, που κυμαινόταν μεταξύ 11°C το χειμώνα και 26°C το καλοκαίρι.

Η επικράτηση των περιβαλλοντικών ετερότροφων βακτηρίων φάνηκε να σημειώνει αρκετή διακύμανση ανά το χώρο και το χρόνο. Αυτή που ήταν έκδηλη ανά το χρόνο ήταν η αμοιβαία συσχέτιση των συγκεντρώσεών τους μεταξύ Brindisi και S. Cataldo. Οι 2 χώροι συσχετιζόνταν επίσης σε αξιολογικό βαθμό και με το στενό του Οτράντο. Αντίθετα, ο βαθμός σύνδεσής τους με τη Santa Maria di Leuca ήταν μικρός σε σχέση με τους προηγούμενους. Οι διαφορές μεταξύ πυθμένα και επιφάνειας δεν ήταν τόσο ενδεικτικές όσο αυτές μεταξύ του κάθε χώρου δειγματοληψίας από τον επόμενο. Επομένως φάνηκε ότι η γεωγραφική κατανομή καταλάμβανε σπουδαιότερο ρόλο στη βακτηριακή συγκέντρωση από το βάθος. Για τη σημαντικότητα αυτή της χωρικής διαφοράς ο κύριος λόγος φαίνεται να είναι πάλι η παρουσία των 2 ρευμάτων, καθώς η επίδρασή τους σε κάθε τόπο διαφοροποιείται ανάλογα με τη θέση του.

Τα μέρη S. Cataldo και Οτράντο χαρακτηρίζονται ως μετρίως oligότροφες περιοχές, και σε αυτές οι μικρότερες τιμές βακτηριακών πληθυσμών αντιστοιχούσαν στις μικρότερες θερμοκρασίες. Το καλοκαίρι οι περιοχές χαρακτηρίζονται από την κυριαρχία του AdSW (Αδριατικού Επιφανειακού Νερού), το οποίο μεταφέρει υψηλές τιμές θρεπτικών και αιωρούμενων στερεών αλλά χαμηλές τιμές αλατότητας, δίνοντας τις προϋποθέσεις για σημαντική βακτηριακή ανάπτυξη. Το καλοκαίρι επίσης χαρακτηρίζεται από υψηλό τουρισμό, για τα 2 αυτά μέρη. Από ότι φάνηκε από την σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των συγκεντρώσεων βακτηρίων και της θερμοκρασίας, η θερμοκρασία αποτελεί έναν άλλο παράγοντα επιρροής στην ανάπτυξη των βακτηρίων. Η Santa Maria di Leuca από την άλλη, λόγω γεωγραφικής θέσης επηρεάζεται όχι μόνο από το Αδριατικό Επιφανειακό Νερό, αλλά και από το Λιγυριανό Ενδιάμεσο Νερό (LIW). Το ρεύμα αυτό μεταφέρει υψηλές ποσότητες θρεπτικών το χειμώνα. Αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει τις πολλαπλές κορυφές στις βακτηριακές συγκεντρώσεις, καθώς επίσης και την αξιοσημείωτη διαφορά της περιοχής από τους υπόλοιπους χώρους δειγματοληψίας.

Στο Brindisi πέρα από το Αδριατικό Επιφανειακό Νερό, με το υψηλό θρεπτικό του φορτίο, συντελείται και επιπρόσθετη προσθήκη θρεπτικών και μικροοργανισμών από αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, μέσω του γειτονικού λιμένας. Αυτό πιθανότατα εξηγούσε τη μικρή συσχέτιση βακτηριακού φορτίου με τη θερμοκρασία, καθώς και τη χαμηλή εποχιακότητα των βακτηριακών ποσοστών ανά το χρόνο.

Οι διαφορές της βακτηριακής συγκέντρωσης της επιφάνειας της θάλασσας από το βυθό, στον οποίο γενικά ήταν υψηλότερη, εξηγείται από τον κανόνα της αύξησης των πληθυσμών των βακτηρίων στο βυθό. Η συνήθης κυριαρχία των βακτηρίων μπορεί να συντελείται στην εύρωτη ζώνη, όμως στο βυθό επικρατούν και πάλι υψηλές συγκεντρώσεις τους. Αυτός είναι και ο λόγος του μοτίβου υπεροχής του πυθμένα σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας.

Στο θέμα των σχετικών ποσοστών κυριαρχίας τώρα, τα Gram- αρνητικά βακτήρια, με συνολικό ποσοστό απομόνωσης 75%, θεωρήθηκαν τα πλέον επικρατή σε σχέση με άλλες έρευνες. Παρατηρήθηκαν επίσης μεν υψηλά ποσοστά Gram- θετικών βακτηρίων, μόνο που αυτό θεωρείται συνηθισμένης φύσεως για τροπικά κλίματα, ή ήπια- εύκρατα όπως το μεσογειακό. Από τα Gram- αρνητικά βακτήρια, το πιο επικρατές φάνηκε να είναι η *Aeromonas*. Είναι λογικό αφού έχει διαπιστωθεί ότι ευημερούν σε θαλάσσια περιβάλλοντα και μάλιστα, αποτελούν μέρος της φυσικής τους χλωρίδας. Άλλος επικρατής σε μεγάλο βαθμό οργανισμός, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους δειγματοληψιών, ήταν και το *Enterobacteriaceae*.

Τα *Cytophaga*, *Pseudomonas* και *Photobacterium* ήταν και αυτά παρόντα σε μεγάλες συμμετοχές σε όλη τη διάρκεια δειγματοληψίας. Ανήκουν σε μια ομάδα περιβαλλοντικών βακτηρίων που ονομάζονται γάμμα πρωτεοβακτήρια. Είναι σημαντικά στις διαδικασίες μεταβολής της οργανικής ύλης στα σωματίδια, όπως δείχνουν οι ενζυματικές τους δραστηριότητες. Η ψευδομονάδα για παράδειγμα μπορεί να λάβει μέρος σε διαδικασίες κύκλου του αζώτου, αλλά και σε διεργασίες αποσύνθεσης αρκετών ειδών συνθετικών οργανικών ενώσεων. Το *Cytophaga* με την παρουσία του δείχνει σύμφωνα αποτελέσματα με άλλες μελέτες που θέλουν το είδος ως σημαντικό τμήμα (ποσοστιαία), στη θαλάσσια βιοποικιλότητα (όπως στον Ανταρκτικό Ωκεανό και στη Βαλτική Θάλασσα).

Και άλλα είδη που απομονώθηκαν σε μεγάλα κλάσματα, όπως η *Moraxella*, το *Acinetobacter* και το *Vibrio*, ανήκουν σε μια ομάδα η οποία επικρατεί αρκετά από τους τροπικούς ως και τις πολικές ζώνες. Γενικά παρατηρήθηκε παρουσία βακτηριακών οργανισμών οι οποίοι ανήκουν σε γένη με αξιολογες ενζυματικές δραστηριότητες, και σημειωτέον ότι βρίσκουν ενδιαφέρον σε εφαρμογές βιοτεχνολογιών.

Η βακτηριακή μόλυνση που παρατηρήθηκε ήταν μικρής σημασίας, και έτσι η έρευνα χρησίμευσε περισσότερο για εμφάθυση στον κόσμο της βακτηριακής ποικιλότητας στο ολιγοτροφικό σύστημα της Νότιας Αδριατικής, με χρήση της ως σημείο αναφοράς για επόμενες έρευνες σε θαλάσσια συστήματα. Θα μπορούσε επίσης να γίνει μέσο στήριξης για περαιτέρω έρευνες σχετικά με τις ανθρωπογενείς εισροές και τις επιπτώσεις τους στις κοινότητες των θαλάσσιων μικροοργανισμών. Έχουν πραγματοποιηθεί παρόμοιες προσπάθειες στο περιβάλλον της Νότιας Αδριατικής για εξεύρεση χρήσιμων δεικτών περιβαλλοντικής ποιότητας και τις μεταβολές των μικροβιακών κοινοτήτων λόγω των αλλαγών στο θρεπτικό φορτίο. Πρωταρχικός σκοπός τους όμως θα ήταν η αξιολόγηση της κατάστασης του οικοσυστήματος. Χρήσιμες περιβαλλοντικά για την εκτίμηση οικολογικών συνεπειών στην περιοχή και την προστασία της (Stabili and Cavallo, 2011).

Υδατική ποιότητα στην περιοχή της Καταλονίας κατά την κολυμβητική περίοδο

Όπως αναφέρθηκε, ο κύριος λόγος για τον οποίο η κοπρανώδης μόλυνση, και η μόλυνση γενικά, χρίζει και τυχαίνει τόσο συστηματικής μελέτης, αφορά την παρουσία των λεγόμενων θαλασσογενών λοιμώξεων. Λοιμώξεις τέτοιου είδους στην πλειοψηφία δημιουργούνται από την εμφάνιση μόλυνσης σε ακτές όπου εκτελούνται δραστηριότητες αναψυχής, κυρίως κολύμβησης. Η επαφή και εισροή στο σώμα νερού μολυσμένου από κοπρανώδεις μικροοργανισμούς μπορεί να προκαλέσει πολλαπλές επιπτώσεις στην υγεία, σε μεγάλη κλίμακα αν θεωρήσουμε τον αριθμό των λουόμενων.

Οι παράκτιες ζώνες παρουσιάζουν επίσης ελκυστικό παράγοντα για κατοίκηση, με το 40% περίπου του θαλάσσιου πληθυσμού να διαβεί εντός απόστασης 100 km από την ακτή. Πέρα από αυτό, αποτελούν και βασικό κοινωνικοοικονομικό παράγοντα. Με τον τουρισμό να αποτελεί συστατικό στοιχείο, ή και τον κορμό, των οικονομικών εισροών μιας χώρας, καθίσταται αξιόλογη και η υποστήριξη των παράκτιων ζωνών στην οικονομία. Παράλληλα όμως η λανθασμένη διαχείριση των τουριστικών παράκτιων ζωνών από τη δράση του τουρισμού μπορεί να προκαλέσει αυτοκαταστροφικά αποτελέσματα στον οικονομικό αυτό πόρο.

Από την έκταση των τουριστικών πεδίων δε θα μπορούσε να αποκλείεται φυσικά και η Μεσόγειος. Τα έσοδα από τον τουρισμό χρηματοδοτούν σε μεγάλο βαθμό χώρες όπως η Ελλάδα, ο Λίβανος, η Αίγυπτος, η Κροατία και η Ισπανία. Οι μόνες χώρες του πλανήτη που βασίζονται σε υψηλότερο βαθμό στον τουρισμό από τις μεσογειακές είναι τροπικές χώρες όπως η Ταϊλάνδη και άλλα νησιά. Η επιλογή των παράκτιων ζωνών για τουριστική δραστηριότητα έχει ως βασικότερη προϋπόθεση την καθαριότητα, επομένως η μείωση του τουριστικού δυναμικού που θα προκαλούταν από την έλλειψη σωστού υγειονομικού υποβάθρου θα αποτελούσε τη ζημίωση των οικονομικών εισροών σε μια χώρα που βασίζεται σε αυτό.

Η σημασία που έχει ο τουρισμός για την Ισπανία ειδικότερα, θα μπορούσε να εκφραστεί από το γεγονός ότι πάνω από το 10% του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος της οφείλεται στην επιλογή της ως τουριστικό προορισμό. Και σε αυτό, το μεγαλύτερο κλάσμα εντάσσεται στις εγκαταστάσεις παράκτιου τουρισμού. Μια αξιοσημείωτη τέτοια εγκατάσταση βρίσκεται στο Sitges, στην βορειοανατολική ισπανική περιοχή της Καταλονίας. Στην περιοχή διαβιούν μόνιμα 27668 κάτοικοι και το καλοκαίρι ο πληθυσμός της διπλασιάζεται. Οι ανθρώπινες εισροές όμως δεν προκαλούν μόνο οικονομικά οφέλη αλλά και αύξηση στις ποσότητες αποβλήτων. Αυτός ο λόγος έκρινε απαραίτητη τη διασκόπηση της υγειονομικής κατάστασης στην περιοχή του Sitges. Έχουν διεξαχθεί έρευνες όχι μόνο στην Καταλονία, αλλά και σε διαφορετικές περιοχές, που επισημαίνουν τη σημασία της ποσότητας και του είδους (σύνθεσης) των ανθρώπινων αποβλήτων για την υποβάθμιση του επιπέδου υγιεινής στις ακτές. Έχουν επίσης δείξει την αύξηση των

ποσών των αποβλήτων τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτοί οι παράγοντες ήταν και τα αίτια που οδήγησαν στην αξιολόγηση της μόλυνσης στην εν λόγω περιοχή.

Η ακτογραμμή της Costa Durdalida όπου βρίσκεται το Sitges, έχει μήκος 5,3 km και περικλείει από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά τις παραλίες: (1) Anquines, (2) Terramar, (3) Barra, (4) Riera Xica, (5) Estanyol, (6) Bassa Rodona, (7) Ribera, (8) Fragata, (9) Sant Sebastia, (10) Balmins, (11) Aiguadolç, (12) Garraf και (13) Les Botigues. Η περιοχή έχει υποστεί σημαντικές διαρθρωτικές αλλαγές ανά το χρόνο από το 1956. Έχουν χτιστεί κυματοθραύστες, για να υποβοηθήσουν την αύξηση της επιφάνειας προς χρήση ως παραλία, και έχουν κατασκευαστεί επίσης 4 λιμάνια, με τα 2 να επηρεάζουν απευθείας τις παραλίες. Ως το 1956 η συνολική επιφάνεια της ακτογραμμής ήταν 178662 m². Το 2008 είχε κιώλας αυξηθεί κατά 64%, σε μια επιφάνεια 294572 m². 4 μόνο παραλίες από τις 13 βρέθηκαν στο τέλος με λιγότερη έκταση, με την επιρροή όλων των υπόλοιπων να έχει αυξηθεί.

Από τα βακτήρια της κοπρανώδους μόλυνσης μετρήθηκαν στην άμμο και στο νερό τα κοπρανώδη κολοβακτήρια, E. Coli, ο στρεπτόκοκκος και ο εντερόκοκκος.

Αποτελέσματα- ανάλυση

Σύμφωνα με την οδηγία CEDEX, το ανώτερο όριο βακτηριακής συγκέντρωσης στην άμμο, ώστε η παραλία να θεωρηθεί κατάλληλη για χρήση αναψυχής, είναι της τάξης των 30 cfu/100mL. Για το νερό, η ACA θεωρεί 2 όρια, το όριο των 250 cfu/100 mL για άριστη ποιότητα και το όριο των 500 cfu/100mL για καλή ποιότητα.

Η γενική εικόνα της άμμου στα δείγματα δεν έδειξε κοπρανώδη μόλυνση, με εξαίρεση κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις ανόδου στις τιμές. Αυτές οι δειγματοληψίες αφορούσαν την κολυμβητική περίοδο 2008- 2009. Από την E. Coli, πληθυσμοί ανιχνεύθηκαν μόνο στις παραλίες San Sebastia, L' Estanyol και Balmins. Σε καμία από αυτές η συγκέντρωση δεν υπερέχει των ορίων, παρότι στην Balmins πλησίαζε σχετικά την ανώτερη αποδεκτή τιμή, το 2008. Οι στρεπτόκοκκοι το 2008 και οι εντερόκοκκοι το 2009 από την άλλη, ήταν παρόντες σε ευρεία κλίμακα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις υπερέχον του ορίου των 30 cfu/100mL. Οι μέγιστες συγκεντρώσεις τους παρατηρήθηκαν το 2008 στην παραλία Balmins και το 2009 στην παραλία San Sebastia.

Οι αναλύσεις που έγιναν στο νερό των παραλιών, πραγματοποιήθηκαν εντός εύρους απόστασης 200 μέτρων από την ακτή, την κολυμβητική περίοδο που ξεκινούσε από 1^η Ιουνίου έως την 15^η Σεπτεμβρίου. Την περίοδο 2003- 2007 υπήρξε παρουσία κοπρανωδών κολοβακτηρίων, και την περίοδο 2008-2009 παρουσία E. coli. Ο εντερόκοκκος αποτελούσε δευτερεύουσα πηγή μόλυνσης. Και σε αυτά τα δείγματα υπήρξε χαμηλό επίπεδο βακτηριακών συγκεντρώσεων, με εξαίρεση πάλι ορισμένες περιστασιακές αυξήσεις άνω του πρώτου ορίου. Το ανώτερο όριο πάντως των 500 cfu/100mL δεν ξεπεράστηκε σε καμία περίπτωση, ενώ το όριο για τον εντερόκοκκο παρέμεινε απαραβίαστο από το 2006.

Σε κάθε περίπτωση η προέλευση των δεικτών αποδόθηκε εν μέρει στην δράση αστικών πηγών μόλυνσης. Στις παραλίες L' Estanyol, Balmins και San Sebastia εμφανίστηκε η πιο μολυσμένη άμμος. Από την πλευρά του νερού οι πιο μολυσμένες παραλίες ήταν η Garraf, San Sebastia και L' Estanyol. Από τη συσχέτιση των μολυσμένων παραλιών με τις υπάρχουσες σε αυτές συνθήκες, προέκυψε ότι οι πιο ευπαθείς στη μόλυνση ήταν αυτές που επηρεάζονταν από την αστική απορροή βρόχινου νερού, ή από τις απορροές νερού από τις υπηρεσίες και εγκαταστάσεις στις παραλίες αυτές. Το 2004 κορυφώθηκε ο αριθμός των τιμών που υπερέβαιναν τις οριακές τιμές, ενώ ακολούθησε διαρκής μείωσή τους από το σημείο αυτό και ύστερα. Ένα

σημαντικό συμπέρασμα ήταν ότι η υγειονομική κατάσταση του Sitges υπέστη βελτίωση κατά το πέρασμα του χρόνου.

