

ΠΜΣ «Διαχείριση Υδρομετεωρολογικών Καταστροφών»

Εισαγωγή στη διαχείριση των υδάτων και του υδάτινου περιβάλλοντος

Διάλεξη 1

Δείκτες Ποιότητας Νερού και Ιζήματος

Καθηγητής ΔΠΘ Γεώργιος Συλαίος

Τηλέφωνο 25410 79398, Mail: gsylaios@env.duth.gr ή skype: gsylaios

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Μέλη ΔΕΠ Εργαστηρίου

- Καθηγητής Γ. Συλαίος, Ωκεανογράφος, “Διαχείριση και Προσομοίωση Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων”
- Καθηγητής Κ. Μουτσόπουλος, Πολιτικός Μηχανικός/Υδρολόγος, “Ανάλυση και Προσομοίωση Υδατικών Πόρων”
- Αναπληρωτής Καθηγητής Γ. Γκίκας, Χημικός & Πολιτικός Μηχανικός, “Περιβαλλοντική Διαχείριση και Προσομοίωση ποταμών, λιμνών και υγροτόπων”
- Επίκουρος Καθηγητής Β. Μπέλλος, Πολιτικός Μηχανικός/Υδρολόγος, «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων με έμφαση στο Σχεδιασμό και την Περιβαλλοντική Διαχείριση Τεχνικών Έργων»

Τεχνικοί Εργαστηρίου: 2



Το Εργαστήριο εξυπηρετεί τις εκπαιδευτικές, ερευνητικές και αναπτυξιακές ανάγκες σε θέματα:

Α. Διαχείρισης και αποκατάστασης ποτάμιων, λιμναίων, παράκτιων και υπόγειων υδατικών συστημάτων,

Β. Περιβαλλοντικής υδραυλικής, υδροδυναμικής, υδρολογίας και διαχείρισης υδατικών πόρων,

Γ. Ολοκληρωμένης διαχείρισης νερού και υγρών αποβλήτων



Συμβολή Εργαστηρίου στην επιστήμη του Μηχ. Περιβάλλοντος

Εσωτερικά Επιφανειακά Υδατικά Συστήματα

Παρακολουθούμε με ολοκληρωμένο τρόπο τις λεκάνες απορροής κατ' εφαρμογή της ΟΠΝ, Εκτελούμε μελέτες διαχείρισης και αποκατάσταση λιμναίων, ποτάμιων και υγροτοπικών οικοσυστημάτων, Συμβάλλουμε στη προώθηση της Οικο-υδρολογίας

Παράκτιο Περιβάλλον

Μετράμε και προσομοιώνουμε την υδροδυναμική κυκλοφορία, εκτελούμε μελέτες αποκατάστασης ακτών από τη διάβρωση, προσδιορίζουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έργων, σχεδιάζουμε και χωροθετούμε αγωγούς έκχυσης αποβλήτων.

Υδρογεωλογία – Υπόγεια Υδραυλική

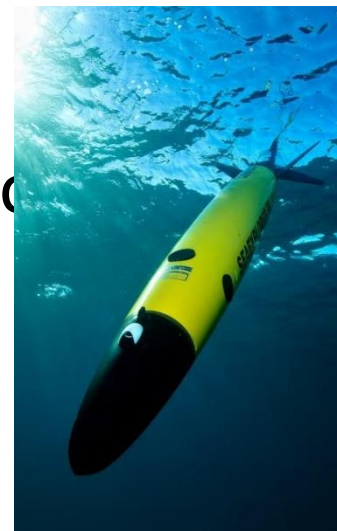
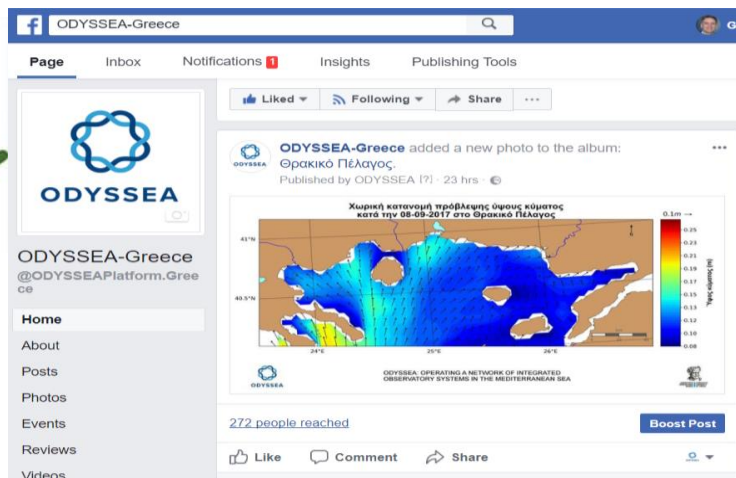
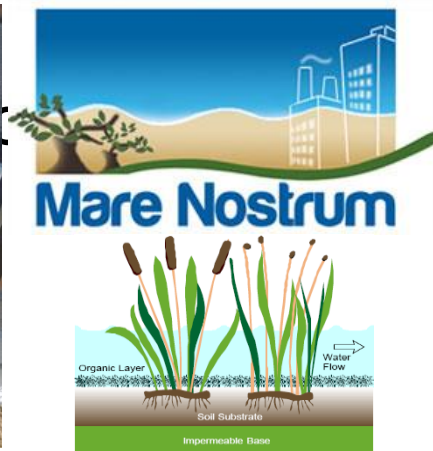
Καταγράφουμε τη ποσοτική και ποιοτική κατάσταση υδροφορέων, εκτελούμε μελέτες αποκατάστασης και εμπλουτισμού, προσομοιώνουμε υπόγειες ροές, καταγράφουμε το δυναμικό πηγών και καρστικών σχηματισμών.

Ολοκληρωμένη Διαχείριση Νερού και Αποβλήτων

Αναπτύσσουμε και προωθούμε τη τεχνολογία των Τεχνητών Υγροτόπων, την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, σχεδιάζουμε συστήματα συλλογής και χρήσης βρόχινου νερού, εφαρμόζουμε σύγχρονες μαθηματικές μεθόδους (ασαφής λογική, νευρωνικά δίκτυα), διαθέτουμε πλήρη βιβλιοθήκη «εργαλείων» προσομοίωσης.

Ερευνητικές Δραστηριότητες

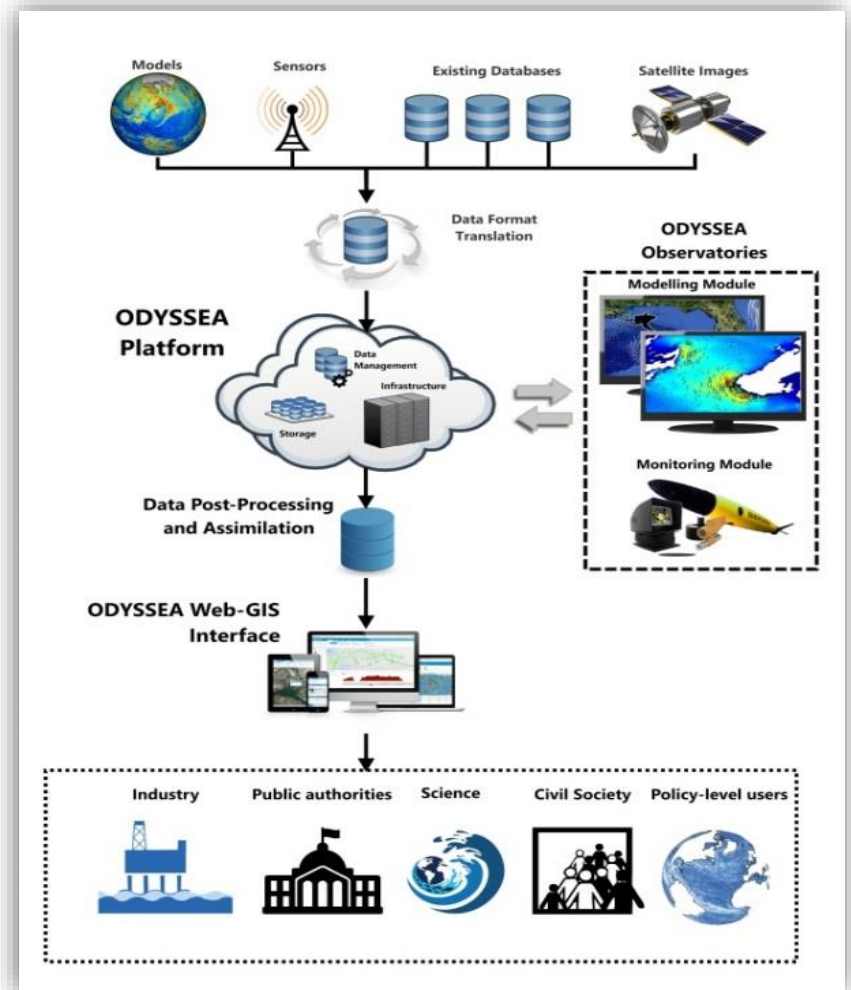
- FIGARO – Τεχνολογίες εξοικονόμησης αγροτικού νερού
- MareNostrum – Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης Μεσογείου
- Wastenet – Τεχνολογίες Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων με Τεχνητούς Υγροτόπους στη Λεκάνη Μαύρης Θάλασσας



ODYSSEA as a platform

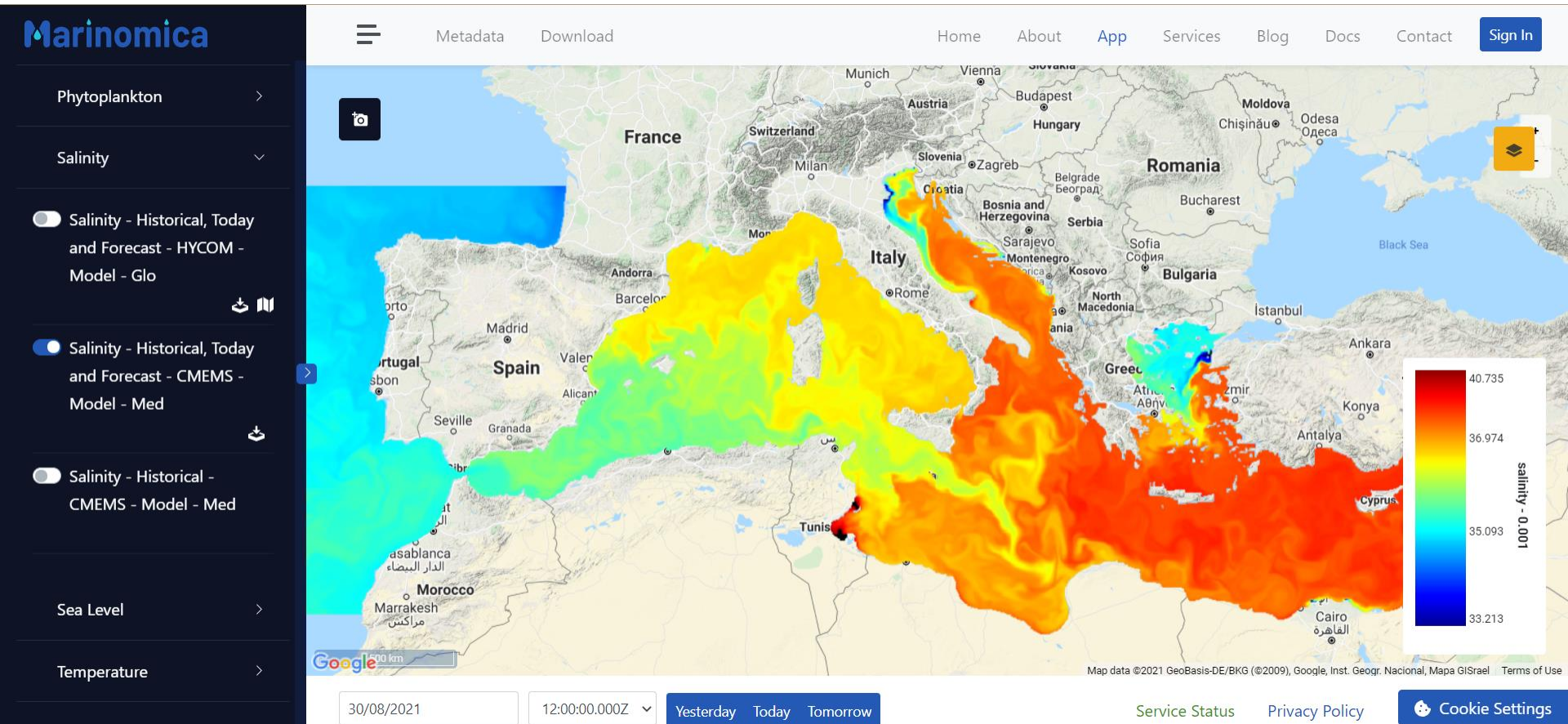
ODYSSEA is a system bridging the gap between operational oceanography capacities and the need for information on marine conditions from the community of end-users.

ODYSSEA's ambition is to develop an **interoperable, fully-integrated and cost-effective multiplatform network of observing and forecasting systems** across the Mediterranean basin, addressing both the open sea and the coastal zone.



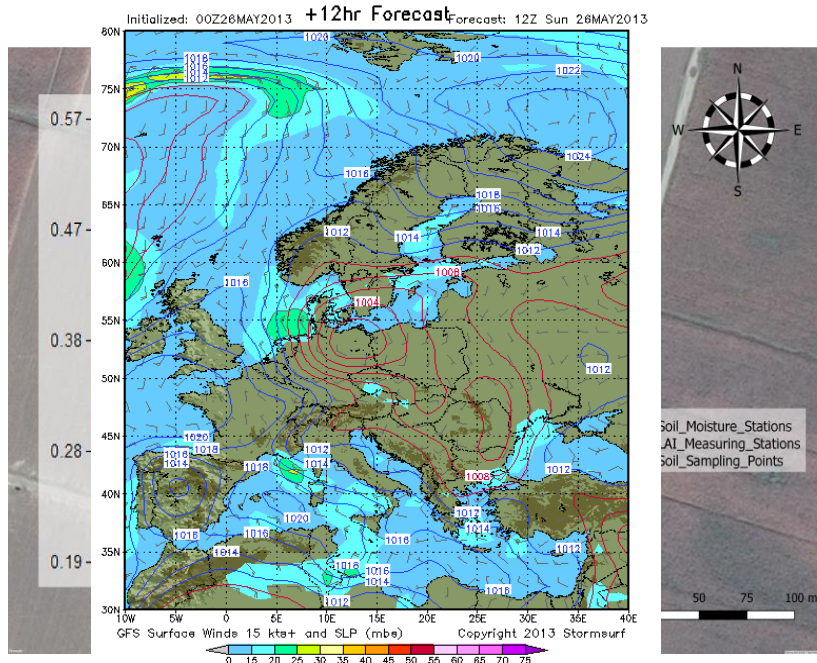
Πλατφόρμα Marinomica

Surface Salinity





Πλατφόρμα άρδευσης ακριβείας για την εξοικονόμηση αρδευτικού νερού και την αύξηση του οικονομικού οφέλους των παραγωγών



- Προσδιορισμός της βλαστικής ανάπτυξης με την χρήση drone
- Χρήση αερομετρικών και γεωλογικών μοντέλων για την πρόγνωση του καιρού σε επίπεδο αγρού
- Ανταρραβασία των αποτελεσμάτων
- Προσομοίωση της ανάπτυξης με υψηλή (πράσινο) και χαμηλή (κόκκινο) βλαστική ανάπτυξη
- Δημιουργία προγράμματος άρδευσης ακριβείας με στόχο την εξοικονόμηση νερού και την μέγιστη χρημ. του κεφαλαίου σε παραγωγή (πράσινο) και υψηλές απαιτήσεις (κόκκινο)

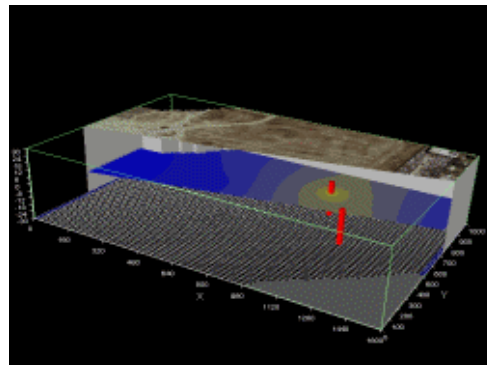
Εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής & Τεχνολογίας

Στοιχεία Επικοινωνίας

Τηλ 25410 79393

E-mail gsylaios@env.duth.gr

 labecoleng
ODYSSEA-Greece



Τι είναι ένας Περιβαλλοντικός δείκτης?

- Ένας Δείκτης συμβάλλει στην αποτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης
- Οι Περιβαλλοντικοί Δείκτες χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή της έννοιας της «βιώσιμης ανάπτυξης»
- Οι περιβαλλοντικοί δείκτες αποτιμούν την κατάσταση, καταγράφουν την τάση, υποστηρίζουν την εφαρμογή πολιτικών και ενημερώνουν το κοινό.
- Ο περιβαλλοντικός δείκτης είναι μια μεταβλητή που παρέχει πληροφορίες για την κατάσταση του περιβάλλοντος, η οποία είναι δύσκολο να αποτιμηθεί με άλλο τρόπο, ενώ η τιμή του δείκτη χρησιμοποιείται στην λήψη αποφάσεων.

Gras et al., 1989

Τι είναι ένας Περιβαλλοντικός δείκτης?

- Με βάση τα προηγούμενα ο Περιβαλλοντικός Δείκτης αποτελεί μια **παραμετρική σχέση** η οποία παρέχει **απλοποιημένες πληροφορίες** για τις διεργασίες σε ένα **σύνθετο σύστημα** (π.χ., ένα αγρο-οικοσύστημα) ή σχετικά με παραμέτρους που δεν μπορούν να μετρηθούν (π.χ., βιοποικιλότητα, αειφορία, κλπ.).
- Άρα, ο δείκτης αποτελείται από μία παραμετρική σχέση στην οποία συμμετέχουν μετρούμενες παράμετροι.
- Καταλήγει σε μία αριθμητική τιμή ή σε ένα ποιοτικό χαρακτηρισμό (π.χ., καλή/μέτρια/χαμηλή).

Τι είναι ένας Περιβαλλοντικός δείκτης?

- Συνεπώς ο Περιβαλλοντικός δείκτης:
 - A) Αποτιμούν την τρέχουσα περιβαλλοντική κατάσταση,
 - B) Θέτουν την Πρότυπη Περιβαλλοντική Κατάσταση,
 - Γ) Καταγράφουν τις Τάσεις εξέλιξης της Περιβαλλοντικής Κατάστασης στο χρόνο,
 - Δ) Διαγνώνουν τις αιτίες για τις παρατηρούμενες μεταβολές
 - E) Προβλέπουν μελλοντικές περιβαλλοντικές μεταβολές,
 - ΣΤ) Αποτιμούν την αποτελεσματικότητα των δράσεων για την περιβαλλοντική βελτίωση και αποκατάσταση

Τι είναι ένας Περιβαλλοντικός δείκτης?

- Με βάση τον Butler et al. (2012) ο Περιβαλλοντικός δείκτης θα πρέπει:

A) να είναι αντιπροσωπευτικός (representative), δηλ. να αντιπροσωπεύει την περιβαλλοντική κατάσταση ενός οικοσυστήματος,

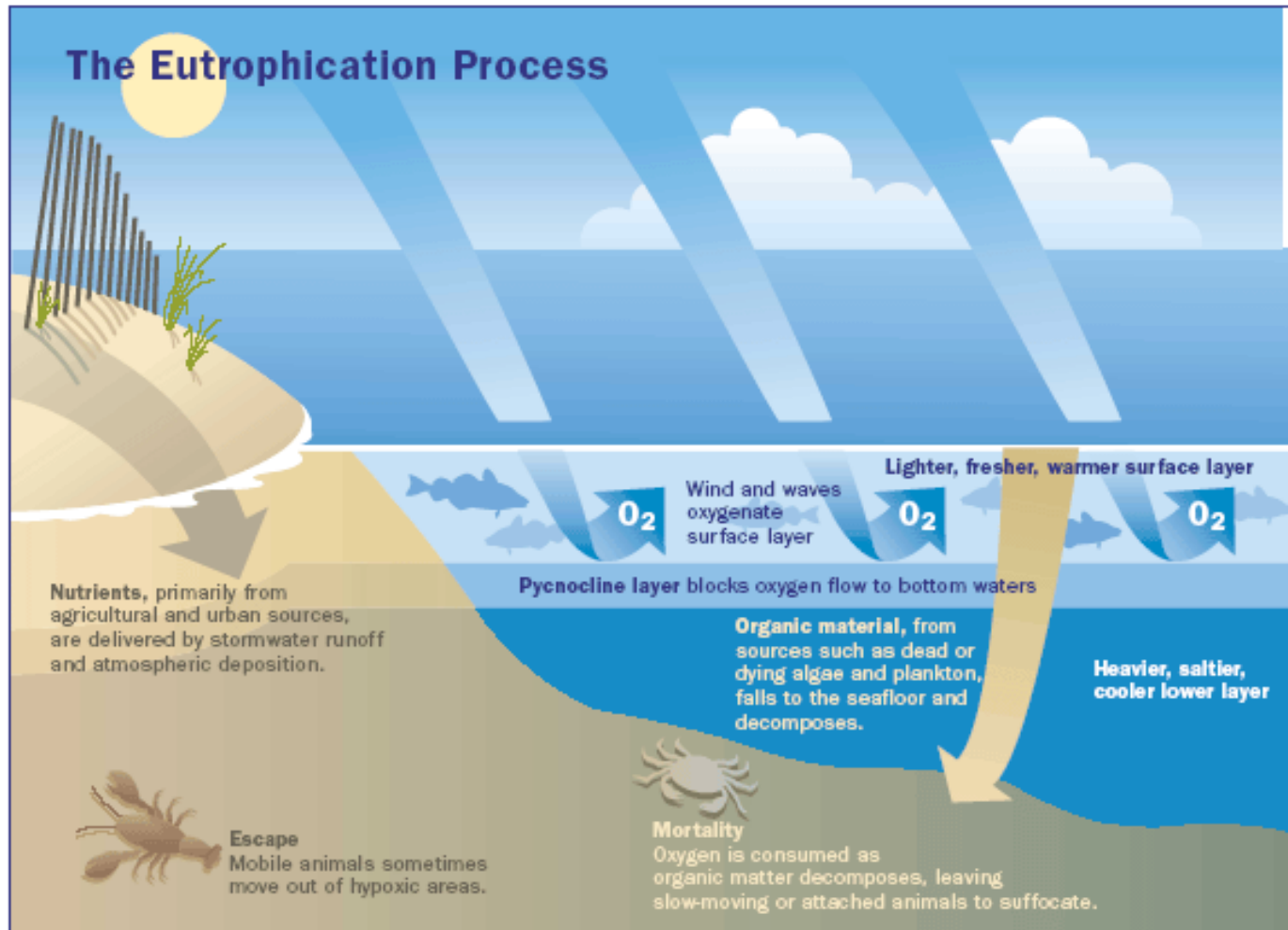
B) να ενημερώνει και να προειδοποιεί (reactive), π.χ., να αποτελεί ένα σύστημα έγκαιρης ειδοποίησης για την υποβάθμιση του οικοσυστήματος ή την εμφάνιση ενός φαινομένου,

Γ) να αποτυπώνει με τρόπο γραμμικό τις περιβαλλοντικές μεταβολές (responsive), και

Δ) να παράγεται σχετικά εύκολα, και να ερμηνεύεται εύκολα από το κοινό και τους διαχειριστές του περιβάλλοντος (easy to compile, understand and interpret).

