



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Διαχείριση Φυσικών Πόρων και Οικοσυστημάτων II

Διάλεξη 14: Περιβαλλοντικοί Δείκτες

Καθηγητής ΔΠΘ Γεώργιος Συλαίος

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

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 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 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	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

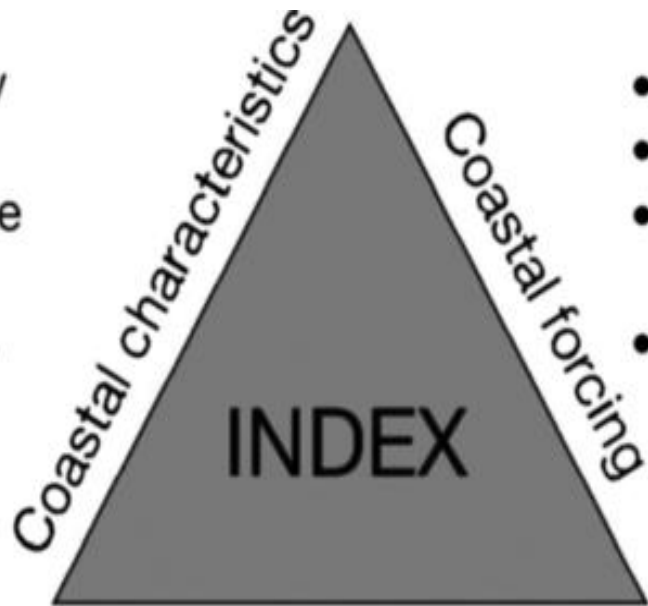
Περιοχή Πολύ Υψηλής Τρωτότητας: $14.14 \leq CVI < 35.35$.

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

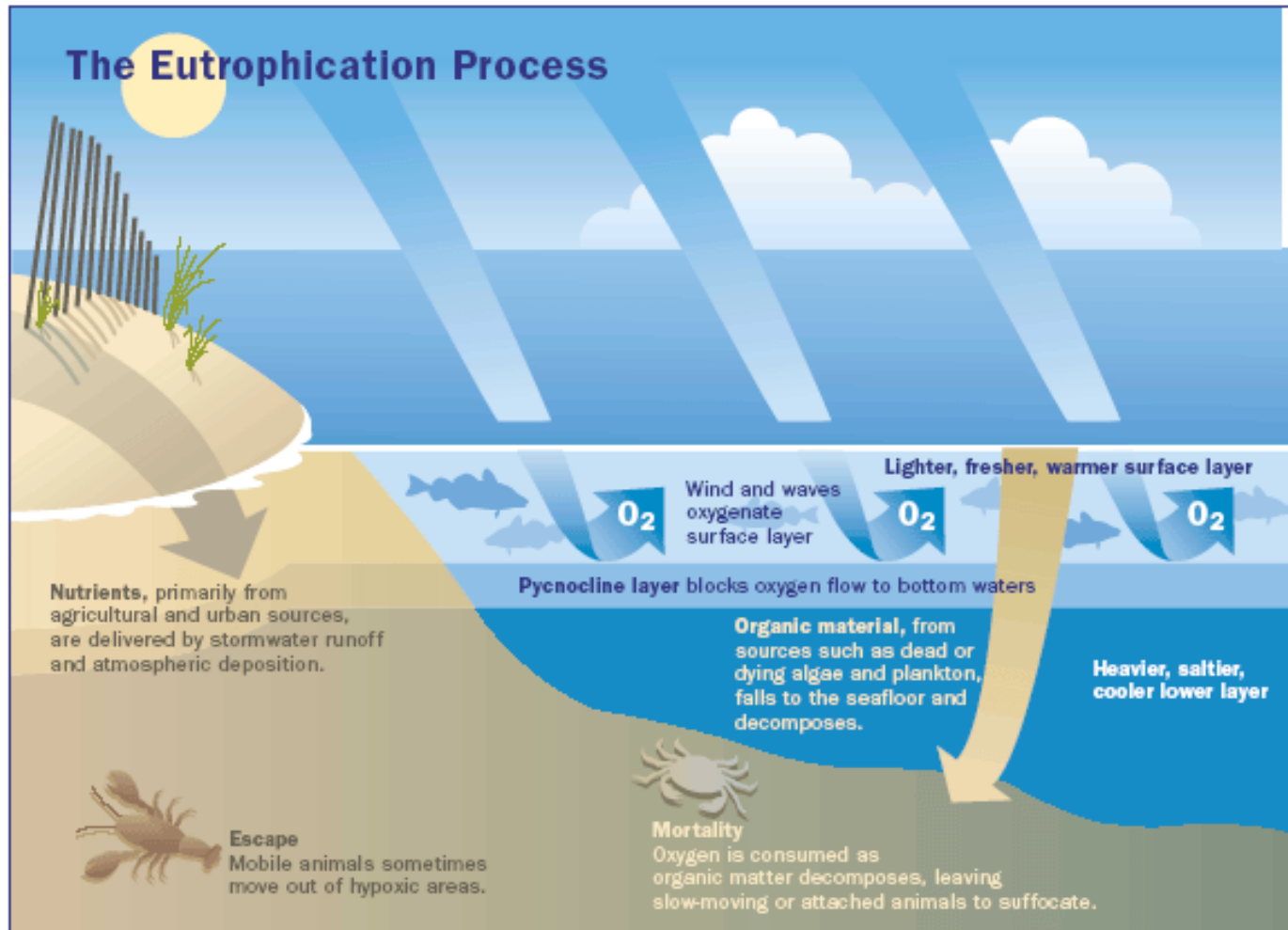
$$NV = \frac{(Sub - index\ value - \min\ sub - index\ value)}{(\max\ Sub - index\ value - \min\ sub - index\ value)}$$

Κανονικοποίηση Δείκτη

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

Δείκτες 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:

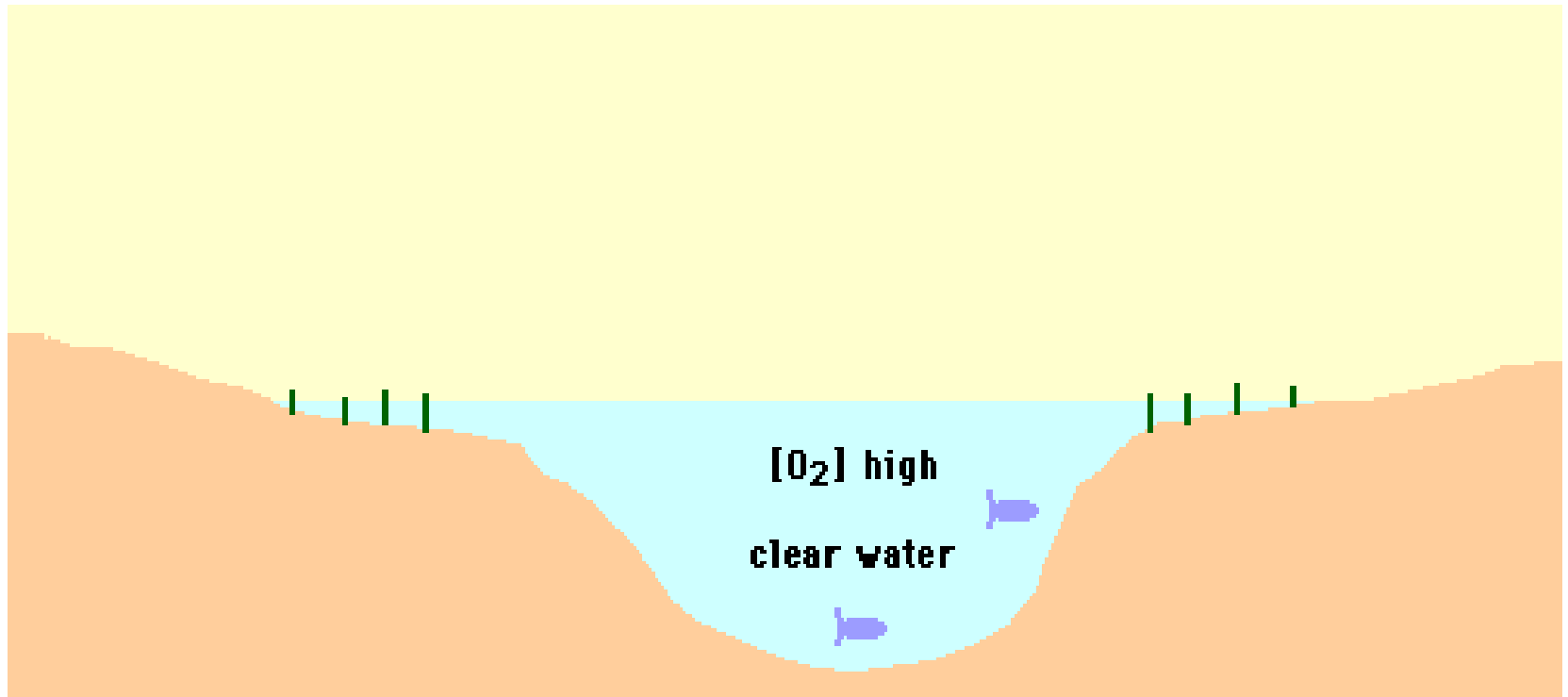
- ❖ την εμφάνιση **μαζικών θανάτων ψαριών** από ασφυξία,
- ❖ την **απώλεια της υποθαλάσσιας βλάστησης,**
- ❖ την **απελευθέρωση στα νερά παθογόνων μικρο-οργανισμών** και τοξινών, και
- ❖ την δημιουργία **συχνών έως μόνιμων τοξικών 'εκρήξεων' άλγης** (HABs, Harmful Algal Blooms).