Εν κατακλείδι, αν και είχαμε την παρουσία τάσεων κοπρανώδους μόλυνσης στις παραλίες Sant Sebastià, Garraf, Les Botigues, Balmins, Ribera και Estanyol, η γενική εικόνα του νερού των παραλιών θεωρήθηκε εξαιρετική. Αντίστοιχα υψηλού επιπέδου θεωρήθηκε και η υγειονομική κατάσταση της άμμου, με ορισμένες πάλι τάσεις υπέρβασης των ορίων. Οι πλαζ Barra και Terramar έδειξαν τις καλύτερες ποιοτικές προϋποθέσεις. Πέρα από τις βρόχινες απορροές μέσω αστικού αποχετευτικού δικτύου και απευθείας από την επιφάνεια βροχόπτωσης υποτέθηκαν ως πιθανές και οι απελευθερώσεις μέρους ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων, αλλά και ανεξέλεγκτες διαρροές από αστικά λύματα. Άλλη μια πιθανή πηγή μόλυνσης θεωρήθηκε η απορροή νερού στη νότια πλευρά από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Στις πλαζ Garraf και Les Botigues υπήρχε και η επιπλέον υποψία της συμβολής στραγγισμάτων και απορροών από τη χωματερή που έδρευε μεταξύ τους. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι μετά την κατάργησή της το 2007 δεν παρατηρήθηκε μόλυνση νερού στις 2 αυτές πλαζ.

Αν και δεν μπόρεσε να εκτιμηθεί η συμβολή της κάθε πιθανής πηγής στο φαινόμενο εισροής βακτηριακού φορτίου το συμπέρασμα ήταν ότι η μόλυνση οφειλόταν στη συνδυασμένη δράση όλων τους. Θεωρήθηκε σημαντική η συνεχής παρακολούθηση των νερών και των άμμων από τις αρχές, καθώς και η εφαρμογή πρακτικών διαχείρισης των απορροών βροχής και υγρών αποβλήτων (Palomino de Dios et al. 2012).

Το νησί Penang

Θα μπορούσαμε εδώ να ξεφύγουμε από το εύρος του Μεσογειακού πλαισίου, και να αναλύσουμε την ποιότητα του νερού σε ένα τροπικό νησί, το νησί Penang στη Μαλαισία. Το Penang είναι ένα μικρό νησί, απέναντι από τις Μαλαισιανές ακτές. Παρά το μικρό του μέγεθος όμως, αποτελεί σημαντικό τουριστικό προορισμό, αλλά και λιμάνι. Οι τουρίστες που καταφθάνουν από την Ιαπωνία και τις δυτικές χώρες, και επομένως οι λιμενικές δραστηριότητες, έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, έτσι ώστε να κινητοποιηθεί το ενδιαφέρον για τους περιβαλλοντικούς και υγειονομικούς αποτόκους.

Το νησί αριθμεί περίπου 24 km μήκος και 14,5 km πλάτος. Περιέχει μια λοφοσειρά με μέγιστο υψόμετρο 830 m. Βρίσκεται απέναντι από τη δυτική Μαλαισία, από την οποία τη χωρίζει ένας πορθμός πλάτους 27 km. Οι βόρειες παραλίες της είναι και αυτές με τη μεγαλύτερη κολυμβητική δράση, αν και αυτή υφίσταται γενικά σε πολλές άλλες ακτές της. Το κλίμα της είναι ενταγμένο στην εικόνα του κλίματος των τροπικών, με μέση θερμοκρασία 27 βαθμούς Κελσίου στο Georgetown και μέση ετήσια βροχόπτωση 2440 mm, ισοκατανεμημένη ανά όλη την επιφάνεια του νησιού.

Τα $\frac{3}{4}$ του τότε πληθυσμού των 430000 διαβιούσαν στο Georgetown, και το 60% είχε αποχετευτικές δυνατότητες. Ακόμη και σε αυτούς όμως, η πλειοψηφία απέρριπτε τα λύματα ως ανεπεξέργαστα στο Νότιο Κανάλι μέσω μιας 800 m απορροής. Στους υπόλοιπους κατοίκους του Georgetown και του νησιού τα λύματα απορρίπτονταν με διάφορους άλλους τρόπους. Ο κύριος τρόπος ήταν τα αποχωρητήρια με λειτουργία αντίστοιχη του κουβά, τα οποία συλλέγονταν περιοδικά και τα απόβλητα προσθέτονταν στο Νότιο Κανάλι. Άλλος τρόπος που χρησιμοποιούσαν είναι τα δοχεία νερού που καταλήγουν σε σηπτικές δεξαμενές, και αποχωρητήρια έγχυσης- καταβόθρισης ή χρήσης λάκκου μουσκέματος και αποβολής. Ακόμη και τα πιο σύγχρονα σπίτια διέθεταν μόνο καθαρισμό με επιφάνειες διαποτιστικής φίλτρανσης των αποβλήτων (κάποια διέθεταν οξειδωτικές δεξαμενές), πριν αυτά απορριφθούν στη θάλασσα.

Λιγότερο συχνά συναντώνταν οίκοι που δεν είχαν καμία από τις παραπάνω δυνατότητες επεξεργασίας ή ελεγχόμενης αποβολής ή σπίτια με απευθείας απόρριψη σε παράπλευρο ποτάμι ή θάλασσα. Όσον αφορά τα νερά έκπλυσης, δηλαδή νερά μπάνιου ή καθαρισμού σκευών, αυτά απορρίπτονταν απευθείας σε ρυάκια δίπλα στους δρόμους ή ρεύματα.

Από αυτές τις πρακτικές ήταν αναμενόμενη μια κοπρανώδης μόλυνση των νερών από τα ρεύματα και τα ρυάκια που καταλήγουν στη θάλασσα. Αυτό ενισχύεται και από την παρουσία ζώων προς εκτροφή, κυρίως χοίρων. Σε έρευνες που διεξήχθησαν ανιχνεύτηκαν υψηλές τιμές *Escherichia coli* σε 3 ποτάμια, τον Telok Bahang, τον Sungei Mas και τον Sungei Kolian. Τα πλοία που διακινούνται στο λιμάνι είναι επόμενο ότι προσθέτουν επιμολυντικά ανεπεξέργαστα λύματα, αλλά αυτή τους η επίδραση θεωρείται μικρή σε σχέση με τη συμμετοχή των ανθρώπινων λυμάτων από τις εστίες κατοικίας.

Η κατάσταση της μόλυνσης θεωρήθηκε ότι έρχιζε περαιτέρω έρευνας για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με το βαθμό της κοπρανώδους μόλυνσης και τη συσχέτιση των κολυμβητικών δραστηριοτήτων με την εμφάνιση θαλασσογενών λοιμώξεων. Η έρευνα που διεκπεραιώθηκε επίσης χρησίμευσε στον προσδιορισμό της υγειονομικής κατάστασης των νερών και συνεπώς, της καταλληλότητάς τους για χρήσεις αναψυχής.

Δειγματοληψίες

Στη δειγματοληψία εντάχθηκαν όλα τα μέρη ακτογραμμής του νησιού εκτός από τις λασπώδεις εκτάσεις στη δυτική πλευρά. Τα μέρη δειγματοληψίας προέκυψαν από το διαχωρισμό των ακτογραμμών σε οικολογικές ζώνες, σχετικές η κάθε μία με τον αριθμό των κατοίκων γύρω της και τη φύση της ακτής. Σε κάθε χωρικό θέμα- μέρος δειγματοληψίας λήφθηκαν όσο το δυνατόν περισσότερα για επαρκή εικόνα δείγματα. Εξετάστηκαν όλες οι πιθανές για χρήση κολύμβησης ακτές και επίσης κάθε κόλπος και κολπίσκος, απομακρυσμένος ή μη. Η φιλοσοφία της δειγματοληψίας ήταν να λαμβάνονται δείγματα από οποιοδήποτε μέρος που επηρεαζόταν από την εκροή κάποιου ρεύματος, είτε φυσικού είτε τεχνητού, αλλά και σε μέρη μακρύτερα από την εκβολή του. Από τη στρατηγική αυτή, και επίσης από την επιθυμία να προσδιοριστεί το ελάχιστο και το μέγιστο βακτηριακό φορτίο, κάθε κόλπος ο οποίος δεχόταν την εκβολή ρεύματος έδινε 3 τοποθεσίες για δειγματοληψία: η μία κοντά στην εκβολή του ρεύματος και οι άλλες 2 στις εκατέρωθεν άκρες του κόλπου.

Ο επιθυμητός στόχος της έρευνας ήταν η απόκτηση δειγμάτων νερού αντιπροσωπευτικών των κολυμβητικών νερών. Έτσι, οι δειγματολήπτες εμβαπτιζόνταν σε μέρη όπου ο βυθός είχε βάθος 60 εκατοστών και το δείγμα λαμβανόταν σε βάθος 10 με 15 εκατοστών. Υπήρχαν δυσκολίες στην δειγματοληψία στις περιπτώσεις όπου ο βυθός και το υπόβαθρο ήταν λασπώδη, λόγω της προσθήκης στο δείγμα άμμου ως αιωρούμενα σωματίδια, που είναι ανεπιθύμητα στις μικροβιολογικές αναλύσεις. Τότε το δείγμα λαμβανόταν σε ρηχότερο μέρος κοντά στην ακτή, ενώ σε άλλες περιπτώσεις η δειγματοληψία γινόταν δίπλα σε προβλήτες.

Οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα τη χρονιά 1975. Η κύρια περίοδος δειγματοληψίας ξεκίνησε στις 14 Οκτωβρίου και τελείωσε στις 15 Νοεμβρίου. Κάποια όμως δείγματα ελήφθησαν την περίοδο μεταξύ 9^{ης} Απριλίου και 26^{ης} Ιουνίου, ως μέρος μιας δοκιμαστικής, προκαταρκτικής διερεύνησης. Λήφθηκε επίσης υπόψη και η παρουσία της παλίρροιας, γιατί θεωρήθηκε πιθανό ότι η ανανέωση των νερών την περίοδο μεταξύ πλημμυρίδας και άμπωτης (όπου η αλλαγή των νερών γινόταν γρήγορα), θα προκαλούσε αραίωση των βακτηριακών πληθυσμών που προέρχονταν από χερσαίες πηγές. Έτσι, με μερικές εξαιρέσεις η δειγματοληψία διεξαγόταν μία φορά την πλημμυρίδα και μία φορά την άμπωτη. Το δείγμα λαμβανόταν 1 ώρα πριν με 1 ώρα μετά το κάθε παλιρροϊκό φαινόμενο.

Αποτελέσματα και ανάλυση

Τα μικροβιακά αποτελέσματα εκφράστηκαν με χρήση δεκαδικού λογάριθμου. Σε ορισμένες περιοχές, οι τιμές μπορούσαν να κυμαίνονται σε μεγάλο σχετικά εύρος, όπως στην περιοχή J, στα βορειοανατολικά του νησιού, όπου οι ακραίες τιμές ήταν 10^2 και 10^6 E. Coli/100 mL. Αυτό οφειλόταν κυρίως στον πολλαπλό αριθμό δειγμάτων που λαμβάνονταν από κάθε περιοχή, με το κάθε δείγμα να απέχει διαφορετικά από τις πηγές μόλυνσης. Το κάθε μέρος των χώρων δειγματοληψίας ξεχωριστά δεν έδειξε μεγάλη διακύμανση τιμών.

Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν μια παράλληλη πορεία των τιμών βακτηριακών συγκεντρώσεων με την πυκνότητα του πληθυσμού. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βακτηρίων παρατηρήθηκαν σε περιοχές περιστοιχισμένες από το Georgetown, ενώ οι χαμηλότερες παρατηρήθηκαν στη βορειοδυτική περιοχή του νησιού η οποία χαρακτηρίζεται από ελάχιστο πληθυσμιακό δυναμικό. Από αυτές τις συνθήκες κατέστη καταφανής η συμβολή ανθρώπινων και/ ή ζωικών πηγών μόλυνσης ως αίτια για την εμφάνιση E. Coli σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Η περιοχή που προαναφέρθηκε (βορειοδυτικό κομμάτι) είναι μια χερσονησοειδής δασώδης περιοχή με ελάχιστους όπως είναι αναμενόμενο κατοίκους και ανθρώπινες δραστηριότητες. Υπήρχαν όμως κάποιες κατοικίες, όπως επίσης και αρκετά μονοπάτια που χρησιμοποιούνται από ψαράδες και κολυμβητές για πρόσβαση σε αυτές τις ακτές. Παρόλα αυτά αποτελεί την πιο ανέγγιχτη περιοχή του νησιού και έτσι η όποια ανίχνευση E. coli πιθανότατα αντιπροσωπεύει την βασικού επιπέδου φυσική επιβάρυνση από ζώα. Ο μέσος όρος τιμών για τις ακτές της υπολειπόταν των 7 E. coli /100mL και η υψηλότερη τιμή της ήταν 93 E. coli /100mL. Η μέση τιμή της παρόλα αυτά θεωρείται εξαιρετικά μικρή σε σύγκριση με τις άλλες περιοχές από τις οποίες μόνο 2 εμφάνισαν δείγματα συγκέντρωσης κάτω των 10 E. coli/100mL, και αυτές ακόμη ήταν οι γειτονικές της πρώτης, αμέσως επόμενες προς ανατολικά.

Οι ενδοχώρες των άλλων περιοχών ήταν περισσότερο πυκνοκατοικημένες, με μεγαλύτερο αριθμό ήμερων ζώων. Οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων E. coli εντάσσονταν μεταξύ 72 και 234700 βακτηρίων/100mL. Η τελευταία τιμή ανήκε στην δυτική ακτή του Georgetown, η οποία ήταν επίσης και η πιο κοντινή στην απορροή των αστικών λυμάτων. Τα ρεύματα που εξέβαλλαν κατευθείαν στην ακτή και χρησίμευαν στην απόρριψη αποβλήτων λυμάτων είναι τα σχεδόν αποκλειστικά υπεύθυνα για την μόλυνση. Πραγματικά κάποια δείγματα από την περιοχή αυτή, 6 στον αριθμό, υπερέιχαν της τιμής 10^6 E. coli/100mL.

Σχετικά με την καταλληλότητα των νερών για κολύμβηση, η έρευνα αναφέρει ότι οι ενδείξεις των συσχετισμών μεταξύ της συγκέντρωσης κοπρικών βακτηρίων και θαλασσογενών λοιμώξεων είναι ολιγάριθμες, και έτσι δεν αναφέρει κάποιο συγκεκριμένο αναγνωρισμένο κανόνα για την ύπαρξη E. coli στα κολυμβητικά νερά. Η ύπαρξη τότε σταθερών κανόνων για την υγειονομική κατάσταση των νερών φαίνεται ότι δεν είχε λάβει ευρείες διαστάσεις. Κάποιες χώρες όμως είχαν θεσπίσει κριτήρια για νερά κολύμβησης, όπως η Report of the National Technical Advisory Committee on Water Quality Criteria (1968) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο κανόνας που υπέδειξε ήταν ότι τα δείγματα που συλλέγονταν σε περίοδο 30 ημερών, από μια περιοχή δραστηριοτήτων που υπαγορεύουν άμεση επαφή με το νερό (όπως κολύμβησης), και τα οποία να ξεπερνούν τη λογαριθμική τιμή των 200/100mL δεν θα έπρεπε να είναι πάνω από 5 στον αριθμό. Σε ίδια περίοδο δειγματοληψίας τέθηκε επίσης ότι τα δείγματα που ξεπερνούν τη λογαριθμική τιμή των 400/100mL δεν θα έπρεπε να αντιπροσωπεύουν πάνω από το 10% των συνολικών δειγμάτων.

Και το Συνέδριο της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας όμως είχε αποδώσει σχετική οδηγία, και αυτή συνιστά τα κολυμβητικά νερά σε περίοδο 10 ετών να περιέχουν λιγότερα από 10000 ολικά και 2000 κοπρανώδη κολοβακτήρια στα 0,1 L, με περιθώριο ανοχής (το μέγιστο δηλαδή ποσοστό δειγμάτων που επιτρέπεται να υπερβαίνουν αυτά τα όρια) 5%. Αυτό αποτελούσε έναν πρότυπο κανόνα. Ένας επιπρόσθετος κανόνας- οδηγία του Συνεδρίου ΕΟΚ ήταν, για μια οποιαδήποτε δειγματοληψία, τα ολικά κολοβακτήρια να μην υπερβαίνουν τα 500 στα 100mL και τα κοπρανώδη να μην υπερβαίνουν τα 100 στα 100mL, ενώ το αντίστοιχο περιθώριο ανοχής των δειγμάτων τοποθετήθηκε στο 20%.

Στο Penang τώρα όπως φάνηκε οι βόρειες παραλίες συμφωνούσαν με τα πρότυπα της ΕΟΚ αλλά όσον αφορά τον πλήρη συμβιβασμό με την οδηγία της ΕΟΚ και της National Technical Advisory Committee μόνο οι ακτές στις οποίες είχαμε αναφερθεί πρώτα (οι βορειοδυτικές σχετικά ανέγγιχτες ακτές) ακολουθούσαν κοινή γραμμή. Παρόλα αυτά αποδείχθηκε δύσκολο να καθοριστεί ο βαθμός εναρμόνισης των ακτών του νησιού με τους πρότυπους κανόνες. Η ενδημική εμφάνιση όμως ασθενειών όπως η χολέρα και διάφορες τυφοειδείς λοιμώξεις δήλωνε αυτόματα την ύπαρξη μιας κατάστασης μόλυνσης σε αυτά τα νερά. Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι οι ασθένειες αυτές μπορούν να μολύνουν σε μικρές ποσότητες εισροής στο σώμα (δεν χρειάζεται υψηλή συγκέντρωση βακτηρίων για να προκληθεί λοίμωξη), και ότι στους τροπικούς η εκ φύσεως υψηλότερη θερμοκρασία του νερού από τις πιο ψυχρές ζώνες επιτρέπει μεγαλύτερο χρόνο επαφής και μεγαλύτερη εισροή νερού στο σώμα. Αυτές οι σκέψεις δημιούργησαν την ανάγκη για την υιοθέτηση αυστηρότερων περιορισμών για το βακτηριακό φορτίο στις ζώνες των τροπικών.