Δείκτες εκτίμησης τροφικής κατάστασης ενός
παράκτιου συστήματος

Η προσθήκη θρεπτικών αλάτων στο νερό, προκαλεί την φυτική ανάπτυξη. Ωστόσο, το πρόβλημα της υπερ-προσφοράς θρεπτικών αλάτων, οδηγεί στην υπερλίπανση των παράκτιων υδατικών συστημάτων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου του ευτροφισμού (eutrophication)



Το αποτέλεσμα είναι η **απότομη αύξηση και ανάπτυξη της φυτικής βιομάζας**, με τη μορφή φυτοπλαγκτόν.

Η υπερβολική αύξηση της βιομάζας:

- ❖ **μειώνει τη διαφάνεια των νερών,**
- ❖ **εμποδίζει την ανανέωση και την οξυγόνωσή τους,**
- ❖ **περιορίζει τις φωτοσυνθετικές δραστηριότητες σε ζώνες μικρού βάθους.**

Τα παραπάνω έχουν σαν συνέπεια:

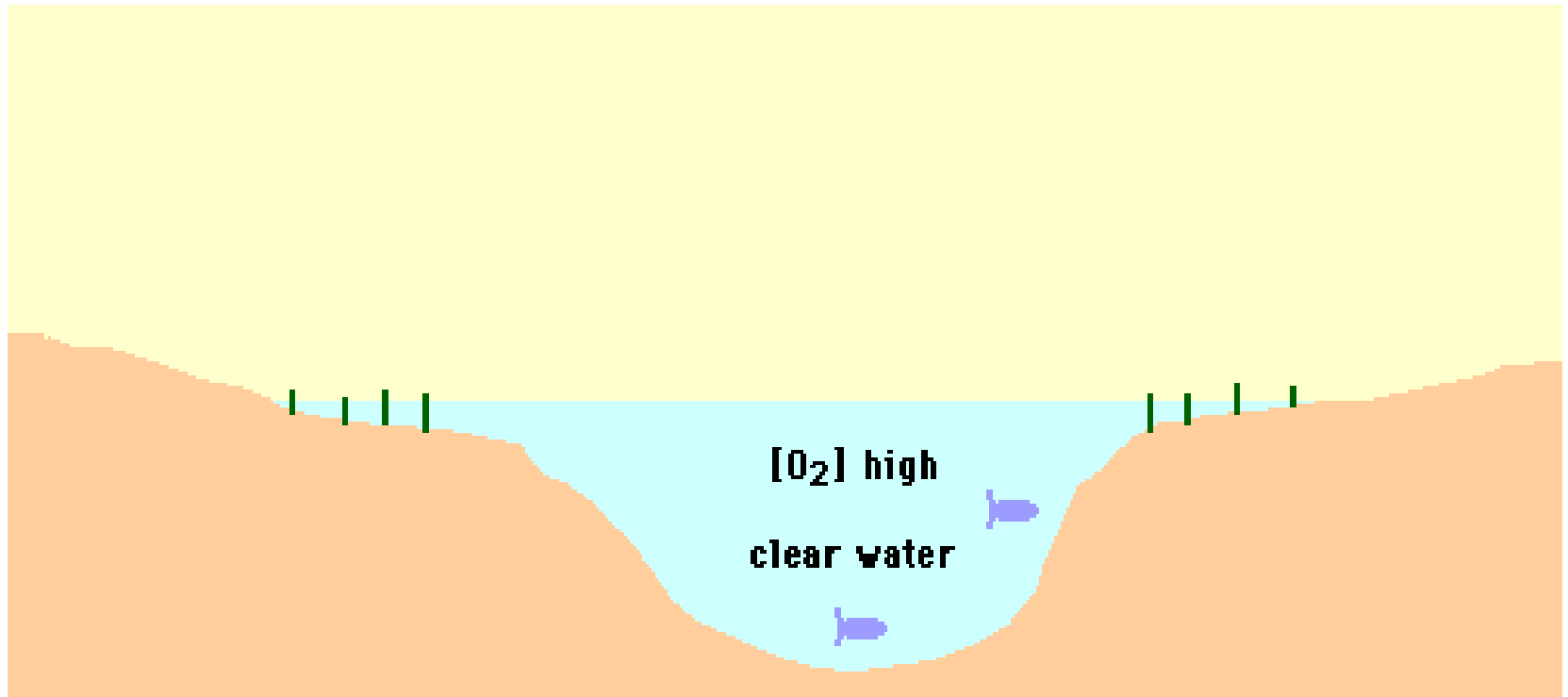
- ❖ την εμφάνιση **μαζικών θανάτων ψαριών** από ασφυξία,
- ❖ την **απώλεια της υποθαλάσσιας βλάστησης,**
- ❖ την **απελευθέρωση στα νερά παθογόνων μικρο-οργανισμών** και τοξινών, και
- ❖ την δημιουργία **συχνών έως μόνιμων τοξικών 'εκρήξεων' άλγης** (HABs, Harmful Algal Blooms).

Πηγές Θρεπτικών Αλάτων

- Σημειακές πηγές
 - Εκροές συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων
 - Εκροές συστημάτων συλλογής ομβρίων
 - Βιομηχανικές εκροές
- Μη-σημειακές πηγές
 - Ατμοσφαιρική κατακρήμνιση
 - Αγροτική απορροή (λιπάσματα, διάβρωση εδαφών)
 - Βόθροι

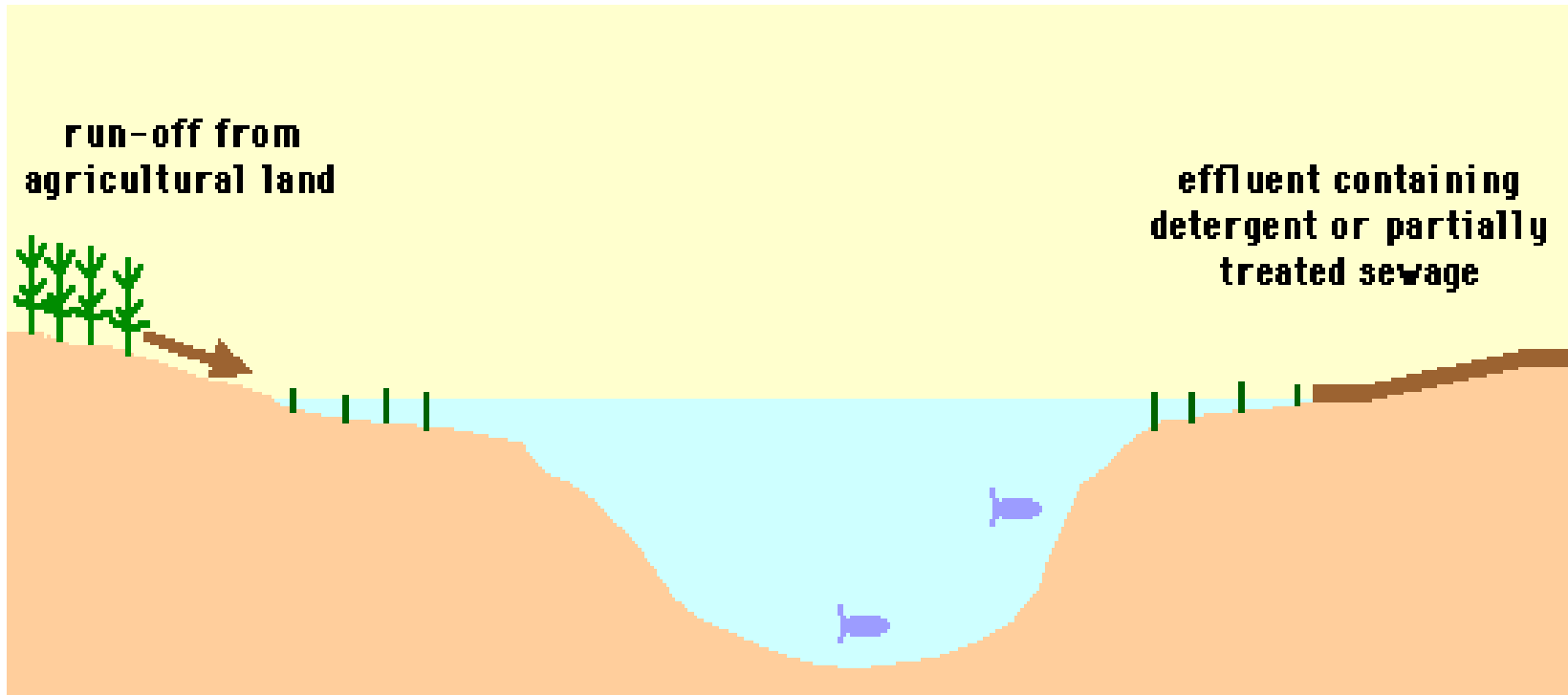
Ο Ευτροφισμός σε 8 Διαδοχικά Βήματα

Βήμα 1



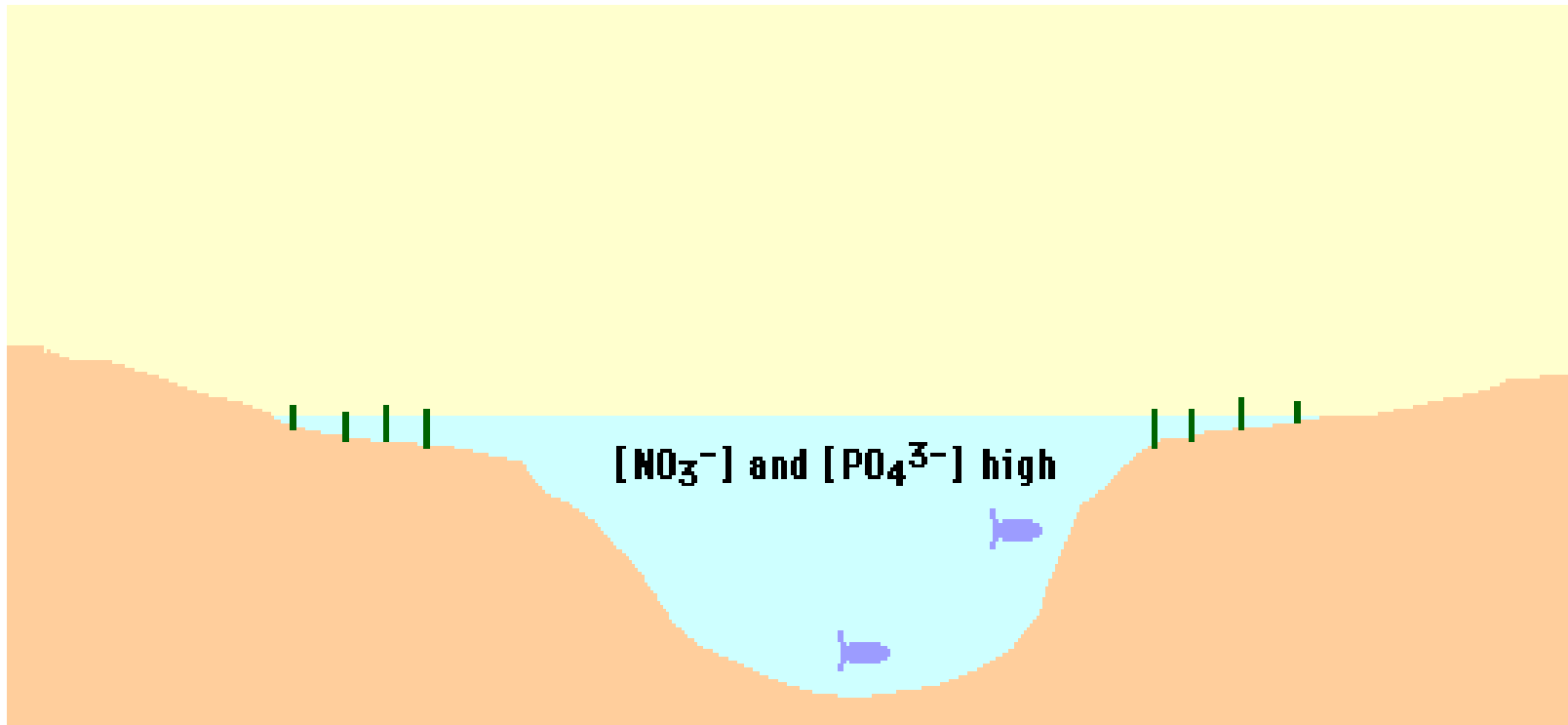
Ολιγοτροφικό Σύστημα με χαμηλά επίπεδα θρεπτικών αλάτων

Βήμα 2



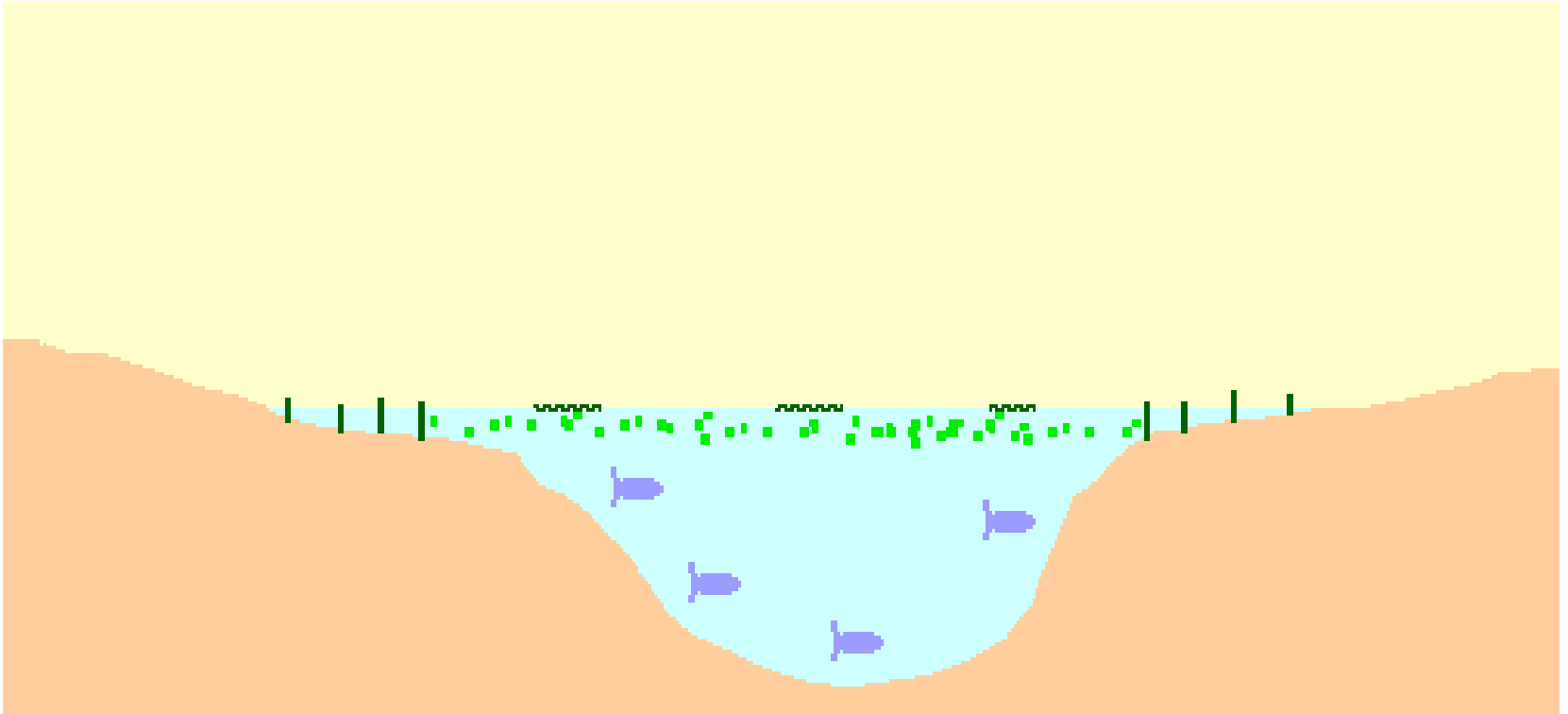
Φυσική και ανθρώπινη προσφορά θρεπτικών αλάτων (ενώσεων αζώτου, φωσφόρου και πυριτίου) από αγροτική απορροή (μη-σημειακή ρύπανση) και αγωγό δευτερογενούς επεξεργασίας λυμάτων (σημειακή ρύπανση).

Βήμα 3



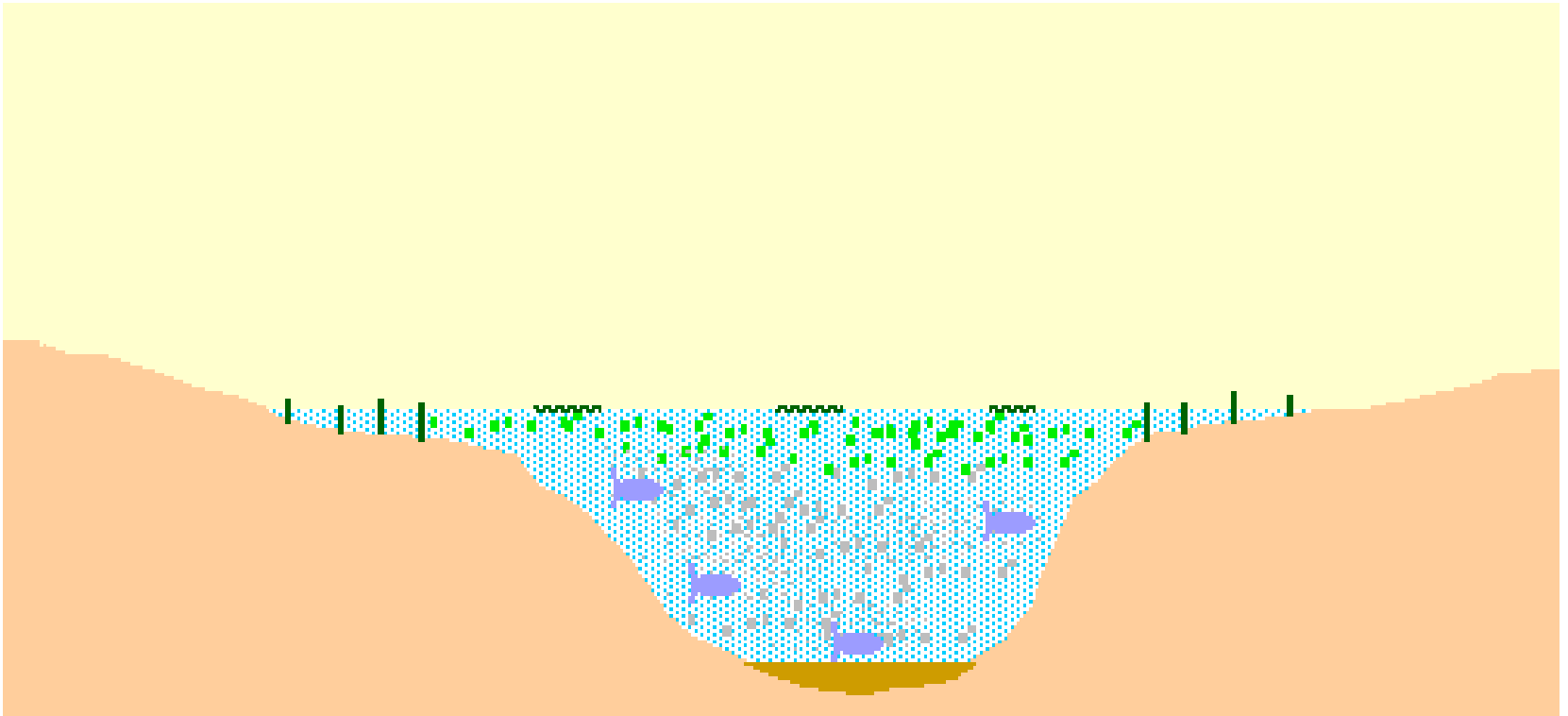
Σταδιακά το σύστημα γίνεται εύτροφο, με υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων.

Βήμα 4



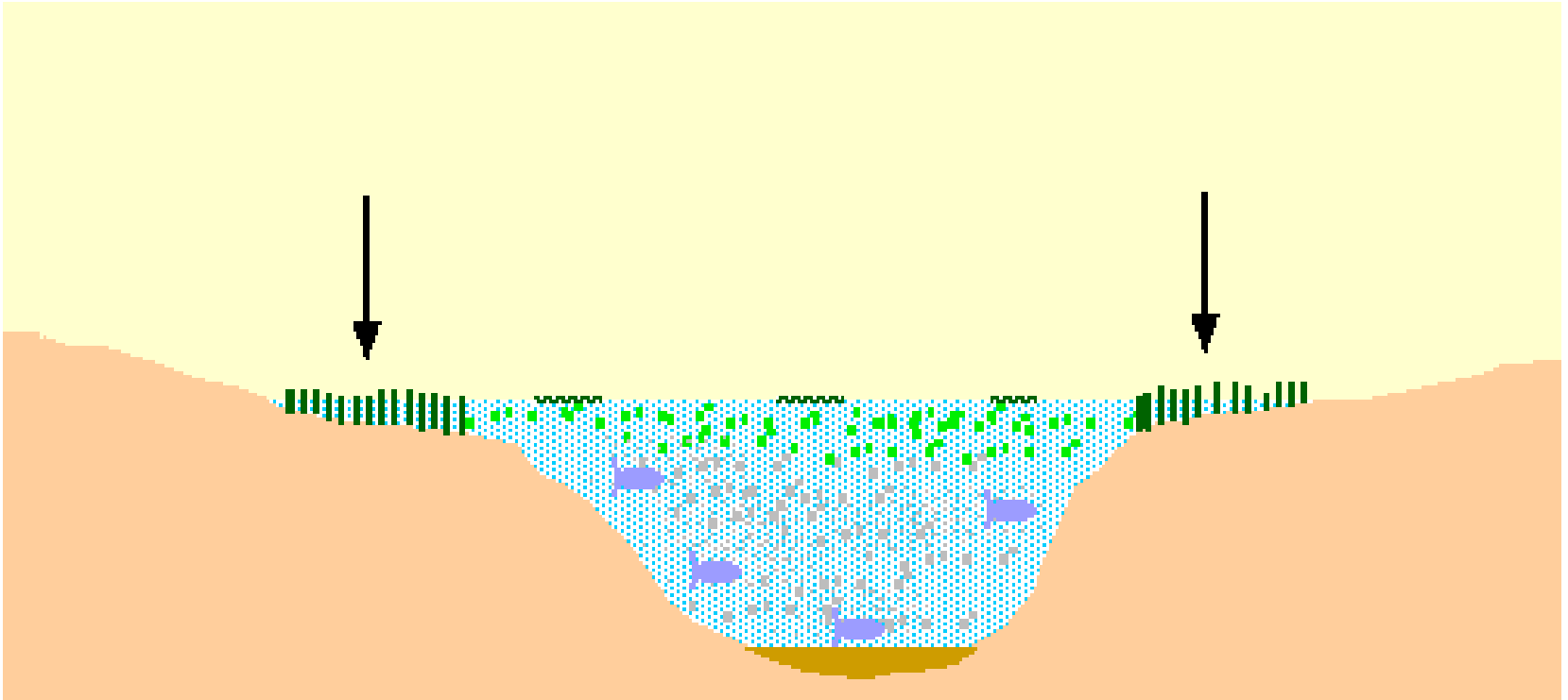
Απότομη αύξηση της βιομάζας της άλγης, με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου.