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

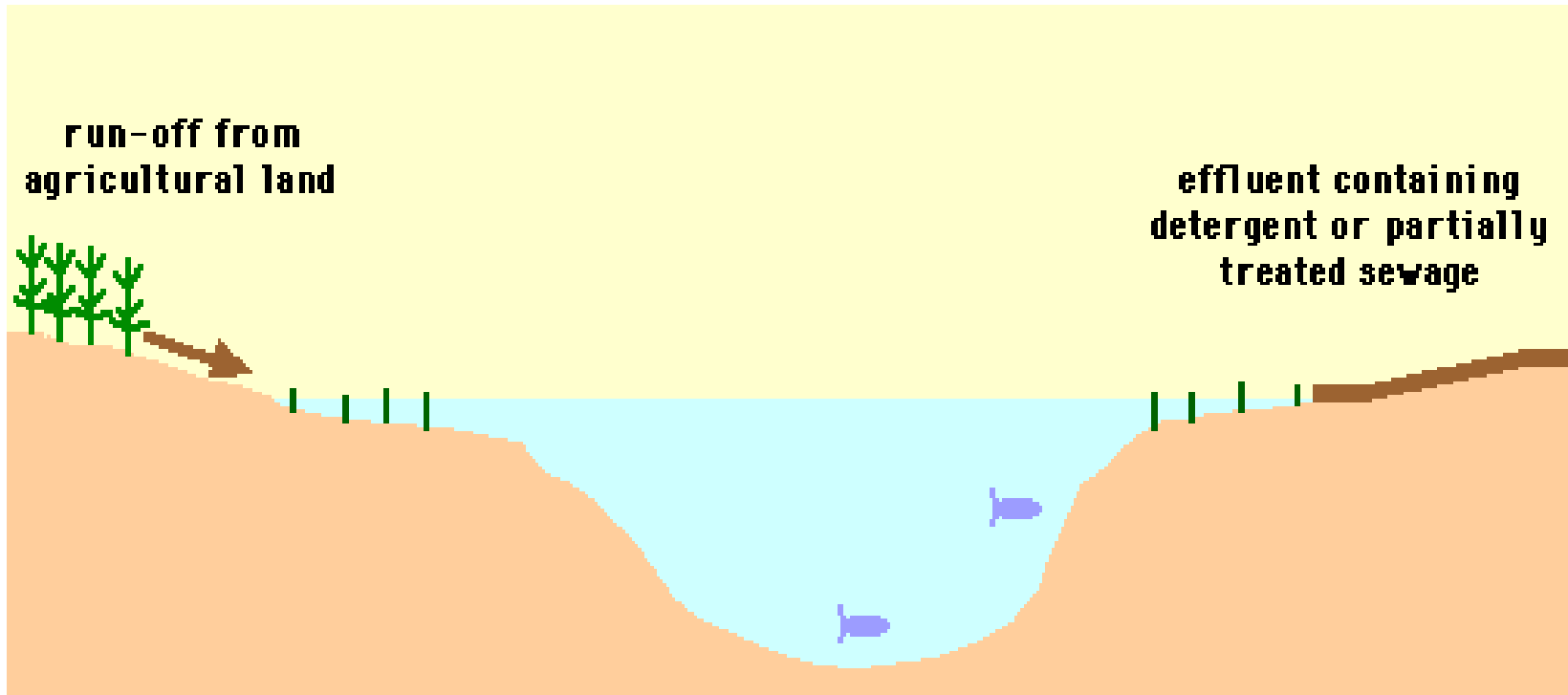
Ο Ευτροφισμός σε 8 Διαδοχικά Βήματα

Βήμα 1



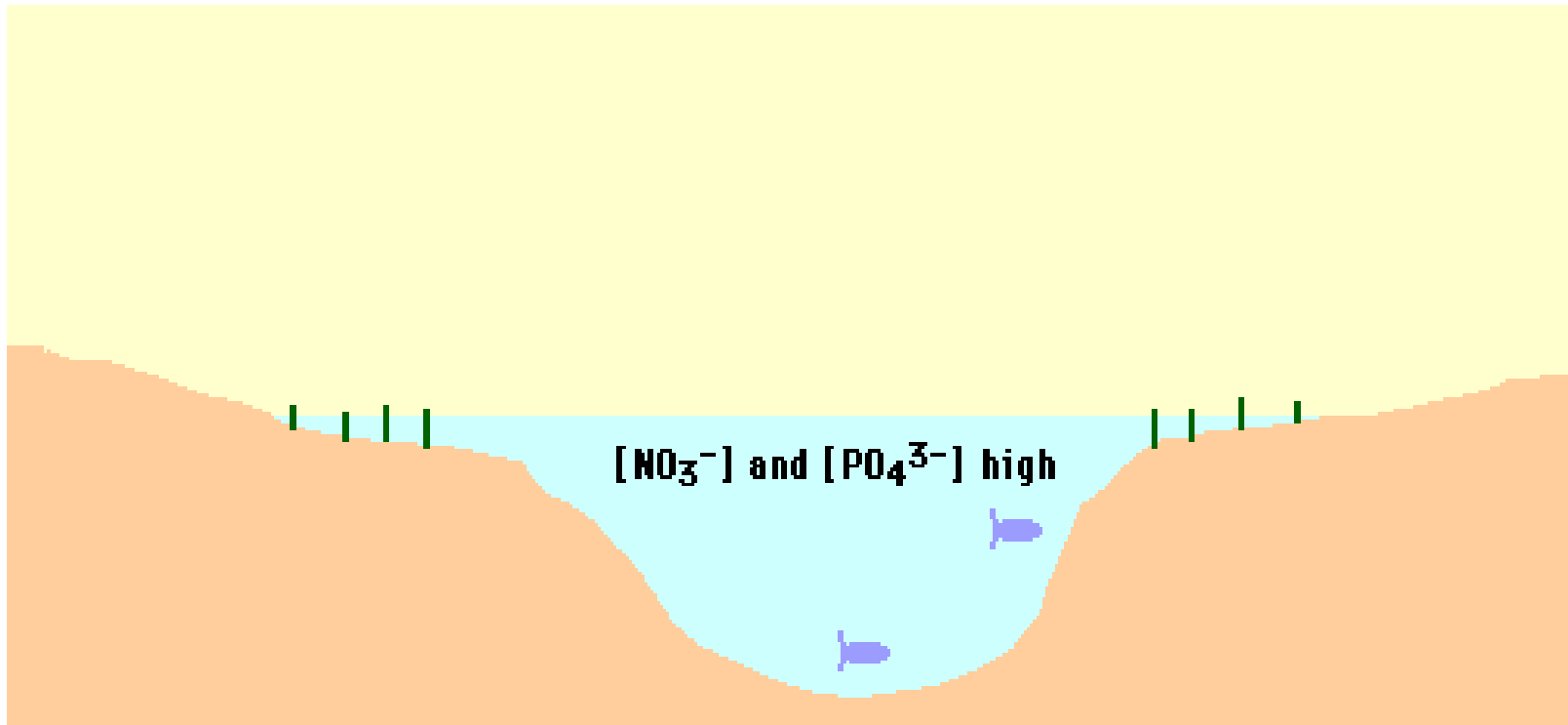
Ολιγοτροφικό Σύστημα με χαμηλά επίπεδα θρεπτικών αλάτων

Βήμα 2



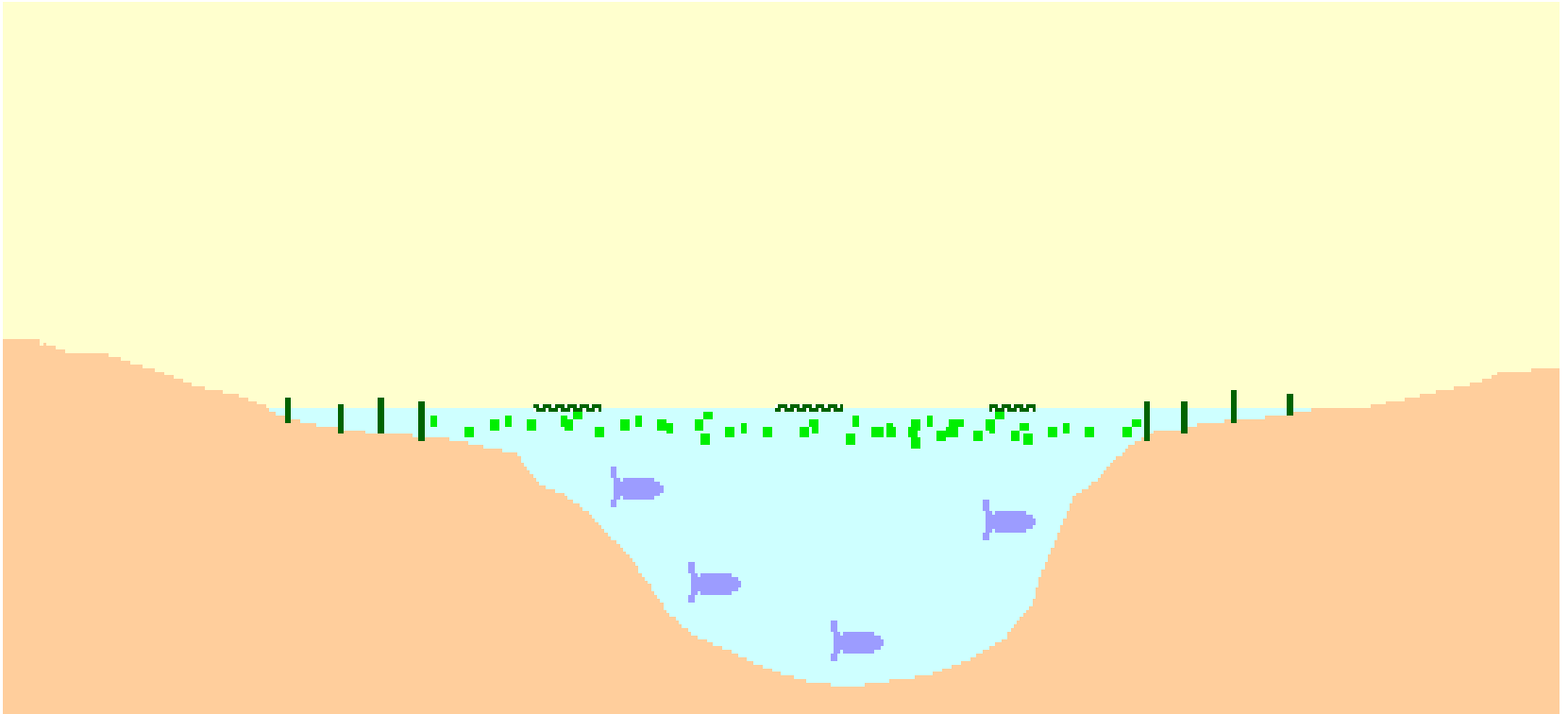
Φυσική και ανθρώπινη προσφορά θρεπτικών αλάτων (ενώσεων αζώτου, φωσφόρου και πυριτίου) από αγροτική απορροή (μη-σημειακή ρύπανση) και αγωγό δευτερογενούς επεξεργασίας λυμάτων (σημειακή ρύπανση).

Βήμα 3



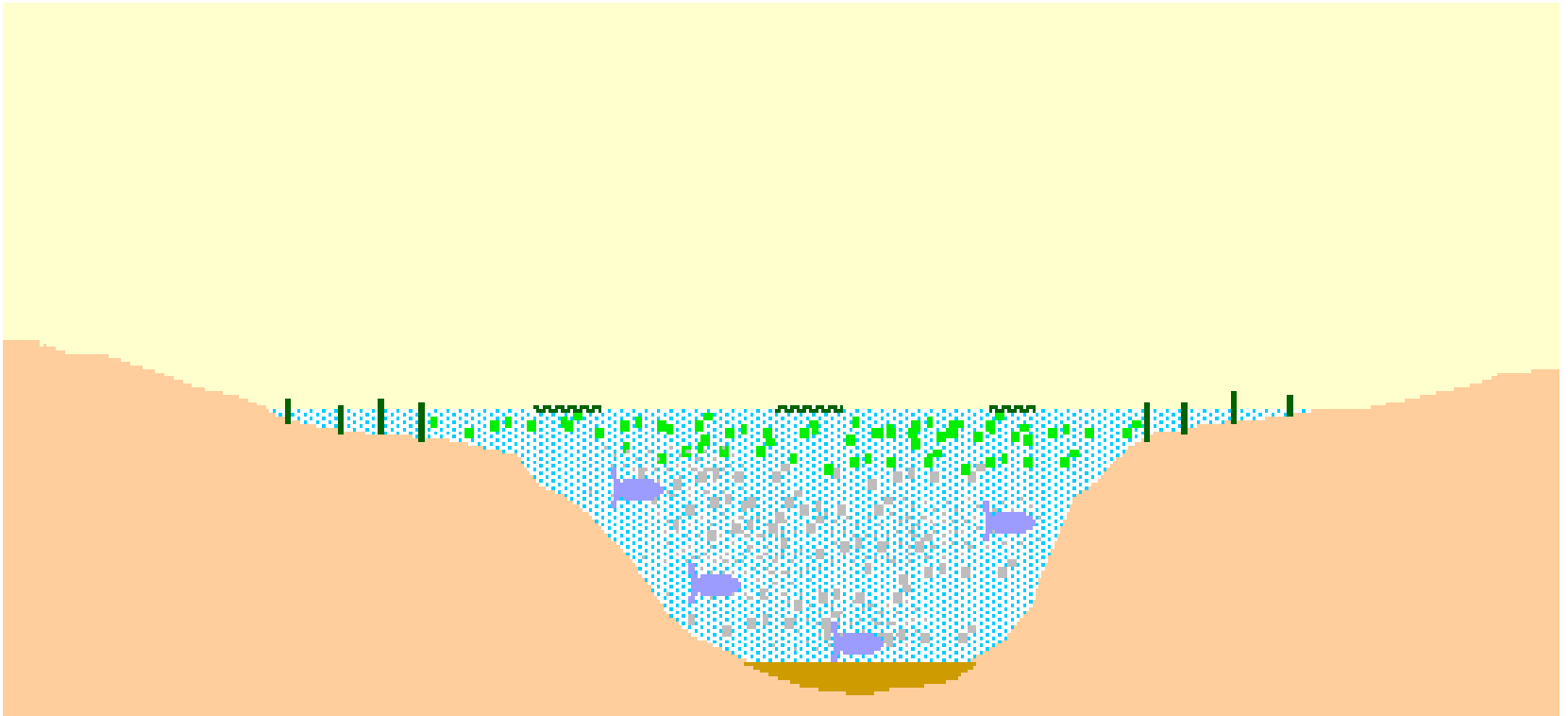
Σταδιακά το σύστημα γίνεται εύτροφο, με υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων.

Βήμα 4



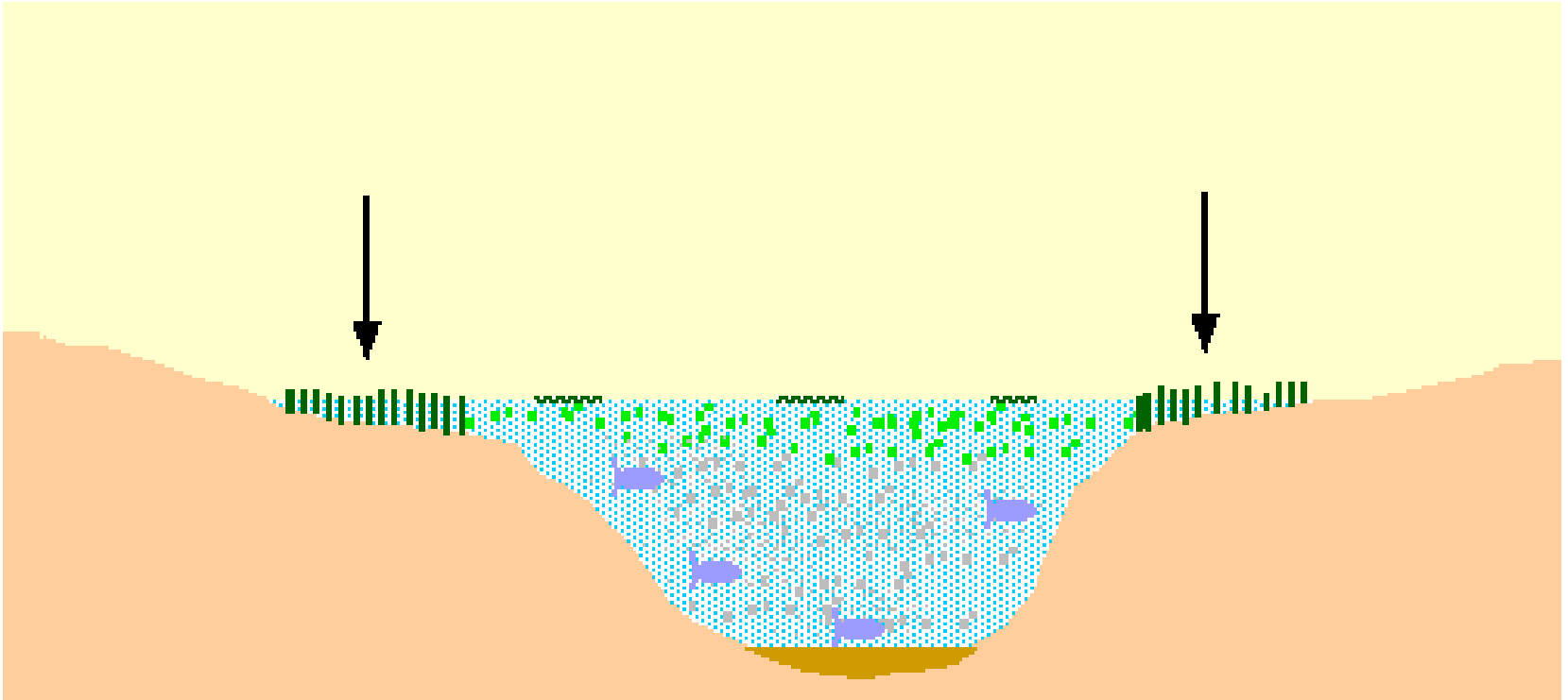
Απότομη αύξηση της βιομάζας της άλγης, με αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου.