Η ανάγκη είχε κινητοποιήσει ήδη μια έρευνα συσχετισμού της εμφάνισης θαλασσογενών ασθενειών και κολύμβησης στην περιοχή του Penang, αλλά κατέληξε σε αποτυχία εξεύρεσης οποιασδήποτε αλληλεξάρτησης. Αυτή η αδυναμία τότε σαφούς προσδιορισμού της υγειονομικής κατάστασης των νερών με βάση κανόνες έκανε τους υπεύθυνους της έρευνας να υποδείξουν την προτεραιότητα της θεώρησης των προτύπων όχι ως κανόνες δημόσιας υγιεινής αλλά ως κανόνες κυρίως αισθητικής κατάστασης. Η έρευνα του Koblitz έθεσε ως υπόδειξη το όριο 10000αποικιών ολικών κολοβακτηρίων/ 100mL εντός έρευνας που συσχέτιζε την προφανή καθαριότητα της παραλίας Rio de Janeiro (οπτικά) με τη συγκέντρωση κολοβακτηρίων. Σε μια έρευνα που συνέπεσε χρονικά με αυτήν που αναλύουμε τώρα, το όριο της έρευνας του Koblitz θεωρήθηκε ιδανικό για τα αναπτυσσόμενα έθνη με τις μειωμένες οικονομικές δυνατότητες.

Όμως η κατάσταση της ανάγκης είναι λογικά πιο απαιτητική στην περίπτωση περιοχών υψηλού τουριστικού ενδιαφέροντος όπως το Penang, και έτσι χρειαζόταν μια καλύτερη εκτίμηση της ποιότητας του νερού με βάση ακριβείς κανόνες. Η διασφάλιση της υγείας είναι πρωταρχικό μέλημα σε τέτοιες περιπτώσεις, και αυτό προσέκλυσε το ενδιαφέρον του Μαλαισιανού Τμήματος Περιβάλλοντος. Η υπηρεσία αυτή ασχολήθηκε με την θέσπιση και εφαρμογή προτύπων υδατικής ποιότητας για τα κολυμβητικά νερά παραπλήσιων με τις οδηγίες της ΕΟΚ.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, της ρύπανσης θρεπτικών και ευτροφισμού, είχαμε αναφερθεί στον κίνδυνο που προκαλείται από την κατανάλωση οστρακόδερμων σε ευτροφικές περιοχές, εξαιτίας της συσσώρευσης σε αυτά τοξικών πλαγκτονικών ειδών. Από την ιδιότητα αυτή, δεν θα μπορούσαν φυσικά να εξαιρεθούν και τα βακτήρια κοπρανώδους μόλυνσης, τα οποία επίσης συσσωρεύονται στα οστρακόδερμα κατά τη λειτουργία εξεύρεσης τροφής τους. Είχε ήδη συσχετιστεί η κατανάλωσή τους με την εμφάνιση λοιμώξεων από κοπρικά βακτήρια καιρό πριν. Η Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας των Ηνωμένων Πολιτειών είχε απαγορεύσει την διάθεση προς κατανάλωση οστρακόδερμων με μέσες συγκεντρώσεις πάνω από 700/ 100mL ή

στην περίπτωση που πάνω από το 10% των δειγμάτων υπερέβαινε τα 2300 κολοβακτήρια/100mL. Οι περιοχές του Penang που δεν συμβιβάζονταν με αυτόν τον κανόνα ήταν κυρίως και αυτές που εξυπηρετούσαν και την καλλιέργεια οστρακόδερμων. Αυτό ήταν από τους σοβαρότερους λόγους ανησυχίας για το νησί και πιθανολογείτο από την έρευνα ο συσχετισμός τους ως επιπλέον λόγο της εμφάνισης λοιμώξεων στο μέρος αυτό.

Οργανική ρύπανση υδάτων

Αναφέρθηκε ότι, ο γενικός ορισμός της ρύπανσης είναι η είσοδος στο περιβάλλον ουσιών ή ενέργειας σε ποσότητες/ συγκεντρώσεις τέτοιες που να αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και τις φυσιολογικές λειτουργίες και ζωντανούς πληθυσμούς του περιβάλλοντος. Όταν η ρύπανση οφείλεται σε ουσίες, οι οποίες εντάσσονται στην κατηγορία των οργανικών ενώσεων, τότε έχουμε την παρουσία της **οργανικής ρύπανσης**.

Οργανικές ενώσεις

Ως **οργανικές** θεωρούνται όλες οι ενώσεις του άνθρακα (C), εκτός από τα 2 οξείδιά του, το διοξείδιο (CO₂) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το ανθρακικό οξύ (H₂CO₃) και τα άλατά του, τα όξινα ανθρακικά [M(HCO₃)_x] και τα ανθρακικά [M_{2/a}(CO₃)_{x/a}], τα οποία ανήκουν στις **ανόργανες**. Από τις οργανικές εξαιρούνται και άλλες 2 ενώσεις, που τοποθετούνται επίσης στις ανόργανες, το δισουλφίδιο του άνθρακα, γνωστό εμπειρικά και ως διθειάνθρακας (CS₂) και το οξείδιο σουλφίδιο του άνθρακα (COS).

Ο άνθρακας αποτελεί στοιχείο της τέταρτης ομάδας του περιοδικού πίνακα, έχει δηλαδή 4 ηλεκτρόνια στη εξωτερική του στοιβάδα, τα οποία μπορεί να μοιραστεί, ενώ αυτό σημαίνει επίσης ότι χρειάζεται άλλα 4 ηλεκτρόνια. Το σθένος του δηλαδή είναι 4 και στην ακραία περίπτωση μπορεί να συνδεθεί με άλλα 4 άτομα, αν αυτά έχουν σθένος 1. Θεωρώντας τώρα τις οργανικές ενώσεις αποτελούμενες από ανθρακικές αλυσίδες, είναι ευνόητο το απεριόριστο του δυνατού αριθμού τους, κάτι που κάνει δυνατή την εμφάνιση πολλών πιθανών οργανικών ενώσεων προς προσδιορισμό σε κάποιο δείγμα. Έτσι, η οργανική ρύπανση, όταν θέλουμε γενική εικόνα του οργανικού φορτίου, κατά κανόνα μετράται με την απαίτηση σε μάζα οξυγόνου ανά όγκο δείγματος που χρειάζεται για να οξειδωθούν οι οργανικές ενώσεις, οι οποίες περιέχονται στον όγκο αυτό δείγματος, είτε με βιολογικό (BOD) είτε με χημικό (COD) τρόπο.

Περιπτώσεις σχετικά με την οργανική ρύπανση νερών από κατηγορίες οργανικών ενώσεων

Αρωματικοί υδρογονάνθρακες

Από τις οργανικές ενώσεις οι πιο απλές γενικά είναι οι **υδρογονάνθρακες**. Απλές διότι τα μόνα άτομα που περιέχουν στο μόριό τους είναι άτομα άνθρακα και υδρογόνου (H). Σε αυτούς εντάσσονται και οι **αρωματικοί ή αλειφατικοί υδρογονάνθρακες (AHs)**, στους οποίους με τη σειρά τους εντάσσονται οι **πολυκυκλικοί αλειφατικοί υδρογονάνθρακες (PAHs)**. Οι απλοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες έχουν ως κεντρική γέφυρα- κορμό του μορίου τους ένα **βενζοϊκό δακτύλιο (C₆H₆)** ενώ οι πολυκυκλικοί έχουν μια αλυσίδα τέτοιων δακτυλίων πολυμερισμένων. Η κατηγορία των αλειφατικών υδρογονανθράκων γενικότερα αποτελείται από τοξικές και καρκινογόνες ενώσεις. Π.χ. ο πιο απλός, το **βενζόλιο (κυκλοεξατριένιο C₆H₆)**, που όπως φαίνεται είναι η βάση των υδρογονανθράκων αυτών καθώς είναι από μόνο του ο ένας βενζοϊκός δακτύλιος, προκαλεί αναιμία και λευχαιμία (μορφή καρκίνου), ενώ είναι ίσως ο κύριος υπεύθυνος για τις καρκινογόνες ιδιότητες του καπνίσματος. Ο λόγος που είναι καρκινογόνες ενώσεις (ο οποίος είναι και ο αποκλειστικός λόγος του καρκίνου) είναι ότι έχουν την ιδιότητα να παραλλάσσουν τον γενετικό κώδικα των κυττάρων. Αυτή τους η ιδιότητα

σημαίνει ότι μπορούν να μεταλλάξουν και τα αναπαραγωγικά κύτταρα, προκαλώντας αναπαραγωγικά προβλήματα και γενετικές μεταλλάξεις.

Η κατηγορία των υδρογονανθράκων γενικότερα αποτελεί την πιο διαδεδομένη πηγή οργανικής ρύπανσης στις θαλάσσιες περιοχές. Οι κύριοι οδοί εισροή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι οι ποταμοί, οι αστικές και βιομηχανικές απορροές, οι ατμοσφαιρικές επικαθίσεις και διάφορες επιφανειακές απορροές. Οι πηγές τους συχνά είναι ανθρωπογενείς, μπορούν όμως να προέρχονται και από βιολογικές πηγές. Όσον αφορά τους PAHs τώρα είναι χαρακτηριστικοί της ρύπανσης από άκαυστους υδρογονάνθρακες, όπως βενζίνης.

Οι οργανικές ενώσεις γενικά δεν διαλύονται στο νερό, εκτός από μερικές κατηγορίες (**ομόλογες σειρές**). Η αιτία είναι η ελάχιστη πολικότητα των δεσμών άνθρακα- υδρογόνου, που δεν σχηματίζει ισχυρούς δεσμούς με το νερό. Επομένως οι υδρογονάνθρακες αποτελούν την κατεξοχήν κατηγορία με ασήμαντη διαλυτότητα στο νερό. Εξαιτίας αυτού οι υδρογονάνθρακες προσροφώνται κυρίως σε αιωρούμενα σωματίδια και αυτή είναι η κύρια μορφή παρουσίας τους στην περίπτωση ρύπανσης παράκτιων περιοχών. Έτσι, οι περισσότερες έρευνες ασχολούνται με τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των υδρογονανθράκων στα παράκτια ιζήματα και σωματίδια. Η παρουσία των υδρογονανθράκων στο νερό όμως μπορεί να αυξηθεί σε περιπτώσεις παρουσίας αιωρούμενων σωματιδίων. Επίσης, με την εισροή πολλών υδρογονανθράκων ξεκινούν διάφορες περεταίρω διεργασίες βιοαποικοδόμησης και φωτο-αποδόμησης, αλλά και αλληλεπιδράσεις με την οργανική ύλη. Η συγκέντρωσή τους μειώνεται και από διαδικασίες αεριοποίησης. Η πορεία και ανταλλαγή των υδρογονανθράκων μεταξύ των διαφόρων φάσεων χρειάζεται σημαντικό βαθμό κατανόησης, κάτι που θα είναι χρήσιμο στην εκτίμηση της ρυπαντικής κατάστασης σε υδάτινα συστήματα.

Αναφέρθηκε ότι οι υδρογονάνθρακες, και γενικά όλα τα μέρη του μορίου μιας οργανικής ένωσης που αποτελούνται μόνο από άνθρακα και υδρογόνο, δεν διαλύονται στο νερό. Δεν σχηματίζουν δηλαδή δεσμούς με τα μόρια του νερού. Αντίθετα σχηματίζουν δεσμούς, διαλύονται δηλαδή, σε μόρια ή σε τμήματα μορίων οργανικών ενώσεων που αποτελούνται επίσης από μόνο άνθρακα και υδρογόνο. Αυτό επαληθεύει τον κανόνα **“τα όμοια διαλύουν όμοια”**. Το νερό, ως ισχυρά πολική ένωση θα σχηματίζει ισχυρούς δεσμούς διάλυσης μόνο με ισχυρά πολικές ενώσεις. Ισχυρά πολικοί είναι και οι δεσμοί ορισμένων οργανικών ενώσεων (δεσμοί υδροξυλίου στις αλκοόλες και στα καρβοξυλικά οξέα), οι οποίοι όντως σχηματίζουν ισχυρούς δεσμούς διάλυσης με το νερό. Οι μη ισχυρά πολικοί δεσμοί αντίθετα, όπως αυτοί που περιέχονται στους υδρογονάνθρακες (για την ακρίβεια μόνο τέτοιοι υπάρχουν στους υδρογονάνθρακες) σχηματίζουν ισχυρούς δεσμούς διάλυσης με μη ισχυρά πολικούς δεσμούς, δηλαδή υδρογονανθρακικά μέρη οργανικών ενώσεων.

Αυτό σημαίνει, με απλά λόγια, ότι οι υδρογονάνθρακες έχουν μεγάλη δυνατότητα **βιοσυσώρευσης** στους βιολογικούς ιστούς των οργανισμών, και κυρίως στους λιπώδεις. Αυτό γίνεται κατά κύριο ίσως λόγο μέσω της τροφής, αλλά στις βάσεις της τροφικής αλυσίδας γίνεται κυρίως μέσω διάχυσης και αναπνοής (από το νερό). Επίσης, η αδυναμία διάλυσής τους στο νερό οδηγεί στην προσρόφησή τους από τις στερεές φάσεις, όπως σωματίδια και ιζήματα.

Η περιοχή της Μασσαλίας

Το κορυφαίο σε διακίνηση αγαθών μεσογειακό λιμάνι είναι αυτό της Μασσαλίας. Επίσης κατέχει το 3^ο κορυφαίο λιμάνι του κόσμου στο θέμα της διακίνησης πετρελαίου. Σημαντικές τουριστικές, ναυτιλιακές και βιομηχανικές δραστηριότητες εδρεύουν επίσης στην πόλη, καθώς είναι το 2^ο μεγαλύτερο αστικό κέντρο της Γαλλίας. Αυτό κάνει ύποπτη και την υψηλή παρουσία αστικής και βιομηχανικής ρύπανσης. Οι εισροές στη θάλασσα πετρελαιοειδών και

ατμοσφαιρικών επικαθίσεων από βιομηχανικές, λιμενικές, μεταφορικές και πυρογενικές δραστηριότητες είναι σε σημαντικό βαθμό παρούσες στην περιοχή. Επίσης, ο ποταμός Ροδανός ο οποίος είναι το υψηλότερης παροχής ποτάμι της Γαλλίας, αποτελεί επίσης και σημαντικό μέσο μεταφοράς ρύπων στη θάλασσα. Είναι η κυριότερη πηγή παροχής γλυκού νερού στη Μεσόγειο και η περιοχή επιρροής του περικλείει και την παράκτια ζώνη της Μασσαλίας.

Αν και υπήρξαν πολυάριθμες έρευνες που μελέτησαν την παρουσία υδρογονανθράκων στη βορειοδυτική Μεσόγειο, χρειαζόταν και η γνώση του δυναμικού των αρωματικών υδρογονανθράκων στο Ροδανό και στη συγκεκριμένη περιοχή του λιμένος της Μασσαλίας, για τον σχηματισμό πλήρους εικόνας της ρυπαντικής κατάστασης στην περιοχή. Αυτή η ανάγκη κινητοποίησε διαδικασίες για διερεύνηση των ρυπαντικών δράσεων στις παραπάνω περιοχές, την οποία θα αναπτύξουμε τώρα. Σκοπός ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης και μοριακής σύνθεσης των αλειφατικών υδρογονανθράκων, αλλά και της προέλευσης και της πορείας τους. Σημαντικό σκέλος της έρευνας ήταν και ο χαρακτηρισμός του ρόλου του Ροδανού στη διάδοσή τους. Μετρήθηκαν επίσης και φυσικοχημικής κατηγορίας παράγοντες.

Οι περιοχές που μελετήθηκαν ήταν 3 θαλάσσιες, το Port-de-Bouc, το Couronne και το Sofcom, και 2 χερσαίες, το Vaccares και το Arles. Οι δειγματοληψίες και μελέτες έγιναν ανάλογα με το πιθανό επίπεδο ρύπανσης της κάθε περιοχής. Αυτές οι περιοχές, είτε παράκτιες είτε ενδοχώριες στην περιοχή του Ροδανού, ήταν όλες γειτονικές της ευρύτερης περιοχής της Μασσαλίας. Το Port-de-Bouc είναι λιμάνι που βρίσκεται στον κόλπο Fos-sur-mer. Είναι περιτριγυρισμένο από το πετροχημικό σύμπλεγμα Marseilles-Fos, μια περιοχή πολυάριθμων πετροχημικών εγκαταστάσεων διαχείρισης πετρελαιοειδών, χάλυβα και χημικών. Ο Ροδανός, καθώς και η λιμνοθάλασσα Berre αποτελούν κάποιες πηγές παροχής γλυκού νερού στο λιμάνι. Η λιμνοθάλασσα Berre είναι επίσης προορισμός πετρελαιοφόρων δια του καναλιού Caronte, τα οποία αναμέσον της πορείας τους διέρχονται και από το λιμάνι Port-de-Bouc.

Το Couronne είναι μια θαλάσσια περιοχή πλησίον της ακτής στο Port-de-Bouc, και βρίσκεται υπό την άμεση επιρροή του δέλτα του Ροδανού. Αυτό το δέλτα έχει έκταση η οποία εξαρτάται από την ισχύ και διεύθυνση του ανέμου και από την παροχή νερού του ποταμού. Το Sofcom βρίσκεται στον κόλπο της Μασσαλίας. Είναι κοντά στα νησιά Frioul, σε απόσταση 7 χιλιομέτρων από τη Μασσαλία. Πρόκειται για έναν ενδοθαλάσσιο τόπο κοντά στην ακτή, ο οποίος χρησιμεύει για παρατήρηση από τη national Service d'Observation en Milieu Littoral. Βρίσκεται σχετικά μακριά από την επιρροή του Ροδανού, και χρησίμευσε σαν θαλάσσιο σημείο αναφοράς για σύγκριση με τις υπόλοιπες ανθρωπογενώς επηρεασμένες περιοχές.