Βήμα 5



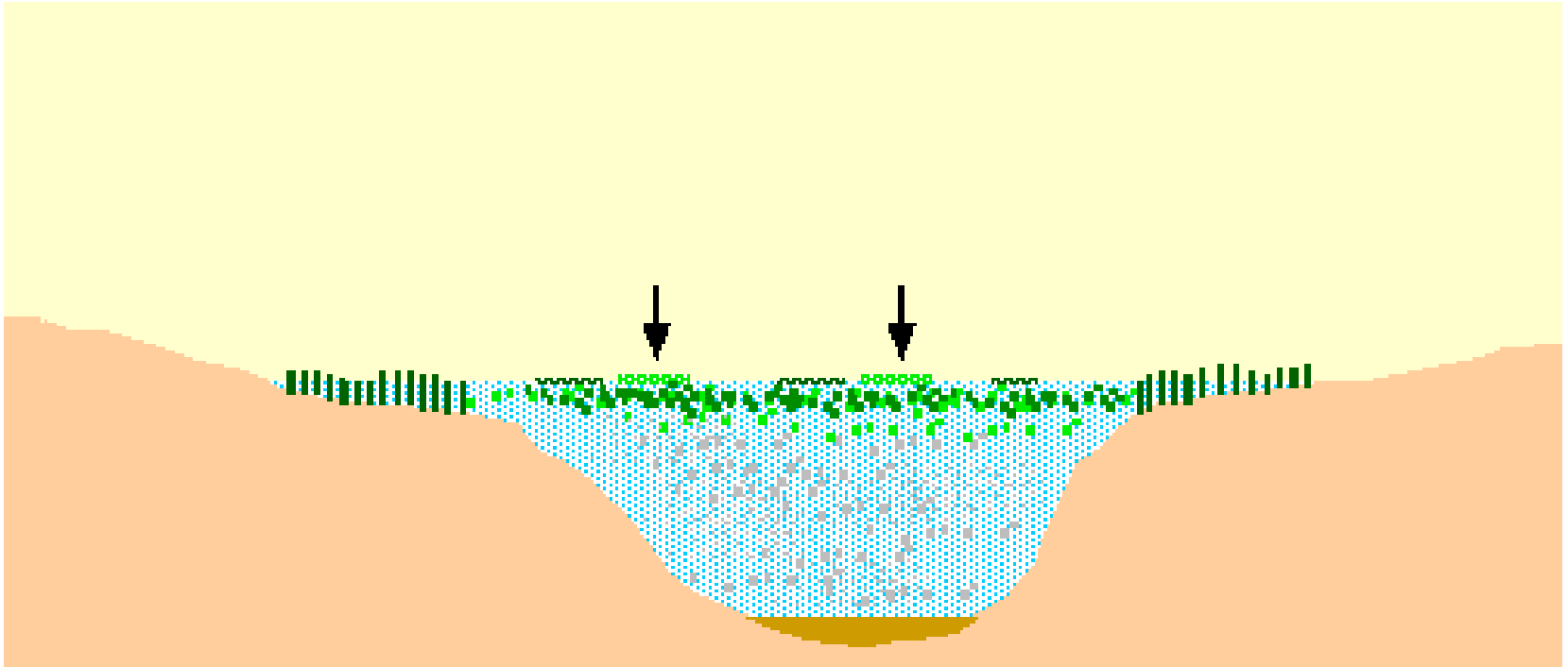
Η θολερότητα του νερού αυξάνει. Παράλληλα αυξάνει και ο ρυθμός ιζηματοποίησης.

Βήμα 6



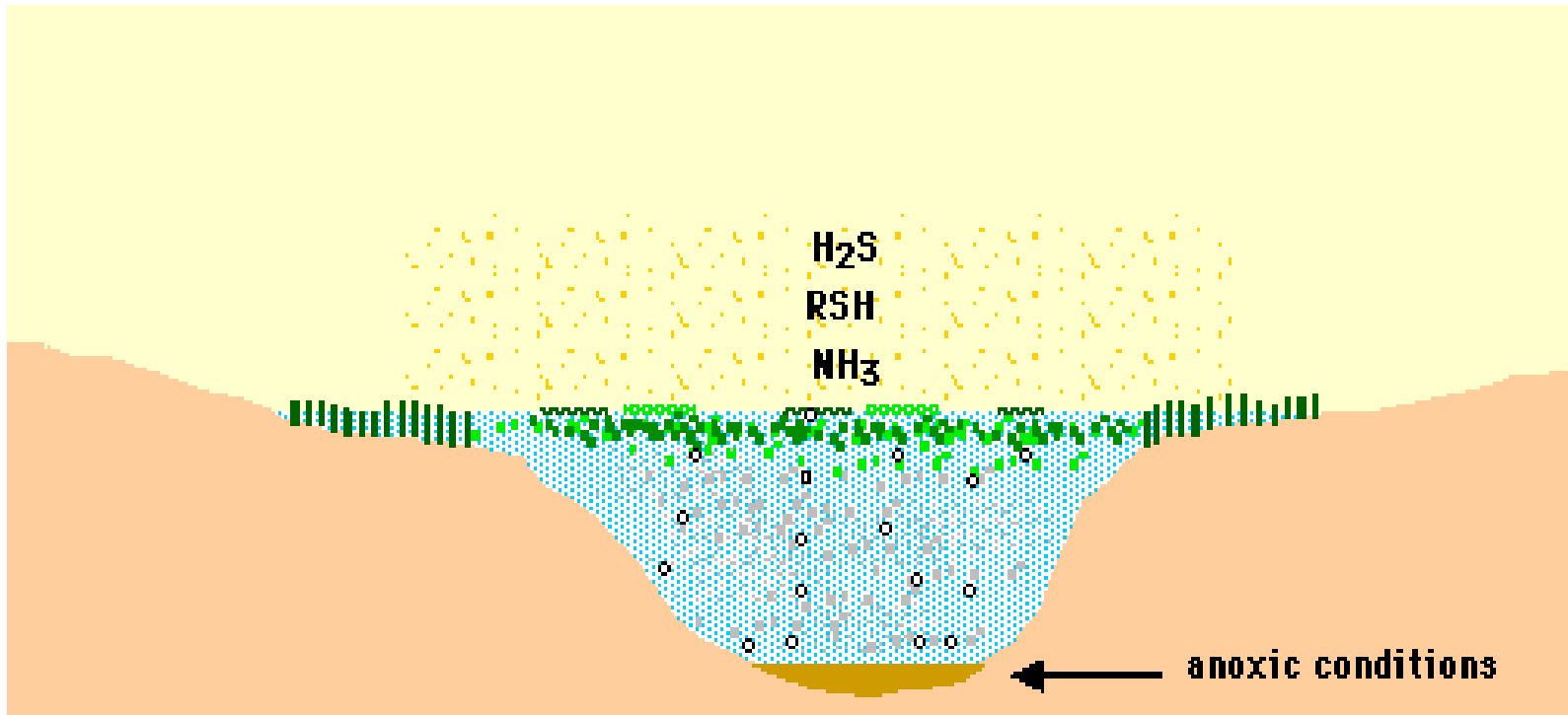
Αυξημένη ανάπτυξη βενθικής χλωρίδας στα ρηχά τμήματα του συστήματος.

Βήμα 7



Ανάπτυξη άλγης καθόλο το καλοκαίρι υπό συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας. Τα επίπεδα DO πέφτουν υπερβολικά κοντά στο πυθμένα και ειδικά τη νύχτα, όταν τα φυτά έχουν αυξημένο ρυθμό αναπνοής από ότι φωτοσύνθεσης.

Βήμα 8

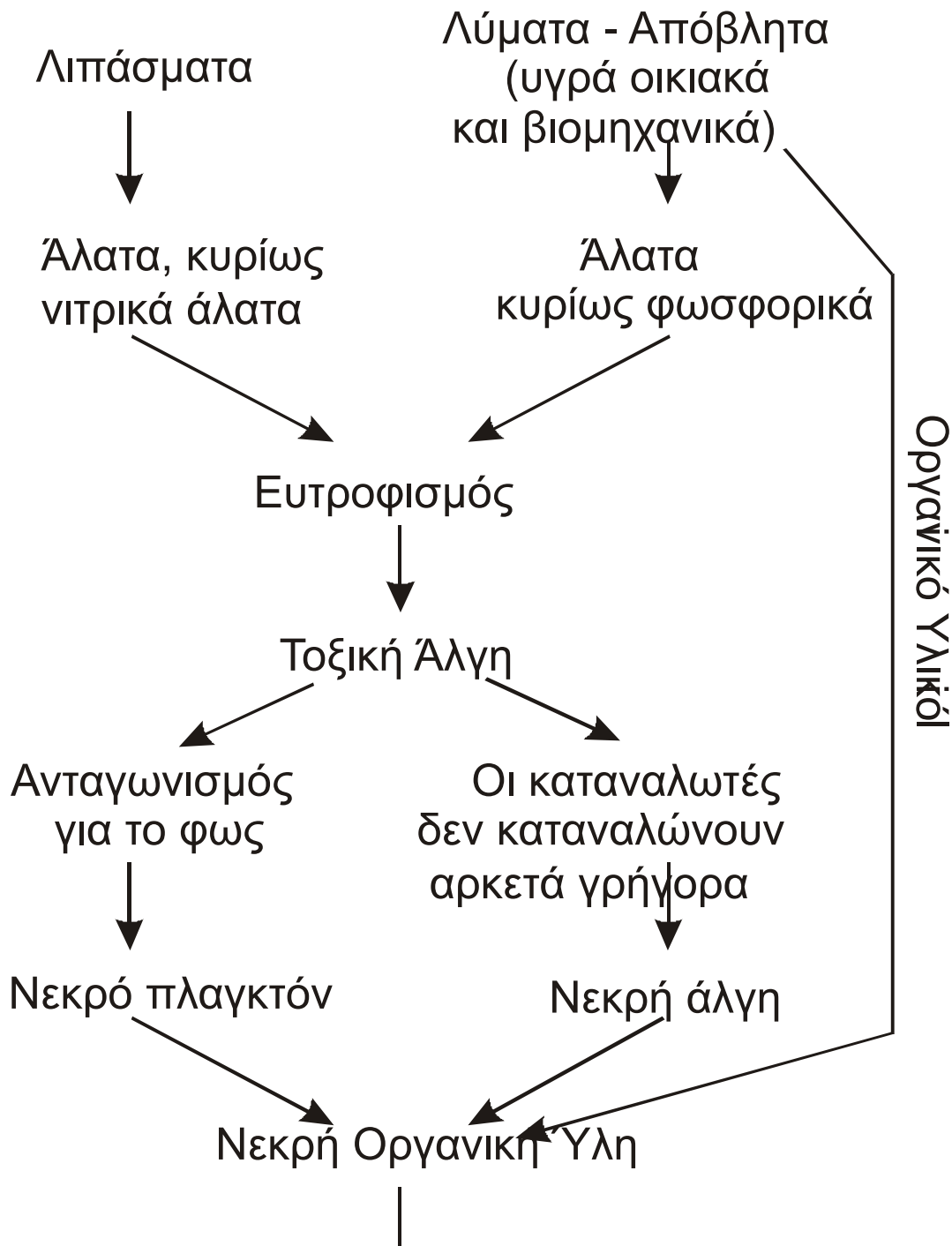


Εμφάνιση ανοξικών συνθηκών και απελευθέρωση επιβλαβών αερίων όπως το υδρόθειο, θειούχες αλκοόλες, μεθάνιο και η αμμωνία.

Ανακεφαλαίωση Επιπτώσεων Ευτροφισμού στο Παράκτιο Οικοσύστημα

- Παραγωγή τοξινών που μεταβάλλουν τη γεύση και την οσμή του νερού.
- Κατανάλωση και άρα μείωση διαλυμένου οξυγόνου.
- Μείωση της διείσδυσης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Αύξηση θνησιμότητας ψαριών και άλλων υδρόβιων οργανισμών.
- Απελευθέρωση σιδήρου, μαγνησίου, αμμωνίας και φωσφόρου από το ίζημα προς την υδάτινη στήλη.
- Παραγωγή μεθανίου και υδροθείου

Η διεργασία του Ευτροφισμού



Η διεργασία του Ευτροφισμού

(increased BOD)
Νεκρή οργανική ύλη
aerobes die anaerobic bacteria
(vegetables, live Release
detrit) Περισσότερα βακτήρια αποσύνθεσης

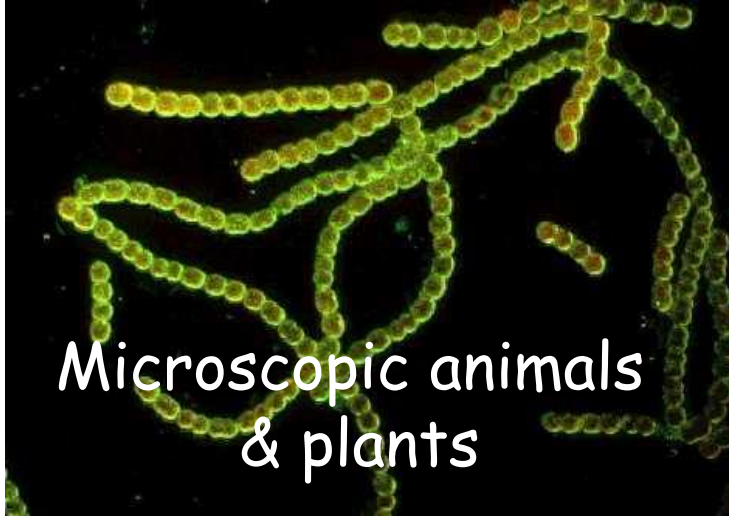
Κατανάλωση διαλ. Οξυγόνου μέσω
αερόβιας αναπνοής (αύξηση BOD)

Οι αερόβιοι οργανισμοί
πεθαίνουν (ασπόνδυλα,
φυτοβένθος, ψάρια, κλπ.)

Τα αναερόβια βακτήρια
αναπτύσσονται και
ελευθερώνουν μεθάνιο,
αμμωνία και υδρόθειο

Biochemical Oxygen Demand (BOD).

Μετρά το ρυθμό κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε ένα δείγμα νερού, οπότε μας δίνει μία καλή ένδειξη ευτροφισμού. Υψηλό BOD σημαίνει υψηλή συγκέντρωση οργανικού υλικού και αερόβιων μικροβίων, δηλ. ευτροφισμού.



Υπερβολική φόρτιση θρεπτικών + φως + υψηλός χρόνος παραμονής: Ευτροφισμός

Το άζωτο είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη φωτοσύνθεση, όμως η υπερβολική παρουσία του προκαλεί ευτροφισμό. Η κύρια πηγή αζώτου που φθάνει τις παράκτιες περιοχές είναι τα λιπάσματα των γεωργικών καλλιεργειών.

Το πρόβλημα γίνεται όλο και πιο έντονο. Υπολογίζεται ότι το έτος 2050 το παγκόσμιο φορτίο αζώτου στις παράκτιες περιοχές θα είναι διπλάσιο αυτό του έτους 1990.

Οι επιπτώσεις της αύξησης των φορτίων αζώτου εξαρτώνται από το επίπεδο ευτροφισμού καθώς και από το ρυθμό ανανέωσης του παράκτιου συστήματος. Έτσι, ο ευτροφισμός και οι συνέπειές του είναι πιο έντονες σε ημίκλειστες περιοχές με αργή ανανέωση νερού.

2) Τοξικά μικρο-φύκη (HAB= *harmful algae bloom*)

Μεταβολές του λόγου N:P:Si προκαλούν μεταβολές στη σύνθεση των ειδών πλαγκτόν σε μία περιοχή.

Υψηλά φορτία N και P μπορεί να οδηγήσουν στην ολική κατανάλωση πυριτικών αλάτων κατά τη διάρκεια επεισοδίων ευτροφισμού, με αποτέλεσμα την αλλαγή της αλληλουχίας των ειδών φυτοπλαγκτόν κατά την υπόλοιπη παραγωγική περίοδο.

Παρόμοια, χαμηλές ποτάμιες παροχές δημιουργούν ένα περιβάλλον χαμηλών λόγων Si:N και N:P λόγω της διαφορετικής διαθεσιμότητά τους, οπότε αυτό ευνοεί την επικράτηση ειδών όπως τα κυανοβακτήρια και άλλων τοξικών ειδών πλαγκτόν τα οποία παράγουν τοξικές τοξίνες.

Προκύπτει επομένως ότι η φόρτιση των παράκτιων υδατικών συστημάτων με υπερβολικές ποσότητες θρεπτικών αλάτων προκαλεί σημαντικές μεταβολές στη ποιότητα του παράκτιου περιβάλλοντος, όπως:

α) η εμφάνιση τοξικής άλγης,

β) η ανάπτυξη μακροάλγης,

γ) η μείωση της βλάστησης στο πυθμένα, λόγω σκίασης από την αύξηση της επιφανειακής θολερότητας,

δ) η εμφάνιση υποξικών και ανοξικών συνθηκών, λόγω της αποσύνθεσης της συσσωρευόμενης βιομάζας, και

ε) μεταβολές στη δομή των βενθικών κοινωσιών (κοινωσιών πυθμένα), λόγω της μείωσης της συγκέντρωσης οξυγόνου στο πυθμένα ή την παρουσία ειδών τοξικού φυτοπλαγκτού.

Για να κατανοήσουμε τη τροφική κατάσταση των παράκτιων υδατικών σωμάτων τα εντάσσουμε σε κατηγορίες οι οποίες δηλώνουν τη συχνότητα εμφάνισης και την ένταση των ευτροφικών φαινομένων.

Έτσι έχουμε:

- ❖ Υπερ-Ολιγοτροφικά ΠΥΣ (Ultra-oligotrophic)
- ❖ Ολιγοτροφικά ΠΥΣ (Oligotrophic)
- ❖ Μεσοτροφικά ΠΥΣ (Mesotrophic)
- ❖ Ευτροφικά ΠΥΣ (Eutrophic)
- ❖ Υπερτροφικά ΠΥΣ (Hyper-eutrophic, overnourished)

Σύστημα Ταξινόμησης ΟΟΣΑ

| Παράμετρος | Τροφική Κατάσταση | | | | |
|----------------------------|-------------------|--------------|-------------|-----------|-------------|
| | Υπερ-Ολιγοτροφικά | Ολιγοτροφικά | Μεσοτροφικά | Ευτροφικά | Υπερτροφικά |
| Ολικός Φώσφορος, TP (μg/l) | <4 | <10 | 10-35 | 35-100 | >100 |
| Χλωροφύλλη, Chl-a (μg/l) | <1 | <2.5 | 2.5-8.0 | 8-25 | >25 |
| Secchi Depth, SD (m) | >12 | >6 | 3-6 | 3-1.5 | <1.5 |

Δείκτης TSI (Carlson, 1977)

Αναπτύχθηκε αρχικά για λιμναία συστήματα από τον Carlson (1977) .