Βήμα 5



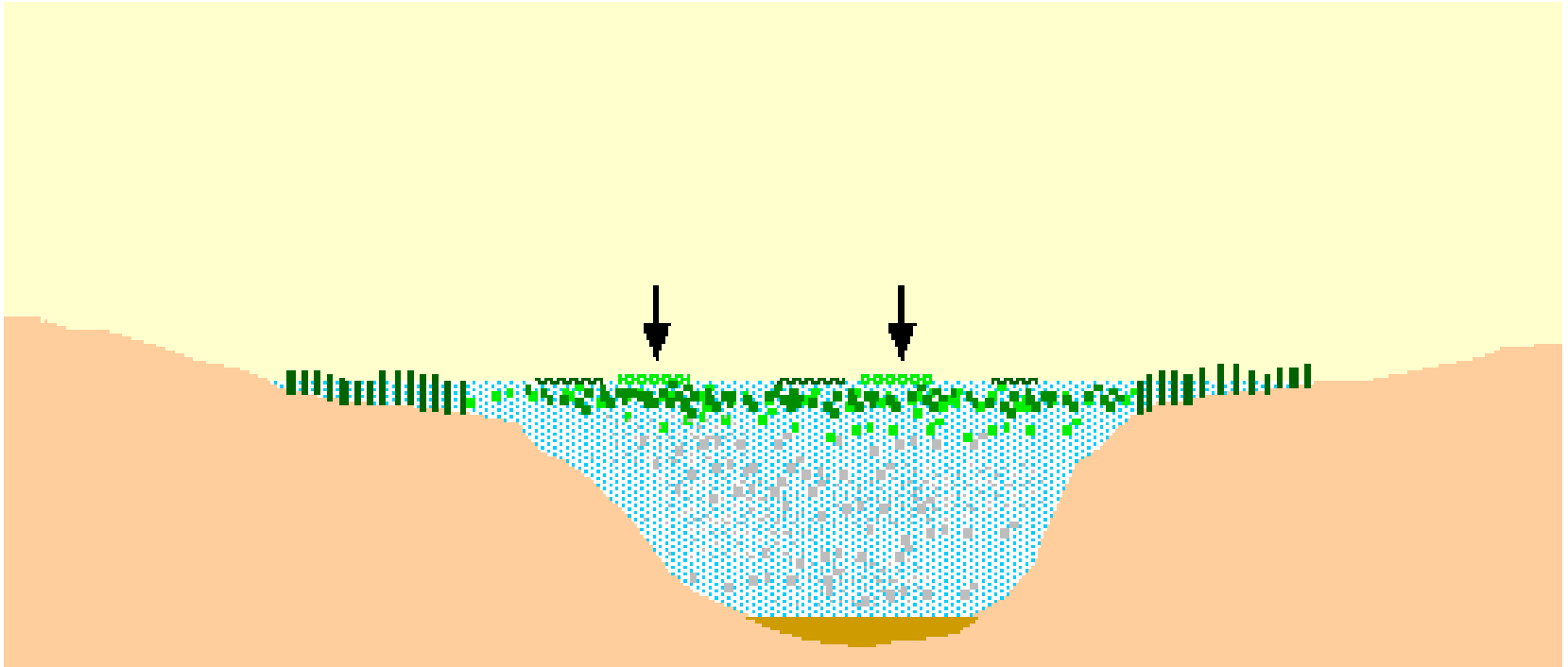
Η θολερότητα του νερού αυξάνει. Παράλληλα αυξάνει και ο ρυθμός ιζηματοποίησης.

Βήμα 6



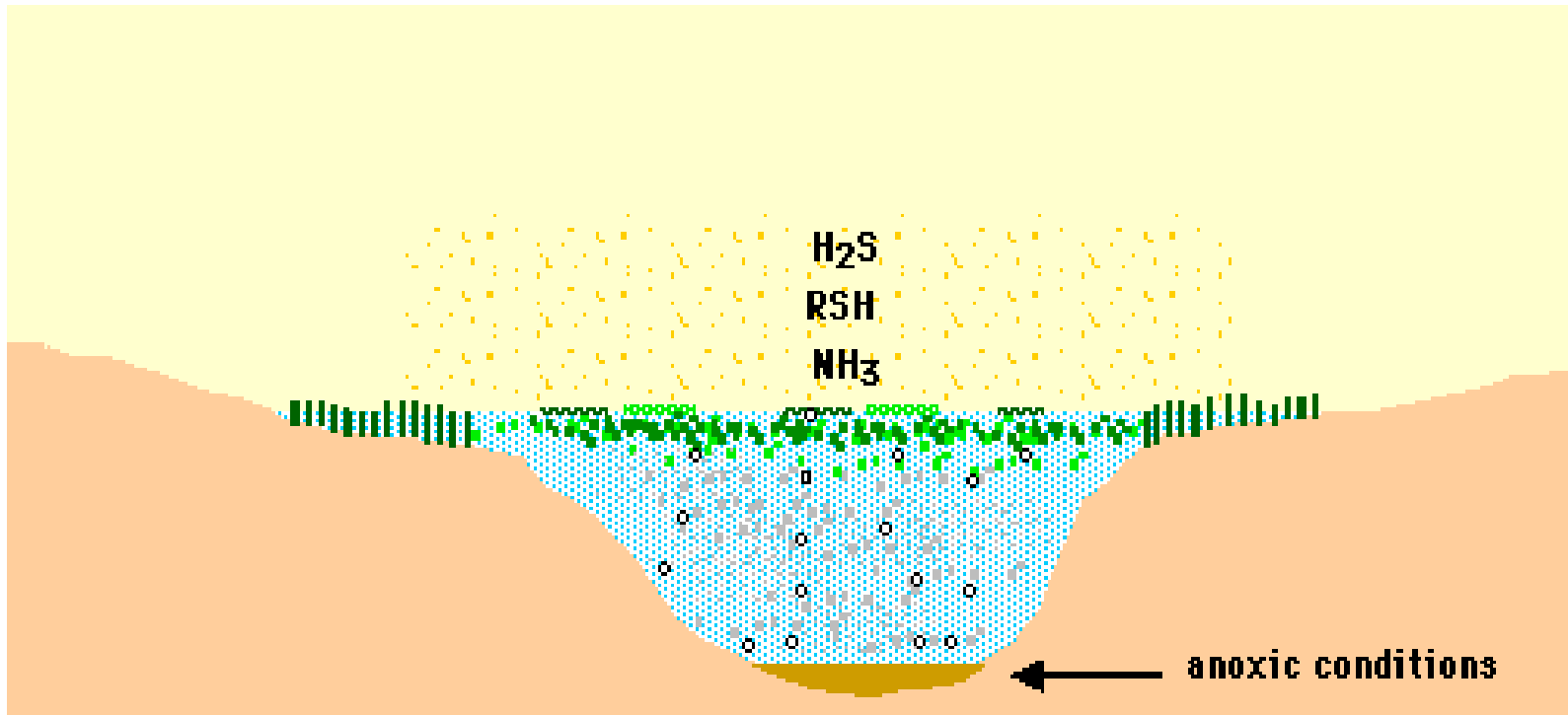
Αυξημένη ανάπτυξη βενθικής χλωρίδας στα ρηχά τμήματα του συστήματος.

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

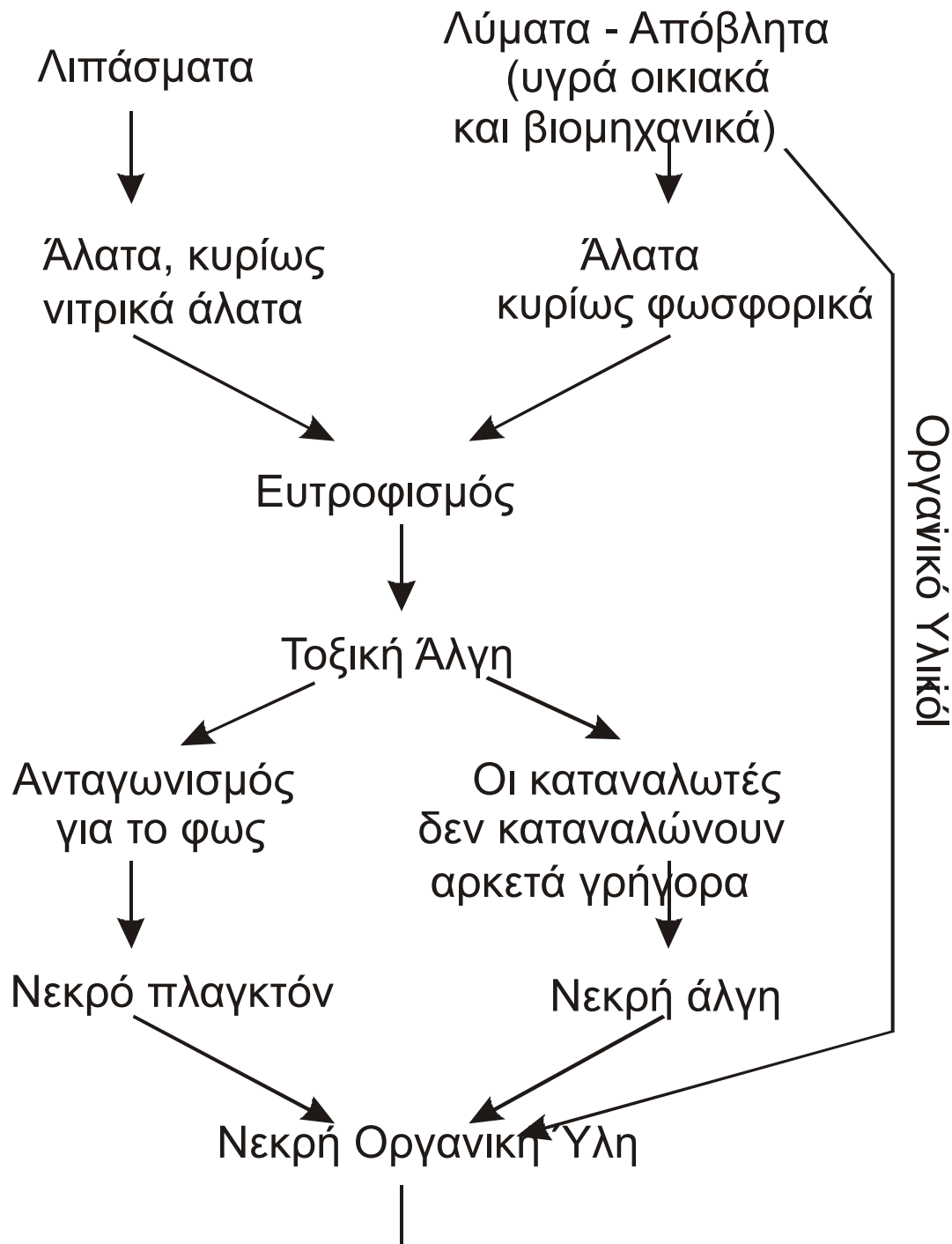


Εμφάνιση ανοξικών συνθηκών και απελευθέρωση επιβλαβών αερίων όπως το υδρόθειο, θειούχες αλκοόλες, μεθάνιο και η αμμωνία.

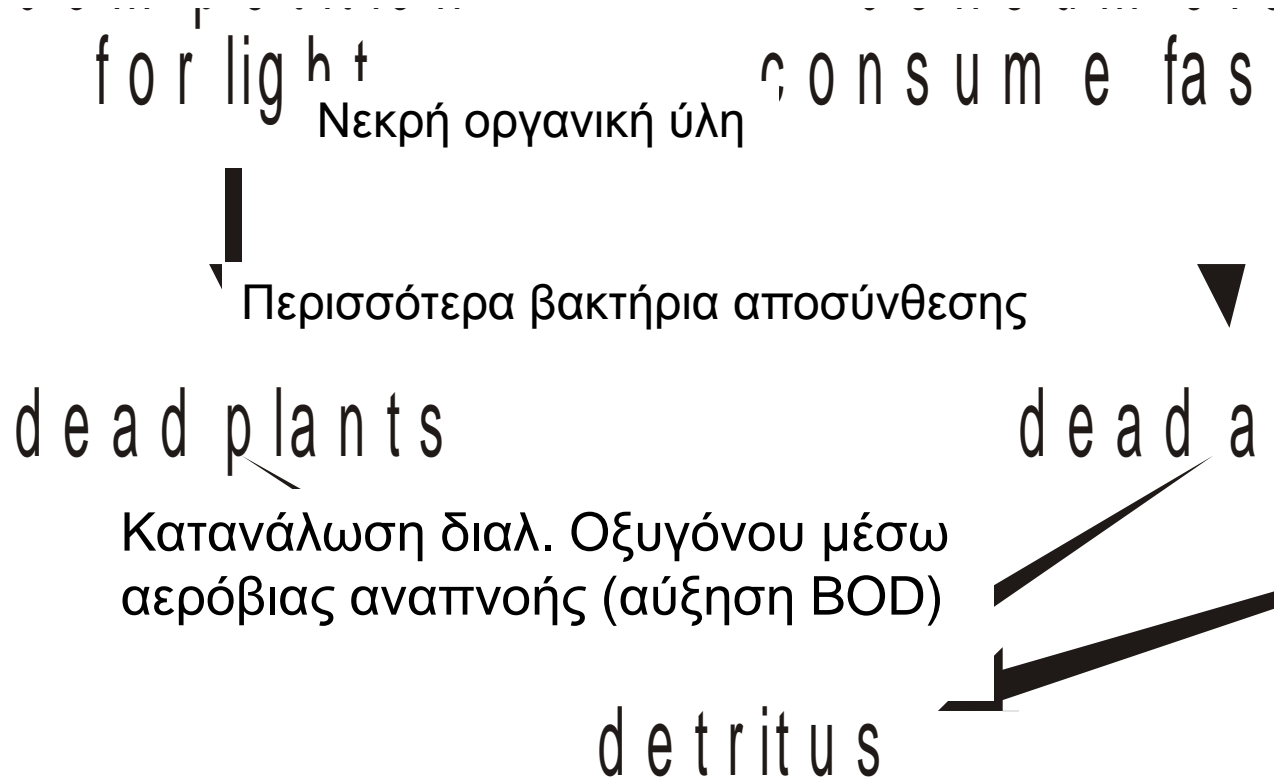
Ανακεφαλαίωση Επιπτώσεων Ευτροφισμού στο Παράκτιο Οικοσύστημα