Οι ενδοχώρια περιοχή του Arles τώρα, βρίσκεται στον ποταμό Ροδανό, ο οποίος έχει ένα μήκος 812 km και μια λεκάνη απορροής 97800 km². Το δέλτα του αριθμεί περίπου 1750 km² έκταση και καλύπτεται κυρίως από αλμυρούς βάλτους, υγρότοπους και όρμους. Το κεντρικό μέρος του δέλτα, που έχει έκταση περίπου 750 km² είναι γνωστό με το όνομα Carnague και περιέχει ένα σύμπλεγμα όρμων και καλλιεργητικών δραστηριοτήτων. Ο μεγαλύτερος όρμος του είναι αυτός του Vaccares, του τελευταίου τόπου δειγματοληψίας. Ο όρμος αυτός είναι έκταση 6500 km², βάθους το πολύ 2 μέτρων και μήκους 12 km. Αποτελεί το κύριο σύστημα ελέγχου των εκβολών του Ροδανού, και βρίσκεται υπό την άμεση επιρροή του. Παρόλα αυτά, υφίσταται εισροή εντομοκτόνων και υδρογονανθράκων από αγροτικές δραστηριότητες και τον Marseilles-Fos μέσω ατμοσφαιρικής επικάθισης των ρύπων.

Οι δειγματοληψίες σε όλου τους χώρους διήρκεσαν 1 έτος, από το Φεβρουάριο του 2011 ως το Φεβρουάριο του 2012, μηνιαία, μεταξύ 8:00 και 12:00 το πρωί. Τα 2 δείγματα που ανήκαν στην περιοχή του Ροδανού λαμβάνονταν κατευθείαν από την άκρη του επιπέδου του νερού. Τα 3 θαλάσσια δείγματα λήφθηκαν από το R/V Antedon II. Στο βάθος τώρα τα δείγματα του Ροδανού

και το Port-de-Bouc λήφθηκαν μόνο σε βάθος 10 εκατοστών ενώ τα υπόλοιπα 2 δείγματα που βρίσκονταν σχετικά μακριά από την ακτή (Sofcom και Couronne) λήφθηκαν σε 2 βάθη, 10 εκατοστών και 5 μέτρων.

Αποτελέσματα και ανάλυση

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι χαμηλότερες αλατότητες αφορούσαν τις περιοχές άμεσης επιρροής του Ροδανού. Στο Arles η αλατότητα ήταν διαρκώς μηδενική ενώ στο Vaccares έπαιρνε τιμές μεταξύ 0 και 15, επιβεβαιώνοντας την εισροή θαλασσινού νερού στο δέλτα. Στο Couronne, σε 0,1 μέτρο βάθος το εύρος αλατότητας ήταν 34,7-38,1 και στα 5 μέτρα ήταν μεταξύ 37,3 και 38. Στο λιμάνι Port-de-Bouc η αλατότητα κυμαινόταν μεταξύ 24,8 και 36,8. Το Sofcom έδειξε αλατότητες τυπικές για τα μεσογειακά νερά, δηλαδή 37,7-38,2 εκτός της ημερομηνίας 12/12/2011.

Το εύρος των τιμών για τον πτητικό οργανικό άνθρακα, POC, ήταν 6-125 μ M στο Arles και 12-278 μ M στο Vaccares. Στο Port-de-Bouc οι τιμές κυμαίνονταν μεταξύ 6 και 39 μ M, και στο Sofcom μεταξύ 1,4 και 12,5 μ M (0,1 m) και μεταξύ 1,2 και 9 (5 m). Στο Couronne τέλος το εύρος POC ήταν 2,1-83 μ M στο 0,1 m και 1,9-33 μ M στα 5 m. Μετρήθηκαν επίσης τα νιτρικά, τα οποία στο Arles ήταν μεταξύ 69-125 μ M και στο Vaccares μεταξύ 0,75 και 34 μ M. Το εύρος για το Port-de-Bouc ήταν 0,04-13 μ M, για το Couronne ήταν 0-13 μ M στο 0,1 m και 0-3,7 στα 5 m, και στο Sofcom ήταν μεταξύ 0-2,1 στο 0,1 m και μεταξύ 0-2,4 στα 5 m.

Άλλος παράγοντας ήταν η χλωροφύλλη-α. Στην περιοχή του Arles το εύρος τιμών της ήταν 0,41-16 μ g/L. Στο Vaccares το αντίστοιχο εύρος ήταν 0,51-26 μ g/L. Το Port-de-Bouc το εύρος της ήταν της τάξεως των 0,62-5,7 μ g/L, στο Couronne τα εύρη ήταν 0,2-3,2 μ g/L και 0,29-1,3 μ g/L στα 0,1 και 5 m αντίστοιχα, και στο Sofcom ήταν 0,16-2,2 μ g/L και 0,21-1,8 μ g/L στα 0,1 και 5 m αντίστοιχα.

Οι προσπάθειες συσχετισμού των παραπάνω μεγεθών έδειξαν μεγάλη διαφορά μεταξύ των χώρων δειγματοληψίας, τα οποία έμοιαζαν ασυσχέτιστα, εκτός από τα μέρη Couronne και Sofcom. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ αλατότητας και POC, νιτρικών και Chl-a ήταν αρνητικού προσήμου, ενώ η Chl-a συσχετιζόταν θετικά με τον POC και τα νιτρικά. Έτσι επιβεβαιώθηκε ότι ο Ροδανός αποτελεί σημαντική πηγή θρεπτικών και παροχής διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών. Μπορούν επίσης αυτοί οι παράγοντες να χρησιμοποιηθούν για το χαρακτηρισμό του δέλτα του Ροδανού. Η φιλοσοφία μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: οι μικρές αγωγιμότητες- αλατότητες, που βρίσκονται πιο βαθιά στον ποταμό, μπορούν να ταυτιστούν με μεγαλύτερες τιμές POC, νιτρικών και χλωροφύλλης-α, δείχνοντας ότι τα τελευταία προέρχονται από τον ποταμό. Είναι ακόμη δυνατός ο χαρακτηρισμός της ανόδου της πρωτογενούς παραγωγικότητας μέσω συσχετισμού της χλωροφύλλης-α.

Η γεωμορφολογία της λεκάνης του Ροδανού κάνει την επιρροή του πολλαπλάσια στο Port-de-Bouc και στο Vaccares. Στον αντίποδα το Couronne επηρεάζεται με την επίδραση συγκεκριμένων συνθηκών του ανέμου, ενώ το Sofcom δεν δέχεται σημαντική επιρροή. Το πότε η επιρροή του Ροδανού αυξάνει μπορεί να φανεί από τις αλατότητες στην κάθε περιοχή.

Οι συγκεντρώσεις των αλκανίων βρίσκονταν μεταξύ 0,04 και 0,58 μ g/L αν ληφθούν υπόψη όλοι οι χώροι. Η πλειοψηφία πάντως των τόπων δειγματοληψίας έδειχνε μικρότερες τιμές από 0,3 μ g/L. Οι συγκεντρώσεις του επίσης παρουσίαζαν μικρές διαφορές αναμέσον των διαφορετικών δειγμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των διαφορετικών βαθών που λαμβάνονταν τα δείγματα. Παρόλα αυτά η μελέτη δεν έδειξε συσχετισμό μεταξύ των αλκανίων και των φυσικοχημικών- βιογεωχημικών παραγόντων. Η γενική εικόνα των αλκανίων έδινε την εντύπωση σημαντικής μείωσης των συγκεντρώσεών τους το καλοκαίρι. Τις άλλες 3 εποχές, οι

οποίες εξέφρασαν παρόμοια μεγέθη, οι συγκεντρώσεις ήταν αρκετά μεγαλύτερες, δημιουργώντας υπόνοιες για λιγότερες εισροές ή/ και υψηλότερους ρυθμούς μηχανισμών απόσβεσής τους το καλοκαίρι.

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες έδειξαν διαφορά ως προς το συσχετισμό των μοριακών βαρών τους (ως προς άνθρακα) κατά τις χωρικές και χρονικές συνθήκες. Οι κατώτεροι, με λιγότερα από 20 άτομα άνθρακα δηλαδή, είχαν υψηλό μέγιστο στην εναλλαγή των μορίων 16 και 17 ατόμων άνθρακα (μεταξύ άνοιξης και φθινοπώρου), και το φθινόπωρο και χειμώνα υπήρξε διακύμανση στα μόρια με 19 άτομα άνθρακα. Τα μόρια με 18 άτομα άνθρακα ήταν γενικά απόντα.

Οι περισσότερων ατόμων αρωματικοί υδρογονάνθρακες τώρα, από 20 και άνω, περιφέρονταν κυρίως περί των 28 και 30 ατόμων άνθρακα. Την άνοιξη και το καλοκαίρι παρόλα αυτά εμφανίζονταν σε κυρίαρχο σχετικά ποσοστό υδρογονάνθρακες ανώτερου εύρους, με 20 έως και 36 άνθρακες. Αυτό συνέβαινε κυρίως στο Sofcom και στο Couronne, τα οποία αφορούσαν τοποθεσίες σχετικά απομακρυσμένες από την ακτή. Την περίοδο καλοκαιριού προς φθινόπωρο αυτή η παρουσία του εύρους μειωνόταν έως εξαφάνισης. Παρέμενε ορατή σε υπολογίσιμα επίπεδα μόνο στο Sofcom και στο Couronne. Από ότι φάνηκε η παρουσία των υδρογονανθράκων εξαρτάτο από την εποχή και αυτό το μοτίβο επηρέαζε και θαλάσσια (μακριά από επιρροή ποταμών) και ποτάμια ύδατα.

Τα αποτελέσματα για τις συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων συνυφάζονταν με παλαιότερη μελέτη στην παράκτια περιοχή της Μασσαλίας, αλλά και με μελέτες στην Τυρρηνική Θάλασσα και σε επιφανειακά νερά της Ανταρκτικής. Δημιούργησε εντύπωση το γεγονός ότι ανήκαν σε ίδιο εύρος με τις περιοχές της Ανταρκτικής όπου δεν υπήρχε σημαντική παρουσία ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Φυσικά, υπάρχουν και συσχετισμοί μεταξύ των ελαφρά οξυμένων συγκεντρώσεων αρωματικών υδρογονανθράκων και της παρουσίας φυτοπλαγκτόν και δραστηριοτήτων πλοιοκίνησης, όπως δείχνουν οι υποθέσεις για ένα μικρό λιμανάκι της Ανταρκτικής, το Gerlache, το οποίο από ότι φαίνεται επηρεαζόταν και από έναν ερευνητικό σταθμό. Στον Αρκτικό κύκλο έχει επίσης διεκπεραιωθεί έρευνα που υπογράμμιζε το ρόλο των ατμοσφαιρικών μεταφορών και εναποθέσεων, μαζί με τη διαστρωμάτωση του νερού και βύθισης λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, κάτι που θα μπορούσε να αποτελεί επιπλέον εξήγηση.

Οι συγκεντρώσεις αρωματικών ήταν μια τάξη μεγέθους ανώτερες από τις προσδιορισθείσες σε έρευνα στη Βορειοδυτική Μαύρη Θάλασσα το 1999, και ταυτόχρονα μια τάξη μεγέθους κατώτερες από αυτές σε έρευνα στη Βορειοδυτική Μεσόγειο το 1976. Αυτό θα μπορούσε να συσχετιστεί με την εφαρμογή της σύμβασης MARPOL 73/78 το 1973 σχετικά με την αποτροπή ρύπανσης υδρογονανθράκων από πετρελαιοφόρα. Η πρόληψη είχε πραγματικά επιφέρει σημαντική μείωση των πετρελαιοκηλίδων τα τελευταία 40 χρόνια. Υπάρχουν επίσης και απορροές στο Νότιο Κόλπο της Μασσαλίας, συγκεκριμένα στο Cortiou Creek, από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Μασσαλίας. Εκεί λαμβάνει χώρα επεξεργασία λυμάτων και βρόχινων απορροών από τη Μασσαλία και 15 πέριξ κοινότητες.

Το θέμα των βιογενών συνεισφορών, πλαγκτονικών, γαιώδους ή βακτηριακής φύσης, έδειξε διακυμάνσεις ανάλογα με την περιοχή και την εποχή. Αυτό φάνηκε από την αύξηση κάποιων χαρακτηριστικών πλαγκτονικών υδρογονανθράκων από την άνοιξη προς το φθινόπωρο, και την αύξηση άλλων το χειμώνα σε όλους τους χώρους δειγματοληψίας. Οι ενδείξεις έδωσαν επίσης μια μάλλον βιογενή, για ορισμένους υδρογονάνθρακες, παρά ανθρωπογενή εικόνα προέλευσης. Αυτές οι ενώσεις ήταν γνωστό ότι προέρχονται από τη δράση βακτηρίων, μυκήτων και φυκών σε κομμάτια άλγης. Πιο έκδηλη ήταν αυτή η συνεισφορά μικροβίων στο Sofcom και στο Couronne. Από την άλλη πλευρά, η πιο γαιωδώς επηρεασμένη περιοχή φάνηκε να είναι το

Vaccares, όπου σημείωσαν μέγιστο το φθινόπωρο οι γαιώδεις υδρογονάνθρακες. Ο προσδιορισμός τους αφορούσε κυρίως τα σωματίδια και τα ιζήματα, εφόσον οι συγκεντρώσεις τους στην υδατική φάση αποδείχθηκαν ισχνές.

Στο κομμάτι της ανθρωπογενούς προέλευσης, οι πετρελαϊκοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες ήταν παρόντες σε όλους τους χώρους το φθινόπωρο και το χειμώνα, ιδίως στο Ροδανό και τα περιβάλλοντα νερά της επιρροής του (Arles, Vaccares και Port-de-Bouc). Οι ενδείξεις συνεισφοράς του Ροδανού στη μεταφορά ανθρωπογενών PAHs ενισχύθηκε από την παρουσία ενός πετρελαϊκού παραπροϊόντος μόνο στο Ροδανό. Κυρίαρχη θέση ανάμεσα στις πηγές PAHs ήταν από ότι φάνηκε οι εισροές προϊόντων άκαυστων ορυκτών καυσίμων, όπως συνέβαινε και σε άλλες περιπτώσεις ερευνών στην περιοχή της Μεσογείου. Κάτι που διαπιστώθηκε επίσης ήταν μια αύξηση των πυρογενών και των πετρογενών εισροών το χειμώνα. Είναι ήδη γνωστή η συμβολή της οικιακής θέρμανσης και της βιομηχανίας για την αύξηση των άκαυστων και μερικώς οξειδωμένων υδρογονανθράκων το χειμώνα. Και στη λιμνοθάλασσα της Βενετίας υπήρχε ισχυρή παρουσία τέτοιων ενώσεων, συσχετισμένη με υψηλά αστικοποιημένη και βιομηχανοποιημένη περιοχή. Φάνηκε επίσης πως η παρουσία των πετρελαϊκών προϊόντων, ιδίως το χειμώνα ήταν σχετικά πρόσφατη στο Port-de-Bouc. Θεωρήθηκαν για αυτό ως πιθανές πηγές οι διελεύσεις των πλοίων, τα λύματα και η δράση της βιομηχανίας. Στο νερό γενικά προσδιορίστηκαν ποικίλες πηγές υδρογονανθράκων.

Οι βιογεωχημικοί και υδρολογικοί παράμετροι έδειξαν ισχυρή επίδραση του Ροδανού στα μέρη Port-de-Bouc και Vaccares. Στον αντίποδα, το Sofcom επηρεαζόταν σε εβδομαδιαία και το Couronne σε περιστασιακή κλίμακα. Την επίδραση του Ροδανού στο Port-de-Bouc, Vaccares και Arles έδειξαν και τα μοριακά μοτίβα των αρωματικών υδρογονανθράκων, ενώ το Sofcom και το Couronne είχαν περισσότερες πηγές επιρροής. Παρόλα αυτά η σχετική ομοιότητα των μοτίβων σύνθεσης των αρωματικών, όσον αφορά θαλάσσιες και ηπειρωτικές περιοχές, καθιστούσε αναμενόμενη μια πιο ευρεία και γενικότερη πηγή ρύπανσης από τον ποταμό.

Έχει γίνει αποδεκτή η κραταιά θέση της εισροής PAHs στα επιφανειακά θαλάσσια νερά μέσω ατμοσφαιρικής ανταλλαγής, και μια τέτοια διαδρομή ήταν πιθανή για τα παράκτια επιφανειακά νερά στην περιοχή της Μασσαλίας. Αυτή η διαδρομή, που θεωρήθηκε η κυριότερη για τις εισροές και εκροές στη θάλασσα, υφίσταται σημαντικές διακυμάνσεις εποχιακά. Έτσι, οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα ευνοούν την αύξηση της συγκέντρωσης υδρογονανθράκων στο επιφανειακό νερό, πιθανότατα εν μέρει λόγω της καθόδου των ρυπασμένων αερίων μαζών, αλλά κυρίως λόγω της υψηλότερης διαλυτότητας των αερίων σε ψυχρότερα υγρά. Πραγματοποιείται επίσης και είσοδος στην υγρή φάση λόγω της ανακίνησης και διαδρομής των ιζημάτων. Με την επαναιώρηση και επανακατακάθιση ως μέρη της κίνησης δημιουργούνται οι γνωστές εκχυλιστικές συνθήκες τριβής μεταξύ της υγρής και στερεάς (ιζήματα) φάσης για τους υδρογονάνθρακες. Το Port-de-Bouc, το Vaccares και το Arles που είναι ρηχού χαρακτήρα περιοχές είναι πιο επιρρεπή στην εμφάνιση συνθηκών **εκχύλισης** μέσω αυτής της διαδικασίας. Η δράση της εκχύλισης όμως για τους PAHs είναι πιο δύσκολο να περιγραφεί σε αυτή την περιοχή, όπου εμφανίστηκαν ως επικρατέστεροι οι αρωματικοί με 3 και πάνω βενζοϊκούς δακτυλίους, οι οποίοι έχουν ελάχιστη προτίμηση στο νερό.