Trophic State Index (TSI)

Ο TSI χρησιμοποιεί την βιομάζα της άλγης (φυτοπλαγκτόν) ως βάση για τη τροφική κατάταξη των συστημάτων, οπότε ο υπολογισμός του γίνεται με τη χρήση δύο ανεξάρτητων παραμέτρων: α) της συγκέντρωσης χλωροφύλλης (Chl-a), β) του ολικού φωσφόρου (TP) και γ) του βάθους διαφάνειας Secchi Depth.

$$TSI_{Chl-a} = 9.81 \ln(Chl - a) + 30.6$$

$$TSI_{TP} = 14.42 \ln(TP) + 4.15$$

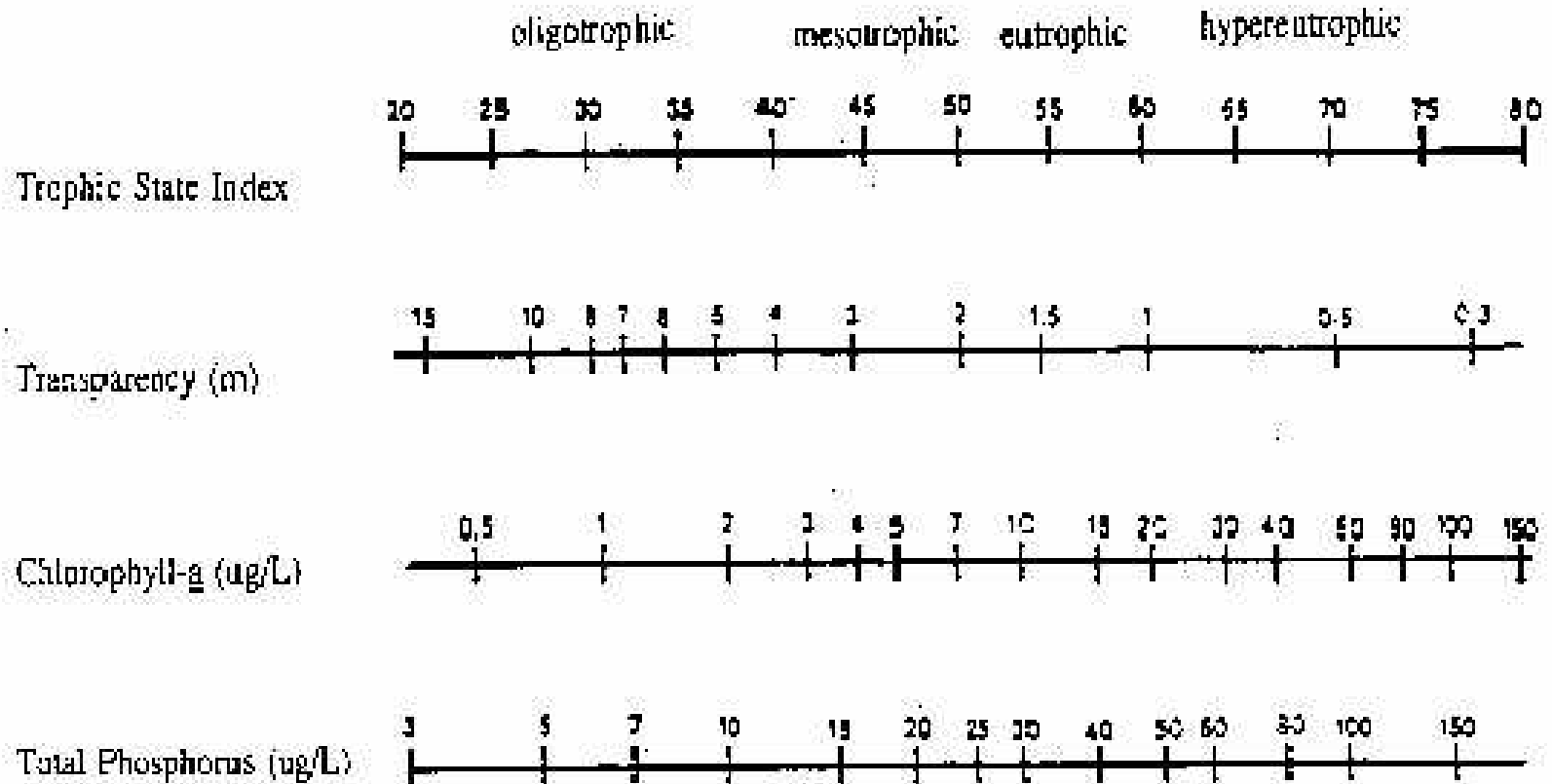
$$TSI_{SD} = 10 \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right)$$

$$\overline{TSI} = (TSI_{Chl-a} + TSI_{TP} + TSI_{SD}) / 3$$

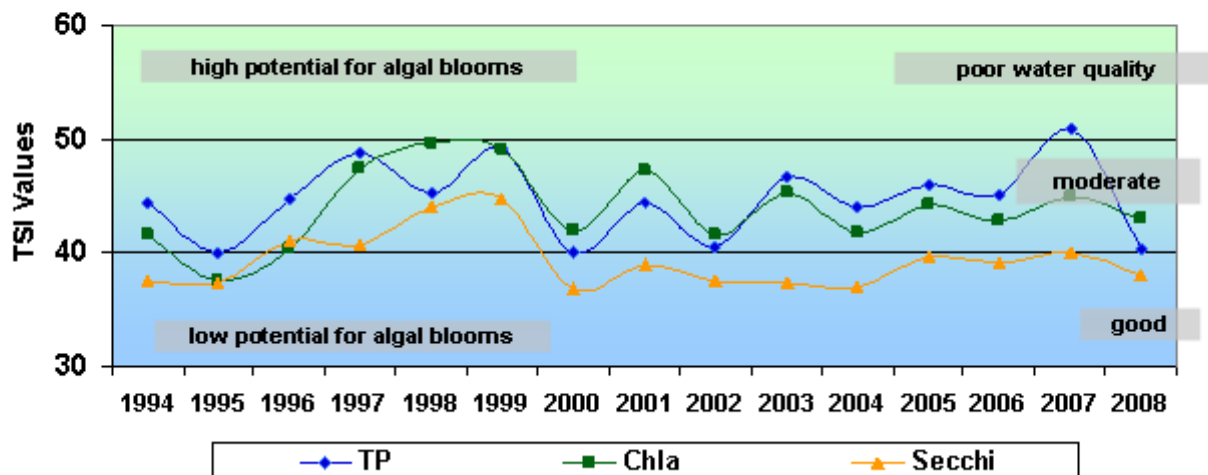
Οι τιμές του Δείκτη TSI κυμαίνονται από 0 έως 100, αν και θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτατο ή κατώτατο όριο. Κάθε αύξηση του TSI κατά 10 μονάδες αντιστοιχεί σε μείωση του βάθους διαύγειας του νερού στο μισό.

| Τροφική Κατάταξη | Chl-a (μg/l) | TP (μg/l) | SD (m) | TSI |
|------------------|--------------|-----------|-----------|---------|
| Ολιγοτροφική ή | 0-2.6 | 0-12 | >8-4 | <30-40 |
| Μεσοτροφική | 2.6-7.3 | 12-24 | 4-2 | 40-50 |
| Ευτροφική | 7.3-56 | 24-96 | 2-0.5 | 50-70 |
| Υπερτροφική | 55-155+ | 96-384+ | 0.5-<0.25 | 70-100+ |

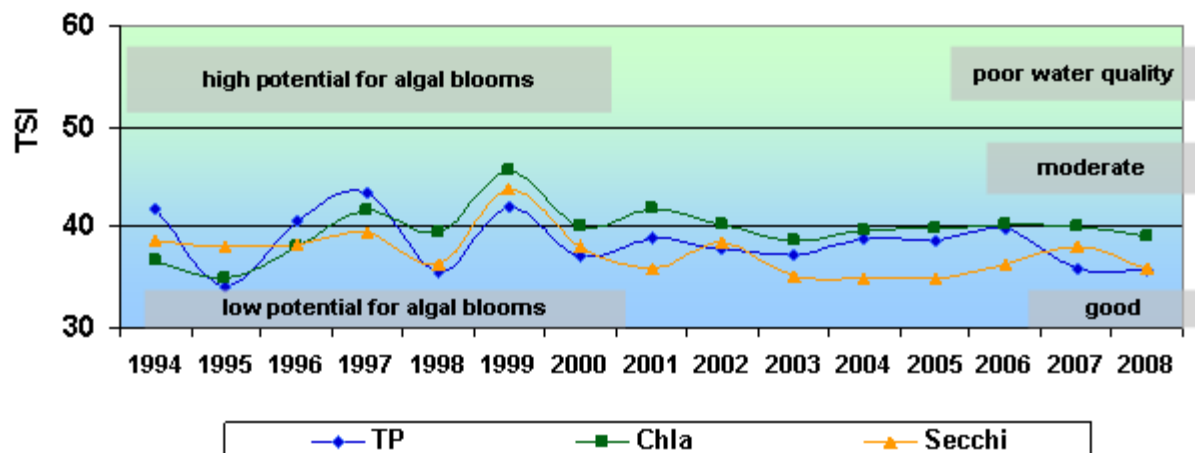
Carlson's Trophic State Index



Lake Union Summer (June-Sept) Trophic State Index



Lake Washington Summer (June-Sept) Trophic State Index



Εφαρμογή δείκτη TSI σε Λίμνες

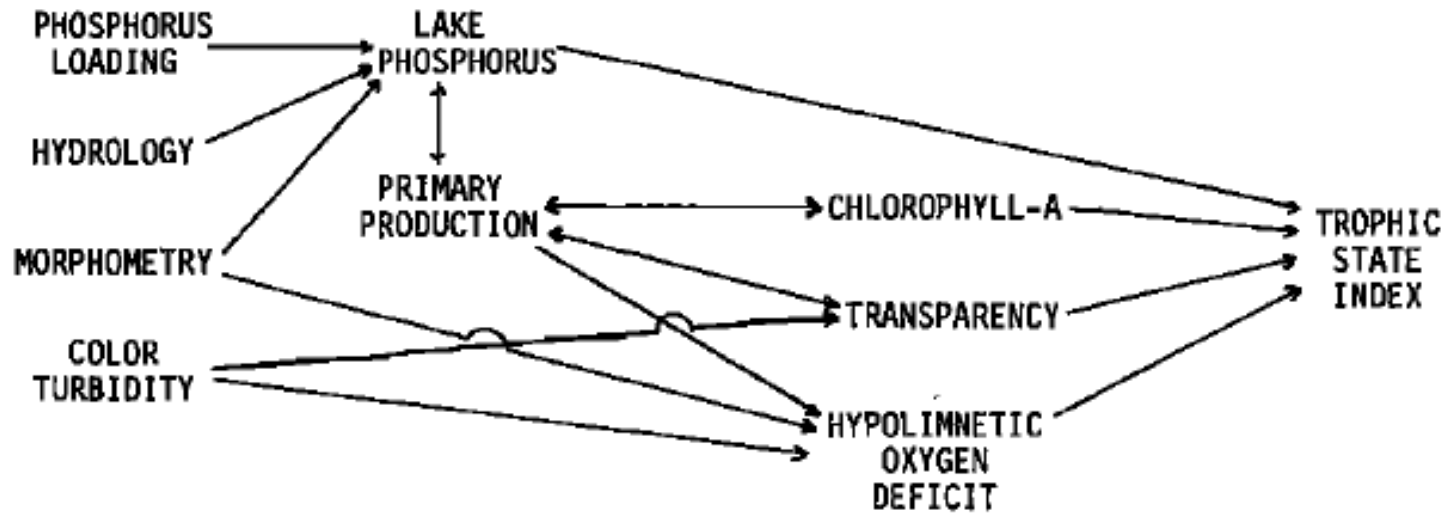


Fig. 1. Assumed causal pathways in the development of the trophic state index.

Ο τροποποιημένος δείκτης TSI για την χλωροφύλλη ορίζεται έτσι ώστε να λαμβάνει την τιμή 0 όταν η συγκέντρωση χλωροφύλλης στην λίμνη είναι ίση με $0,25 \text{ mg/m}^3$. Όταν η συγκέντρωση διπλασιάζεται, ο δείκτης αυξάνεται κατά 10 μονάδες. Η εξίσωση που μας δίνει την τιμή του TSI δείκτη για την χλωροφύλλη είναι:

$$I_B = 20.0 + 33.2 \log_{10} Chl - a$$

Όπου I_B είναι ο δείκτης TSI για χλωροφύλλη και $Chl-a$ η συγκέντρωση χλωροφύλλης στην λίμνη (mg/m^3).

Με τον ίδιο τρόπο, ο τροποποιημένος δείκτης TSI για τον φώσφορο γίνεται:

$$I_P = -15.6 + 46.1 \log_{10} P$$

Όπου I_P είναι ο δείκτης TSI για φώσφορο και P η συγκέντρωση φωσφόρου στην λίμνη (mg/m^3).

Τέλος, ο τροποποιημένος δείκτης TSI για την θολερότητα γίνεται:

$$I_T = 75.3 + 44.8(1 / Z_S - \alpha)$$

Όπου I_T είναι ο δείκτης TSI για την θολερότητα, Z_S είναι το βάθος Secchi (m), και α είναι ο όρος της επίδρασης του ανόργανου υλικού στην θολερότητα (m^{-1}) ($\alpha \sim 0.04$).

Τελικά

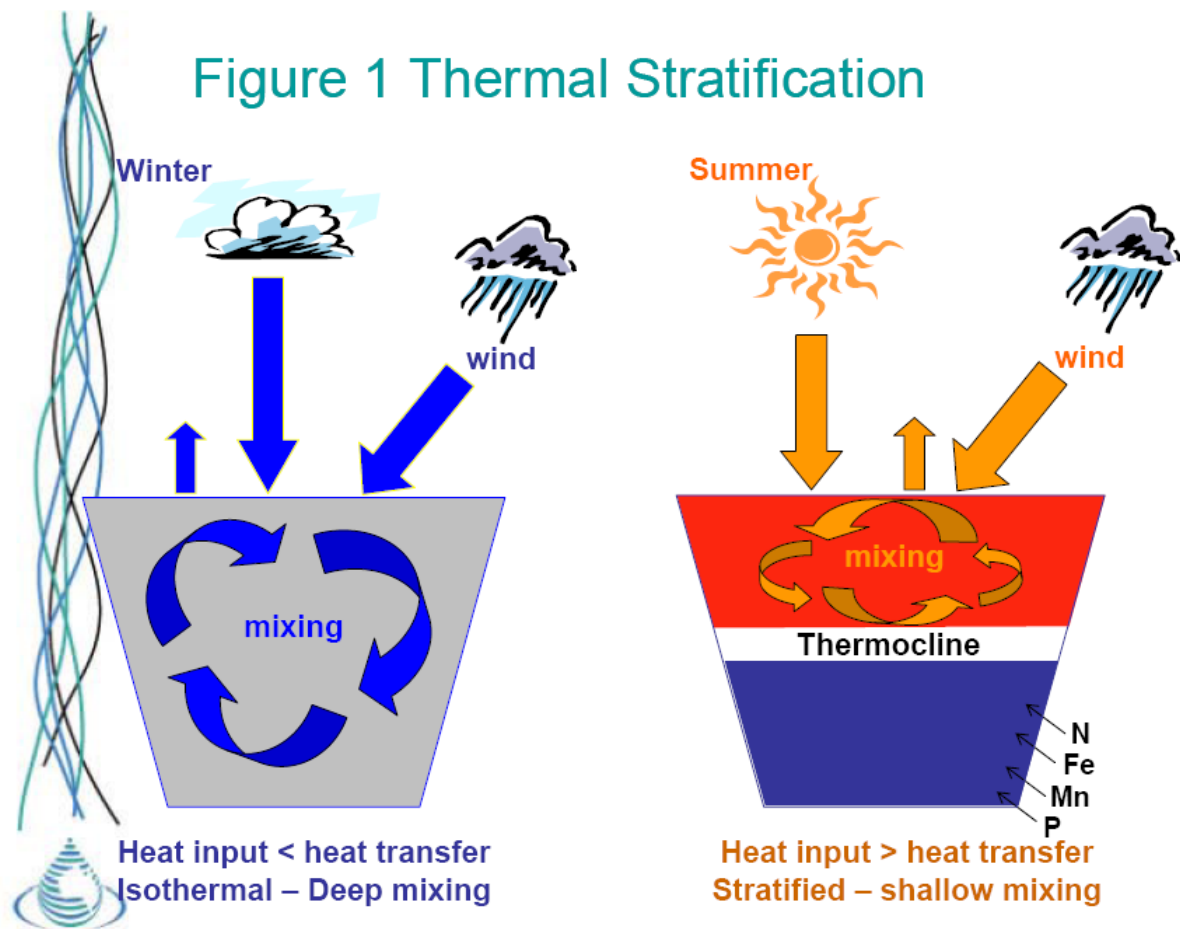
$$I = \frac{(I_B + I_P + I_T)}{3}$$

Ρυθμός κατανάλωσης υπολιμνιακού διαλ. Οξυγόνου (σε g/m^2d) :

$$\log_{10}(\Delta HOD) = -1.06 + 0.016I$$

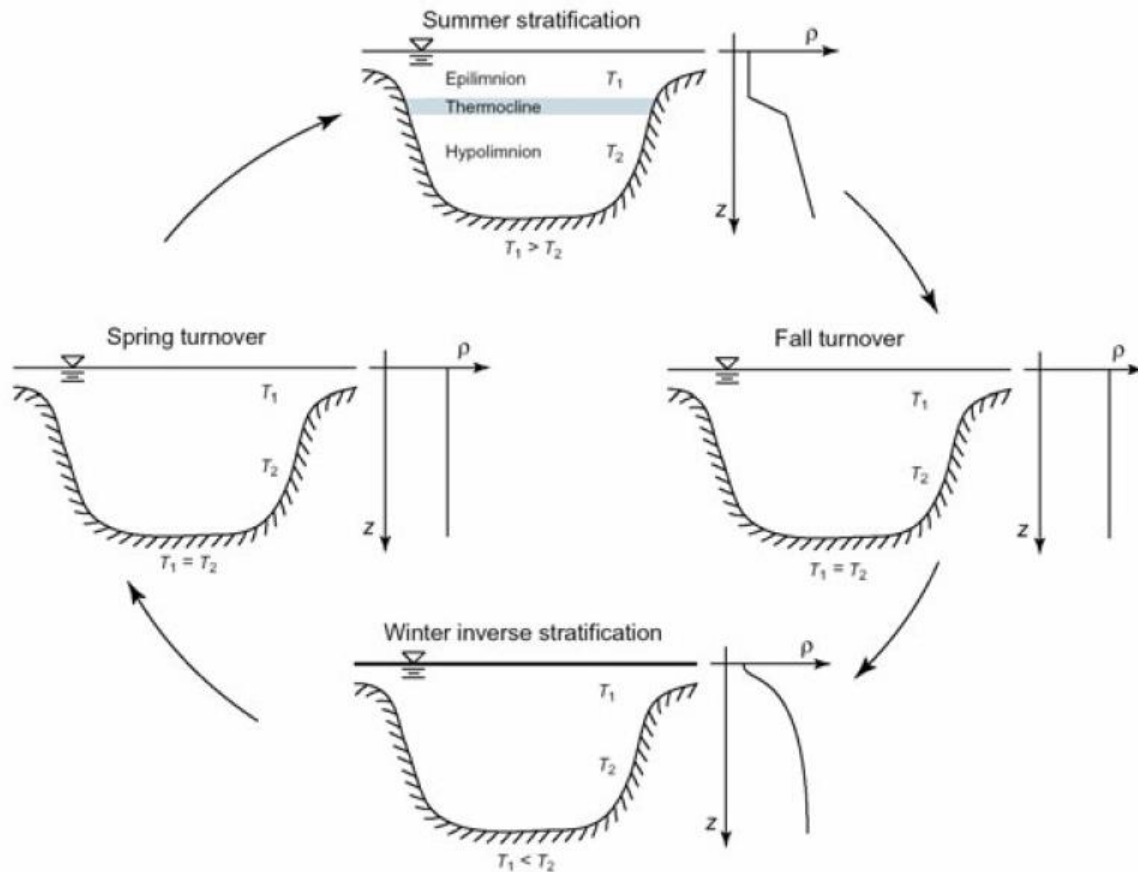
Ομοίως, ο Ρυθμός κατανάλωσης υπολιμνιακού διαλ. Οξυγόνου (σε g/m²d) σχετίζεται με το βάθος Secchi:

$$\log_{10} (\Delta HOD) = 0.35 - 1.35 \log_{10} Z_S$$

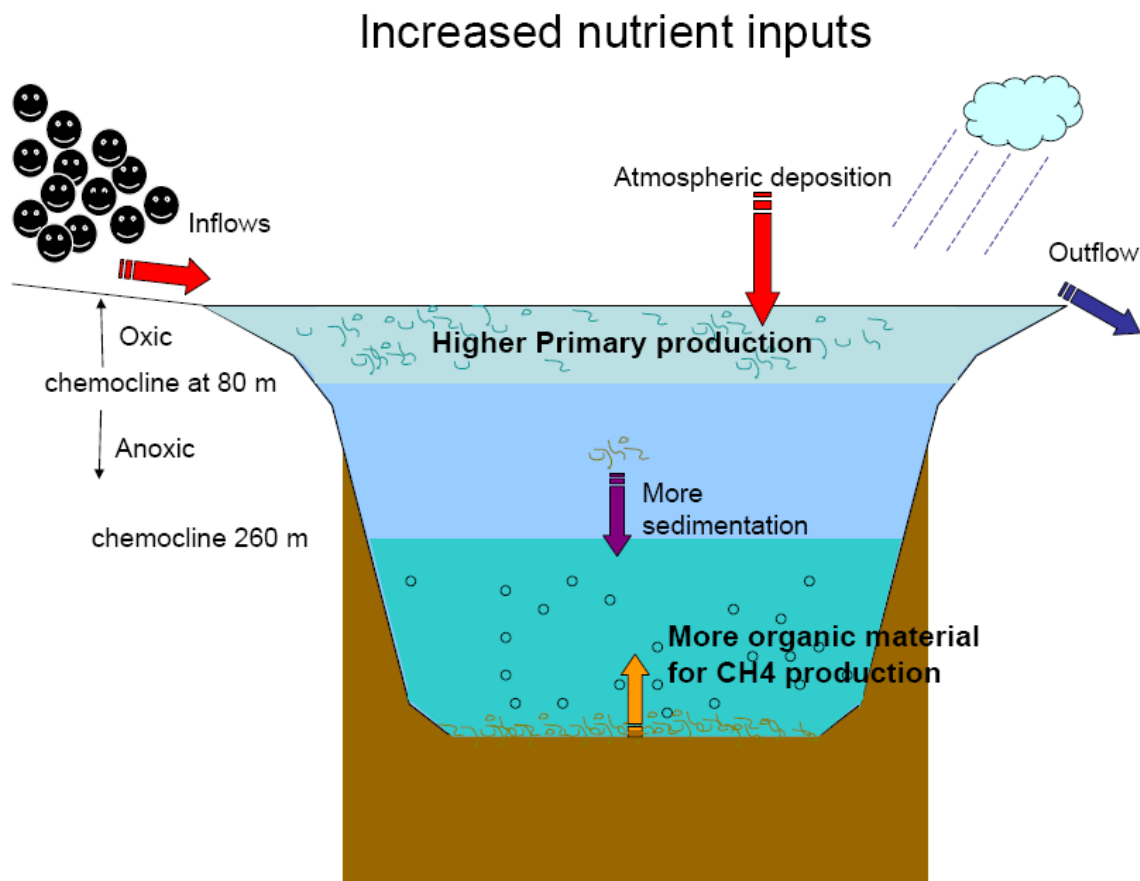


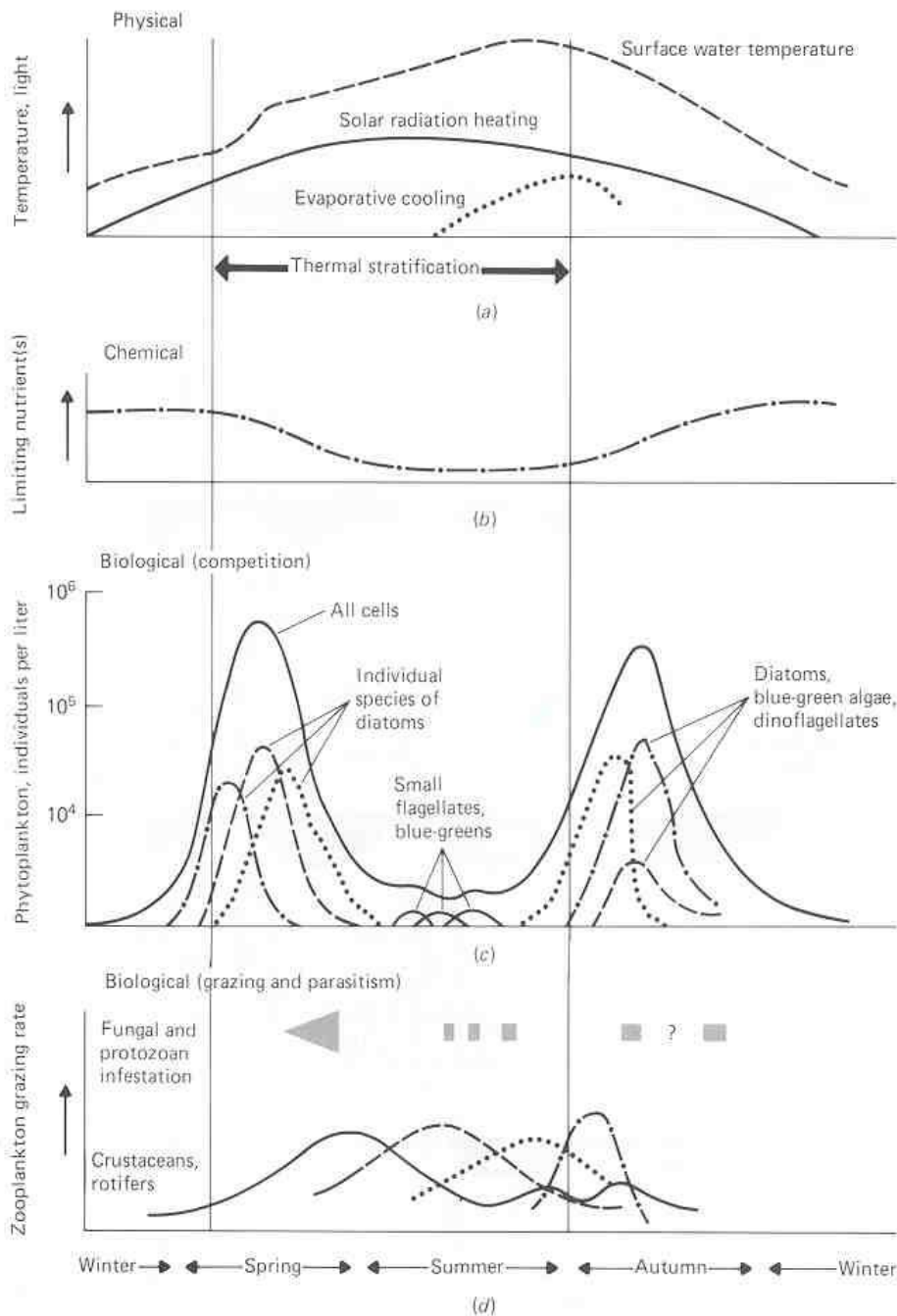
Γενικά, τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από πολύ **υψηλή πρωτογενή παραγωγικότητα (primary production)** δηλ. υψηλή παραγωγή οργανικής ύλης ανά μονάδα όγκου νερού. Η υψηλή αυτή παραγωγή της οργανικής ύλης λαμβάνει χώρα στην **εύφωτη ζώνη της λίμνης**, δηλ. στο ανώτερο στρώμα της στο οποίο η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ίση με το 1% της προσπίπτουσας στην επιφάνεια ηλιακή ακτινοβολία. Η περιοχή αυτή της λίμνης καλείται **τροφογεννετική ζώνη**, στην οποία η συγκέντρωση οργανικού υλικού είναι πολύ υψηλή λόγω επιτόπιας παραγωγής (**αυτόχθονες οργανικές ουσίες**) αλλά και λόγω μεταφοράς μέσω των χειμάρρων και ποταμών από την ευρύτερη λεκάνη απορροής της λίμνης (**αλλόχθονες οργανικές ουσίες**). Η παραγωγή φυτοπλαγκτόν στο επιφανειακό στρώμα της λίμνης συνοδεύεται από τη παραγωγή ζωοπλαγκτόν το αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα, και καθώς τα περισσότερα φυτικά είδη διαβιούν για περίπου 3 – 4 εβδομάδες, μετατρέπονται σε νεκρή οργανική ύλη η οποία αποικοδομείται, προσροφάται στο αιωρούμενο υλικό και καθιζάνει προς το πυθμιαίο στρώμα της λίμνης (**τροφολυτική ζώνη**).

Η θερινή στρωματοποίηση ενεργεί ως ένα εμπόδιο για τη κατακόρυφη ανάμειξη και τη μεταφορά διαλυμένου οξυγόνου και άλλων διαλυμένων αερίων και βιοχημικών συστατικών από την επιφάνεια προς το πυθμένα. Αποτέλεσμα της στρωματοποίησης της υδάτινης στήλης και της μεταφοράς νεκρής οργανικής ύλης από το επιλίμνιο προς το υπολίμνιο, είναι η εμφάνιση συχνών γεγονότων ανοξικών συνθηκών στο πυθμένα του ταμιευτήρα.



Η αποικοδόμηση της νεκρής οργανικής ύλης στο πυθμένα του ταμειωτήρα οδηγούν στην έκλυση θρεπτικών αλάτων (αμμωνιακά άλατα, οργανικό άζωτο και οργανικός φώσφορος) από τα ιζήματα προς το υπερκείμενο υπολίμνιο. Η επικράτηση αναεροβικών συνθηκών στο υπολίμνιο οδηγεί στη συχνή έκλυση υδροθείου και προκαλεί τη διαλυτοποίηση του σιδήρου και του μαγγανίου των ιζημάτων προς την υδάτινη στήλη.



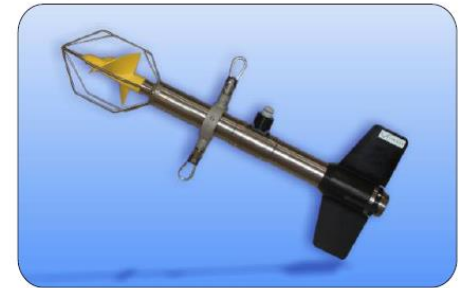


Κατά την φθινοπωρινή περίοδο μείξης, η ανοδική κίνηση του φωσφόρου προς την ευφωτική ζώνη μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη άλγης παράγοντας διαλυμένο οξυγόνο στην επιφάνεια.

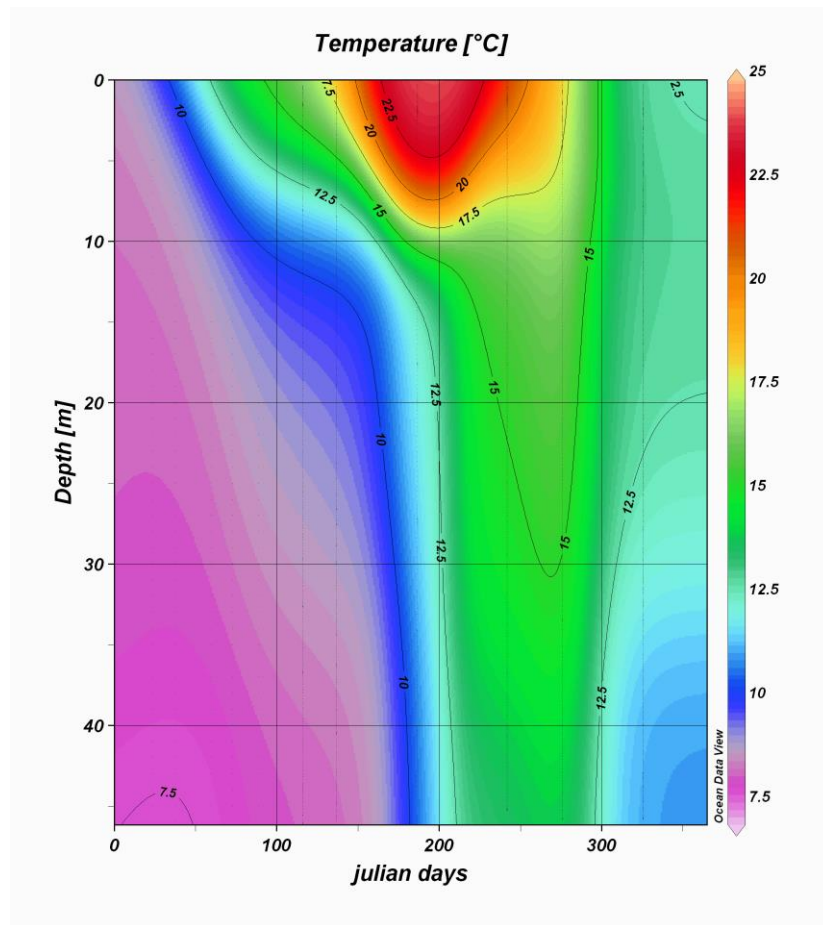
Προκύπτει λοιπόν ότι η τροφική κατάσταση αυτών των υδάτινων σωμάτων βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση με τις συνθήκες θερμικής στρωματοποίησης – μείξης, καθώς ελέγχει τη παραγωγή υδρόβιων οργανισμών, καθώς και την ανακατανομή των διαλυμένων και αιωρούμενων συστατικών του νερού.

Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης

Δειγματοληψία σε ένα σταθμό (Γέφυρα Πλατανόβρυσης),κάθε 20 ημέρες κατά τη διάρκεια του έτους 2007, με στόχο να προκύψουν προφίλ ρευμάτων ροής, θερμοκρασίας, αγωγιμότητας, διαλυμένου οξυγόνου, φωσφορικών, ολικού φωσφόρου, αμμωνιακών, νιτρικών, νιτρωδών, ΤΚΝ και χλωροφύλλης-α.

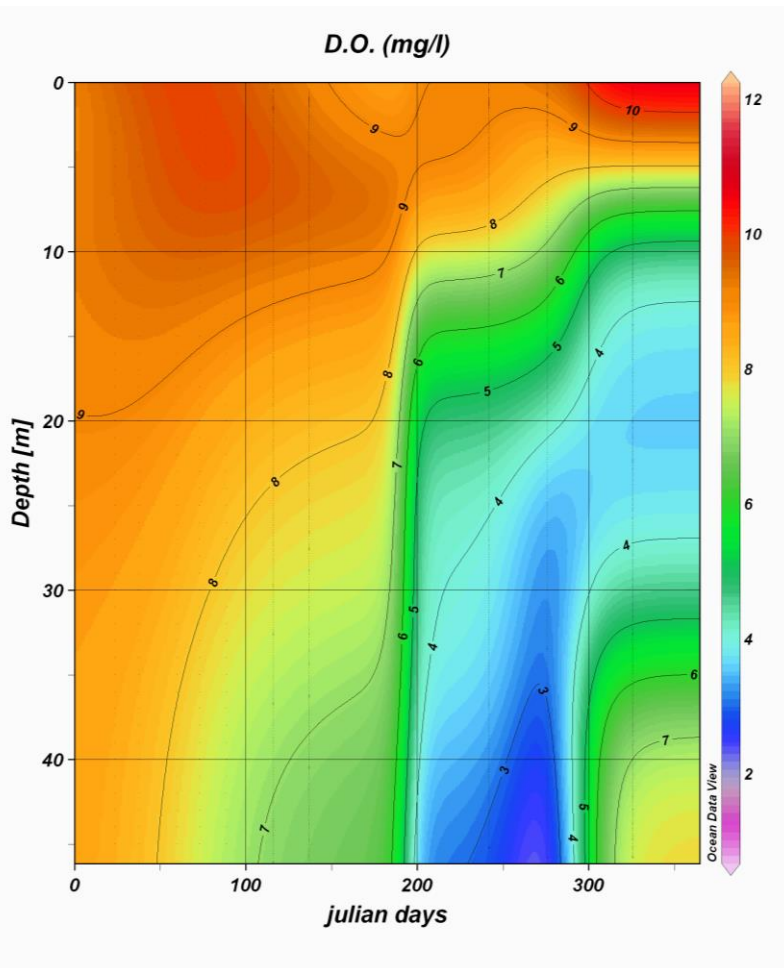


Αποτελέσματα – Θερμοκρασία Νερού



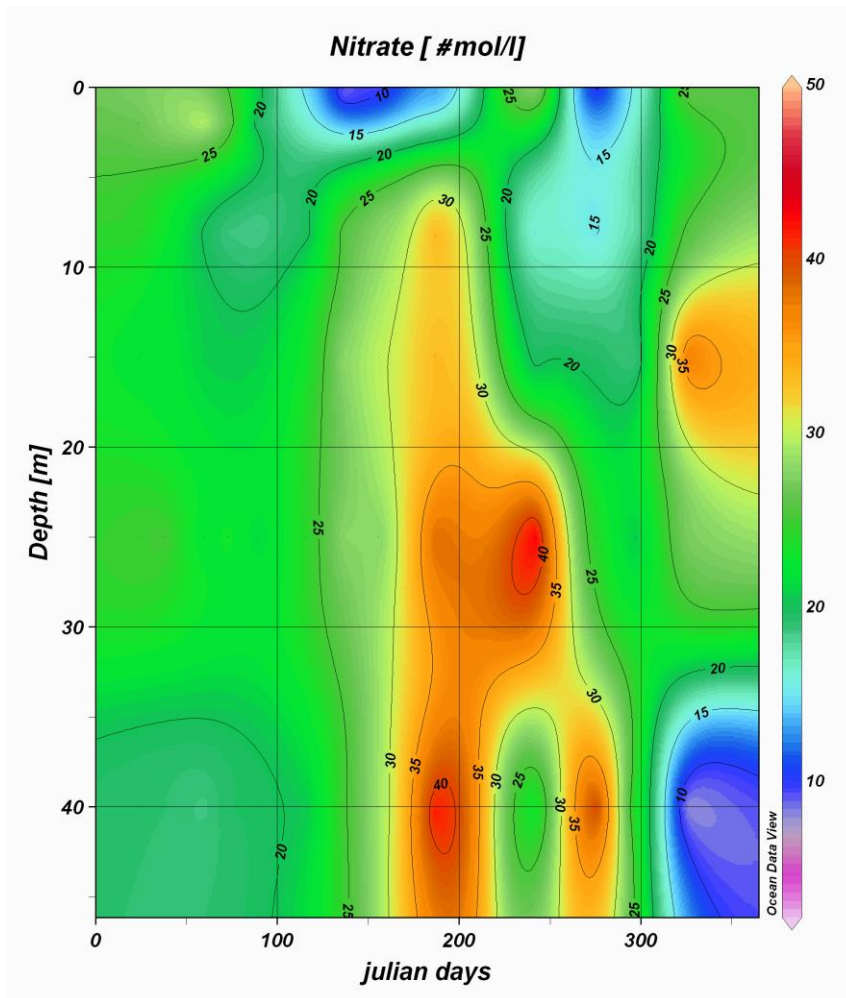
- Κατά το χειμώνα, επικράτησαν συνθήκες πλήρους μείξης ($6-8^{\circ}\text{C}$)
- Μία θερμοκρασιακή διαφορά 2°C με την επιφάνεια της στήλης να είναι ψυχρότερη από το πυθμένα εμφανίζεται το χειμώνα λόγω θερμοκρασιακής αναστροφής υπό συνθήκες διέλευσης πολύ ψυχρών αερίων μαζών,
- Κατά την άνοιξη (Ημέρα 100, Απρίλιος) η υδάτινη στήλη ξεκινά να στρωματοποιείται και να αναπτύσσεται το θερμοκλινές,
- Το καλοκαίρι (Ημέρα 200, Ιούλιος), μία θερμοβαθμίδα 18°C παρατηρήθηκε μεταξύ του επιλιμνίου ($T=30^{\circ}\text{C}$) και του υπολιμνίου ($T=12.5^{\circ}\text{C}$).
- Το φθινόπωρο το θερμοκλινές περιορίζεται και η στήλη ξεκινά να ομογενοποιείται (επιφάνεια 12.5°C και πυθμένας 11°C)

Αποτελέσματα – Διαλυμένο Οξυγόνο



- Κατά τη περίοδο πλήρους μείξης του χειμώνα έχουμε αυξημένα επίπεδα διαλυμένου Οξυγόνου (10-12 mg/l) σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη.
- Την άνοιξη και το καλοκαίρι, τα επίπεδα DO τείνουν να πέσουν από την επιφάνεια (DO=9 mg/l), προς ολόκληρη την υδάτινη στήλη έως τα 4 mg/l στο θερμοκλινές και τα 3 mg/l στο πυθμένα του ταμιευτήρα
- Τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου (3-4 mg/l) παραμένουν σταθερά στο υπολίμνιο καθόλη τη θερινή περίοδο (Ιούλιος - Οκτώβριος)
- κατά τους τελευταίους δύο μήνες του έτους, τα επίπεδα DO μειώνονται από το επιλίμνιο (DO=11 mg/l) ως το θερμοκλινές (DO=4 mg/l) και κατόπιν αυξάνονται στα 8 mg/l στο πυθμένα.

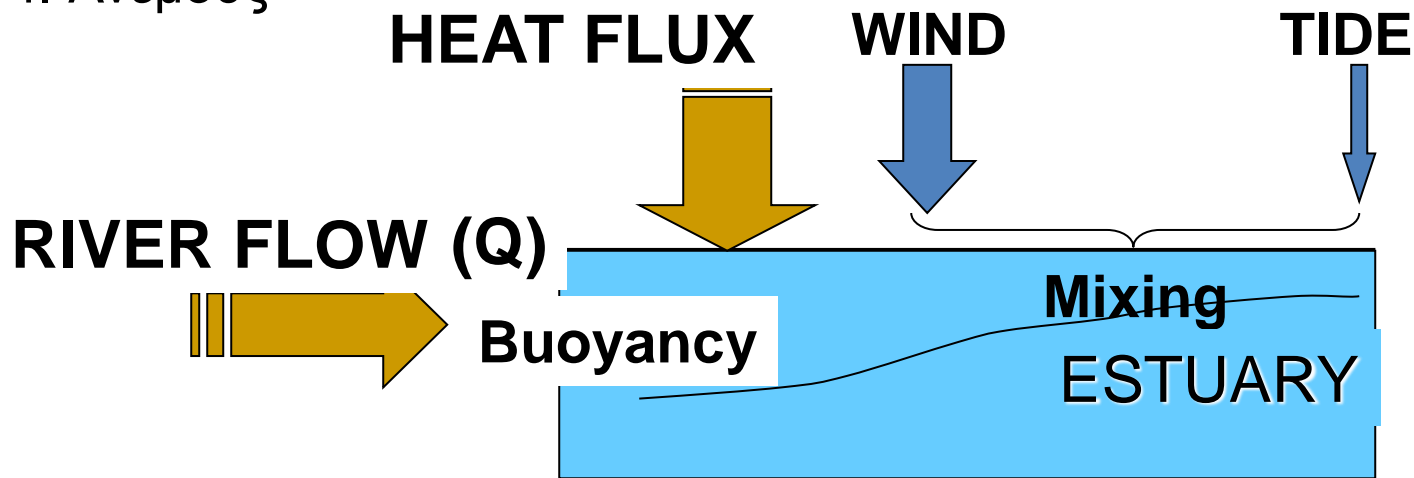
Αποτελέσματα – Νιτρικά Άλατα



- Ομογενή κατακόρυφη κατανομή κατά τη χειμερινή περίοδο (20-30 μM),
- σημαντική μείωση συγκέντρωσης στο επιφανειακό στρώμα κατά την άνοιξη (10-15 μM) λόγω της ανάπτυξης φυτοπλαγκτού, και
- αυξημένες συγκεντρώσεις στα μεσαία επίπεδα και το πυθμένα της στήλης (40-50 μM) κατά το τέλος του καλοκαιριού και την αρχή του φθινοπώρου, λόγω της αποσύνθεσης της νεκρής οργανικής ύλης και της διαλυτοποίησης θρεπτικών,
- το χειμώνα τα νιτρικά καταναλώνονται κοντά στο πυθμένα (<math><10 \mu\text{M}</math>), με το μέγιστο των συγκεντρώσεων να εμφανίζεται κοντά στο μέσο της υδάτινης στήλης

Στα παράκτια υδάτινα σώματα οι διεργασίες μείξης και στρωματοποίησης ελέγχονται από:

1. Ποτάμια Παροχή
2. Προσπίπτουσα Ηλιακή Ακτινοβολία
3. Παλίρροια
4. Ανέμους



| | |
|--------------------|----------------------------|
| > River Flow, Heat | > Stratification mechanism |
| > Wind, Tide | < Mixing mechanism |

Εκτίμηση Στρωματοποίησης - Μείξης

Η εκτίμηση των συνθηκών στρωματοποίησης – μείξης μίας υδάτινης στήλης γίνεται με βάση τη παράμετρο ϕ - η οποία εκφράζει τη ποσότητα της δυναμικής ενέργειας που απαιτεί η κάθε υδάτινη στήλη ώστε να γίνει πλήρως αναμεμιγμένη.

$$\phi = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 (\bar{\rho} - \rho) g z dz$$

Όπου,

$$\bar{\rho} = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \rho dz$$

Δείκτης TRIX (Volleinweider et al., 1998)

Ο Δείκτης αποτελεί το γραμμικό συνδυασμό των λογαριθμικών τιμών τεσσάρων κύριων παραμέτρων (Χλωροφύλλη-α (Chl-a), Συγκέντρωση Διαλυμένου Ανόργανου Αζώτου (DIN), Συγκέντρωση Ολικού Φωσφόρου (TP), και το απόλυτο ποσοστό εκτροπής από το κορεσμό οξυγόνου

$$(aD\%O = abs(100\% - DO_{Measured} \%)$$

$$TRIX = \frac{\log(Chl - \alpha \times aD\%O \times DIN \times TP) - (-1.5)}{1.2}$$

Όπου το 1.2 και -1.5 είναι συντελεστές που προέκυψαν από την εφαρμογή του Δείκτη στη Βόρειο Αδριατική Θάλασσα.

Για τη παραγωγή των τιμών του παραπάνω Δείκτη παίρνουμε τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων, μετρημένες σε διάφορες θέσεις, και τις λογαριθμίζουμε. Στη συνέχεια για το προσδιορισμό της ανώτατης και κατώτατης τιμής της κάθε παραμέτρου δεν παίρνουμε την μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή της αλλά τη μέση τιμή ± 2.5 μονάδες τυπικής απόκλισης (MEAN ± 2.5 STD). Αριθμητικά ο Δείκτης κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 10, καλύπτοντας μεγάλο εύρος τροφικών συνθηκών.

Η κατάταξη των υδατικών συστημάτων με το Δείκτη TRIx γίνεται με την ακόλουθη κλίμακα:

- ❖ $2 < \text{TRIX} < 4$, Υψηλό Τροφικό Επίπεδο, Ολιγοτροφισμός
- ❖ $4 \leq \text{TRIX} < 5$, Καλό Τροφικό Επίπεδο, Μεσοτροφισμός
- ❖ $5 \leq \text{TRIX} < 6$, Μέτριο Τροφικό Επίπεδο, Ευτροφισμός
- ❖ $6 \leq \text{TRIX} < 8$, Χαμηλό Τροφικό Επίπεδο, Υπερτροφισμός

Ένας άλλος δείκτης τροφικής κατάστασης του παράκτιου συστήματος είναι ο **Συντελεστής Αποδοτικότητας (Efficiency Coefficient)** ορίζεται ως:

$$\text{Eff. Coeff.} = \text{Log}_{10} \frac{(\text{Chl} - a \times aD\%O)}{(\text{DIN} \times \text{TP})}$$

Εκφράζει το λογάριθμο του λόγου μεταξύ της βιολογικής απόκρισης και της παρουσίας θρεπτικών στο σύστημα. Συνήθως οι τιμές είναι αρνητικές κυμαινόμενες μεταξύ -4.48 (για το Ιόνιο Πέλαγος) και 0.45 (ΒΔ Αδριατική). Χαμηλές τιμές αντιστοιχούν σε περιοχές χαμηλής κατανάλωσης θρεπτικών αλάτων, ενώ υψηλές τιμές σε περιοχές υψηλής κατανάλωσης θρεπτικών.