- 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



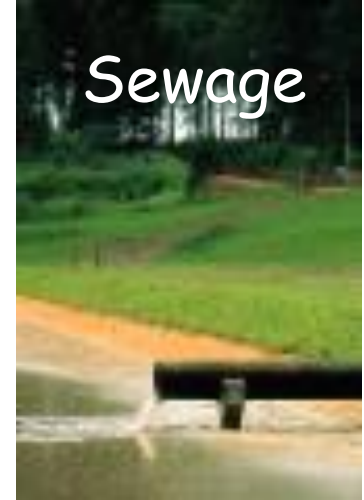
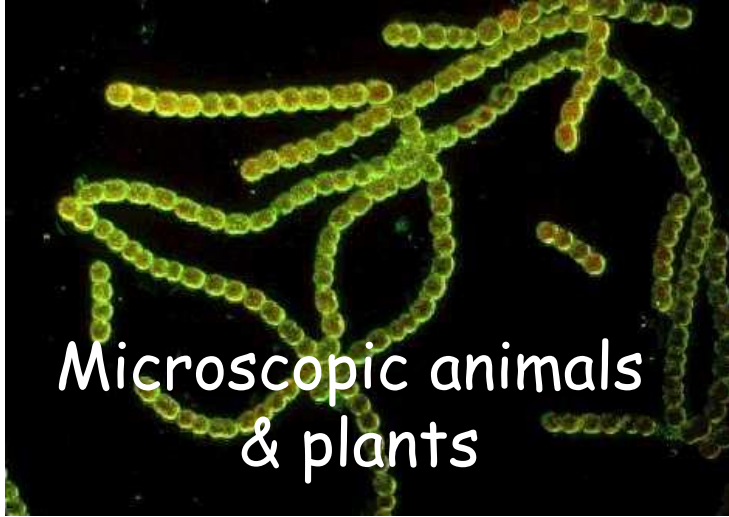
Οι αερόβιοι οργανισμοί πεθαίνουν (ασπόνδυλα, φυτοβένθος, ψάρια, κλπ.)

· e

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 κοινωμιών (κοινωμιών 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.

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

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

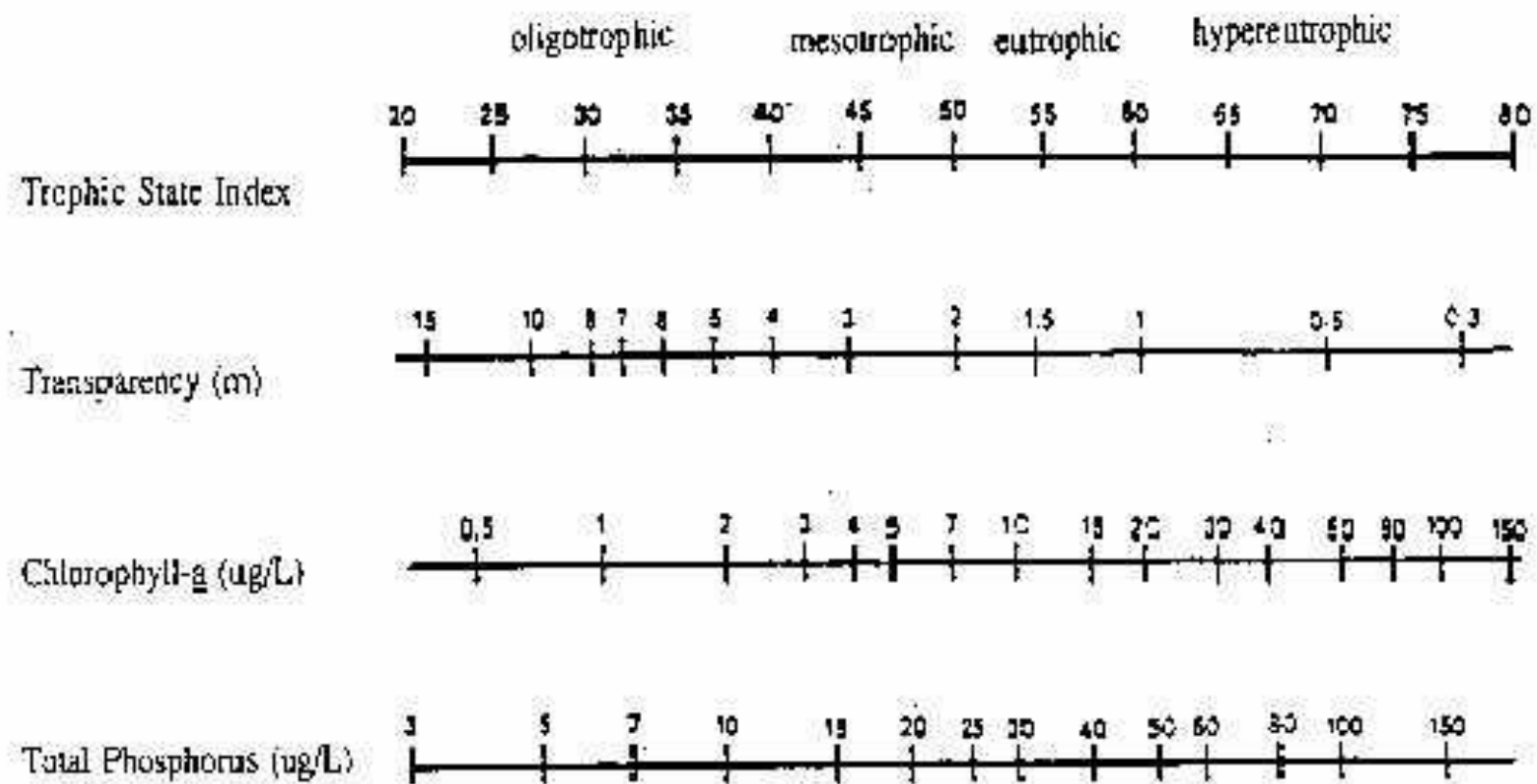
$$TSI_{SD} = 10 \left(6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right)$$

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

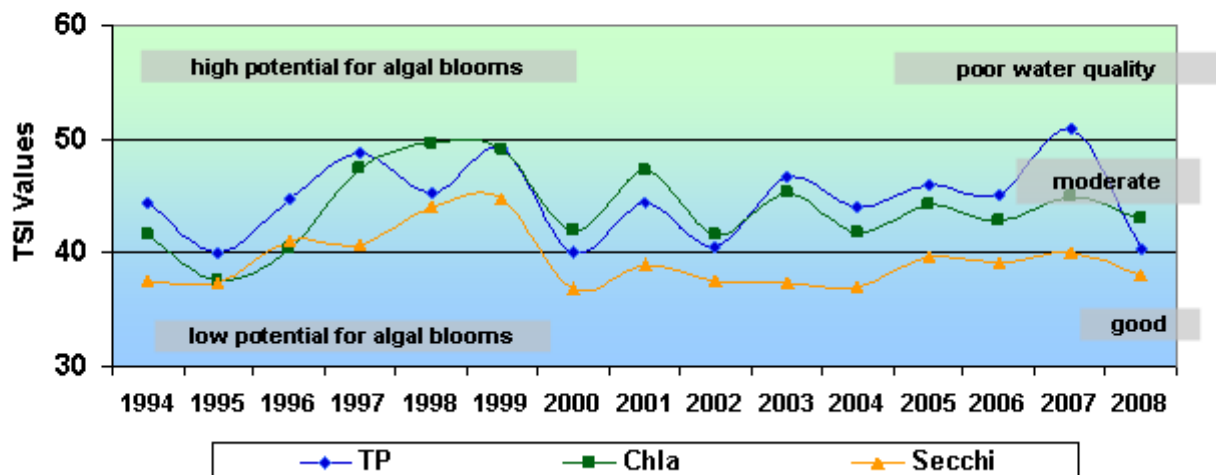
Οι τιμές του Δείκτη TSI κυμαίνονται από 0 έως 100, αν και θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτατο ή κατώτατο όριο. Κάθε αύξηση του TSI κατά 10 μονάδες αντιστοιχεί σε μείωση του βάθους διαύγειας του νερού στο μισό.

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+

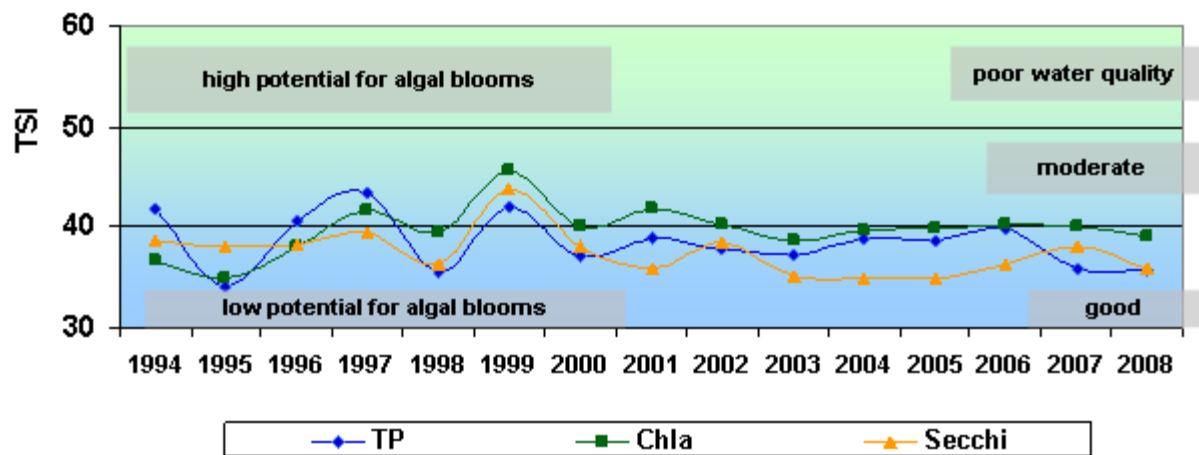
Carlson's Trophic State Index



Lake Union Summer (June-Sept) Trophic State Index



Lake Washington Summer (June-Sept) Trophic State Index



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:

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

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)

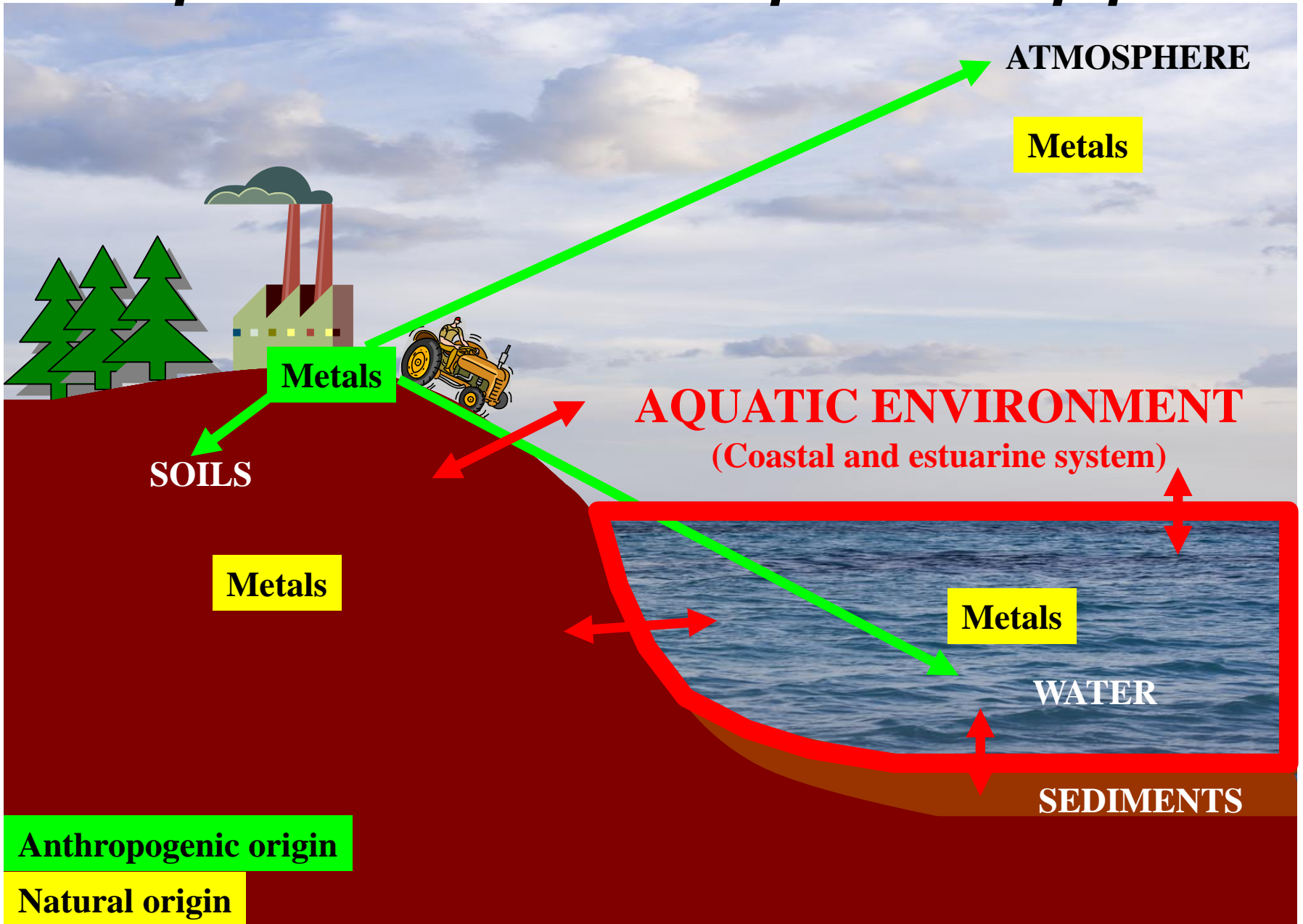
Μέταλλα όπως ο σίδηρος και το αλουμίνιο έχουν φυσική παρουσία σε υψηλές σχετικά συγκεντρώσεις.