Συμπεράσματα της έρευνας

Η διεξαγωγή της μελέτης οδήγησε στη θεώρηση των παράκτιων περιοχών της Μασσαλίας ως μέσης ρυπαντικής κατάστασης από υδρογονάνθρακες ζώνες, αν συγκριθεί με τα ανώτερα επίπεδα αυτών των ρυπαντών σε άλλες περιοχές. Μόνο το Port-de-Bouc εμφάνισε πολύ υψηλά επίπεδα υδρογονανθράκων συγκρίσιμα με τη συγκέντρωσή τους ύστερα από παρέλευση

αρκετών εβδομάδων μετά από περίπτωση πετρελαιοκηλίδας. Αυτό το λιμάνι είναι αρκετά επιβαρυνόμενο από τα λύματα, τη βιομηχανία και την κίνηση των πλοίων, πράγμα που δικαιολογεί τη συνάντηση αυτής της κορυφής ρύπανσης. Υπήρχαν διάφορες πηγές ρυπαντών, φυσικές και ανθρωπογενείς, με διαφορετικές πορείες και δυναμικά απομάκρυνσης. Οι κυριότερες αλλόχθονες εισροές διαπιστώθηκε πως ήταν ο Ροδανός και η ατμόσφαιρα, χωρίς να αποκλειστεί η ανίχνευση βιολογικών αυτόχθονων πηγών.

Αυτές οι εισροές και οι διαδικασίες απόσβεσης των ρυπαντών είχαν με τη σειρά τους εποχιακές μεταβολές, με μεγαλύτερες εισροές άκαυστων ή μερικώς οξειδωμένων υδρογονανθράκων το χειμώνα και μικρότερες το καλοκαίρι. Το καλοκαίρι είχε επίσης υψηλότερο δυναμικό απομάκρυνσης μέσω αεριοποίησης και βιοαποδόμησης. Οι βιογεωχημικοί παράγοντες και οι συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων δεν σημείωσαν αξιόλογη διαφορά με το βάθος. Στην συνολική γνώση της πορείας των υδρογονανθράκων θεωρείται απαραίτητη και η διερεύνηση της αλληλεπίδρασής τους με την οργανική ύλη. Μια τέτοια γνώση μπορεί να συμβάλλει στον πιο ακριβή χαρακτηρισμό της ρυπαντικής τους κατάστασης, εφόσον η πιθανή ανάμειξή τους σε σύμπλοκες διαδικασίες μπορεί να μεταβάλλει την βιοδιαθεσιμότητα και την τοξικότητά τους, αλλά και την διάδοσή τους στο υδάτινο περιβάλλον (Guigue et al. 2014).

Άλλες περιπτώσεις οργανικής ρύπανσης

Όπως φαίνεται, ιδίως οι περιοχές που αφορούν κέντρα πολυάριθμων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως τα λιμάνια, αλλά και γενικότερα οι πολυάνθρωπες περιοχές, έχουν πολλές φορές αναπόφευκτη επίδραση στο θαλάσσιο περιβάλλον μέσω των οργανικών ρυπαντών. Στην προκειμένη περίπτωση, οι περιφερειακές ζώνες της Μεσογείου αποτελούν εστία συγκέντρωσης πηγών ρύπανσης λόγω βιομηχανικών και άλλων δράσεων. Παράδειγμα αποτελεί η παράκτια ζώνη της Αιγύπτου, η οποία έχει δεχθεί επιβάρυνση από τα πολύ γνωστά μας οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα, αλλά και από πολυχλωριωμένα διφαινύλια.

Τα οργανοχλωριωμένα διαπιστώθηκε ότι ήταν ευρέως διαδεδομένα στο περιβάλλον κατά μήκος των ακτών της Αιγύπτου. Παρατίθενται τα αποτελέσματα σχετικής έρευνας που διεξήχθη με αφορμή την επιβάρυνση από αυτά των εν λόγω παράκτιων ζωνών. Οι συγκεντρώσεις των PCBs και DDTs εκτείνονταν σε ένα εύρος 0.29-377 ng/g dw και 0.07-81.5 g/gdw αντίστοιχα ενώ ήταν παραπλήσιες με άλλων παράκτιων περιοχών της Μεσογείου. Τα OCP και PCBs είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις στους κόλπους Αμπού Κιρ και Ελ Μαχ, καθώς και στο ανατολικό λιμάνι της Αλεξάνδρειας. Η ρύπανση από PCBs και OCP ήταν υψηλότερη στα κέντρα δραστηριοτήτων όπως βιομηχανικών, κίνησης ποίων και αστικές περιοχές. Τα συγγενικά προφίλ των PCBs έδειξαν ότι προήλθαν από παραπάνω από ένα εμπορικά διαθέσιμο μίγμα σκεύασμα.

Γενικά τα οργανοχλωριωμένα εντομοκτόνα και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια παρουσιάζουν μεγάλη οικολογική απειλή λόγω των δυνατοτήτων ευρείας διασποράς και βιοσυσσώρευσης, του μακρού χρόνου ζωής τους και της τοξικότητάς τους. Έχουν τη δυνατότητα να προσροφώνται από τα αιωρούμενα σωματίδια και μπορούν να συσσωρεύονται στα ιζήματα λόγω κατακάθισης. Αυτά τα ιζήματα μπορούν να αποτελέσουν απειλή για τους έμβιους οργανισμούς μέσω της βιοσυγκέντρωσης ή/και της βιομεγέθυνσης (Barkat et al, 2013).

Οι δυσδιάσπαστοι οργανικοί ρύποι (POP's) αποτελούν κινδύνους για το γενικότερο παράκτιο περιβάλλον της μεσογείου, μέσω της αθροιστικότητάς τους στα ιζήματα. Τέτοιου είδους ρυπάνσεις κυρίως προέρχονται από χερσαίες δραστηριότητες και μειώνονται σημαντικά όσο μεγαλώνει η απόσταση από την ακτή. Τα σημεία αιχμής της ρύπανσης κυρίως εντοπίζονται στις βόρειες ζώνες της Μεσογείου. Οι κύριοι υπεύθυνοι είναι η αστικοποίηση, ο τουρισμός, η βιομηχανία, η εντατική αγροκαλλιέργεια, τα λιμάνια και η κίνηση των πλοίων. Στη συνέχεια οι

ρύποι αυτοί κατακάθονται στα ιζήματα και από κει εισέρχονται στους βενθικούς οργανισμούς και στην χλωρίδα/ πανίδα.

Από ότι φαίνεται οι οργανικοί ρύποι έχουν γενικότερα την ιδιότητα προσρόφησης στα αιωρούμενα σωματίδια και στη συνέχεια κατακάθισης και συσώρευσης στον πυθμένα. Αυτό αιτιολογείται αν λάβουμε υπόψη την υδροφοβικότητά τους (που τα ωθεί στα αιωρούμενα σωματίδια). Η παράκτια περιοχή και το λιμάνι του Sfax στην Τυνησία δέχεται συνεχή οργανικής φύσεως επιβάρυνση από υδρογονάνθρακες και αυτή ανιχνεύθηκε στα επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα από 18 σταθμούς δειγματοληψίας. Η ρύπανση επιβεβαιώθηκε πως είναι πετρελαϊκή από το αραβικό ακατέργαστο φωτιστικό πετρέλαιο. Οι υδρογονάνθρακες κατατάσσονται στους πιο συχνά ευρισκόμενους υπεύθυνους όσον αφορά την οργανική ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Στη μελέτη που διεκπεραιώθηκε ο ολικός οργανικός άνθρακας κυμαινόταν σε ένα εύρος 0.5-6.4%. Υψηλές ήταν και οι συγκεντρώσεις της εξαγόμενης οργανικής ύλης (3147-7930 ppm)

Όπως κάθε μεγάλο λιμάνι, έτσι και το λιμάνι του Sfax δέχεται επιβαρύνσεις εξαιτίας της αλιείας, διακίνησης πλοίων, απορροών ποταμών και βιομηχανικά λύματα (όπως από δεξαμενές ακατέργαστου πετρελαίου). Τους καλοκαιρινούς μήνες γίνονται ορατότερα φαινόμενα όπως οι κόκκινες παλίρροιες, που είναι συνέπεια του ευτροφισμού. Μάλιστα οι συγκεντρώσεις ολικών υδρογονανθράκων είναι ανώτερες συγκριτικά με άλλες παράκτιες μεσογειακές ζώνες, σύμφωνα με έρευνα. Αυτό επιβεβαιώθηκε και από τις συγκεντρώσεις τους (1127-3563 ppm) Διαπιστώθηκαν ευνοϊκές συνθήκες για την μείωση της οργανικής ύλης καθώς και συνεισφορά των αλγών στην παρουσία αλκενίων. Τα συμπεράσματα της όλης έρευνας μεταξύ άλλων κατέταξαν την διακίνηση των πλοίων ως τον επικρατέστερο ρυπαντή όσον αφορά τους ρύπους της κατηγορίας των υδρογονανθράκων (Afifa Louati et al, 2001).

Τα τουριστικά λιμάνια, λόγω συνεχούς κινητικότητας, θεωρούνται ίσως ιδανικά για διεξαγωγή μελετών και προσομοίωση της ρύπανσης σε ένα λιμάνι. Σε αυτό το πλαίσιο πραγματοποιήθηκε μελέτη σε ένα λιγυριανό τουριστικό λιμάνι (λιμάνι του Rapallo) με σκοπό την περιγραφή και μελέτη της κινητικότητας της οργανικής ύλης μέσω εξωκυττάρων δραστηριοτήτων.

Τα συλλεχθέντα δείγματα αφορούσαν αμόφερα, ιζήματα και νερό. Τα δείγματα νερού χαρακτηρίζονταν από χαμηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης *a* και ανόργανων θρεπτικών, και οι συγκεντρώσεις οργανικής ύλης προσδιόζαν σε oligo-μεσοτροφικές παράκτιες περιοχές. Αντίθετα τα ιζήματα παρουσίαζαν υψηλές φορτίσεις σε οργανική ύλη, με κατά κόρον κυριαρχία της πρωτεόλυσης. Η αξιοσημείωτη μείωση του οργανικού δυναμικού εκτός του λιμανιού, έδειξε ότι η συσώρευσή της που παρατηρούνταν εντός του οφειλόταν σε δομές και δραστηριότητες του λιμανιού, και στην ταυτόχρονη επιρροή του ποταμού Boate. Παρόλα αυτά, η ανταλλαξιμότητα της οργανικής ύλης έγερνε προς την πλευρά της γλυκόλυσής της, πράγμα που απέτρεπε την εμφάνιση ευτροφικών καταστάσεων.

Από ότι φάνηκε από την έρευνα η προσθήκη θρεπτικών δεν χαρακτηριζόταν από τη δυνατότητα επιφανειακής διάδοσης, μειωνόταν δηλαδή δραματικά με την αύξηση της απόστασης από το λιμάνι. Παράλληλως οι συγκεντρώσεις πρωτεϊνών και υδρογονανθράκων στα ιζήματα ήταν οι υψηλότερες που έχουν σημειωθεί εντός της Λιγυριανής θάλασσας. Παρόλα αυτά, το γενικότερο συμπέρασμα ήταν ότι το νερό και τα ιζήματα του λιμανιού Rapallo ακολουθούσαν διαφορετικές τροφικές πορείες, με τα ιζήματα να τείνουν προς ευτροφία και ίσως ευτροφισμό. Από την άλλη, το νερό χαρακτηριζόταν από μεσο-ολιγοτροφία. Αυτή η διαφορετική συμπεριφορά αποδόθηκε στο μικρό μέγεθος του λιμανιού και στην ευνοϊκού βαθμού εσωτερική κυκλοφορία του νερού, πράγμα το οποίο δείχθηκε και από τις υψηλές τιμές

διαλυμένου O₂. Αλλά και η ακανόνιστη απορροή του ποταμού Boate δεν επέτρεπε μόνιμη βαθμωτή συσχέτιση για τις μεταβλητές χαρακτηρισμού (Misic and Harriague, 2009).

Οι επιπτώσεις των λιμενικών και των κοντινών σε λιμάνια δραστηριοτήτων δεν περιορίζονται μόνο εντός τους, αλλά και σε ολόκληρες παράκτιες ζώνες, ενώ από την άλλη αυτή η ρύπανση δεν οφείλεται μόνο σε λιμάνια. Η ευρύτερη παράκτια περιοχή της νότιας Αττικής είναι επίσης πλούσια σε λιμάνια και ανθρώπινες δραστηριότητες και χαρακτηρίζεται από την συνηθισμένη επιβάρυνση που προκαλούν, ενώ όπως είναι αναμενόμενο η επιβάρυνση αυτή σημειώνει μέγιστο στο εύρος της αθηναϊκής ακτής. Η οργανική ρύπανση που λαμβάνει χώρα στην παράκτια ζώνη Δραπετσώνας- Κερατσινίου, λόγω αστικών δραστηριοτήτων και πλοίων, αλλά και της προηγούμενης χρήσης ενός αγωγού απορροής λυμάτων, καθιστούν την περιοχή μια εκ των πιο επιβαρυσμένων σε θέματα ρύπανσης ιζημάτων στην Μεσόγειο. Στην περιοχή, από μελέτη, διαπιστώθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις αρωματικών HC's (έως 4457μg/g), καρκινογόνων πολυκυκλικών αρωματικών (ως και 7284μg/g) και οργανοχλωριωμένων (ως και 544 ng/g όσον αφορά τα PCBs και 208 ng/g ως προς τα DDTs). Έχει αποδειχθεί έτσι η ύπαρξη μιας σημαντικότερης απειλής για τη θαλάσσια ζωή στον Σαρωνικό.

Ως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, η παράκτια ζώνη Δραπετσώνας-Κερατσινίου, που εκτείνεται από την έξοδο του λιμανιού του Πειραιά μέχρι το λιμάνι του Κερατσινίου, αποτελούσε αποδέκτη ανεπεξέργαστων οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων από το αττικό λεκανοπέδιο μέσω του ΑΛΑ (Απορροή Λυμάτων Αθήνας). Επίσης, ως το 1979 η λειτουργία μεγάλης εγκατάστασης λιπασμάτων στη Δραπετσώνα, πλησίον του λιμανιού του Πειραιά, είχε ως αποτέλεσμα την απορροή χωρίς προηγούμενη επεξεργασία στερεών και υγρών αποβλήτων στη θάλασσα. Παρά τη βαθμιαία βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης, λόγω της λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας και της κατάργησης των 2 παραπάνω πηγών ρύπανσης, οι απειλές δεν έχουν εκλείψει για την περιοχή. Και αυτό διότι υπάρχουν ακόμη αρκετές μικρές και μεσαίας κλίμακας βιομηχανίες και εγκαταστάσεις, αλλά και ναυτιλιακές δραστηριότητες, οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα του συγκεκριμένου θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Έχουν διαπιστωθεί από πρότερες μελέτες σημαντικές επιπτώσεις στους βενθικούς οργανισμούς, όπως και σε μύδια και ψάρια. Είναι αποδεκτός ο χωρισμός της θαλάσσιας περιοχής σε 2 ζώνες. Η μία, που εκτείνεται σε απόσταση λιγότερη από 1km από την ΑΛΑ και την εγκατάσταση λιπασμάτων, χαρακτηρίζεται από κατάσταση βενθικού οικοσυστήματος φτώχης ως υποβαθμισμένη. Η άλλη εκτείνεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 3 km από τις πηγές αυτές ρύπανσης και χαρακτηρίζεται από μέση περιβαλλοντική όχληση.

Από την έρευνα της οποίας τα αποτελέσματα έχουν αναφερθεί, αποκαλύφθηκε μακροχρόνια ρύπανση πετρελαιοειδών προϊόντων και ελαιωδών υπολειμμάτων, λόγω των παρατηρήσεων πάνω στις μετρήσεις ΑΗ. Από τους διαγνωστικούς λόγους μεταξύ των ενώσεων PAHs' με ίδιο μοριακό βάρος προκύπτει ότι η κύρια πηγή τους είναι η πυρόλυση των υγρών καυσίμων.

Παρόλο που το προσδιορισμένο φορτίο Σ13 PAH μπορεί να θεωρηθεί μεγάλο, σύμφωνα με την NOAA SOGs δεν είναι ικανό να απειλήσει τη θαλάσσια ζωή. Μολαταύτα, με εναλλακτικές θεωρήσεις το φορτίο των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων υποδηλώνει σημαντικό κίνδυνο όχι μόνο για το συγκεκριμένο οικοσύστημα αλλά και για το Σαρωνικό γενικότερα. Αυτό οφείλεται κυρίως στα υψηλά φορτία BaP των ιζημάτων. Η χωρική διασπορά των παραμέτρων mERMQ και mPELQ τοποθετούν το μεγαλύτερο μέρος των ακτών της Δραπετσώνας σε κατάσταση υψηλού οικολογικού κινδύνου, με σημαντικές επιπτώσεις στην ευρύτερη οικολογική κατάσταση του Σαρωνικού (Kapsimalis et al. 2014).

Κεφάλαιο 2

Μελέτη του επιπέδου ρύπανσης υπόγειων και παράκτιων υδάτων στην περιοχή Αγ Κυριακή Χαλέπα Χανίων

Εισαγωγή

Το λιμάνι της Αγίας Κυριακής εντάσσεται στην παραθαλάσσια ζώνη των Δήμου Χανίων βορειοανατολικά του κέντρου της πόλης. Βρίσκεται παραπλεύρως της τοποθεσίας Ταμπακαριά, όπου παλαιότερα λειτουργούσαν πολλές μονάδες βυρσοδεψίας και όπου ακόμα διατηρείται το άλλοτε ενεργό κτιριακό συγκρότημα. Στη γειτονική περιοχή Κουμπελί εδρεύει και λειτουργεί η Εγκατάσταση Βιολογικής Επεξεργασίας Λυμάτων Χανίων.