Το γεγονός ωστόσο ότι ο Δείκτης TRIX έχει απόλυτη και όχι σχετική (συγκριτική) σημασία οδήγησε στη δημιουργία ενός εναλλακτικού Δείκτη (UNTRIX) ο οποίος δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$UNTRIX = \log(Chl - a \times aD\%O \times DIN \times TP)$$

Έτσι, ο **Δείκτης UNTRIX** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκριτικούς σκοπούς, δηλ. για την εξαγωγή σχέσης μεταξύ της μέσης τροφικής κατάστασης σε μία περιοχή χωρίς ανθρωπογενή επίδραση (reference site) και τις άλλες περιοχές μελέτης

Δείκτης WQI (Water Quality Index)

Ένας πιο σύνθετος Δείκτης είναι ο WQI (Water Quality Index) ο οποίος χρησιμοποιεί δώδεκα παραμέτρους:

- α) η θολερότητα (TURB),
- β) η συγκέντρωση ολικών ανόργανων αιωρούμενων υλικών (ISS),
- γ) η συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων υλικών (TSS),
- δ) η θερμοκρασία νερού (TEMP),
- ε) η ηλεκτρική αγωγιμότητα (COND),
- στ) το pH,
- ζ) ο ολικός φώσφορος (TP),
- η) ο διαλυμένος ενεργός φώσφορος (SRP),
- θ) το ολικό άζωτο (TN),
- ι) η ολική αμμωνία (TAM),
- κ) τα ολικά νιτρικά άλατα (TNN) και
- λ) η χλωροφύλλη-α (CHL-a).

Η σχέση προσδιορισμού του WQI είναι

$$\begin{aligned} \text{WQI} = & +10.0239684 - 0.3154965 \times \log(\text{TURB}) - 0.3656606 \times \log(\text{TSS}) - \\ & 0.3554498 \times \log(\text{ISS}) - 0.3760789 \times \log(\text{TP}) - 0.1876029 \times \log(\text{SRP}) - \\ & 0.0732574 \times \log(\text{TAN}) - 0.2016657 \times \log(\text{TNN}) - 0.2276255 \times \log(\text{TN}) - \\ & 0.5711395 \times \log(\text{COND}) - 1.1659027 \times \log(\text{TEMP}) - 4.3562126 \times \log(\text{pH}) - \\ & 0.2287166 \times \log(\text{CHL}) \end{aligned}$$

Ο WQI παίρνει τιμές από -3 (ενδεικτική τιμή της πλέον επιβαρυμένης περιοχής) έως +3 (ενδεικτική τιμή της πλέον καθαρής περιοχής). Τα υδατικά συστήματα ταξινομούνται με βάση τον WQI ως

- ≤ -2 , 'συστήματα πολύ υψηλής υποβάθμισης'
- -2 έως -1, 'συστήματα πολύ υψηλής υποβάθμισης'
- -1 έως 0, 'συστήματα μέτριας υποβάθμισης'
- 0 έως +1, 'συστήματα σε καλή κατάσταση'
- +1 έως +2, 'συστήματα σε πολύ καλή κατάσταση'
- $> +2$, 'συστήματα σε άριστη κατάσταση'

Η εφαρμογή του WQI στα παράκτια και ενδιάμεσα νερά παράγει τον TWQI (Transitional Water Quality Index) ο οποίος χρησιμοποιεί έξι παραμέτρους:

- α) το διαλυμένο οξυγόνο (DO),
- β) το φυτοπλαγκτόν μέσω της συγκέντρωσης χλωροφύλλης (Chl-a),
- γ) τη συγκέντρωση διαλυμένου ανόργανου αζώτου (DIN),
- δ) τη συγκέντρωση διαλυμένου ανόργανου φωσφόρου (DIP),
- ε) τη κάλυψη πυθμένα σε βενθικά φανερόγραμμα (Ph) και
- στ) τη κάλυψη πυθμένα σε οπορτουμιστικά είδη (Ma).

Οι παράμετροι αυτοί αντιπροσωπεύουν την υψηλή παρουσία θρεπτικών αλάτων (DIN, DIP), βασικούς βιολογικούς παράγοντες (Chl-a), δείκτες υποβάθμισης και ευτροφισμού (DO, Ph, Ma).

Δείκτες Ρύπανσης Βαρέων Μετάλλων

‘Βαρέα Μέταλλα’ ή Ιχνοστοιχεία

(heavy metals, trace metals, toxic metals, trace elements)

- Απαντώνται στη φύση στο φλοιό της Γης (π.χ., αλουμίνιο και σίδηρος) όπου σχηματίζουν σύμπλοκα μετάλλων (ενώσεις με οξυγόνο και πυρίτιο).
- Απελευθερώνονται στο έδαφος και το νερό μέσω της φυσικής και χημικής αποσάθρωσης των ηφαιστειακών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων.

Παρουσία Βαρέων Μετάλλων στα Υδατικά Συστήματα

- Φυσικός Εμπλουτισμός (αποσάθρωση – διάβρωση πετρωμάτων λεκάνης απορροής)
- Ανθρώπινη Επίδραση (αστική, βιομηχανική, γεωργική δραστηριότητα)

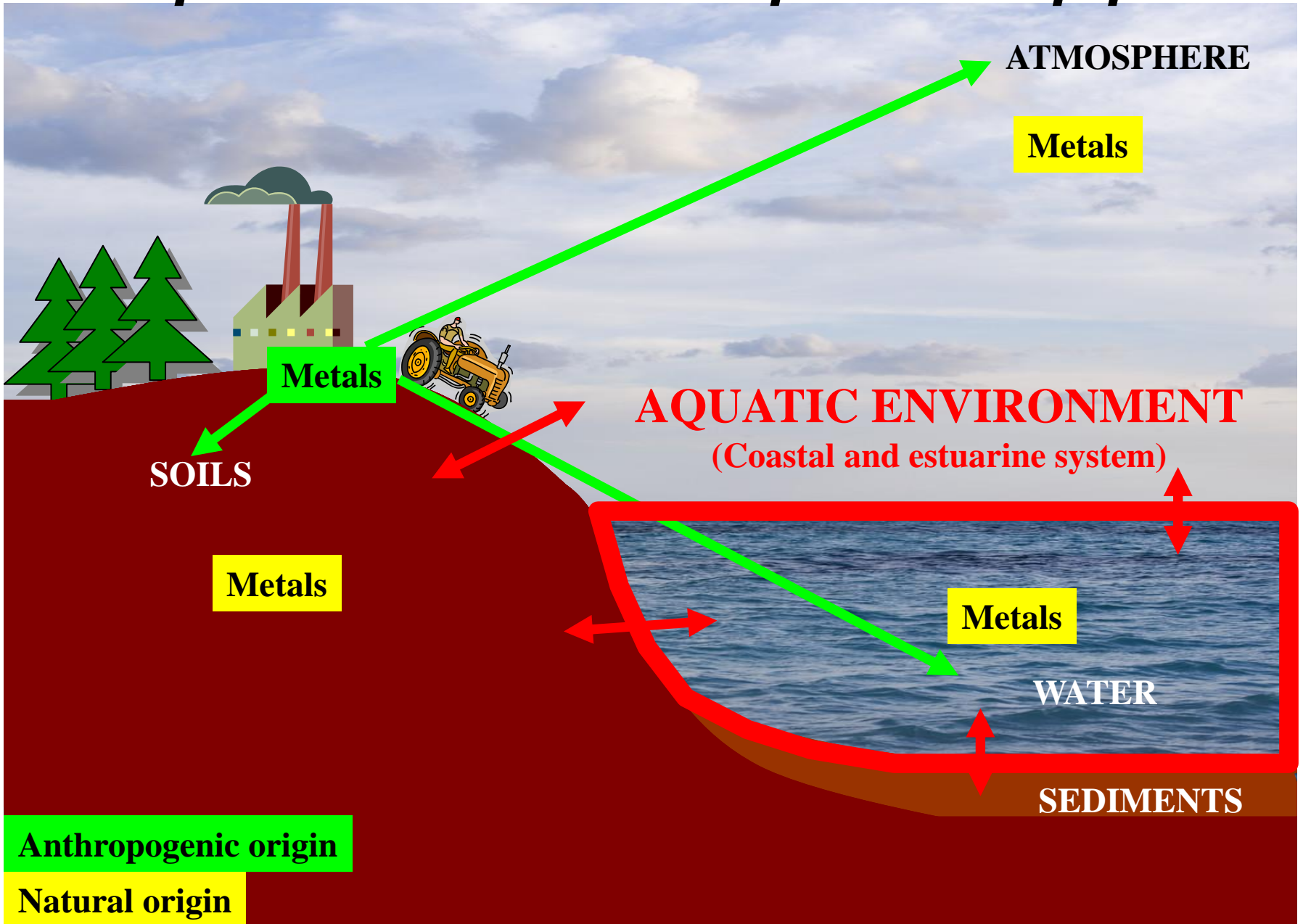
Μέταλλα όπως ο σίδηρος και το αλουμίνιο έχουν φυσική παρουσία σε υψηλές σχετικά συγκεντρώσεις.

Μέταλλα όπως ο υδράργυρος, το κάδμιο και το χρώμιο είναι ιδιαίτερα σπάνια και βρίσκονται συνήθως σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

—————> ιχνοστοιχεία (trace elements) ή μικρο-θρεπτικά

Μέταλλα όπως ο υδράργυρος και ο μόλυβδος, διαθέτουν υψηλή τοξικότητα επηρεάζοντας σημαντικά τις βιολογικές διεργασίες των οργανισμών.

• Βαρέα Μέταλλα στο Παράκτιο Περιβάλλον



• Βαρέα Μέταλλα στο Παράκτιο Περιβάλλον

Τοξικότητα Μετάλλου \neq Συγκέντρωση Μετάλλου

Πότε ένα μέταλλο γίνεται τοξικό?

→ Εξαρτάται από το είδος του

Concentration increase

Τοξικά Μέταλλα:
Μη απαραίτητα
για το
μεταβολισμό
Pb, Hg, Cd, ...

“Ιχνοστοιχεία”:

Απαραίτητα για το μεταβολισμό
οργανισμών Cu, Fe, F, Mg, Mn, Zn, ...

Metals



Οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνουν τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων πάνω από τα φυσικά τους επίπεδα.

Ανθρωπογενείς πηγές βαρέων μετάλλων περιλαμβάνουν:

- βιομηχανικά και αστικά απόβλητα,
- γεωργικά υπολείμματα,
- λεπτόκοκκα ιζήματα προϊόντα διάβρωσης,
- ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα,
- υφαλοχρώματα πλοίων,
- παραπροϊόντα μεταλλείων, κλπ.

Τα βαρέα μέταλλα εμφανίζονται στα παράκτια υδατικά συστήματα σε **διαλυμένη φάση**, σε **αιωρούμενη φάση**, στα ιζήματα πυθμένα και στους υδρόβιους οργανισμούς.

Βιο-συσσώρευση (Bioaccumulation)

Ρύποι όπως τα βαρέα μέταλλα είναι ΣΥΝΤΗΡΗΤΙΚΟΙ ρύποι – δηλ. δεν διασπώνται εύκολα από μικρο-οργανισμούς ή βακτήρια και διατηρούν το χημισμό τους.

Τα περισσότερα φυτά και ζώα ελέγχουν – ως ένα βαθμό - τα επίπεδα βαρέων μετάλλων στον οργανισμό τους. Ωστόσο, μέταλλα που δεν μπορούν να αποβληθούν μέσω της έκκρισης παραμένουν και συσσωρεύονται στον οργανισμό.

= BIOACCUMULATION

Βιο-μεγέθυνση - Biomagnification

Οι ζωϊκοί οργανισμοί τρέφονται από βιο-συσσωρευτές προσλαμβάνοντας βαρέα μέταλλα και μεταφέροντας τα σε ένα ανώτερο επίπεδο της τροφικής αλυσίδας.

Οι οργανισμοί αυτοί μέσω της διατροφής τους αυξάνουν τα επίπεδα των ρύπων στον ιστό τους, βιο-συσσωρεύοντας τα σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

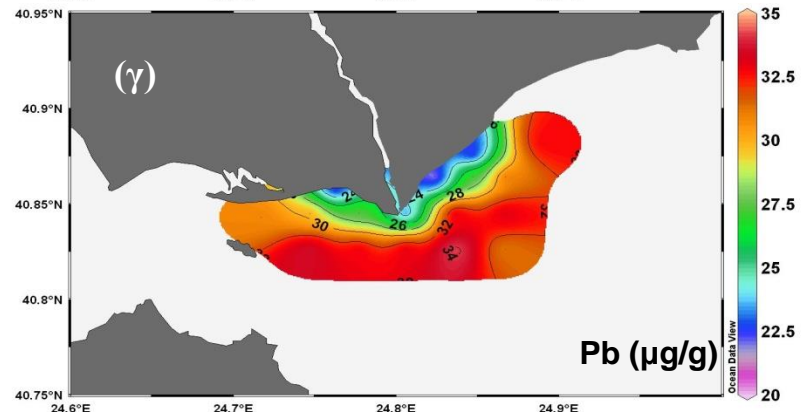
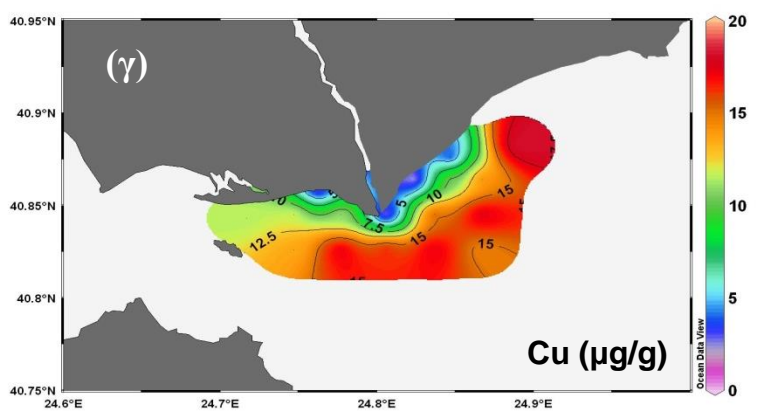
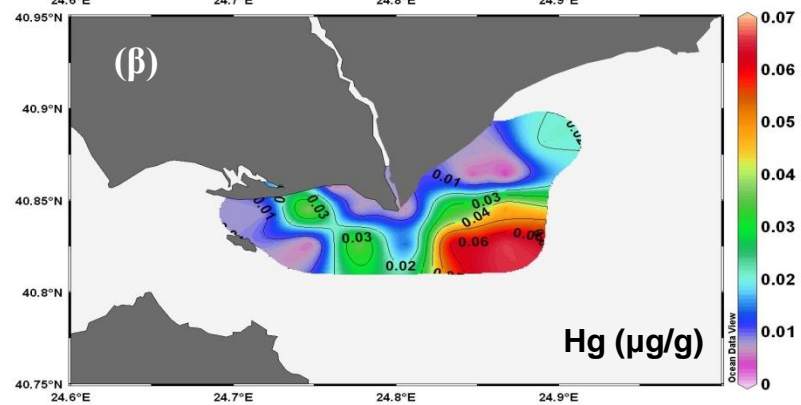
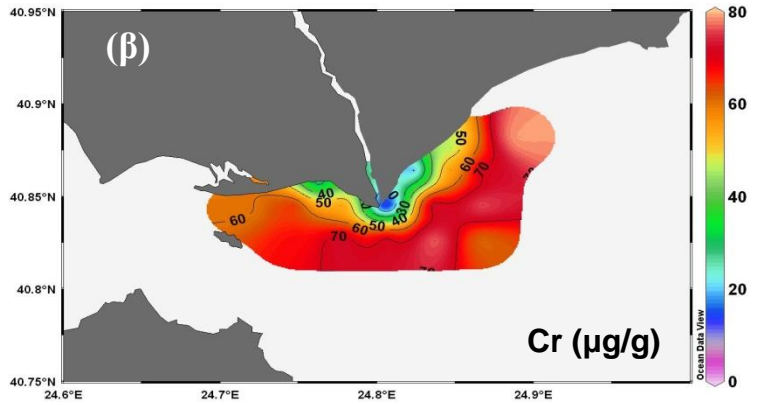
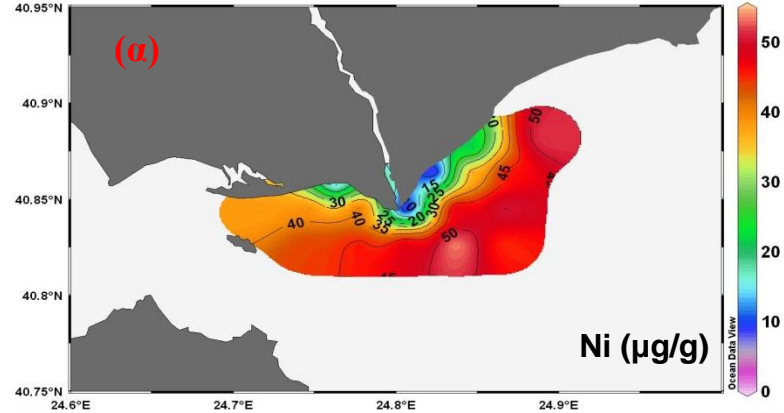
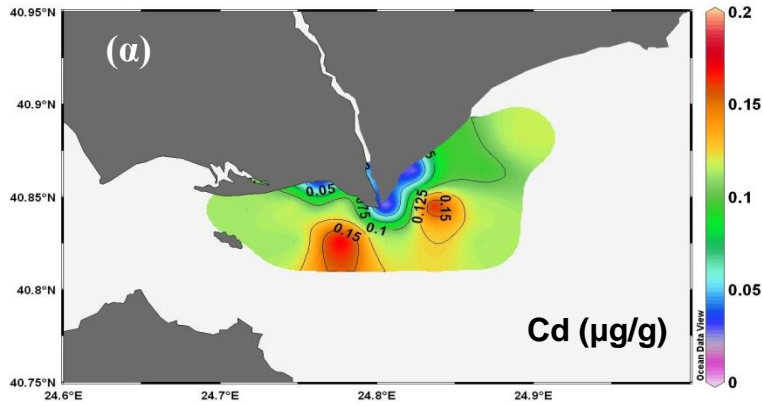
Έτσι ζωϊκοί οργανισμοί στα υψηλότερα τροφικά επίπεδα αποκτούν στον ιστό τους τις υψηλότερες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα.

≡ BIOMAGNIFICATION

δηλ. οργανισμοί με μεγάλη διάρκεια ζωής στη κορυφή της τροφικής αλυσίδας τείνουν να βιο-συσσωρεύουν και να βιο-μεγεθύνουν τα επίπεδα βαρέων μετάλλων.

ΑΠΟΤΕΛΕΜΣΑΤΑ

Βαρέα Μέταλλα στα Ιζήματα



Δείκτες Ρύπανσης βαρέων μετάλλων

Η εκτίμηση των επιπέδων ρύπανσης στο ίζημα πυθμένα μίας παράκτιας περιοχής βασίζεται σε μία σειρά από δείκτες, όπως:

1. ο δείκτης συσσώρευσης ρύπανσης (pollution load index, PLI),
2. ο συντελεστής εμπλουτισμού (enrichment factor), και
3. ο δείκτης γεω-συσσώρευσης (geo-accumulation index, I_{geo}).

Δείκτες Συσσώρευσης Ρύπανσης (PLI)

Ο δείκτης συσσώρευσης ρύπανσης (PLI) προκύπτει ως η συγκέντρωση κάθε βαρέου μετάλλου ως προς τη τιμή συγκέντρωσης του μετάλλου σε ένα μέσο μη-ρυπασμένο ίζημα.

Συνήθως χρησιμοποιούμε τη μέση παγκόσμια συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε ωκεάνεια ιζήματα, με βάση τις σχέσεις:

$$CF_{Metal} = \frac{C_{Metal}}{C_{Background}} \quad PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n}$$

Όπου CF είναι ο δείκτης εμπλουτισμού για κάθε μέταλλο, n είναι ο συνολικός αριθμός βαρέων μετάλλων που αναλύθηκαν σε κάθε δείγμα και $C_{background}$ είναι η συγκέντρωση κάθε μετάλλου σε ένα μέσο μη-ρυπασμένο ίζημα.

In this study, the world average concentrations of the metals studied reported for shale (Wedepohl 1995) were used as the background for those heavy metals

Cu: 45 $\mu\text{g/g}$;

Ni: 68 $\mu\text{g/g}$;

Zn: 95 $\mu\text{g/g}$;

Pb: 20 $\mu\text{g/g}$;

Cd: 0.3 $\mu\text{g/g}$;

Cr: 90 $\mu\text{g/g}$.

Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1217–1232.

PLI Classification Scheme

| Class No. | Index value | Sediment Quality |
|-----------|-------------|---|
| 1 | PLI ~ 0 | Unpolluted area – no action is needed |
| 2 | PLI < 1.0 | Moderately polluted area - continuous monitoring is needed |
| 3 | PLI ≥ 1.0 | Extremely polluted area - immediate intervention is required |

Συντελεστής Εμπλουτισμού (EF)

Ο συντελεστής εμπλουτισμού (EF) υπολογίζεται με βάση τη παρακάτω εξίσωση:

$$EF = \frac{\left(\frac{Tracer}{Normalizer} \right)_{Sample}}{\left(\frac{Tracer}{Normalizer} \right)_{Background}}$$

Όπου $(tracer/normalizer)_{Sample}$ και $(tracer/normalizer)_{background}$ αντίστοιχα, είναι οι συγκεντρώσεις μετάλλων (σε $\mu g/g$ ξηρού δείγματος) στο δείγμα και στη μη-ρυττασμένη περιοχή.

Συνήθως ως normalizer χρησιμοποιούμε ένα μέταλλο αναφοράς του οποίου η συγκέντρωση δεν οφείλεται σε ανθρωπογενή επίδραση. Τέτοια μέταλλα είναι ο σίδηρος, το αλουμίνιο, το σελήνιο, το ουράνιο, το θόριο.