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.

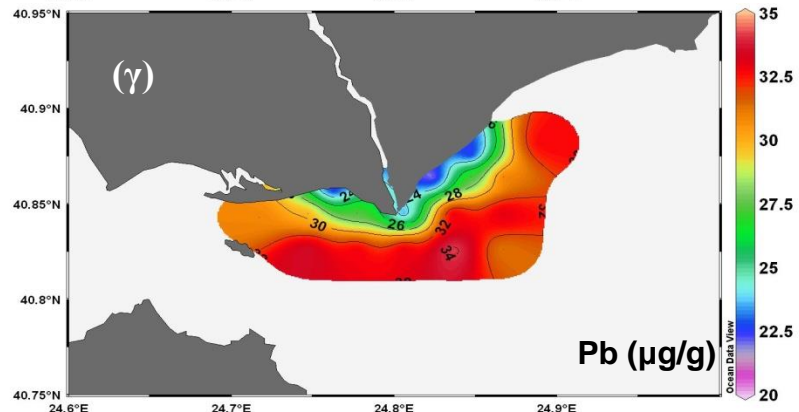
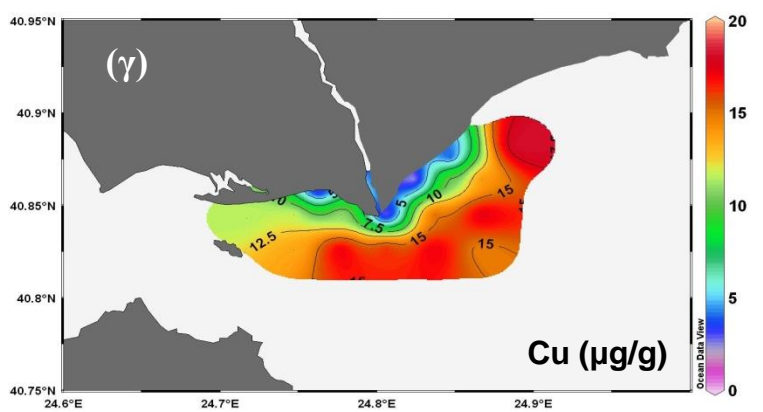
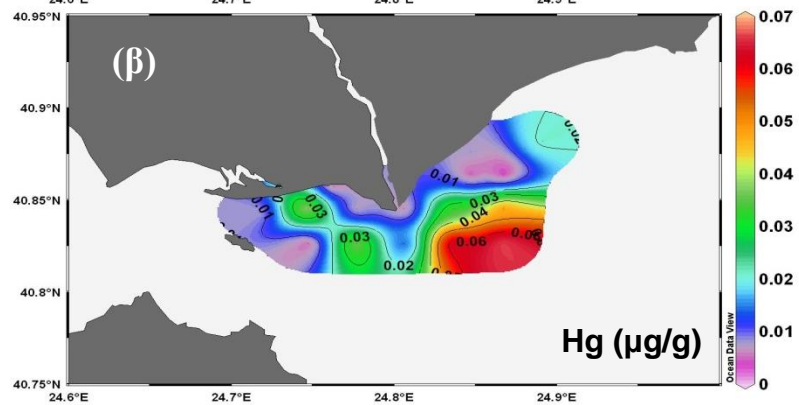
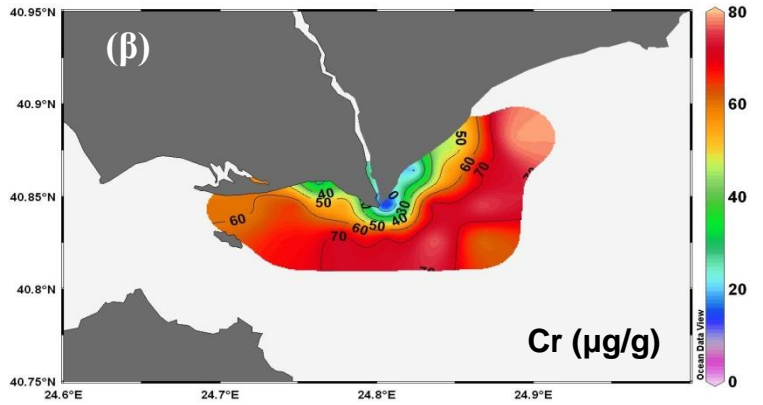
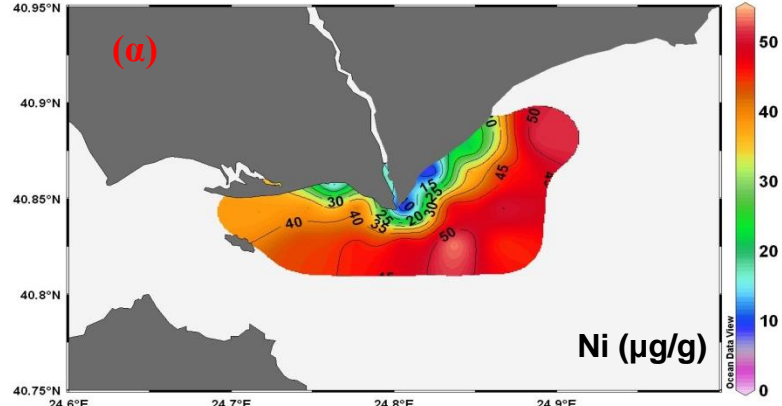
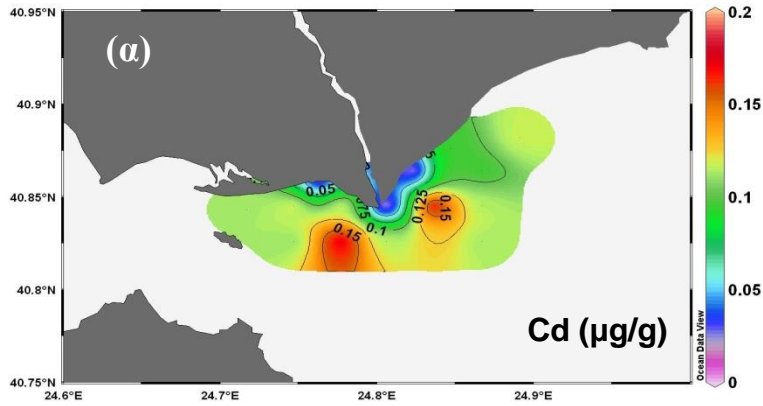
Ανθρωπογενείς πηγές βαρέων μετάλλων περιλαμβάνουν:

- 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.

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	$0 \leq I_{geo} < 1$	From unpolluted to moderately polluted
3	$1 \leq I_{geo} < 2$	Moderately polluted
4	$2 \leq I_{geo} < 3$	From moderately polluted to strongly polluted
5	$3 \leq I_{geo} < 4$	Strongly polluted
6	$4 \leq I_{geo} < 5$	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)

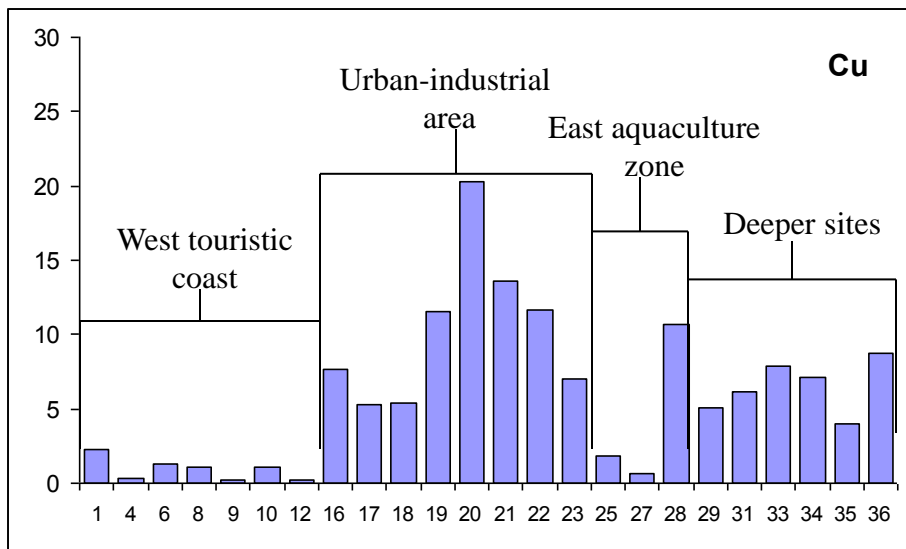
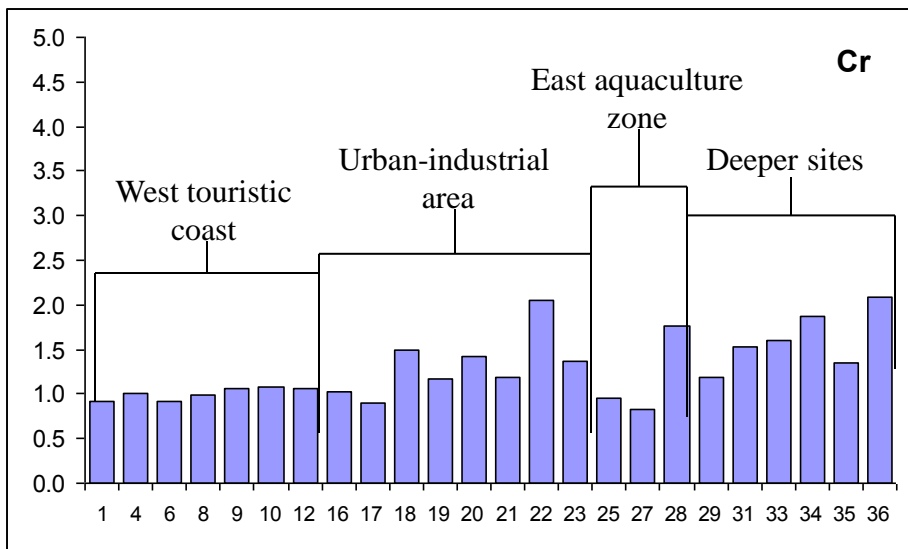
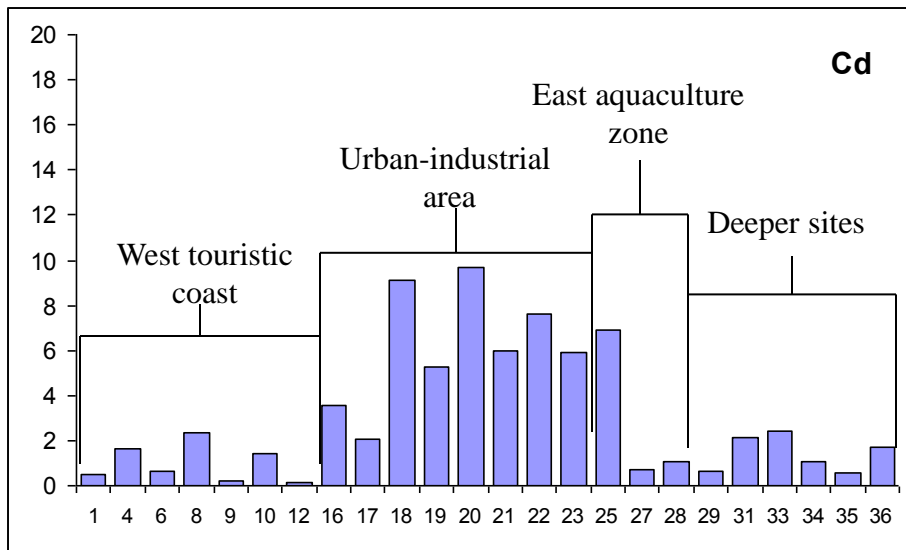
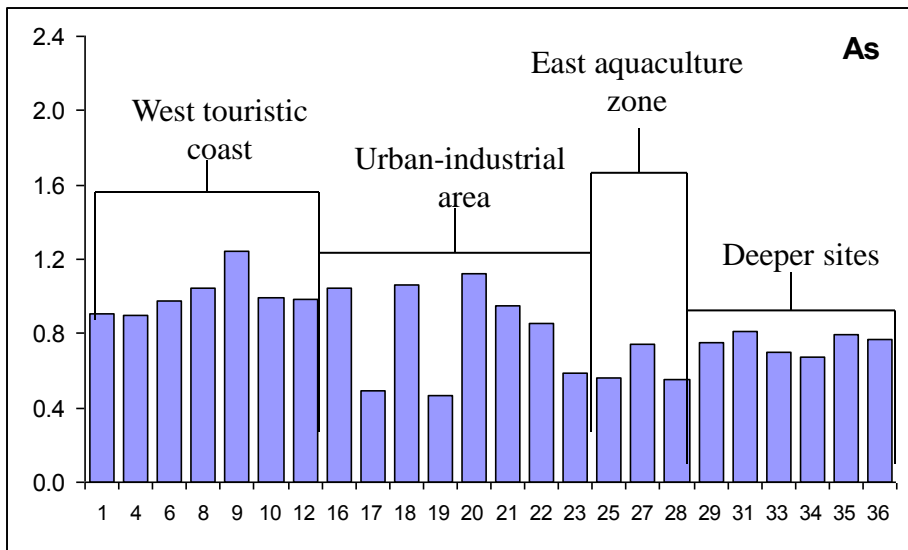
Table 3: Categorization of Enrichment Factor, Potential Ecological Risk and Toxicity Risk Index of heavy metal elements.