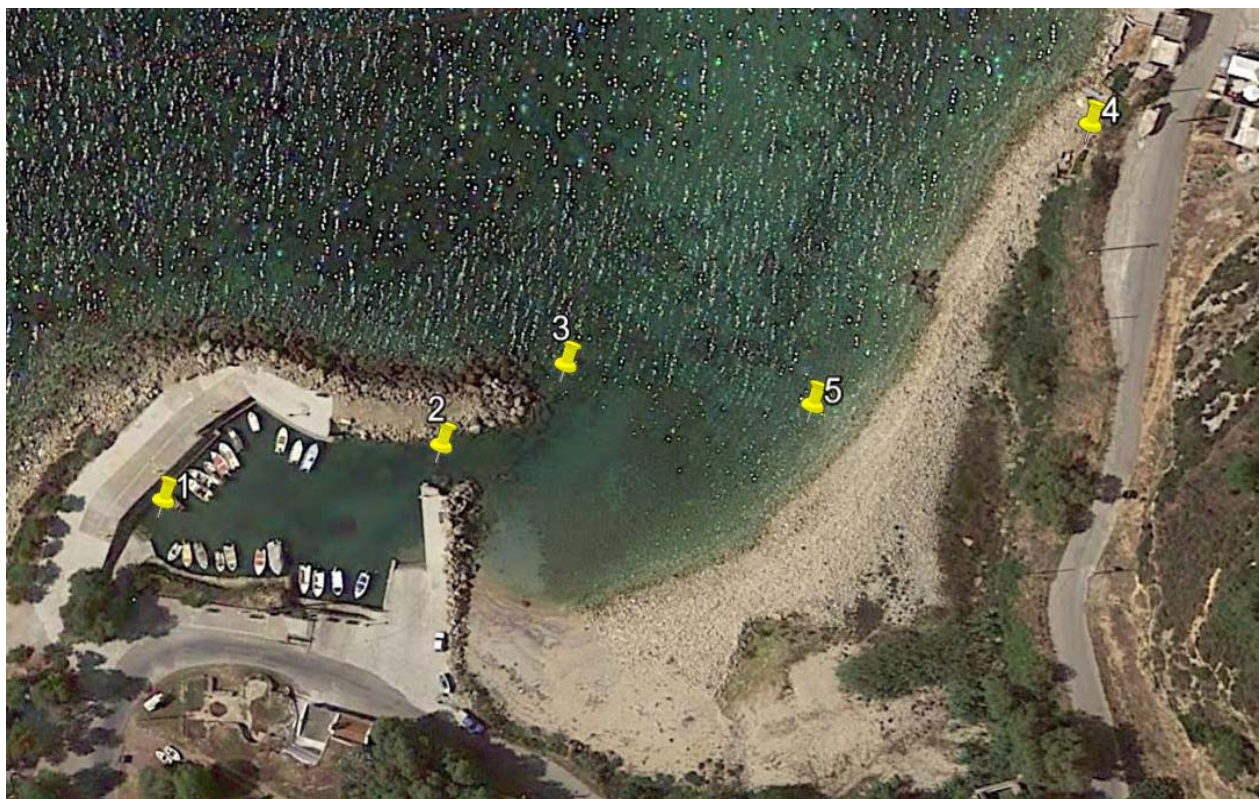
Ο λιμένας είναι αρκετά μικρής έκτασης, σχεδιασμένος για τοπική χρήση και προσάραξη μικρών σκαφών, κυρίως αλιευτικών. Δίπλα του βρίσκεται μια σχετικά μικρή βοτσαλωτή παραλία ενώ από την άλλη πλευρά του συναντάται μια πάλι περιορισμένης έκτασης παραλία που χωρίζεται από το λιμανάκι με υπερυψωμένο διάζωμα κυματοθραύστη. Κατά μήκος της ζώνης της βοτσαλωτής παραλίας συναντάται η γνωστή στην περιοχή της Χαλέπας πηγή της Αγίας Κυριακής. Η πηγή αυτή βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την ακτή, και αποτελείται από ένα κλειστό πλευρικά τειχισμένο χώρο. Στο εμπρόσθιο μέρος του χώρου αυτού, το οποίο είναι προσιτό με κατασκευασμένα σκαλοπάτια, βρίσκεται η έξοδος απορροής της πηγής και το νερό συσσωρεύεται σε ένα λεκανοειδή, γεμισμένο με χώμα χώρο κάτω από την ανάβλυση. Στο τέλος αυτού του χώρου, σε απόσταση χονδρικά ενός μέτρου από την ανάβλυση, υπάρχουν 2 δίοδοι εξόδου μέσω των οποίων το νερό στραγγίζεται στο έδαφος και καταλήγει μέσω **υποδερμικής απορροής** στη θάλασσα. Η περιοχή ήταν γνωστή για την παλαιότερη εκτεταμένη χρήση της για υδροληψία, σήμερα όμως δεν χρησιμοποιείται λόγω μη αποδεκτής ποιότητας του νερού.

Η περιοχή που περιγράψαμε περιτεγχίζεται από μια λοφοειδή ζώνη βλάστησης. Βρίσκεται δηλαδή στους πρόποδες των λόφων της Χαλέπας που βρέχονται από τη θάλασσα. Χαρακτηριστικό αυτών των λόφων είναι ο χωρισμός του σε αγροτικά κτήματα με κυριαρχία της καλλιέργειας της ελιάς. Σε ορισμένα κτήματα μάλιστα, όπως π.χ. ανάντη της πηγής, ορισμένοι κάτοικοι διατηρούν και βοοειδή ζώα.

Υλικά και Μέθοδοι

Για τη διεξαγωγή των δειγματοληψιών το λιμάνι χωρίστηκε σε περιοχές δειγματοληψίας κατά μήκος της περιμέτρου του. Οι περισσότερες από αυτές τις περιοχές χρησιμοποιήθηκαν μόνο στις προκαταρκτικές δειγματοληψίες. Τα σημεία δειγματοληψιών φαίνονται στον χάρτη της Εικόνας 1. Στην δυτική πλευρά του λιμανιού βρίσκεται το σημείο 1. Χρησιμοποιήθηκε η ονομασία «είσοδος» καθώς στο σημείο αυτό του λιμανιού υπήρχε διάυλος επικοινωνίας με τη θάλασσα, για την ανανέωση του νερού που όμως φαίνεται ανενεργός καθώς δεν παρατηρήθηκε ρεύμα.

Το δεύτερο σημείο «πορθμός» (2, Εικ 1.) του λιμανιού που χρησιμοποιήθηκε στις δειγματοληψίες ήταν η πορθμοειδής ζώνη επικοινωνίας του λιμένος με το θαλασσινό νερό, από όπου διακινούνται τα λίγα σκάφη που δραστηριοποιούνται στο χώρο. Πρόκειται για ένα μικρό ρεύμα πλάτους 4 περίπου μέτρων οι άκρες του οποίου είναι βραχώδεις.



Εκόνα 1, Χάρτης περιοχής Αγ Κυριακής με τα σημεία δειγματοληψιών στην θαλάσσια περιοχή και την παράκτια πηγή.

Το τρίτο σημείο δειγματοληψίας «εξωτερικό ακρωτήριο» (3, Εικ 1) βρίσκεται στην εξωτερική ανατολική πλευρά του λιμανιού και επιλέχθηκε ώστε να διαχωριστεί η παράκτια επιβάρυνση από τυχόν θαλάσσια εισροή ρυπαντικού φορτίου. Σε αυτό το πλαίσιο άλλωστε επικουρούσε και η παρουσία του δείγματος του πορθμού, στο χαρακτηρισμό δηλαδή της σχέσης θαλασσινού και λιμενικού νερού.

Το τέταρτο δείγμα (4 Εικ 1) ήταν από την εκροή της πηγής Αγ Κυριακής. Η λήψη του δείγματος είχε σκοπό την καταγραφή του παράκτιου ρυπαντικού φορτίου που διαχέεται στην θαλάσσια περιοχή (σημείο 5, Εικ 1) της παραλίας της Αγ Κυριακής. Η συνεχής όμως παρουσία βόρειων ρευμάτων και ο συχνός κυματισμός κατά την περίοδο δειγματοληψιών δεν επέτρεψε την παρακολούθησή της.

Η περίοδος δειγματοληψιών εκτεινόταν από το Μάρτιο ως τον Οκτώβριο του 2015. Προκαταρκτικές δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στις 12 Μαρτίου και στις 23 Μαρτίου και αφορούσαν περισσότερους σταθμούς δειγματοληψίας, αλλά λιγότερες παραμέτρους προς μέτρηση.

Στην προκαταρκτική δειγματοληψία που έγινε στις 12/3/2015 λήφθηκαν δείγματα από την είσοδο και τον πορθμό, όπως και στην κύρια περίοδο, αλλά και 1 δείγμα από την βοτσαλωτή παραλία. Συμμετείχαν επίσης και άλλα 4 δείγματα από το εσωτερικό του λιμανιού, περιμετρικά. Τα 2 από αυτά τα δείγματα ελήφθησαν από την πλευρά της ξηράς η οποία διαχωρίζει το λιμάνι από τα θάλασσα, και τα άλλα 2 από την πλευρά της ξηράς που ανήκει στη χερσαία περιοχή. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν αφορούσαν μόνο μικροβιολογικούς παράγοντες, τα ολικά και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια.

Στην επόμενη προκαταρτική δειγματοληψία που έγινε στις 23/3/2015 συμμετείχαν πάλι η είσοδος και ο πορθμός, αλλά αυτή την φορά και το εξωτερικό ακρωτήριο, συμπληρώνοντας την τριάδα δειγμάτων που στη συνέχεια θα οριστικοποιούνταν στην κύρια περίοδο δειγματοληψιών. Αυτή τη φορά δεν ήταν το λιμάνι, αλλά η βοτσαλωτή παραλία που χωρίστηκε σε 5 σταθμούς δειγματοληψίας. Οι 3 από αυτούς (‘‘ακτή 1’’, ‘‘ακτή 2’’ και ‘‘ακτή 3’’) βρίσκονταν μεταξύ του λιμανιού, πίσω από το εσωτερικό ακρωτήριο, και της ακτής απέναντι από την πηγή (όπου θεωρητικά θα κατέληγαν τα νερά που στραγγίζονταν στο έδαφος μέσω των οπών στη λεκάνη της πηγής). Ο 4^{ος} σταθμός αφορούσε αυτή την ακτή απέναντι από την πηγή (‘‘ακτή πηγής’’). Ο 5^{ος} και τελευταίος βρισκόταν στην πλευρά της παραλίας πέρα από την πηγή (‘‘ακτή 4’’). Οι παράμετροι που μετρήθηκαν εκείνη την ημερομηνία ήταν περισσότερες από την προηγούμενη δειγματοληψία, και περιελάμβαναν όχι μόνο μικροβιολογικό φορτίο(εντερόκοκκους, ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια), αλλά και pH, BOD₁ ,BOD₂ ,BOD₃, BOD₄ και BOD₅. Συμμετείχαν επίσης και ορισμένα ιόντα, συγκεκριμένα νιτρικά, φωσφορικά και ιόντα αμμωνίου.

Η κύρια δειγματοληψία, στην οποία περιορίστηκε ο αριθμός των σταθμών στην είσοδο, τον πορθμό και το εξωτερικό ακρωτήριο, ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2015 και περατώθηκε τον Οκτώβριο του 2015. Οι ημερομηνίες δειγματοληψιών ήταν οι ακόλουθες: 2/4/2015, 20/4/2015, 27/4/2015, 19/5/2015, 9/6/2015, 24/6/2015, 22/7/2015 και 13/10/2015. Σε αυτήν την περίοδο, ο σταθμός δειγματοληψίας της πηγής άρχισε να συμμετέχει στις δειγματοληψίες από τις 27/4 και μετά. Η μόνη κατά τα άλλα απουσία ήταν αυτή του εξωτερικού ακρωτηρίου στις 24/6 και μετά, εξαιτίας έντονου κυματισμού τη συγκεκριμένη ημερομηνία. Στα άλλα 2 σημεία του λιμανιού, τα οποία δεν βρίσκονταν εκτεθειμένα στον κυματισμό, η δειγματοληψία έγινε κανονικά. Γενικός κανόνας είναι να μην γίνονται δειγματοληψίες σε περιπτώσεις έντονου κυματισμού, με μέγιστο αποδεκτό όριο την κατάσταση παφλασμού. Φυσικά, δεν γίνονταν δειγματοληψίες σε ημερομηνίες πλησίον βροχοπτώσεων.

Τα δείγματα νερού λαμβάνονταν με τη χρήση κατάλληλου δειγματολήπτη. Το δοχείο ξεπλενόταν 10 φορές με νερό από το σταθμό δειγματοληψίας πριν γεμισθεί το δοχείο 1 L του δείγματος.

Παράμετροι προς μέτρηση και μεθοδολογία μετρήσεων

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν στην κύρια περίοδο δειγματοληψιών ήταν γενικά οι ίδιες για κάθε δείγμα και ημερομηνία. Σημαντικές διαφοροποιήσεις λάμβαναν χώρα στις παραμέτρους του νερού της πηγής, ως γλυκό νερό. Οι όλες παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν: pH, θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο DO (σε %v/v και mg/L), αγωγιμότητα (EC)-αλατότητα-ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), θολερότητα, σκληρότητα, BOD, COD, Cl⁻, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ και NH₄⁺ και τέλος μικροβιακό φορτίο κοπρανώδους μόλυνσης (ολικά κολοβακτήρια, κοπρανώδη κολοβακτήρια, εντερόκοκκους και Escherichia coli).

pH, θερμοκρασία, αλατότητα-αγωγιμότητα-TDS, DO

Αυτές οι παράμετροι μετρήθηκαν με το πολυόργανο. Το όργανο, που ήταν το ίδιο και για τις 6 παραμέτρους, απαιτούσε οστούσο διαφορετικό ηλεκτρόδιο για κάθε ομάδα από αυτές. Το ηλεκτρόδιο του διαλυμένου O₂ απαιτούσε ρύθμιση του οργάνου για τη χρήση από γλυκό σε αλμυρό νερό. Το ηλεκτρόδιο απαιτούσε προσεκτική φύλαξη σε υγρό περιβάλλον. Το όργανο έδινε με μια μέτρηση την συγκέντρωση σε όγκο προς όγκο (%v/v) και μάζα ανά όγκο (mg/L). Η κανονική μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου πραγματοποιείται επί τόπου στο σταθμό δειγματοληψίας (in situ), η αδυναμία εύκολης προσέγγισης του νερού στις περισσότερες περιοχές όμως, η οποία ήδη έκανε δύσκολη ακόμα και τη λήψη δείγματος με κοντάρι, πόσο μάλλον την από κοντά προσέγγιση με το όργανο, οδήγησε στη μέτρηση των δειγμάτων στο εργαστήριο (ex situ), όπου μετρούνταν οι υπόλοιπες παράμετροι. Για την όσο το δυνατό πιο

αντιπροσωπευτική εικόνα της μέτρησης, το διαλυμένο οξυγόνο μετρούταν αμέσως μετά την προσέλευση στο εργαστήριο και το άνοιγμα των δοχείων.

Το ηλεκτρόδιο pH φυλασσόταν σε κορεσμένο υδατικό διάλυμα KCl μέχρι τη χρήση του. Μια ελαφρά ανάδευση με το ηλεκτρόδιο γινόταν στην αρχή, όπως και με τα ηλεκτρόδια όλων των άλλων μετρήσεων. Τέλος, το ηλεκτρόδιο της αγωγιμότητας-αλατότητας-TDS έπαιρνε μια μέτρηση την οποία το όργανο μετέφραζε σε κάθε μια από αυτές τις 3 παραμέτρους, οι οποίες προβάλλονται με το πάτημα αντίστοιχου κουμπιού, όπως και στο διαλυμένο O_2 . Φυσικά το κάθε ηλεκτρόδιο ξεπλενόταν με απιονισμένο νερό, με χρήση υδροβολέα, πριν από την εισαγωγή του σε κάθε δείγμα.

Θολερότητα

Η θολερότητα χρησιμοποιήθηκε ως ένδειξη των αιωρούμενων στερεών. Μετρούταν με θολερόμετρο Lovibond, το οποίο απαιτούσε τη δημιουργία σε αυτό καμπύλης βαθμονόμησης, μέσω μέτρησης πρότυπων δειγμάτων. Τα δείγματα αυτά ήταν σε τιμές 1, 10, 100 και 1000 NTU (Nefelometric Turbidity Units, νεφελομετρικές μονάδες θολερότητας), αν και ποτέ δεν χρησιμοποιήθηκε η χάραξη της καμπύλης έως την τάξη των 1000 NTU. Με την εισαγωγή κάθε πρότυπου δείγματος, και φυσικά, τη διόρθωση της κάθε μέτρησης πριν αποθηκευτεί, επιτυγχανόταν η εξασφάλιση της δυνατότητας του οργάνου να μετρά τη θολερότητα σε εύρος από την προηγούμενη ως την παρούσα τιμή (π.χ. με τη θέση της τάξης 1 NTU αποθηκευόταν η δυνατότητα μέτρησης από 0 έως 1 NTU). Για τη μέτρηση του δείγματος επιλεγόταν το πιο πιθανώς αναμενόμενο από αυτά τα εύρη και το όργανο έδειχνε την ακριβή τιμή της θολερότητας εντός του συγκεκριμένου εύρους. Το δοχείο εισαγωγής του δείγματος στο θολερόμετρο τηρούσε την πάγια τακτική της έκπλυσης με υδροβολέα απιονισμένου νερού πριν την εισαγωγή του δείγματος.

Βιοχημικά (BOD) και χημικά (COD) απαιτούμενο οξυγόνο

Για το BOD οι προδιαγραφές απαιτούν ρύθμιση του pH σε εύρος 6,5 με 7,5. Αυτό επιτυγχανόταν με προσθήκη υδροχλωρικού οξέως 0,1 M ή υδροξειδίου του νατρίου 0,1 M, ανάλογα με την επιθυμία για ταπείνωση ή ανύψωση του pH αντίστοιχα. Το ρυθμισμένο δείγμα τοποθετούταν σε σκουρόχρωμη γυάλινη φιάλη ειδικών κατασκευαστικών προδιαγραφών ώστε να εφαρμόζει βιδωτά στο στόμιό της η ηλεκτρονική συσκευή- κεφαλή μέτρησης του BOD. Η συσκευή αυτή μεταφράζει την πτώση πίεσης στο κλειστό σύστημα κεφαλής- φιάλης σε κατανάλωση μάζας O_2 και το διαιρεί με την ποσότητα όγκου 0,428 L νερού, προκειμένου να εξαχθεί το τελικό αποτέλεσμα BOD. Για το λόγο αυτό η αντιπροσωπευτικότητα εξασφαλίζεται με την εισαγωγή ακριβώς 428 mL δείγματος στη σκουρόχρωμη φιάλη. Αυτό το επιτυγχάναμε με την πλήρωση ειδικής γυάλινης σφαιρικής ογκομετρικής φιάλης μέχρι το στόμιο, στο οποίο η φιάλη ήταν κομμένη μηχανικά και αντιστοιχούσε σε όγκο 0,428 L.