EF Classification Scheme

| Class No. | Index value | Sediment Quality |
|-----------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | $EF < 1$ | No enrichment |
| 2 | $1 \leq EF < 3$ | Minor pollution |
| 3 | $3 \leq EF < 5$ | Moderate pollution |
| 4 | $5 \leq EF < 10$ | Moderately severe pollution |
| 5 | $10 \leq EF < 25$ | Severe pollution |
| 6 | $25 \leq EF < 50$ | Very severe pollution |
| 7 | $EF > 50$ | Extremely severe pollution |

Δείκτης Γεω-συσσώρευσης (I_{geo})

Ο δείκτης γεω-συσσώρευσης (I_{geo}) συγκρίνει τις σημερινές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε ένα δείγμα με τις αντίστοιχες τιμές σε προ-βιομηχανικά επίπεδα. Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται με τη παρακάτω σχέση:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

Όπου C_n είναι η μετρούμενη συγκέντρωση του εξεταζόμενου μετάλλου n στο ίζημα, B_n είναι η γεωχημική συγκέντρωση αναφοράς σε προβιομηχανικό ίζημα και ο παράγοντας 1,5 αποτελεί συντελεστή διόρθωσης.

I_{geo} Classification Scheme

| Class No. | Index value | Sediment Quality |
|-----------|-----------------------------|---|
| 1 | < 0 | Unpolluted |
| 2 | $0 \leq I_{\text{geo}} < 1$ | From unpolluted to moderately polluted |
| 3 | $1 \leq I_{\text{geo}} < 2$ | Moderately polluted |
| 4 | $2 \leq I_{\text{geo}} < 3$ | From moderately polluted to strongly polluted |
| 5 | $3 \leq I_{\text{geo}} < 4$ | Strongly polluted |
| 6 | $4 \leq I_{\text{geo}} < 5$ | From strongly polluted to extremely polluted |
| 7 | > 5 | Extremely polluted |

Δείκτης Δυνητικής Οικολογικής Επικινδυνότητας (RI)

Ο δείκτης δυνητικής οικολογικής επικινδυνότητας εκφράζει την τοξικότητα κάθε μετάλλου και στο σύνολο των μετάλλων που υπάρχουν στο περιβάλλον ως προς τις θαλάσσιες βιοκοινότητες. Ο υπολογισμός του δείκτη γίνεται με τη παρακάτω σχέση:

$$E_f = CF_{metal} \times T_{f-metal}$$

$$RI = \sum EF_f$$

Όπου T_f είναι ο παράγοντας βιολογικής τοξικότητας κάθε μετάλλου, δηλ. As = 10, Co = 5, Cu = 5, Mn = 1, Ni = 5, Pb = 6, V = 2, Zn = 1, Cd = 30. (Hakanson, 1980)

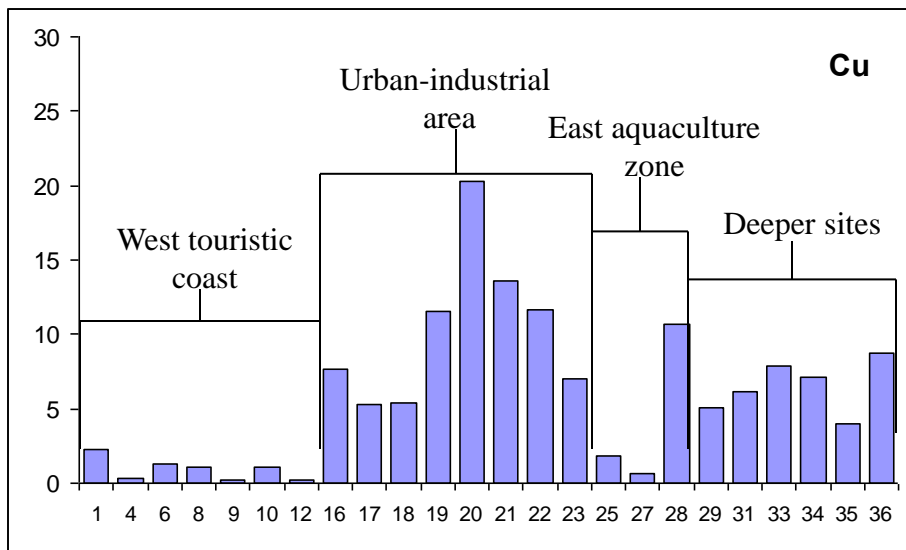
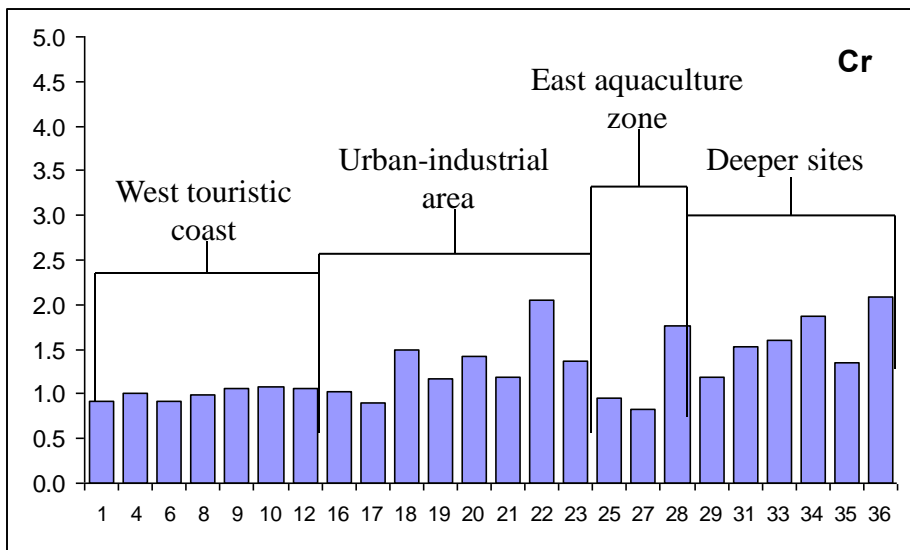
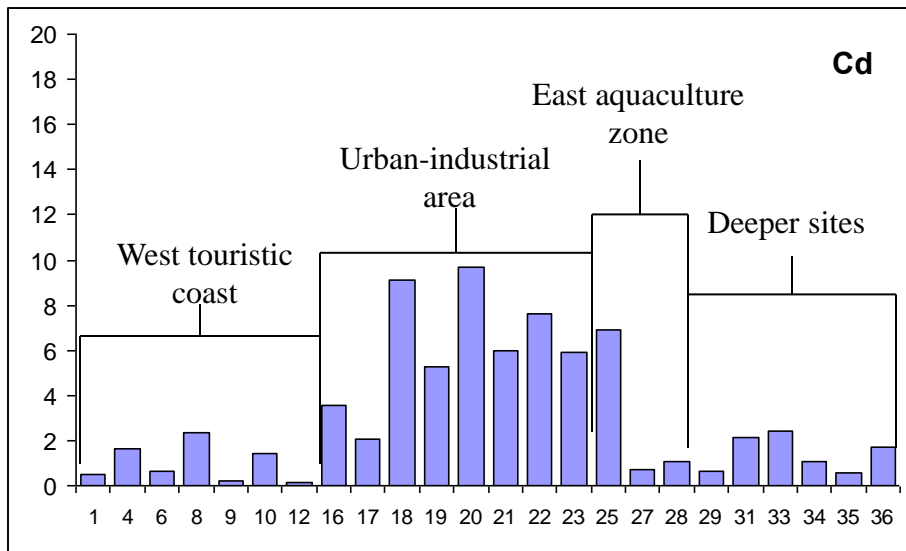
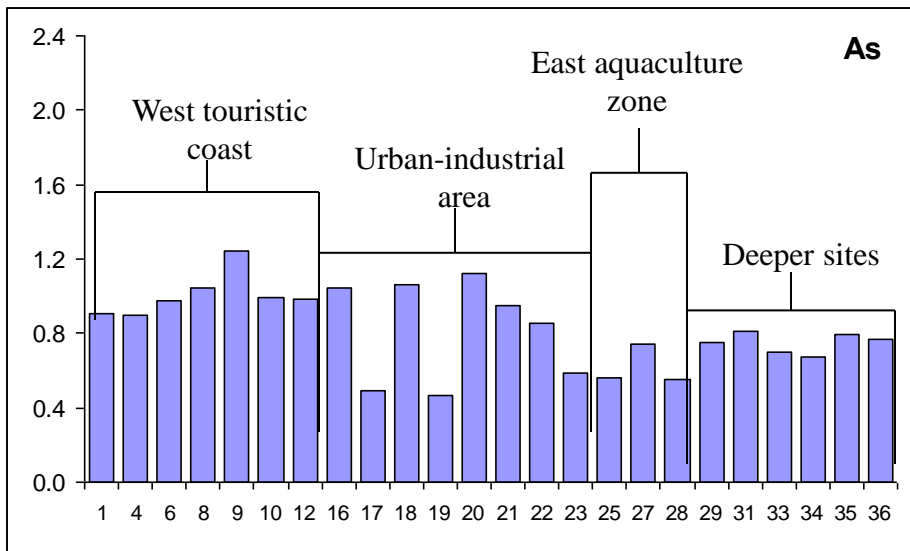
Table 3: Categorization of Enrichment Factor, Potential Ecological Risk and Toxicity Risk Index of heavy metal elements.

| Enrichment Factor | Enrichment Level | Potential Ecological Risk Index (E_f) | Risk Level per factor | Potential toxicity Risk index (RI) | Risk Level | PLI Value | PLI Soil Quality |
|-------------------|----------------------------|---|-----------------------|------------------------------------|------------|-----------|---------------------------------|
| <0.5 | Point and non-point source | < 40 | Low | RI < 150 | Low grade | 0-2 | Unpolluted to slightly polluted |
| 0.5 – 1.5 | Crustal material | 40 – 80 | Moderate | 150 – 300 | Moderate | 2-4 | Moderately polluted |
| 1.5 – 2 | Minimal | 80 – 160 | High | 300 – 600 | Sever | 4-6 | Significantly |
| | | | | | | | polluted |
| 2 – 5 | Moderate | 160 – 320 | Higher | < 600 | Serious | 6-8 | Strongly Polluted |
| 5 – 20 | Significant | > 320 | Serious | | | 8-10 | Extremely polluted |
| 20 – 40 | Very High | | | | | | |
| > 40 | Extremely High | | | | | | |

Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα μη-ρυπασμένα ιζήματα καθώς και όρια ανά μέταλλο που θέτει η Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA).

| Μέταλλο | Φυσική Συγκέντρωση Αναφοράς | Ταξινόμηση Συστήματος EPA | | |
|-----------|-----------------------------|---------------------------|----------------|---------------|
| | | Χαμηλή ρύπανση | Μέτρια ρύπανση | Υψηλή ρύπανση |
| Cu | 23.9 ± 2.5 | < 25 | 25-50 | >50 |
| Cr | 6.2 ± 1.5 | < 25 | 25-75 | >75 |
| Fe | 891.4 ± 79.8 | | | |
| Ni | 17.4 ± 3.4 | < 20 | 20-50 | >50 |
| Pb | 14.4 ± 0.8 | < 40 | 40-60 | >60 |
| V | 2.7 ± 0.5 | | | |
| Zn | 103.8 ± 15.2 | < 90 | 90-200 | >200 |

ENRICHMENT FACTORS FOR As, Cd, Cr & Cu



ENRICHMENT FACTORS FOR Hg, Ni, Pb & Zn

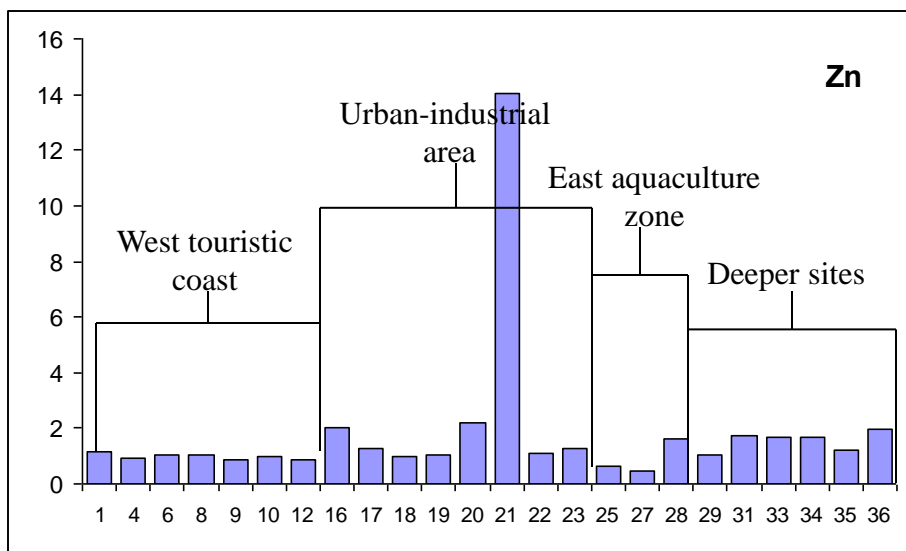
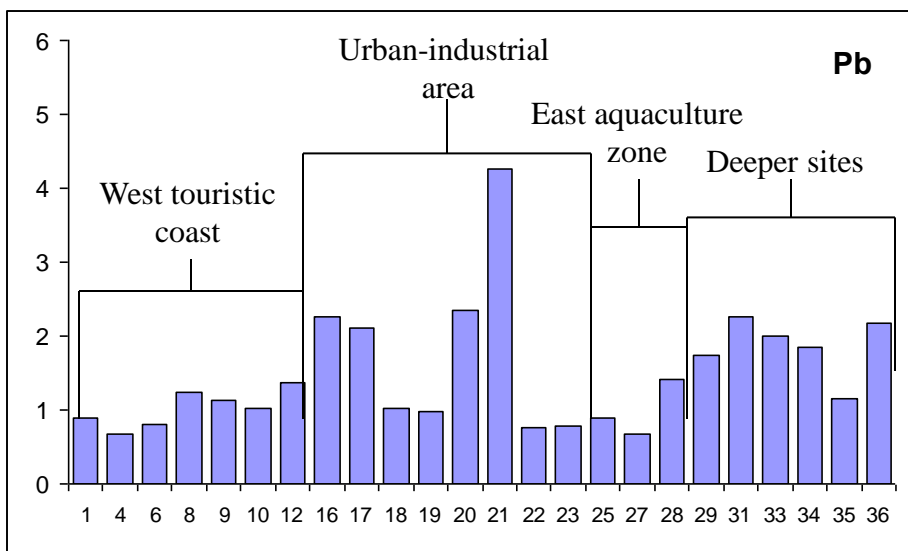
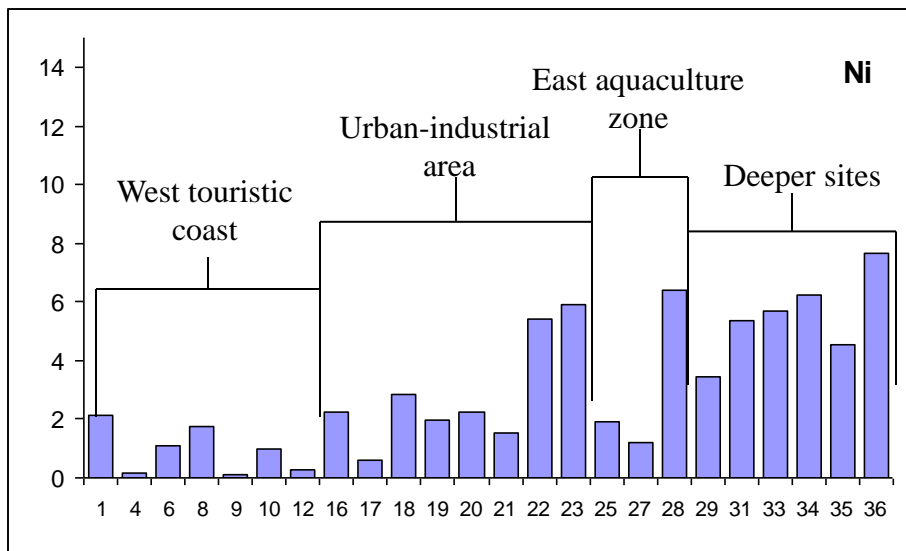
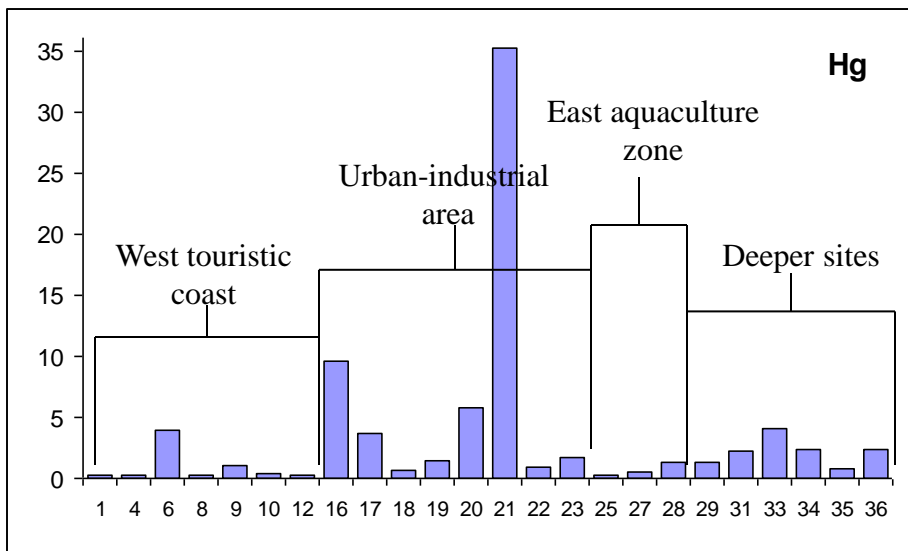


Table 8. Pollution Load Index (PLI) and Geoaccumulation Index (I_{geo}) for the stations sampled in Kavala Gulf. Values in bold represent increased PLI and I_{geo} sites.

| Station | PLI | Geoaccumulation Index, I_{geo} | | | | | |
|---------|-------------|----------------------------------|------|------------|------------|------------|------|
| | | Cu | Ni | Zn | Pb | Cd | Cr |
| 1 | 0.42 | -2.8 | -3.1 | -0.6 | 0.2 | -2.3 | -2.0 |
| 2 | 0.19 | -5.3 | -6.0 | -1.4 | -0.7 | -1.8 | -2.5 |
| 3 | 0.38 | -3.1 | -3.8 | -0.8 | 0.2 | -2.0 | -2.0 |
| 4 | 0.30 | -4.2 | -4.0 | -1.3 | 0.1 | -1.6 | -2.2 |
| 5 | 0.22 | -5.1 | -5.4 | -1.2 | -0.2 | -2.9 | -2.5 |
| 6 | 0.35 | -3.7 | -3.7 | -0.9 | 0.3 | -2.0 | -1.9 |
| 7 | 0.16 | -6.4 | -6.9 | -1.6 | -0.3 | -3.9 | -2.5 |
| 8 | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d |
| 9 | 0.61 | -1.3 | -3.2 | -0.1 | 1.5 | -0.5 | -1.4 |
| 10 | 0.45 | -1.6 | -5.0 | -0.4 | 1.4 | -1.7 | -1.9 |
| 11 | 0.48 | -2.6 | -2.9 | -1.0 | 0.5 | -0.1 | -1.0 |
| 12 | 0.59 | -1.3 | -2.6 | -0.5 | 0.4 | 0.2 | -0.9 |
| 13 | 0.61 | -0.6 | -3.3 | -0.3 | 0.9 | 1.6 | -1.2 |
| 14 | 1.30 | 1.2 | -3.1 | 2.8 | 2.8 | 2.2 | -0.8 |
| 15 | 0.79 | -0.8 | -1.2 | -0.5 | 0.1 | 1.8 | 0.3 |
| 16 | 0.70 | -1.5 | -1.4 | -0.4 | 0.1 | 0.1 | -0.2 |
| 17 | 0.39 | -3.4 | -1.2 | -1.3 | -0.1 | -0.5 | -1.3 |
| 18 | 0.61 | -2.0 | -3.0 | -0.7 | 0.4 | -1.8 | -0.5 |
| 19 | 0.80 | -0.9 | -1.8 | -0.1 | 0.7 | -1.3 | -0.3 |
| 20 | 0.72 | -1.6 | -1.6 | -0.3 | 1.0 | -1.7 | -0.4 |
| 21 | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d | n.d |
| 22 | 0.86 | -1.3 | -1.3 | 0.1 | 1.4 | -0.8 | -0.2 |
| 23 | 0.86 | -1.1 | -1.3 | 0.1 | 1.1 | -0.4 | -0.1 |
| 24 | 0.84 | -1.2 | -1.2 | 0.0 | 1.1 | -0.6 | 0.0 |
| 25 | 0.73 | -1.7 | -1.5 | -0.1 | 0.6 | -1.7 | -0.3 |
| 26 | 0.81 | -1.3 | -1.2 | 0.0 | 1.1 | -0.8 | -0.1 |
| 27 | 0.87 | -1.2 | -1.0 | -0.1 | 0.8 | 0.4 | 0.5 |

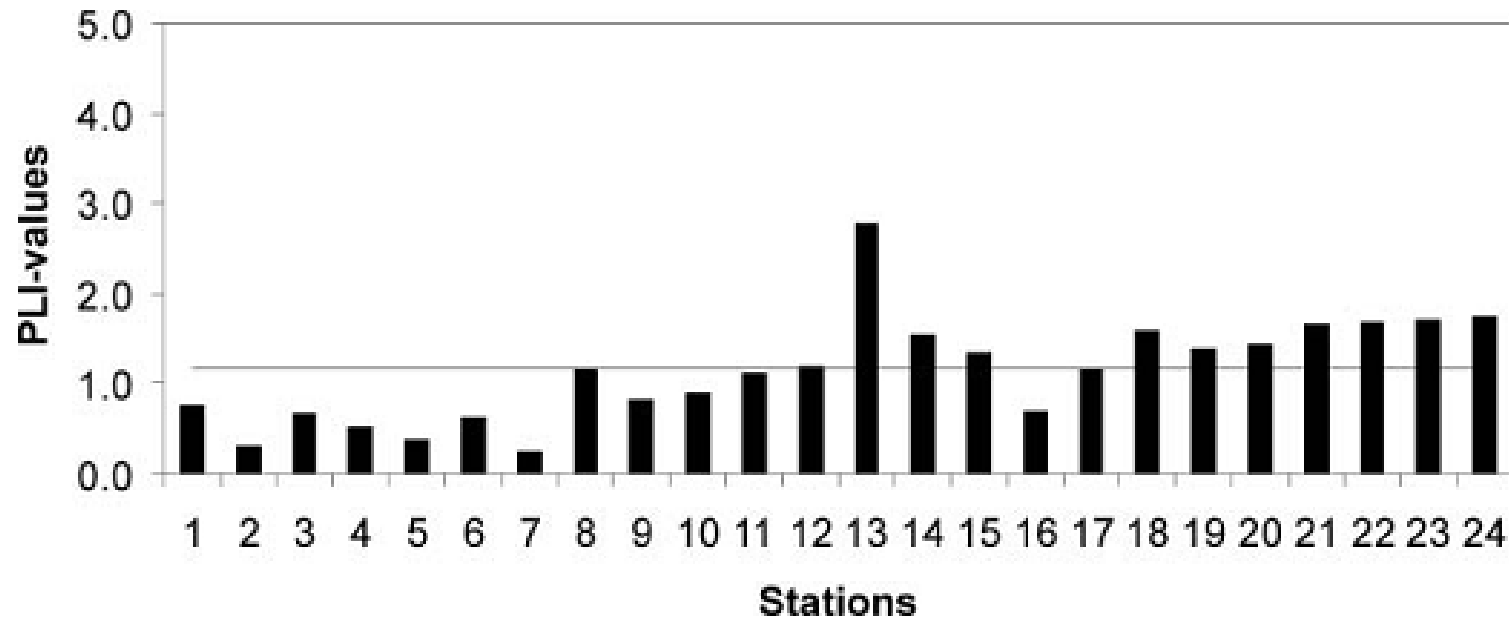


Figure 7. Distribution of PLI values in Kavala Gulf (line represents mean area's PLI).