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

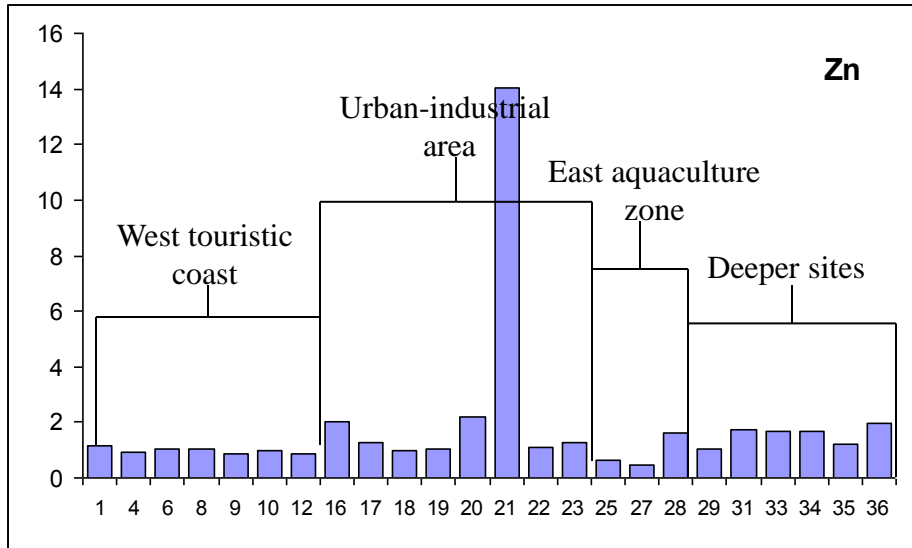
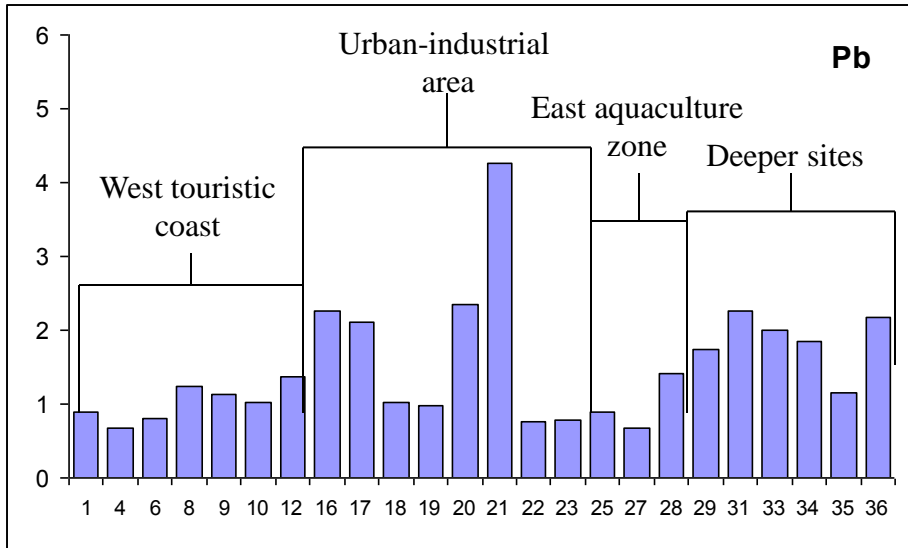
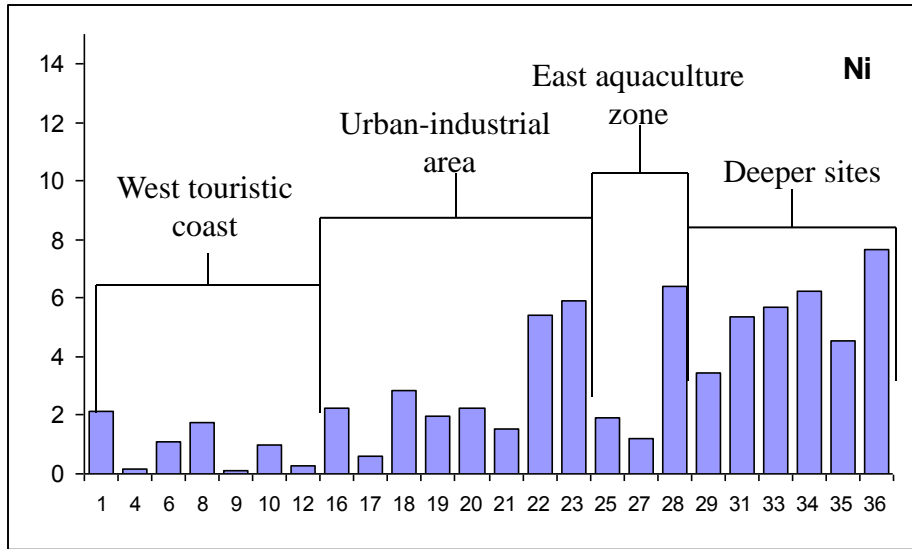
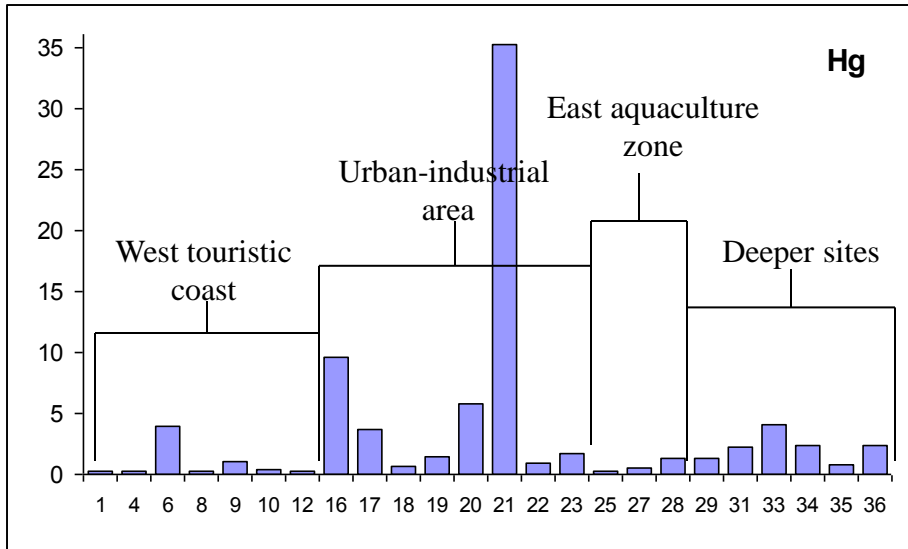


Table 8. Pollution Load Index (PLI) and Geoaccumulation Index (I_{geo}) for the stations sampled in Kavala Gulf. Values in bold represent increased PLI and I_{geo} sites.

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

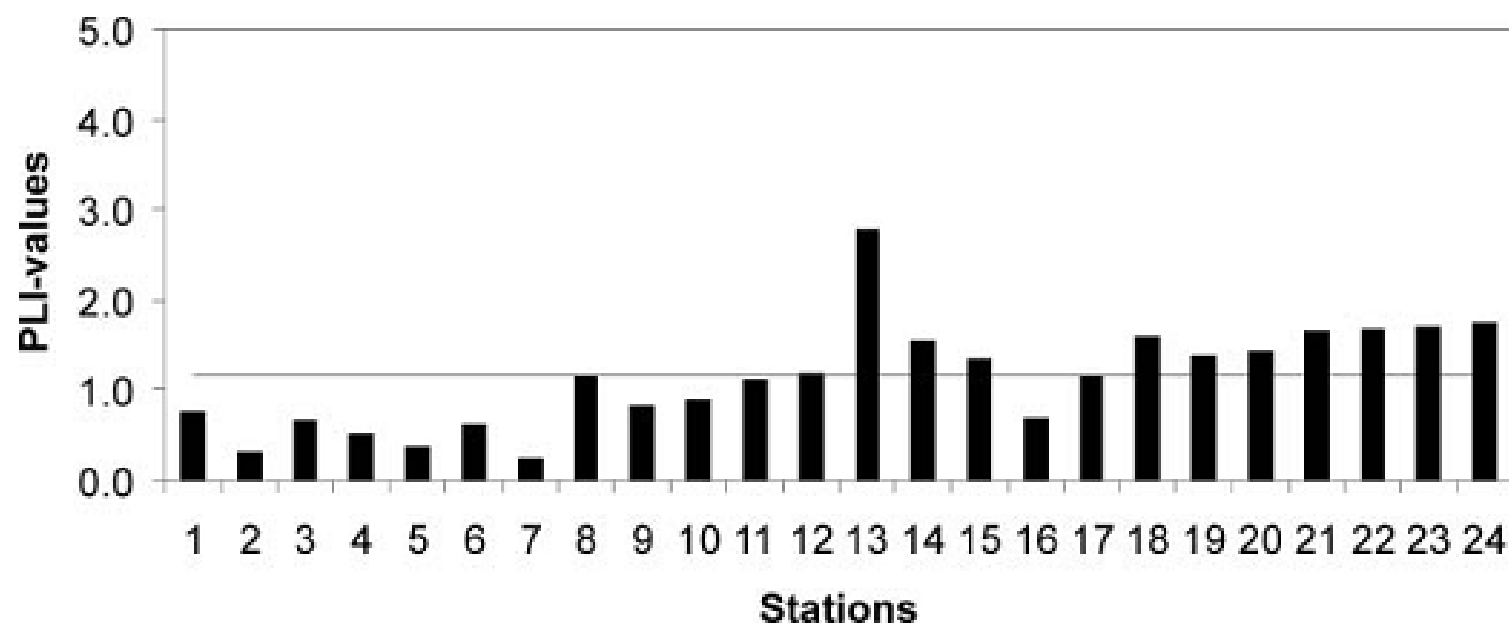


Figure 7. Distribution of PLI values in Kavala Gulf (line represents mean area's PLI).

Comparison of Sediment Concentrations in other Greek coastal areas

Area	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Digestion 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 .

ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

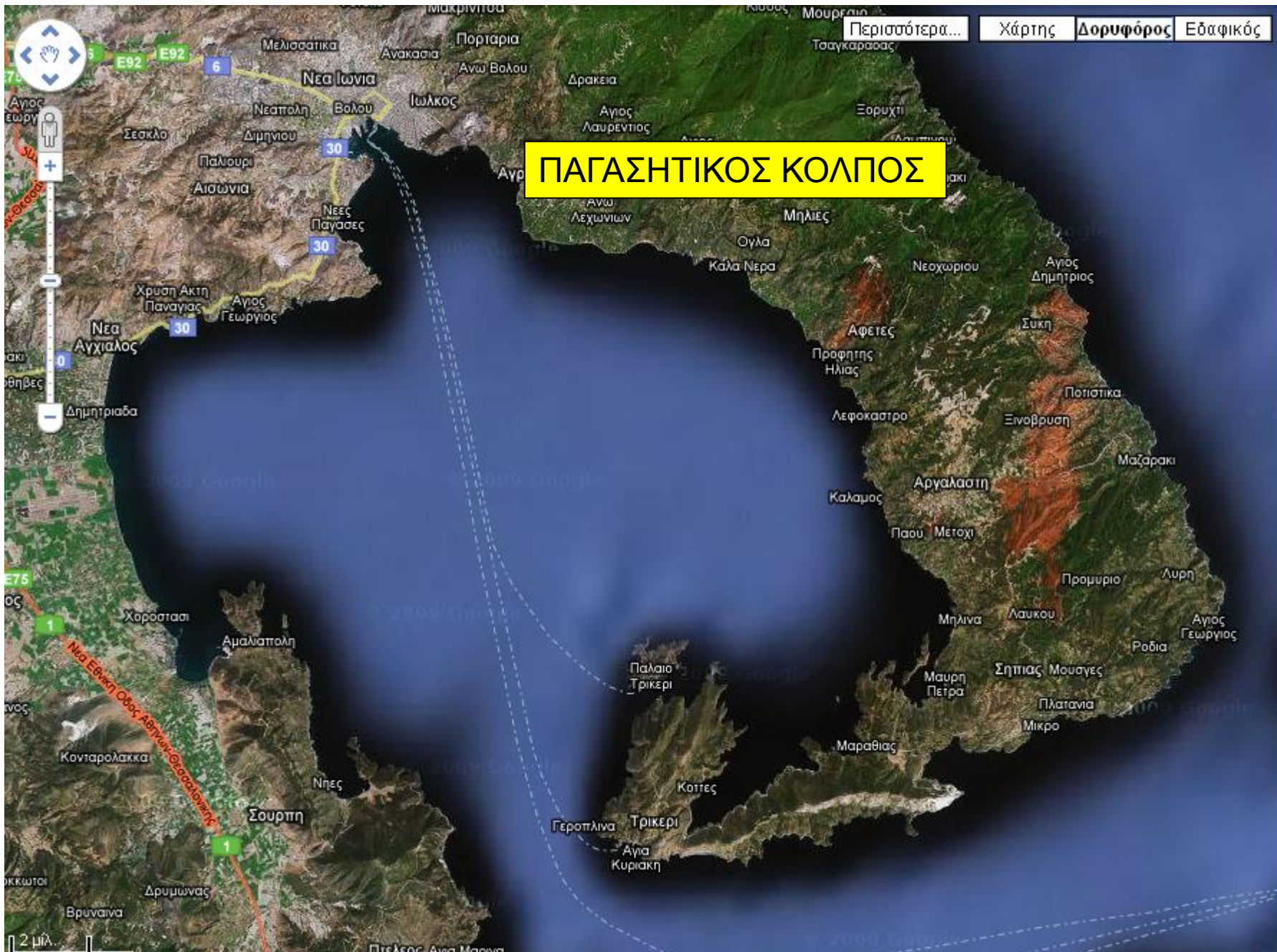


ΤΟΡΩΝΑΙΟΣ ΚΟΛΠΟΣ

ΣΙΓΓΙΤΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ

Ανθρώπινο
+
-
Πουδανία

5 μιλ.
10 χιλμ



ΠΑΓΑΣΗΤΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ

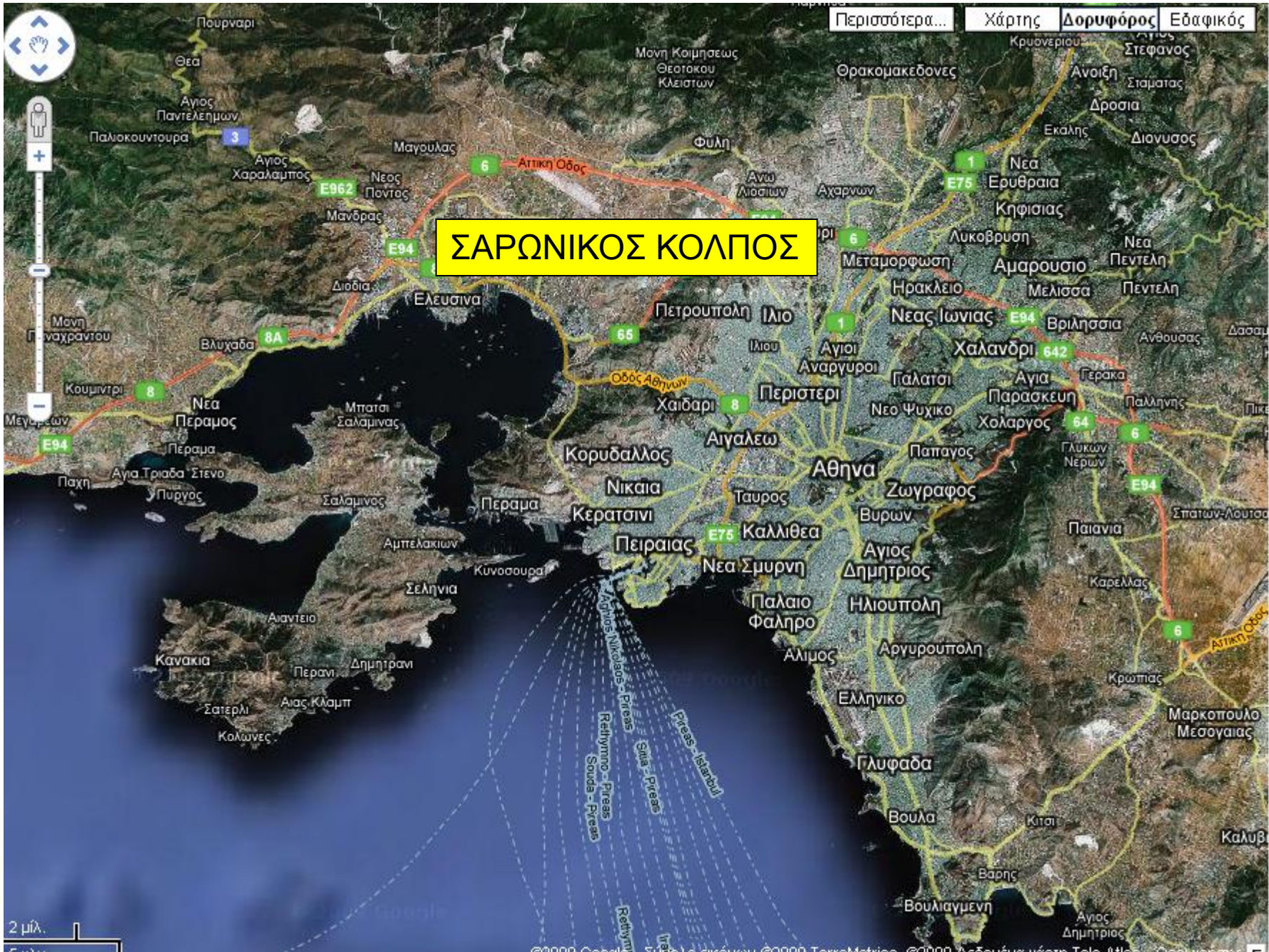
Περισσότερα...

Χάρτης

Δορυφόρος

Εδαφικός

2 μίλ.



ΣΑΡΩΝΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ

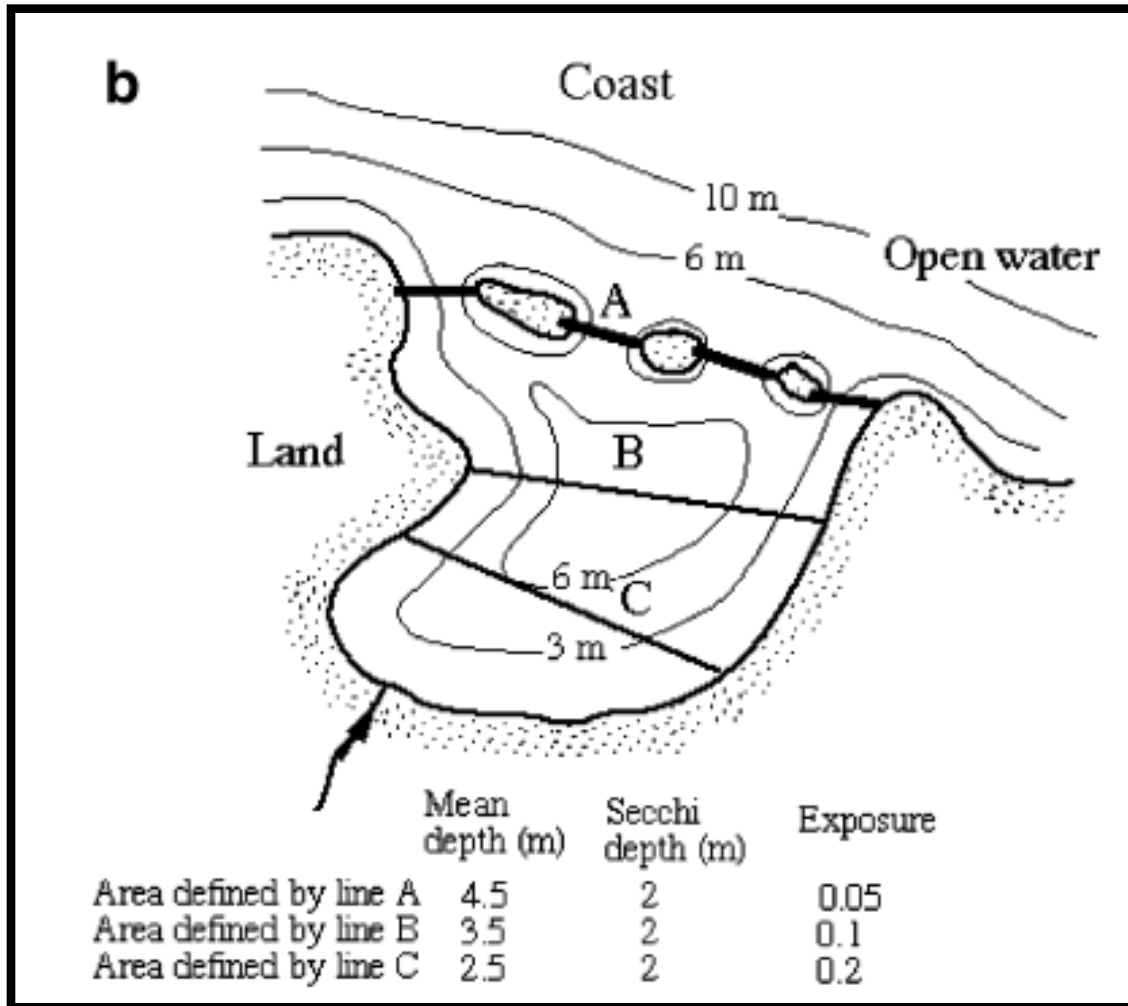
Περισσότερα... Χάρτης Δορυφόρος Εδαφικός

2 μιλ.
5 μιλ.

Δείκτης Έκθεσης ΠΥΣ

Η μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί για το βέλτιστο καθορισμό των φυσικών ορίων του παράκτιου συστήματος χρησιμοποιεί το **δείκτη έκθεσης (exposure ratio, Ex)** ο οποίος εκφράζει το λόγο μεταξύ του εμβαδού της οριακής διατομής και του εμβαδού της παράκτιας περιοχής.

$$\text{Συνεπώς, } E_x = (A_t / \text{Area}) \times 100$$



Χρησιμοποιώντας τον δείκτη E_x για διάφορες οριακές γραμμές της παράκτιας περιοχής, ορίζουμε ως το όριό της τη γραμμή με την οποία το E_x αποκτά την ελάχιστη τιμή του

Μόλις καθορίσουμε τη παράκτια περιοχή, μπορούμε να προσδιορίσουμε σημαντικές παραμέτρους για το ισοζύγιο μάζας, όπως ο **όγκος νερού της περιοχής**, το **μέσο βάθος** και το **εμβαδόν** της περιοχής.

Μορφολογικό Σύστημα Ταξινόμησης

Σε σχέση με το **μορφολογικό σύστημα ταξινόμησης**, χρησιμοποιείται η παράμετρος έκθεσης E_x .

Παράκτιες περιοχές με τιμές E_x μικρότερες του 0.002 θεωρούνται 'πολύ κλειστά παράκτια συστήματα'.

Παράκτιες περιοχές με τιμές μεγαλύτερες του 1.3 θεωρούνται 'ανοικτά παράκτια συστήματα'.

Τέλος, παράκτιες περιοχές με τιμές E_x μεταξύ του 0.002 και 1.3 θεωρούνται 'ημίκλειστα παράκτια συστήματα'.

Μορφολογική ταξινόμηση παράκτιων συστημάτων με βάση τον δείκτη έκθεσης του συστήματος (Lindgren and Hakanson, 2007).

Τιμή E_x	Χαρακτηρισμός Συστήματος	Τυπικά Συστήματα
0-0.002	Κλειστά έως πολύ κλειστά συστήματα	Οι περισσότερες λιμνοθάλασσες
0.002-1.3	Ημίκλειστα συστήματα	Κόλποι, φιόρδς
>1.3	Ανοικτά συστήματα	Ανοικτές ακτές

Άλλη μορφολογική παράμετρος είναι το εμβαδόν της παράκτιας περιοχής. Το εμβαδόν μαζί με το μέσο βάθος ορίζουν τον όγκο νερού της παράκτιας περιοχής. Με βάση το εμβαδόν, οι περιοχές κατατάσσονται σε:

	Χαρακτηρισμός περιοχής
Εμβαδόν παράκτιας περιοχής (km ²)	
> 10.000	Πολύ μεγάλη
1.000-10.000	Μεγάλη
100-1.000	Ενδιάμεση
10-100	Μικρή
< 10	Πολύ μικρή

M.O. Μηδενικής Διάστασης

- Η αριθμητική επίλυση επιτρέπει περισσότερες δυνατότητες περιγραφής των διεργασιών (π.χ., ευτροφισμός, τοξικοί ρύποι)
- Επιτρέπει μεγαλύτερες δυνατότητες χωρικής διακριτοποίησης
- Οι ροές μάζας και οι συντελεστές μείξης παραμετροποιούνται από:
 - δεδομένα πεδίου και εμπειρικές σχέσεις
 - παράγονται από άλλα M.O. (π.χ., υδροδυναμικά)

Το Μαθηματικό Ομοίωμα LOICZ για τη Προσομοίωση των Ροών N, P, C στη Παράκτια Ζώνη

- Το μοντέλο LOICZ συμβάλλει στον Υπολογισμό των Ροών C, N, P στη Παγκόσμια Παράκτια Ζώνη.
- Το μοντέλο LOICZ προσομοιώνει τις ανόργανες διεργασίες που σχετίζονται με τις εισροές N, P, C και τις συνδέει με τη παρουσία και την ανάπτυξη αυτότροφων ή ετερότροφων οργανισμών
- Το μοντέλο LOICZ περιγράφει τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν σε μία περιοχή ως συνάρτηση:
 - Των χερσαίων εισροών ενώσεων C, N, P
 - Των ωκεάνιων ανταλλαγών των ενώσεων C, N, P
 - Των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις χερσαίες λεκάνες απορροής που επικοινωνούν με τη θάλασσα
 - Η προσομοίωση των τοπικών διεργασιών συμβάλλει στη κατανόηση των παγκόσμιων διεργασιών.