Για τη ρύθμιση του pH παίρναμε μια επαρκή ποσότητα δείγματος ώστε να υπερέχει των 428 mL, σε γυάλινη κωνική φιάλη, και ταυτόχρονα με μαγνητική ανάδευση μετρούταν το pH με τη χρήση ορθοστάτη για το ηλεκτρόδιο. Η πρώτη μέτρηση αντιστοιχούσε φυσικά στο pH του ακατέργαστου δείγματος (πολλές φορές μάλιστα συνδυαζόταν με τη μέτρηση του pH που καταγραφόταν ως ξεχωριστή παράμετρος), και ανάλογα με την ένδειξη προστίθετο εμπειρικά η ποσότητα του αντίστοιχου αντιδραστηρίου (HCl ή NaOH) μέχρι να επιτευχθεί το σωστό εύρος 6,5 με 7,5. Στο επόμενο στάδιο ακολουθούσε έκπλυση της σφαιρικής φιάλης των 428 mL με το ρυθμισμένο δείγμα (φιλοσοφία ίδια με την αντίστοιχη διαδικασία δειγματοληψίας) και στη συνέχεια πλήρωσή της με το δείγμα και εισαγωγή αυτών των 428 mL στη γυάλινη σκουρόχρωμη φιάλη. Η σφαιρική φιάλη των 428 mL ξεπλενόταν με νερό βρύσης από δείγμα σε δείγμα.

Στο στόμιο της γυάλινης σκουρόχρωμης φιάλης τοποθετούταν μια πλαστική παγίδα CO₂ με πυκνό NaOH, ώστε να μην υπάρχει αρνητικό σφάλμα από την απελευθέρωση στη αέρια φάση διοξειδίου του άνθρακα με το μεταβολισμό των βιοαποικοδομήσιμων. Τέλος βιδωνόταν η ηλεκτρονική κεφαλή, η οποία ήταν κατασκευασμένη να εφαρμόζει ακριβώς στο σύστημα φιάλης- παγίδας, και το όλο σύστημα τοποθετούταν σε ψυγείο με σταθερή θερμοκρασία για 5 ημέρες. Η κεφαλή λάμβανε μέτρηση της πίεσης στην αέρια φάση ανά 1 ημέρα μετά το μηδενισμό της έως της παρέλευση 5 ημερών που αντιστοιχούσε σε BOD_t (t:ημέρα). Για το λόγο αυτό ήταν σημαντικό η κεφαλή να μηδενίζεται ακριβώς τη χρονική στιγμή εφαρμογής της στη φιάλη, έτσι ώστε η υποπίεση να είναι αντιπροσωπευτική της κατανάλωσης οξυγόνου από την παρέλευση τόσο χρόνου, όσο μεσολάβησε από το βίδωμα της κεφαλής.

Για το COD, στην περίπτωση της πηγής, που αφορούσε γλυκό νερό η μέθοδος που εφαρμοζόταν ήταν ημιποσοτική, με τη χρήση ειδικών για το COD kits, τα οποία περιείχαν έτοιμο μίγμα αντιδραστηρίων στο οποίο εισάγονταν 5 mL του δείγματος και θερμαίνονταν σε θερμοκρασία φωλιά στους 148°C για 120 λεπτά. Όταν το μίγμα κρύωνε τοποθετούταν σε κυψελίδα φωτομέτρου ειδικού για το συγκεκριμένο kit ημιποσοτικής μεθόδου (με ανάλογη κυψελίδα αναγνώρισης COD που εισαγόταν πριν τη μέτρηση) και το σκεύασμα φωτομετρούταν με απευθείας ένδειξη του COD σε mg O₂/L. Για το θαλασσινό νερό προηγούνταν μια πιο χρονοβόρα διαδικασία αφαίρεσης του διαλυμένου ιοντικού χλωρίου (που θα δημιουργούσε θετικό σφάλμα) προς μοριακό αέριο που παγιδευόταν με τη χρήση παγίδας Ca(OH)₂, κάτω από συνθήκες θέρμανσης για την απελευθέρωση του Cl₂ που σχηματιζόταν. Πραγματοποιήσαμε μέτρηση COD στο θαλασσινό νερό μόνο μία φορά στον πορθμό και το εξωτερικό ακρωτήριο (27/4).

Ιόντα

Στα δείγματα νερού πηγής μετρήθηκε η **σκληρότητα σε ανθρακικό ασβέστιο**, δείκτης της συγκέντρωσης όλων των ιόντων ανεξάρτητα από το είδος τους. Η σκληρότητα σε ανθρακικό ασβέστιο σε ένα διάλυμα είναι η θεωρητική συγκέντρωση (σε τυπικότητα) που θα είχε το ανθρακικό ασβέστιο σε ένα ισοδύναμο διάλυμα στο οποίο: 1) όλα τα μεταλλικά ιόντα θα προέρχονταν από διάλυση ανθρακικού ασβεστίου (πάντα θεωρητικά) και 2) η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου σε αυτό το ισοδύναμο διάλυμα θα ήταν ίση με την αθροιστική συγκέντρωση ιόντων οποιουδήποτε είδους στο διάλυμα του οποίου μετρούμε τη σκληρότητα σε ανθρακικό ασβέστιο. Με απλούστατα λόγια, η σκληρότητα σε ανθρακικό ασβέστιο περιγράφεται από το ερώτημα “αν όλα τα μεταλλικά ιόντα στο διάλυμα, ήταν ιόντα ασβεστίου που προέρχονται όλα από διάλυση ανθρακικού ασβεστίου (θεωρητικά), ποια θα ήταν η συγκέντρωση (σε τυπικότητα) του ανθρακικού ασβεστίου σε αυτό; Τοποθετούμε τον όρο “θεωρητικά” στη διάλυση ανθρακικού ασβεστίου γιατί στην πραγματικότητα η σταθερά γινομένου διαλυτότητας του ανθρακικού ασβεστίου στο νερό (σε κανονικές συνθήκες) είναι τόσο μικρή που στη συντριπτική πλειοψηφία των φυσικών νερών στη γεώσφαιρα είναι αδύνατο η συγκέντρωση μεταλλικών ιόντων να εκπροσωπηθεί πρακτικά από αντίστοιχη συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου.

Τη σκληρότητα σε CaCO₃ προσδιορίσαμε μέσω ογκομέτρησης 25 mL του δείγματος με EDTA 0,01 N, που για το μόριο του EDTA είναι 0,01 M (μοριακότητα κατ’ όγκο για απλούστευση της σχέσης υπολογισμού). Ο δείκτης ήταν το Eriochrome Black-T με παρουσία NH₃ και NH₄Cl για δημιουργία ρυθμιστικού διαλύματος. Η πρακτική διαδικασία ήταν λήψη 25 mL δείγματος με ογκομετρικό κύλινδρο, προσθήκη ταμπλέτας Eriochrome Black-T που περιείχε και NH₄Cl, προσθήκη στη συνέχεια διαλύματος αμμωνίας και τέλος ογκομέτρηση με πρότυπο διάλυμα EDTA 0,01 M. Η σκληρότητα σε ανθρακικό ασβέστιο (μάζα του /όγκο δείγματος, m/v) δινόταν από τη σχέση:

$m/v = (\text{μοριακότητα κατ' όγκο EDTA}) \cdot (\text{όγκος προστιθέμενου δ/τος EDTA}) \cdot (\text{Mr}_{\text{CaCO}_3}) / (\text{όγκος δείγματος})$, και, λαμβάνοντας υπόψη τη μοριακότητα κατ' όγκο EDTA=0,01 M, το μοριακό βάρος CaCO₃= 100g/mol και τον όγκο δείγματος=25 mL έχουμε:
 $m/v = (\text{όγκος προστιθέμενου δ/τος EDTA}) / (25 \text{ mL}) \cdot \text{g/L}$.

Το άλλο ιόν τη συγκέντρωση του οποίου προσδιορίσαμε με ογκομέτρηση ήταν το **χλωρίδιο Cl**. Αυτή τη φορά η ογκομέτρηση γινόταν με πρότυπο διάλυμα νιτρικού αργύρου (AgNO₃) ο οποίος δεσμεύει τα χλωρίδια προς ίζημα χλωριούχου αργύρου. Ο δείκτης αυτή τη φορά ήταν χρωμικό κάλιο (K₂CrO₄). όταν όλα τα χλωρίδια δεσμευτούν η παραπάνω προσθήκη νιτρικού αργύρου δίνει με το αρχικό χρωμικό κάλιο (κίτρινο) την ένωση χρωμικός άργυρος (πορτοκαλί) οπότε γίνεται αντιληπτή η περάτωση της πρώτης φάσης. Τα γραμμομόρια AgNO₃ δίνουν ίσα γραμμομόρια Ag⁺ τα οποία δεσμεύουν ίσα γραμμομόρια Cl⁻. Οπότε η συγκέντρωση των χλωριδίων σε μάζα/όγκο είναι

$m/v = \text{Mr}_{\text{Cl}} \cdot (\text{γραμμομόρια AgNO}_3 \text{ που αντέδρασαν με τα χλωρίδια}) / (\text{όγκο δείγματος})$

Στο πρακτικό κομμάτι λαμβάναμε με ογκομετρικό κύλινδρο 25 mL δείγματος, προσθέταμε διάλυμα χρωμικού καλίου, που έδινε στο διάλυμα κίτρινο χρώμα, και ογκομετρούσαμε με πρότυπο διάλυμα AgNO₃ 0,00141 N, μέχρι δημιουργίας πορτοκαλί χρώματος, ένδειξη σχηματισμού χρωμικού αργύρου.

Τα μεταλλικά ιόντα K⁺, Na⁺ και Ca²⁺, μετρήθηκαν με τη χρήση του φλογοφωτόμετρου. Πρότερα χαράσσαμε την χαρακτηριστική για τη στιγμή καμπύλη του φλογοφωτόμετρου. Αυτό επιτυγχάνεται με εισαγωγή στο φλογοφωτόμετρο πρότυπων υδατικών διαλυμάτων για το κάθε μέταλλο αύξουσας συγκέντρωσης. Για το νάτριο π.χ. εισάγαμε κατά σειρά: υδατικό διάλυμα νατρίου 0 ppm (απιονισμένο νερό) και η ένδειξη του οργάνου ρυθμιζόταν στα 0 ppm (κατώτερο όριο εύρους εισαγωγής). Στη συνέχεια εισαγόταν υδατικό διάλυμα νατρίου 10 ppm και η ένδειξη του οργάνου ρυθμιζόταν στα 10 ppm (ανώτερο όριο εύρους εισαγωγής). Ακολούθως εισάγονταν κατά σειρά στο φλογοφωτόμετρο πρότυπα διαλύματα νατρίου 1, 3, 5 και 7 ppm και για κάθε ένα καταγραφόταν η ένδειξη του φλογοφωτόμετρου. Η ίδια διαδικασία ισχύει και για το ασβέστιο και το κάλιο, με μόνη διαφορά τις τιμές των προτύπων. Τα πρότυπα για το κάλιο είναι 0, 2, 4, 6, 8 και 10 ppm και για το ασβέστιο 0, 20, 40, 60, 80 και 100 ppm. Από τις τιμές των προτύπων και τις αντίστοιχες ενδείξεις του οργάνου χαρασσόταν η χαρακτηριστική καμπύλη του φλογοφωτόμετρου. Στη συνέχεια μετρούταν το δείγμα και η ένδειξη αντιστοιχιζόταν στον άξονα τιμών εισαγωγής μέσω της χαρακτηριστικής καμπύλης. Η τιμή που προέκυπτε ήταν και η συγκέντρωση του μετάλλου στο δείγμα που εισαγόταν. Να αναφερθεί ότι το φλογοφωτόμετρο, που ήταν σχεδιασμένο μόνο για αυτά τα 3 μέταλλα, απαιτούσε τη χρήση ειδικού μονοχρωμάτορα για κάθε μέταλλο, η αλλαγή του οποίου γινόταν με τοποθέτηση του κομβίου του οργάνου στην αντίστοιχη θέση για κάθε ένα από τα 3 μέταλλα.

Για ευνότητους λόγους δεν μετρούσαμε Na⁺ σε θαλασσινό νερό, όπως επίσης και χλωριόντα. Η μέτρηση των 2 παραπάνω περιορίστηκε στο γλυκό νερό της πηγής αλλά ακόμη και εκεί, το νάτριο μετρήθηκε με αραιώση δείγματος 1:20 πριν εισαχθεί στο φλογοφωτόμετρο. Ίδια ήταν και η αραιώση για τη μέτρηση της συγκέντρωσης ασβεστίου στο νερό της πηγής. Για τη μέτρηση ασβεστίου και καλίου σε θαλάσσια ύδατα προηγούταν αραιώση 1:10 και 1:100 αντίστοιχα. Το κάλιο στο νερό της πηγής δεν χρειάστηκε αραιώση για να μετρηθεί. Η ανάγκη για αυτές τις αραιώσεις προέκυψε από τις προκαταρτικές μετρήσεις στο φλογοφωτόμετρο όπου διαπιστώθηκε ότι τα αυτούσια δείγματα ήταν εκτός των ορίων της καμπύλης.

Πριν την εισαγωγή τους στο φλογοφωτόμετρο τα δείγματα δέχονταν προεπεξεργασία για αφαίρεση των αιωρούμενων σωματιδίων (που θα προκαλούσαν ζημία στο όργανο και φραγμό των σωλήνων του φλογοφωτόμετρου), με φίλτρανση μέσα από φίλτρο 40-Whatman.

Τα υπόλοιπα ιόντα (NO_3^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ και SO_4^{2-}) μετρούταν με ημιποσοτική μέθοδο με τη χρήση ειδικών kits αλληλουχίας αντιδραστηρίων για κάθε ιόν και χρήση φωτόμετρου προσαρμοσμένου σε όλα τα kits μέσω κυψελίδας αναγνώρισης του κάθε ιόντος. Ο μόνος περιορισμός ήταν ότι δεν μετρούσαμε θεικά ιόντα στο θαλασσινό νερό, παρά μόνο στο νερό της πηγής.

Μικροβιακό φορτίο

Το μικροβιακό φορτίο που μετρούταν αφορούσε την κοπρανώδη μόλυνση. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ολικά και τα κοπρανώδη κολοβακτήρια, η *E. coli* και οι εντερόκοκκοι. Συμπτωματικά, τα ολικά κολοβακτήρια καταργήθηκαν από τη λίστα των δεικτών κοπρανώδους μόλυνσης για την ποιότητα του νερού, πριν την κύρια περίοδο δειγματοληψιών, οπότε τα χρησιμοποιήσαμε μόνο στις δύο προκαταρτικές δειγματοληψίες. Οι δειγματοληψίες της κύριας περιόδου περιελάμβαναν μόνο τους άλλους 3 δείκτες.

Η μεθοδολογία περιελάμβανε λήψη 100 mL δείγματος με ογκομετρικό κύλινδρο και φίλτρανσή τους σε φίλτρα κυτταρίνης 0.45μm για κατακράτηση των βακτηρίων. Επειδή η διέλευση του δείγματος μέσω φίλτρου τόσο μικρών πόρων με φυσική βαρύτητα είναι εργαστηριακά αδύνατη, χρησιμοποιούταν ειδική αντλία με προσαρμοσμένο χωνί, στο οποίο τοποθετούταν το φίλτρο με αποστειρωμένη δια φλόγας λαβίδα. Μετά τη διέλευση του δείγματος η λαβίδα αποστειρωνόταν ομοίως και το φίλτρο τοποθετούταν στο τρυβλίο που περιείχε θρεπτικό υπόστρωμα εξειδικευμένο στην ομάδα/ είδος των βακτηρίων που ήταν επιθυμητό να προσδιορίσουμε. Για κάθε δείγμα διαθέταμε αριθμό τρυβλίων ίδιο με το μικροβιακό δείκτη που θα προσδιορίζαμε και απλά τοποθετούσαμε σε όλα φίλτρο με δείγμα. Το ξεχωριστό υπόστρωμα που είχε κάθε τρυβλίο και η θερμοκρασία επώασης καθόριζαν το ποιος δείκτης θα αναπτυσσόταν.

Οι εντερόκοκκοι καταμετρούνταν μετά από παρέλευση 48 ωρών επώασης ενώ οι υπόλοιποι δείκτες μετά από παρέλευση 24 ωρών επώασης. Αυτές που καταμετρούνταν ήταν οι αποικίες που είχαν σχηματιστεί, οι οποίες για τα κοπρανώδη είχαν χρώμα κίτρινο, για την *E. coli* χρώμα πράσινο και για τους εντερόκοκκους χρώμα μπορντώ. Η συγκέντρωση εκφραζόταν σε αποικίες/όγκο, μονάδες cfu/(100 mL), και προέκυπτε από τη διαίρεση του αριθμού των αποικιών με τον όγκο **δείγματος** που χρησιμοποιήθηκε για τη διήθηση.

Το υπόστρωμα που χρησιμοποιούταν για τα ολικά/ κοπρανώδη κολοβακτήρια και για την *E. Coli* ήταν θρεπτικού υλικού Membrane Lauryl Sulfate Broth συγκέντρωσης 76, 2 g/L που αναμειγνυόταν με άγαρ συγκέντρωσης 15 g/L. Ανάλογα με τον αριθμό των τρυβλίων που απαιτούνταν και λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε τρυβλίο πληρωνόταν με 4 mL μίγματος, ζυγίζαμε μαζικά τις αντίστοιχες ποσότητες άγαρ και MLSB και τις διαλύαμε σε νερό κατάλληλου όγκου. Το μίγμα αποστειρωνόταν με κλίβανο για 15 λεπτά στους 115 βαθμούς Κελσίου σε 2,1 atm και διαμοιραζόταν στα τρυβλία όπου αφηνόταν να στερεοποιηθεί. Για τον εντερόκοκκο χρησιμοποιούταν υπόστρωμα Slanetz and Bartley Medium συγκέντρωσης 43,5 g/L το οποίο επίσης αποστειρωνόταν με βρασμό και παράλληλη ανάδευση αυτή τη φορά. Η διαδικασία απόχυσής του στα τρυβλία ήταν η ίδια με ανωτέρω.