Comparison of Sediment Concentrations in other Greek coastal areas

| Area | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Digestio n method | Reference |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|--|
| Kavala Gulf | 0.01- 0.952 | 36.93- 113.8 | 0.5-75 | 0.4- 47.3 | 24.9- 209.1 | 41.83- 1,353 | Total | Present study |
| Thermaikos Gulf | 0.3-3 | 31-107 | 4-37 | - | 13-228 | 23-229 | 0.5 N HCl | Chester & Voutsinou, 1981 |
| Thermaikos Gulf | 0.3-6.5 | 42-229 | 7-69 | - | 16-268 | 39-560 | HNO ₃ conc. | Voutsinou-Taliadouri & Satsmadjis, 1983 |
| Thermaikos Gulf | 0.3-8.7 | 39-386 | 7-200 | - | 11-334 | 32-2600 | 5 N HCl | Voutsinou-Taliadouri & Varnavas, 1995 |
| Pagassitikos Gulf | - | 97-395 | 14-32 | - | 20-34 | 45-74 | 2 N HCl | Voutsinou-Taliadouri, 1984 |
| Lesvos Island | - | 40-247 | 3-12 | - | 10-39 | 18-43 | 2 N HCl | Voutsinou-Taliadouri, 1984 |
| Saronikos Gulf | - | 114-480 | | - | - | 12-1400 | 0.5 N HCl | Angelidis <i>et al.</i>, 1982 |
| Patraikos Gulf | - | 70-210 | 23-101 | - | 10-40 | 275-430 | Total | Varnavas & Ferentinos, 1982 |
| Kalamata Bay | - | | 11-56 | - | 8-40 | - | Total | Varnavas <i>et al.</i>, 1984 |
| Evoikos Gulf | 0.095- 0.652 | 247-404 | 11.4- 43 | 246- 698 | 7.29- 36.7 | 39.5- 129 | Total | Angelidis & Aloupi, 2000 |
| Lesvos Island | 0.044- 0.495 | 40-154 | 5.34- 86.2 | - | 20.7- 93 | 12.9- 230 | Total | Aloupi & Angelidis, 2001 |

Οικο-τοξικολογική Εκτίμηση Συγκεντρώσεων ΒΜ στα Ιζήματα

Η οικο-τοξικολογική εκτίμηση βασίζεται στα Sediment Quality Guidelines (SQGs) (McDonald et al., 2000).

Οικο-τοξικολογική δυναμική μιάς περιοχής βασίζεται στους παρακάτω δείκτες:

1. Threshold Effect Level (TEL), επίπεδο κάτω από το οποίο αρνητικές επιδράσεις στην υγεία των οργανισμών του οικοσυστήματος συμβαίνουν σπάνια,
2. Lowest Effect Level (LEL), επίπεδο κάτω από το οποίο το ίζημα θεωρείται μη-ρυπασμένο έως οριακά ρυπασμένο,
3. Possible Effect Level (PEL), επίπεδο πάνω από το οποίο η εμφάνιση αρνητικών επιπτώσεων στους οργανισμούς αναμένεται να είναι συχνή,

4. Toxic Effect Threshold (TET), αντιπροσωπεύοντας το επίπεδο πάνω από το οποίο το ίζημα θεωρείται έντονα ρυπασμένο.
5. Severe Effect Threshold (SEL), αντιπροσωπεύοντας το επίπεδο πάνω από το οποίο αναμένονται έντονες αρνητικές επιπτώσεις στους υδρόβιους βενθικούς οργανισμούς.

Table 3. Sediment Quality Guidelines for marine and freshwater sediments (after McDonald et al., 2000).

| | Sediment Quality Guidelines (in $\mu\text{g/g}$) | | | | | | | |
|-----|---|------|-------|-------|-------|-----|------|-------|
| | As | Cu | Cr | Cu | Pb | Hg | Ni | Zn |
| TEL | 5.9 | 0.6 | 37.3 | 35.7 | 35.0 | 0.2 | 18.0 | 123.0 |
| LEL | 6.0 | 0.6 | 26.0 | 16.0 | 31.0 | 0.2 | 16.0 | 120.0 |
| PEL | 17.0 | 3.5 | 90.0 | 197.0 | 91.3 | 0.5 | 36.0 | 315.0 |
| TET | 17.0 | 3.0 | 100.0 | 86.0 | 170.0 | 1.0 | 61.0 | 540.0 |
| SEL | 33.0 | 10.0 | 110.0 | 110.0 | 250.0 | 2.0 | 75.0 | 820.0 |

Άλλοι δείκτες είναι:

1. Effect Range Low ERL, αντιπροσωπεύει το επίπεδο ρύπανσης κάτω από το οποίο αρνητικές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς θα είναι εξαιρετικά σπάνιες,
2. Effect Range Median ERM, αντιπροσωπεύει το επίπεδο ρύπανσης πάνω από το οποίο αρνητικές επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς πιθανές,

| Metals (in mg/kg DW) | ERL | ERM |
|----------------------|------|-----|
| Arsenic | 33 | 85 |
| Cadmium | 5 | 9 |
| Chromium | 80 | 145 |
| Copper | 70 | 390 |
| Lead | 35 | 110 |
| Mercury | 0.15 | 1.3 |
| Nickel | 30 | 50 |
| Zinc | 120 | 270 |

Για να προσδιορίσει κάποιος τις πιθανές βιολογικές επιδράσεις από διάφορους ρύπους βαρέων μετάλλων, θα πρέπει να υπολογίσει τη μέση επίδραση της ομάδας ρύπων που εξετάζει:

$$m - \text{ERM} - Q = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i / \text{ERM}_i)}{n}$$

where C_i is the sediment concentration of compound i , ERM_i is the ERM for compound i and n is the number of compound i .

$$m - \text{PEL} - Q = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i / \text{PEL}_i)}{n}$$

where, PEL_i is the PEL for compound i .

Δείκτες παράκτιας διάβρωσης και
επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής

Τρωτότητα (Vulnerability) ενός παράκτιου συστήματος είναι το μέγεθος που περιγράφει:

A) την **έκθεση του ΠΣ σε κινδύνους** (hazards), π.χ., φυσικές καταστροφές όπως θύελλες, πλημμύρες, κλπ.

B) την **επικινδυνότητα** (risk) δηλ. την ποσοτική αποτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός ακραίου γεγονότος, και

Γ) την **ανθεκτικότητα** (resilience) του συστήματος, δηλ. την μέγιστη δυνατή επίδραση η οποία αν παραχθεί δεν θα επηρεάσει την κατάσταση και τις λειτουργίες του συστήματος.

Ουσιαστικά η ανθεκτικότητα εκφράζει το κατά πόσο το σύστημα μπορεί να ανανεωθεί, να ανα-οργανωθεί και να επανέλθει στη κανονική λειτουργία του, δηλ. την

προσαρμοστική του δυνατότητα (adaptive capacity).

Ο Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας CVI, Coastal Vulnerability Index.

Ο πλέον χρησιμοποιούμενος δείκτης
Αποτελείται από μια σειρά από φυσικές περιβαλλοντικές
παραμέτρους :

1. Γεωμορφολογία (G)
2. Ιστορική μεταβολή της ακτογραμμής (RSCR)
3. Παράκτια Κλίση (CS)
4. Σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας (RSL)
5. Μέσο σημαντικό ύψος κύματος (WH)
6. Μέσο παλιρροιακό εύρος (TR)

Table 1. Key parameters and their respective scores for CVI estimation along the pilot study sites of HERMES project.

| Key Variables | 1, Very Low | 2, Low | 3, Moderate | 4, High | 5, Very High |
|--|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Geomorphology | Rocky, cliffed coasts | Medium Cliffs, indented coasts | Low cliffs, alluvian plains | Cobble beaches, estuary, lagoon | Barrier beaches, sand beaches, deltas |
| Historic Shoreline Change (m/yr) | > 2.0 m, accretion | 1.1 to 2.0 m, accretion | -1.0 to +1.0 | -1.0 to -2.0, erosion | > 2.0 m, erosion |
| Coastal Slope | >1/10 | 1/10 to 1/20 | 1/20 to 1/30 | 1/30 to 1/50 | 1/50 to 1/100 |
| Relative Sea Level Change (mm/yr) | <1.0 | 1.0 to 2.0 | 2.0 to 5.0 | 5.0 to 7.0 | >7.0 |
| Mean Significant Wave Height (m) | < 0.5 | 0.5 to 3.0 | 3.0 to 6.0 | 6.0 to 8.0 | > 8.0 |
| Mean Tidal Range (m) | < 0.5 | 0.5 to 2.0 | 2.0 to 4.0 | 4.0 to 6.0 | > 6.0 |

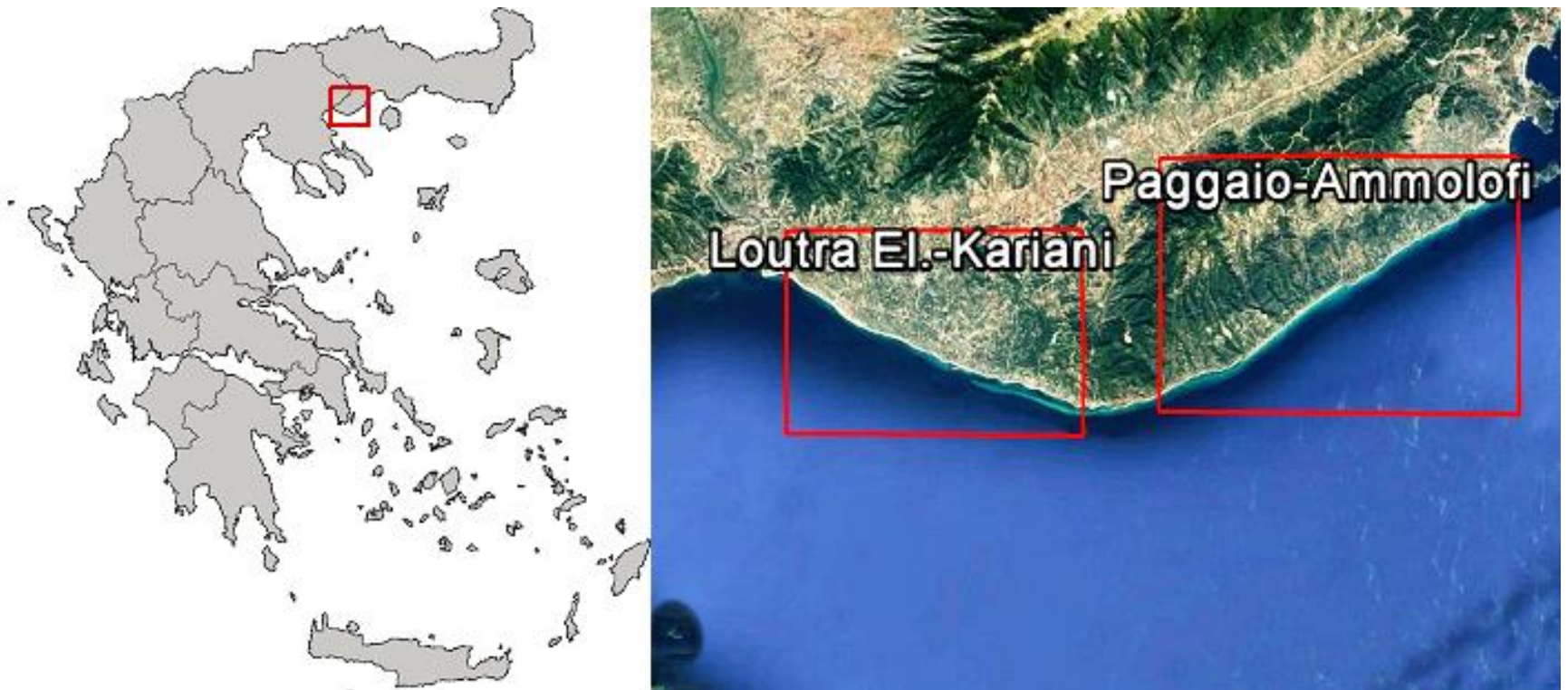


Figure 1. The two parts of the Paggaio Municipality shoreline.

Table 2. Evaluation of Shoreline Vulnerability in the part Ammolofi to Loutra Eleftheron, according to Geomorphology.

| Evaluation of coastal erosion and climate change vulnerability indicator - CVI | | | | | | I. Geomorphology | | | | |
|--|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| | | | | | | 1, Very Low Vulnerability | 2, Low Vulnerability | 3, Moderate Vulnerability | 4, High Vulnerability | 5, Very High Vulnerability |
| Site Name | Length (km) | Min Lat | Min Long | Max Lat | Max Long | Rocky, cliffed coasts | Medium Cliffs, indented coasts | Low cliffs, alluvian plains | Cobble beaches, estuary, lagoon | Barrier beaches, sand beaches, deltas |
| Ammolofi to Loutra Eleftheron (GR) | 20 | 40°49'00.86'' N | 24°18'33.90'' E | 40°43'28.19'' N | 24°05'49.71'' E | | | | | X |

| Evaluation of coastal erosion and climate change vulnerability indicator - CVI | | | | | | II. Historic Shoreline Change (m/yr) | | | | |
|--|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Site Name | Length (km) | Min Lat | Min Long | Max Lat | Max Long | 1, Very Low Vulnerability | 2, Low Vulnerability | 3, Moderate Vulnerability | 4, High Vulnerability | 5, Very High Vulnerability |
| | | | | | | > 2.0 m, accretion | 1.1 to 2.0 m, accretion | -1.0 to +1.0 | -1.0 to -2.0, erosion | > 2.0 m, erosion |
| Ammolofi to Loutra Eleftheron (GR) | 20 | 40°49'00.86"N | 24°18'33.90"E | 40°43'28.19"N | 24°05'49.71"E | | | X | | |

| Evaluation of coastal erosion and climate change vulnerability indicator - CVI | | | | | | III. Coastal Slope | | | | |
|--|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Site Name | Length (km) | Min Lat | Min Long | Max Lat | Max Long | 1, Very Low Vulnerability | 2, Low Vulnerability | 3, Moderate Vulnerability | 4, High Vulnerability | 5, Very High Vulnerability |
| | | | | | | > 1:10 | (1:10 to 1:20) | (1:20 to 1:30) | (1:20 to 1:30) | (1:50 to 1:100) |
| Ammolofi to Loutra Eleftheron (GR) | 20 | 40°49'00.86'N | 24°18'33.90"E | 40°43'28.19'N | 24°05'49.71"E | | | X | | |

| Evaluation of coastal erosion and climate change vulnerability indicator - CVI | | | | | | IV. Relative Sea Level Change (mm/yr) | | | | |
|--|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| | | | | | | 1, Very Low Vulnerability | 2, Low Vulnerability | 3, Moderate Vulnerability | 4, High Vulnerability | 5, Very High Vulnerability |
| Site Name | Length (km) | Min Lat | Min Long | Max Lat | Max Long | <1.0 | 1.0 to 2.0 | 2.0 to 5.0 | 5.0 to 7.0 | >7.0 |
| Ammolofi to Loutra Eleftheron (GR) | 20 | 40°49'00.86' N | 24°18'33.90' E | 40°43'28.19' N | 24°05'49.71' E | | | X | | |

| Evaluation of coastal erosion and climate change vulnerability indicator - CVI | | | | | | V. Mean Significant Wave Height (m) | | | | |
|--|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| | | | | | | 1, Very Low Vulnerability | 2, Low Vulnerability | 3, Moderate Vulnerability | 4, High Vulnerability | 5, Very High Vulnerability |
| Site Name | Length (km) | Min Lat | Min Long | Max Lat | Max Long | < 0.5 | 0.5 to 3.0 | 3.0 to 6.0 | 6.0 to 8.0 | > 8.0 |
| Ammolofi to Loutra Eleftheron (GR) | 20 | 40°49'00.86' N | 24°18'33.90" E | 40°43'28.19' N | 24°05'49.71" E | | X | | | |

| Evaluation of coastal erosion and climate change vulnerability indicator - CVI | | | | | | VI. Mean Tidal Range (m) | | | | |
|--|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| | | | | | | 1, Very Low Vulnerability | 2, Low Vulnerability | 3, Moderate Vulnerability | 4, High Vulnerability | 5, Very High Vulnerability |
| Site Name | Length (km) | Min Lat | Min Long | Max Lat | Max Long | < 0.5 (Microtidal) | 0.5 to 2.0 (Microtidal) | 2.0 to 4.0 (Mesotidal) | 4.0 to 6.0 (Mesotidal) | > 6.0 (Macrotidal) |
| Ammolofi to Loutra Eleftheron (GR) | 20 | 40°49'00.86' N | 24°18'33.90" E | 40°43'28.19' N | 24°05'49.71" E | X | | | | |

Evaluation of coastal erosion and climate change vulnerability indicator - CVI

| Site Name | Length (km) | Min Lat | Min Long | Max Lat | Max Long | Geomorphology | Shoreline Change | Costal Slope | Sea Level Change | Mean Significant Wave Height |
|-----------------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|--------------|------------------|------------------------------|
| Ammolofiti Loutra Eleftheron (GR) | 20 | 40°49'00.86"N | 24°18'33.90"E | 40°43'28.19"N | 24°05'49.71"E | 5 | 3 | 3 | 3 | 2 |

$$CVI = \sqrt{\frac{G \times RSCR \times CS \times RSL \times WH \times TR}{6}} = 6.71$$

Με βάση την τιμή του δείκτη CVI η παράκτια περιοχή χαρακτηρίζεται ως:

Περιοχή Χαμηλής Τρωτότητας: $2.23 < CVI < 6.32$;

Περιοχής Ενδιάμεσης τρωτότητας: $6.32 \leq CVI < 10.00$;

Περιοχή Υψηλής Τρωτότητας: $10.00 \leq CVI < 14.14$; and

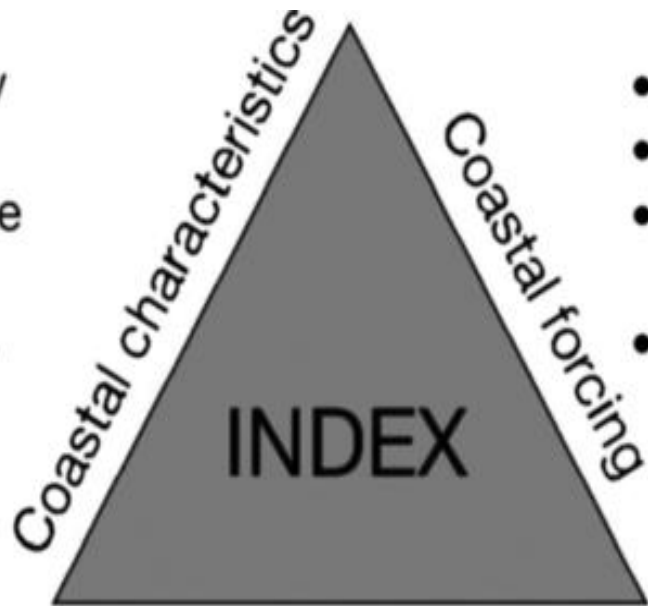
Περιοχή Πολύ Υψηλής Τρωτότητας: $14.14 \leq CVI < 35.35$.

Ο Κοινωνικο-οικονομικός Δείκτης Παράκτιας Τρωτότητας SocCVI

Αποτελείται από 3 Υπο-δείκτες:

- A) Υποδείκτης Παράκτιων Χαρακτηριστικών (Coastal Characteristics)
- B) Υποδείκτης Παράκτιων Φυσικών Επιδράσεων (Coastal Forcings)
- Γ) Κοινωνικο-οικονομικός Υποδείκτης (Socio-economics)

- Solid geology
- Drift geology
- Shoreline type
- Elevation
- River mouths
- Orientation
- Inland buffer



- Significant wave height
- Tidal range
- Difference in storm & modal wave height
- Storm frequency

Socio-economic

- Population
- Cultural heritage
- Roads
- Railways
- Landuse
- Conservation status

The description of the Coastal Characteristics of a shoreline is based on the following parameters: a) the geomorphology (*G*), b) the coastal slope (*CS*), and c) the shoreline erosion/accretion change rate (*RSLR*).

Then, the Coastal Characteristics Sub-Index is produced as:

$$CC = \sqrt{\frac{G \times CS \times RSLR}{3}}$$

The description of the Coastal Forcing incident to the studied shoreline, the following parameters are considered: a) the rate of relative sea level rise (RSL), b) the mean tidal range (TR), and c) the mean significant wave height (WH).

Then, the Coastal Forcing sub-index is produced following the equation

$$CF = \sqrt{\frac{RSL \times WH \times TR}{3}}$$

Finally, the Socio-economic sub-index includes the following parameters: a) the presence and size of Settlements (SET), b) sites of Cultural Heritage (CH), c) the presence/absence of Transport Network (TN), d) Land Use (LU), and e) Economic activities (E).

$$SE = \sqrt{\frac{SET \times CH \times TN \times LU \times E}{5}}$$

Table 16. Key parameters and their respective scores for CVI estimation along the pilot study sites of HERMES project.

| Key Variables | 1, Very Low | 2, Low | 3, Moderate | 4, High | 5, Very High |
|-------------------------|-------------|----------------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| Settlements (SET) | Absent | Village | Small Town | Large Town | City |
| Cultural Heritage (CH) | Absent | Local | Regional | National | Global |
| Transport (TN) | Absent | Secondary | National Road | Ports | Highway |
| Land Use (LU) | Bare Rocks | Grasslands / Coastal Areas | Forest | Agricultural Areas | Urban / Industrial |
| Economic Activities (E) | Absent | Agricultural | Commercial | Industrial | Tourism |

$$NV = \frac{(\textit{Sub} - \textit{index value} - \textit{min sub} - \textit{index value})}{(\textit{max Sub} - \textit{index value} - \textit{min sub} - \textit{index value})}$$

Κανονικοποίηση Δείκτη

$$SocCVI = \frac{CC + CF + SE}{3}$$