Η διαδικασία αποστείρωσης στον κλίβανο που περιγράφηκε ακολουθούταν και για την αποστείρωση των χωνιών διήθησης της αντλίας.

Αποτελέσματα και ανάλυση

Τα αποτελέσματα της παρούσης πτυχιακής μέχρι την δημοσίευση τους θα είναι διαθέσιμα σε κάθε ενδιαφερόμενο ερευνητή απευθείας από τον Καθηγητή Γ Σταυρουλάκη στο ΤΕΙ Κρήτης

Συζήτηση

Ποιοτική ασφάλεια των παραπάνω υδάτων για τη δημόσια υγεία

Ως απαραίτητο στοιχείο της έρευνας θα συγκριθούν οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων για τα σημεία δειγματοληψίας με τα πρότυπα υδατικής ποιότητας. Όπως είναι ευνόητο, το νερό της πηγής υπόκειται σε πρότυπα ποιότητας για πόσιμο νερό, με τα θαλάσσια σημεία να υπόκεινται σε πρότυπα νερών κολύμβησης. Η πηγή δεν έχει τεχνικώς χλωριωμένο νερό για να πληροί τον παράγοντα του υπολειμματικού χλωρίου, επομένως υπάρχει ήδη ένας παράγοντας εκτός ορίων. Θα ασχοληθούμε πάντως με την κατάσταση των άλλων παραγόντων. Η κατάσταση του νερού της πηγής θα αξιολογηθεί με βάση την **Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001**, για τις ιοντικές παραμέτρους. Η Απόφαση προβλέπει μηδενικές τιμές όλων των μικροβιακών δεικτών σε μονάδες αριθμού βακτηρίων/όγκο. Επομένως, θεωρείται ότι εφόσον δεν υπάρχουν βακτήρια σε συγκεκριμένο όγκο νερού, άρα δεν θα σχηματιστούν και αποικίες με τη διήθηση του νερού και καλλιέργεια. Αυτό προδίδει ανώτατο όριο και για τους 3 μικροβιακούς δείκτες (κοπρανώδη κολοβακτήρια, E. coli και εντερόκοκκους) 0 cfu/100ml. Αν και κάποιος από αυτούς τους δείκτες σε ορισμένες ημερομηνίες είχαν πραγματικά μηδενικές τιμές αποικιών/όγκο διηθημένου νερού, εντούτοις σε καμία ημερομηνία δεν υπήρξε μηδενική παρουσία και των 3 δεικτών. Ακόμη να διευκρινιστεί ότι και μια μηδενική παρουσία των δεικτών σε **αποικίες/όγκο διήθησης** δεν θα σήμαινε και μηδενική παρουσία βακτηρίων σε **βακτήρια/όγκο**, που απαιτείται από την ΚΥΑ, μιας και η μικρή παρουσία βακτηρίων, που δεν θα ήταν αποδεκτή, θα μπορούσε να δώσει μηδενικές αποικίες εξαιτίας της αδυναμίας εδραίωσής τους λόγω μικρού πληθυσμού. Από όλα αυτά προκύπτει ότι σε καμία ημερομηνία το νερό της πηγής δεν ήταν σε αποδεκτά μικροβιολογικά επίπεδα όσον αφορά την κοπρανώδη φόρτιση.

Το pH της πηγής σε όλες τις ημερομηνίες ήταν μεταξύ 7-8, με την ΚΥΑ να υποδεικνύει τιμές $6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$. Στον τομέα του pH επομένως η πηγή είχε αποδεκτής συγκέντρωσης H^+ νερό σε όλες τις ημερομηνίες. Οι αγωγιμότητες ήταν όλες μεταξύ 0,7-0,8 mS/cm και το όριο της ΚΥΑ είναι 2,5 mS/cm οπότε δεν υπήρξε σε καμία ημερομηνία ούτε πρόβλημα υπερβολικής ολικής συγκέντρωσης ιόντων. Τα ιόντα αμμωνίου, ευρισκόμενα πάντα μεταξύ 0,1-0,2 mg/L υπολείπονταν του ορίου των 0,5 mg/L, όπως επίσης και τα χλωριόντα, που πάντα ήταν μεταξύ 99 και 105 mg/L και επομένως πάντα κατώτερα του ορίου 250 mg/L. Τα νιτρικά ιόντα ήταν ευρισκόμενα κυρίως περί τα 39 mg/L, με όριο 50 mg/L και τα θειικά μεταξύ 40 και 53 mg/L και άρα πάντα κατώτερα του ορίου 250 mg/L. Το Νάτριο της πηγής τέλος βρισκόταν μεταξύ 52-72 mg/L, πάντα κατώτερο του ορίου των 200 mg/L. Από ότι φαίνεται λοιπόν, με εξαίρεση την αναμενόμενη παραβίαση του κανόνα του υπολειμματικού χλωρίου, όλες οι προαναφερθείσες ιοντικές παράμετροι της ΚΥΑ πληρούνται αλλά υπάρχει σημαντικότατο πρόβλημα κοπρανώδους μόλυνσης στο νερό της πηγής.

Για το νερό της πηγής θα αναφέρουμε και τις αξιολογήσεις για το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο, το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, όπως αυτές είναι διαμορφωμένες από τους επικρατούντες κανονισμούς δημόσιας υγιεινής για το πόσιμο νερό. Επιβάλλεται το COD να μην είναι μεγαλύτερο του BOD, καθώς κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι στο νερό περιλαμβάνονται και μη βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις. Αυτό ισχύει αν θεωρηθεί ότι οι οξειδωτικές αντιδράσεις για τη μέτρηση των 2 παραμέτρων αφορούν πλήρη οξείδωση των οργανικών ουσιών σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Η παρουσία μη βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ουσιών, σύμφωνα με τον κανονισμό, σημαίνει ότι η πιθανότητα επικινδυνότητας του νερού αυξάνει. Το BOD ενδείκνυται να είναι μικρότερο ή ίσο με 1 mg/L, άρα συνοψίζοντας ο κανονισμός προτείνει **COD=BOD<=1 mg/L**.

Στο νερό της πηγής όλες οι ημερομηνίες δειγματοληψίας στις οποίες μετρήθηκε το BOD (27/4, 19/5, 9/6, 24/6 και 22/7), έδειξαν τιμή BOD₅ μεγαλύτερη του 1 mg/L, κάτι το οποίο υποδήλωνε συνεχή παρουσία αρκετού οργανικού (βιοαποικοδομήσιμου πάντα) φορτίου. Στις 27/4, 19/5 και 24/6 το BOD₅ ήταν ίσο με 2 mg/L, που σύμφωνα με τον κανονισμό υποδηλώνει “ύποπτο” νερό. Στις 9/6 το BOD₅ είχε τιμή 4 mg/L και στις 22/7 έφτασε τα 8 mg/L, οπότε και στις 2 ημερομηνίες το νερό ήταν ακατάλληλο κατά τον κανονισμό, με τη δεύτερη ημερομηνία ειδικά να δείχνει πλήρως ακατάλληλο για πόση. Όπως περιέργως, η ημερομηνία 9 Ιουνίου όπου είπαμε ότι σημειώθηκε το δεύτερο μέγιστο του BOD₅ στην πηγή, ήταν και η ημερομηνία όπου σε όλα τα σημεία (όχι μόνο στην πηγή αλλά και στα 3 θαλασσινά) σημειώθηκαν και οι μεγαλύτερες πηγές μικροβιακών δεικτών κοπρανώδους προέλευσης, όσον αφορά την περίοδο 27/4 με 22/7 (οπότε και έγιναν μετρήσεις BOD στην πηγή, άρα υπήρχε μέτρο σύγκρισης). Αυτή η εικόνα δείχνει πρώτα μια πιθανή κοινή κοπρανώδη προέλευση του βιοαποικοδομήσιμου αυτού οργανικού φορτίου, και επίσης ενισχύει και την πιθανότητα επιρροής της πηγής στα θαλάσσια σημεία.

Για την αξιολόγηση των 3 θαλάσσιων σημείων (είσοδος λιμένος, πορθμός και εξωτερικό ακρωτήριο) θα χρησιμοποιήσουμε τα όρια εντερόκοκκων της **Οδηγίας 2006/7/EK** όπως αυτά είναι διαμορφωμένα για παράκτια και μεταβατικά ύδατα. Για εξαιρετικά καλής ποιότητας παράκτια νερά η οδηγία ορίζει οι εντερόκοκκοι να μην υπερβαίνουν τα 100 cfu/100ml. Για επαρκούς ποιότητας νερά οι εντερόκοκκοι δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 185 cfu/100ml και για καλής ποιότητας νερά το όριο της οδηγίας είναι τα 200 cfu/100ml. Για την είσοδο, όλα τα δείγματα εκτός από αυτά της 20^{ης} Απριλίου και της 9^{ης} Ιουνίου (δηλαδή 23/3, 2/4, 27/4, 19/5, 24/6, 22/7 και 13/10) ήταν όχι απλώς υπό, αλλά αρκετά υπό των 100 cfu/100ml άρα κρίνονται μακράν καλής ποιότητας, όσον αφορά πάντα τους εντερόκοκκους. Στην 20^η Απριλίου και στην 9^η Ιουνίου τώρα, οι εντερόκοκκοι ήταν αντίστοιχα 136 και 120 cfu/100ml αντίστοιχα, δηλαδή να μεν ανώτερες των 100 Cfu/100ml αλλά μικρότερες των 185 cfu/100ml κάτι που σύμφωνα με την οδηγία τα τοποθετεί στα επαρκούς ποιότητας (από πλευράς εντεροκόκκων) νερά.

Στον πορθμό η μόνη ημερομηνία που ξεπεράστηκε το όριο των 100 cfu/100ml ήταν η 9^η Ιουνίου, με τιμή 115 cfu/100ml δείχνοντας επαρκούς ποιότητας νερό εκείνη την ημερομηνία. Όλες οι υπόλοιπες ημερομηνίες (23/3, 2/4, 20/4, 27/4, 19/5, 24/6, 22/7 και 13/10) ήταν από κατώτερες έως πολύ κατώτερες των 100 cfu/100ml δείχνοντας μακράν καλής ποιότητας νερά. Τέλος, το εξωτερικό ακρωτήριο είχε σε όλες τις ημερομηνίες δειγματοληψίες τιμές εντεροκόκκων μικρότερες έως πολύ μικρότερες των 100 cfu/100ml δείχνοντας συνεχή μακράν καλής ποιότητας νερά (πάντα από την πλευρά των εντεροκόκκων).

Το λιμανάκι της περιοχής Αγίας Κυριακής έχει σημαντικά κοινά χαρακτηριστικά με το λιμάνι της Γκάντια για τα θρεπτικά. Έχει μικρό βάθος και περιορισμένη δυνατότητα ανανέωσης νερών, μέσω του πορθμίσκου. Αυτοί οι παράγοντες αυξάνουν το χρόνο υδατικής στασιμότητας, όπως και στην περίπτωση της Γκάντια, με αποτέλεσμα την ξεχωριστή χρονική εξέλιξη των διαφόρων φαινομένων ρύπανσης ή μόλυνσης στο χώρο αυτό. Πραγματικά αν προσέξουμε ορισμένες παραμέτρους (π.χ. E. coli και εντερόκοκκους), θα παρατηρήσουμε ότι το σημείο της εισόδου, που είναι σε πρώτη όψη το πιο απόμακρο από τη θάλασσα σημείο του λιμανιού, κατέχει την πρώτη θέση στις τιμές, σε σχέση με τα άλλα 3 σημεία. Αυτό δύσκολα θα υποδήλωνε μια προέλευση της ισχυρής παρουσίας αυτών των παραγόντων από το λιμάνι (εκτός αν επρόκειτο για μεγάλη παροχή των ουσιών εντός τους λιμανιού), δεδομένου του μικρού υδατικού όγκου του σε σχέση με τον περιβάλλοντα θαλάσσιο (για την πηγή δεν γίνεται καν λόγος), αλλά θα σήμαινε μάλλον μια διαφορετική εξέλιξη της παρουσίας των παραγόντων αυτών στο λιμάνι. Η περίπτωση του λιμανιού της Γκάντια αφορούσε μια υπαρκτή μεγάλη παροχή από τα κανάλια

και την απορροή λυμάτων (που δεν υφίστανται από ότι γνωρίζουμε στην περίπτωση μας) και έτσι υπήρχε επιρροή στους παράγοντές του. Η πιο πιθανή σύνδεση της συμπεριφοράς των 2 λιμένων είναι η δυνατότητα της ξεχωριστής εξέλιξης των ρυπαντικών φαινομένων εντός τους και η αύξηση των τιμών των παραγόντων λόγω αδυναμίας αραίωσης. Και το λιμανάκι της Γκάντια πραγματικά συμπεριφέρεται ξεχωριστά, όπως δείχνει το αποτέλεσμα που αναφέραμε, ότι δηλαδή ο ευτροφισμός του περιορίζεται εντός του λιμένος.

Βιβλιογραφία

Chislock Michael F., Doster Enrique, Zitomer Rachel A. , Wilson Alan E.. 2013. " Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems". Nature Education Knowledge 4(4):10 Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:

<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/eutrophication-causes-consequences-and-controls-in-aquatic-102364466>

Leng Rachel. 2009. "The Impacts of Cultural Eutrophication on Lakes: A Review of Damages and Nutrient Control Measures". Writing 20 (Fall 2009):Freshwater Systems and Society.

Selman Mindy, Greenhalgh Suzie. 2009. "Eutrophication: Sources and Drivers of Nutrient Pollution". WRI POLICY NOTE. WATER QUALITY: EUTROPHICATION AND HYPOXIA No. 2. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: www.wri.org

"Eutrophication Experiments". Environmental Inquiry. Διαθέσιμο: <http://ei.cornell.edu>

Καρύδης Μ., Πρίμπας Ι., Τσιρτσής Γ.. " ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ". Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, Μυτιλήνη 81100

Sebastia M.-T., Rodilla M., Sanchis J.-A., Altur V., Gadea I., Falco S.. 2012. "Influence of nutrient inputs from a wetland dominated by agriculture on the phytoplankton community in a shallow harbour at the Spanish Mediterranean coast". Agriculture, Ecosystems and Environment 152 (2012) 10– 20. Διαθέσιμο: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.006>

Degobbis D., Smodlaka N., Pojed I., Skrivanic A., Precali R.. 1979. "Increased Eutrophication of the Northern Adriatic Sea". Marine Pollution Bulletin, Vol. 10, pp. 298-301

Yilmaz A., Basturk ο, Saydam C., Ediger D., Yilmaz K., Hatipoglou E.. 1992. "Eutrophication in Iskenderun Bay, north-eastern Mediterranean". Marine Coastal Eutrophication. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-89990-3.50062-6>

Turkoglu Muhammet. 2013. "Red tides of the dinoflagellate *Noctiluca scintillans* associated with eutrophication in the Sea of Marmara (the Dardanelles, Turkey)". OCEANOLOGIA, 55 (3), 2013. pp. 709–732. Διαθέσιμο: doi:10.5697/oc.55-3.709

Samanidou V., Fytianos K., Vasilikiotis G.. 1986. "DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE THERMAIKOS GULF, GREECE". The Science of the Total Environment, 65 (1987) 181-189

Kacar Asli. 2011. "Analysis of spatial and temporal variation in the levels of microbial fecal indicators in the major rivers flowing into the Aegean Sea, Turkey". Ecological Indicators 11 (2011) 1360–1365. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.010>

Stabili L., Cavallo R.A.. 2011. "Microbial pollution indicators and culturable heterotrophic bacteria in a Mediterranean area (Southern Adriatic Sea Italian coasts)". Journal of Sea Research 65 (2011) 461–469. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2011.04.010>

Palomino de Dios Alejandro, Salvat Marcel Cabrera , Garrido Enric Martinez , Sanchez-Cabeza Joan-Albert. 2011. "Environmental quality of Sitges (Catalonia, NE Spain) beaches during the bathing season". Ocean & Coastal Management 55 (2012) 128-134. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.10.004>

Owens J. D.. 1977. "COLIFORM AND ESCHERICHIA COLI BACTERIA IN SEA WATER AROUND PENANG ISLAND, MALAYSIA". Water Research Vol. 12, pp. 365 to 370

Guigue Catherine , Tedetti Marc , Ferretto Nicolas , Garcia Nicole , Méjanelle Laurence , Goutx Madeleine. 2013. "Spatial and seasonal variabilities of dissolved hydrocarbons in surface waters from the Northwestern Mediterranean Sea: Results from one year intensive sampling". Science of the Total Environment 466-467 (2014) 650–662. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.082>

Barakat Assem O. , Mostafa Alaa , Wade Terry L. , Sweet Stephen T. , El Sayed Nadia B.. 2013. "Distribution and ecological risk of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments from the Mediterranean coastal environment of Egypt". *Chemosphere* 93 (2013) 545–554. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα : <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.050>

LOUATI AFIFA, ELLEUCH BOUBAKER, KALLEL MONEM, SALIOT ALAIN, DAGAUT JACQUES, OUDOT JEAN. 2001. "Hydrocarbon Contamination of Coastal Sediments from the Sfax Area (Tunisia), Mediterranean Sea". *Marine Pollution Bulletin* Vol. 42, No. 6, pp. 445-452, 2001

Misic Cristina, Covazzi Harriague Anabella. 2009. "Organic matter characterisation and turnover in the sediment and seawater of a tourist harbor". *Marine Environmental Research* 68 (2009) 227–235. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.06.012>

Kapsimalis V. , Panagiotopoulos I.P., Talagani P., Hatzianestis I. , Kaberi H. , Rousakis G. , Kanellopoulos T.D., Hatiris G.A.. 2013. "Organic contamination of surface sediments in the metropolitan coastal zone of Athens, Greece: Sources, degree, and ecological risk". *Marine Pollution Bulletin* 80 (2014) 312–324. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.12.051>