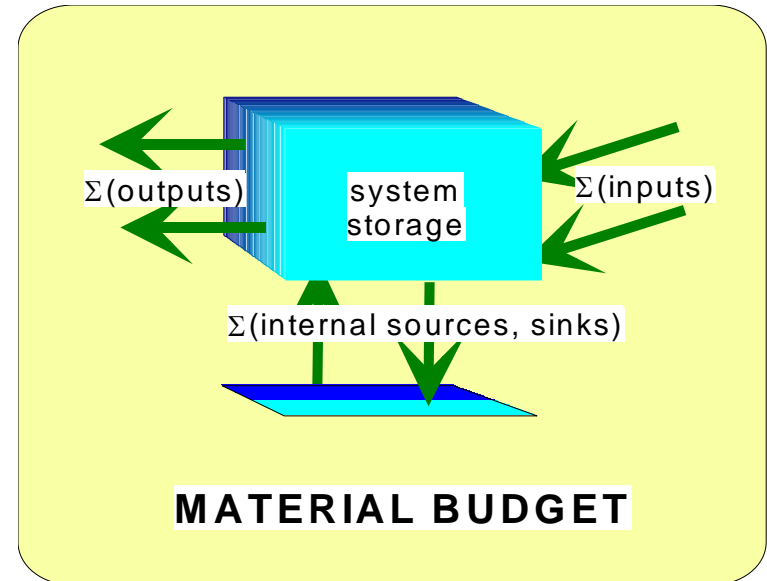
Ανάπτυξη μίας Παγκόσμια Εφαρμόσιμης Τεχνικής Υπολογισμού των Ροών C, N, P στη Παράκτια Ζώνη

- Δυνατότητα να εργαζόμαστε με δευτερογενή δεδομένα;
- Χαμηλές απαιτήσεις σε δεδομένα;
- Ευρέως εφαρμόσιμη μέθοδος;
- Ευκολία κατανόησης διεργασιών \Rightarrow Συγκρίσιμα συμπεράσματα \Rightarrow συγκρίσιμες διαδικασίες λήψης απόφασης;
- Παροχή πληροφοριών σχετικά με τις διεργασίες και τις ροές CNP.

LOICZ Μεθοδολογία Ανάπτυξης Ισοζυγίων

- Διατήρηση Μάζας: η πλέον βασική αρχή της Οικολογίας και της Γεωχημίας.

$$\frac{dM}{dt} = \sum inputs - \sum outputs + \sum [sources - sinks]$$



Ο όρος " dM/dt " : Μεταβολή μάζας κάθε υλικού του συστήματος σε σχέση με το χρόνο. Συνήθως $dM/dt = 0 \Rightarrow$ η μάζα του συστήματος διατηρείται σταθερή \Rightarrow σύστημα σε κατάσταση ισορροπίας (steady state).

Σύμφωνα με το LOICZ η μοντελοποίηση μίας παράκτιας ζώνης έχει τρία μέρη:

- Πόσο γρήγορα κινείται το νερό μέσα και έξω από το σύστημα ?

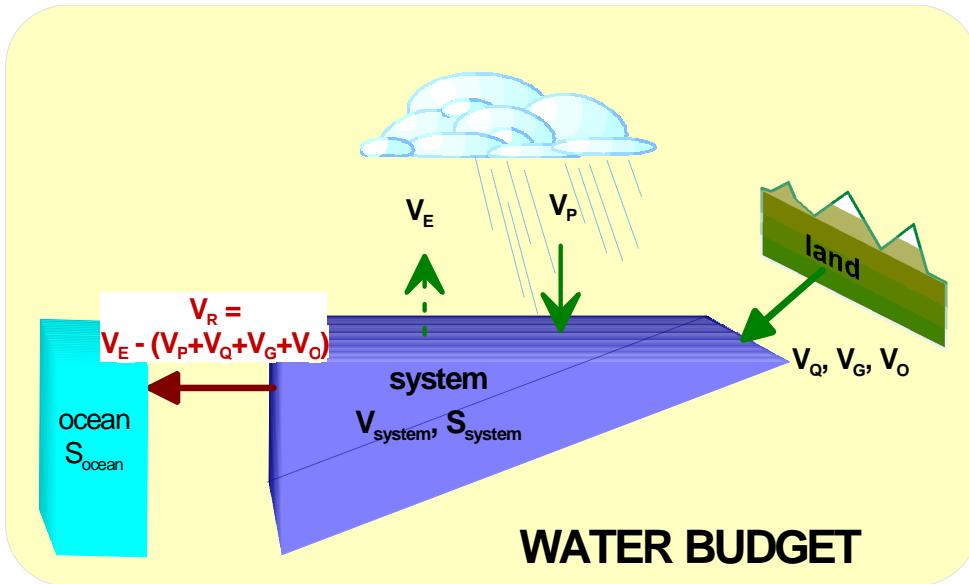
(Ισοζύγιο Νερού – Ισοζύγιο Άλατος)

- Πόσο γρήγορα κινούνται τα στοιχεία άνθρακας, άζωτο και φώσφορος μαζί με το νερό του συστήματος ?

(Ισοζύγιο μη-συντηρητικών στοιχείων)

- Ποιες οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ της κίνησης του νερού και της κίνησης των θρεπτικών αλάτων του συστήματος ?

Ισοζύγιο Νερού



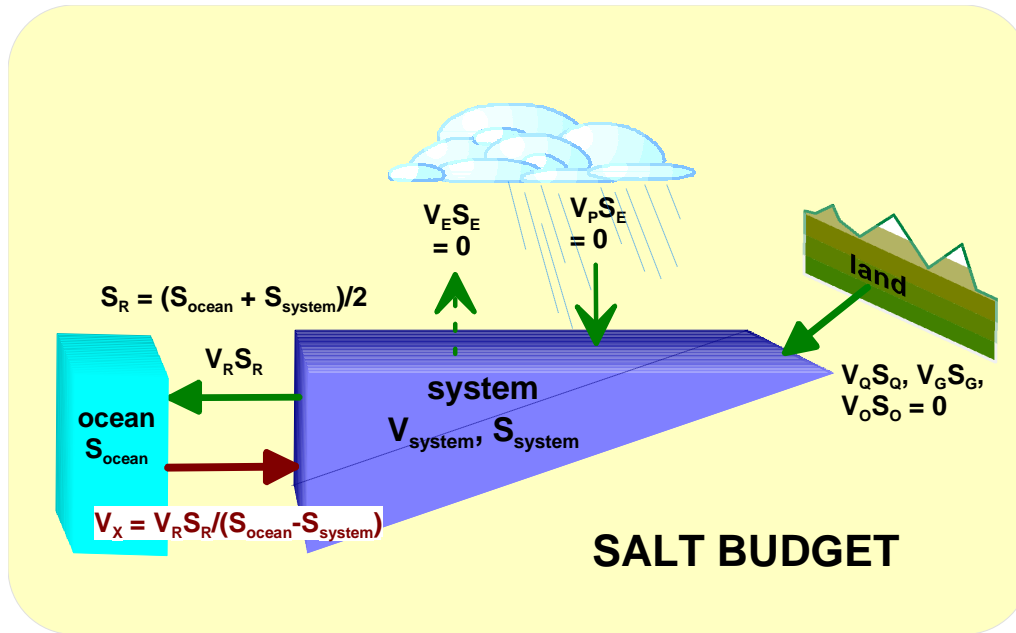
- Ισοζύγιο Νερού

- Γνωστές εισροές γλυκού νερού.
- Υπολογισμός υπολειπόμενης ροής (V_R) για τη διατήρηση του όγκου.

$$\frac{dM}{dt} = \sum inputs - \sum outputs + \sum [sources - sinks]$$

$$V_R = -V_Q - V_P - V_o - V_G + |V_E|$$

Ισοζύγιο Άλατος



- Ισοζύγιο Άλατος
 - Οι καθαρές ροές είναι γνωστές.
 - Ο όρος μείξης (V_X) προκύπτει από την αρχή διατήρησης άλατος

$$0 = \sum (V_E S_E + V_P S_P + V_G S_G + V_O S_O + V_R S_R + V_X S_{ocean}) - \sum (V_E S_E + V_X S_{system})$$

$$0 = \sum (V_R S_R + V_X S_{ocean}) - \sum (V_X S_{system})$$

$$V_X = \frac{V_R S_R}{(S_{ocean} - S_{system})}$$

Υπολογισμός Χρόνου Ανανεωσιμότητας Συστήματος

$$\tau = \frac{V_{\text{sys}}}{(V_x + |V_R|)}$$

Χρόνος Ανανέωσης (Flushing Time)

Είναι ο χρόνος που απαιτείται για την αναπλήρωση μίας μάζας νερού ή μίας διαλυμένης ουσίας.

Σε καλά αναμεμιγμένα συστήματα ισχύει ο ορισμός: «**Χρόνος ανανέωσης μίας ουσίας είναι ο χρόνος που προκύπτει διαιρώντας την μάζα μίας ουσίας σε ένα σύστημα προς τον ρυθμό απομάκρυνσή της από το σύστημα**».

Επομένως για μία χημική ουσία:

$$T_f = \frac{M}{F}$$

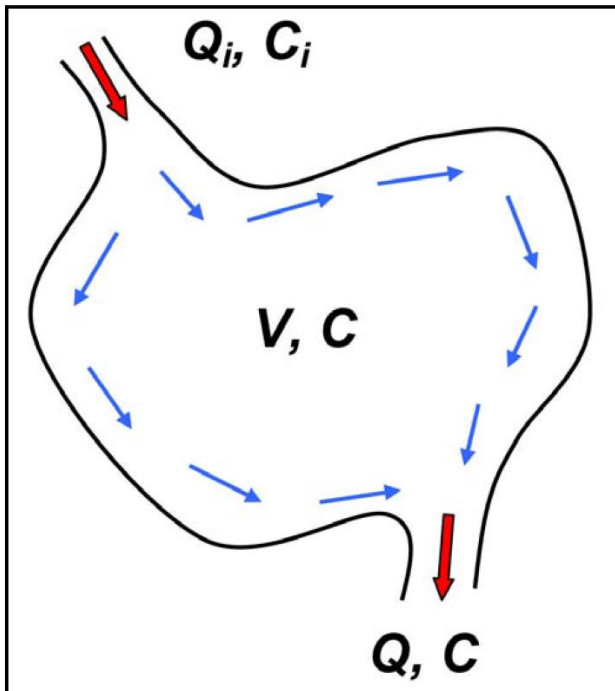
Όπου M η συνολική μάζα της ουσίας και F η ροή μάζας στο όριο με την ανοικτή θάλασσα.

Χρόνος Ανανέωσης (Flushing Time)

Σε περίπτωση υδάτινης μάζας:

$$T_f = \frac{V}{Q}$$

Όπου V είναι ο όγκος του παράκτιου συστήματος και Q η ροή όγκου στο όριο με την ανοικτή θάλασσα.



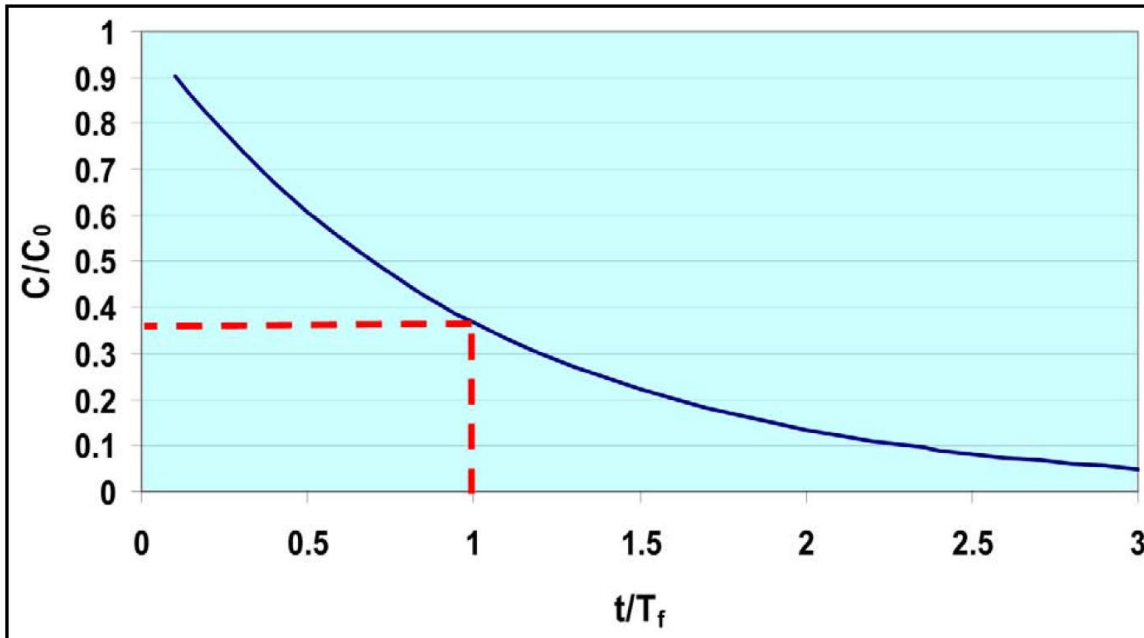
Ο χρόνος ανανέωσης μετρά τον χρόνο που απαιτείται για να απομακρυνθεί ένας ρύπος από το σύστημα, δηλ. να μειωθεί η συγκέντρωσή του.

$$V \frac{dC}{dt} = Q_i C_i - Q C$$

Χρόνος Ανανέωσης (Flushing Time)

Θεωρώντας ότι η ροή μάζας ρύπου από το ποτάμι είναι μηδέν, δηλ. $C_i = 0$, και ότι η αρχική συγκέντρωση του ρύπου είναι C_0 ομοιόμορφα καταναμημένου εντός του συστήματος, τότε:

$$C(t) = C_0 e^{-\frac{Q}{V}t} = C_0 e^{-\frac{t}{T_f}}$$



Στο τέλος του Χρόνου Ανανέωσης το 63% του ρύπου έχει απομακρυνθεί και το 37% έχει παραμείνει στο σύστημα

Χρόνος Ανανέωσης (Flushing Time)

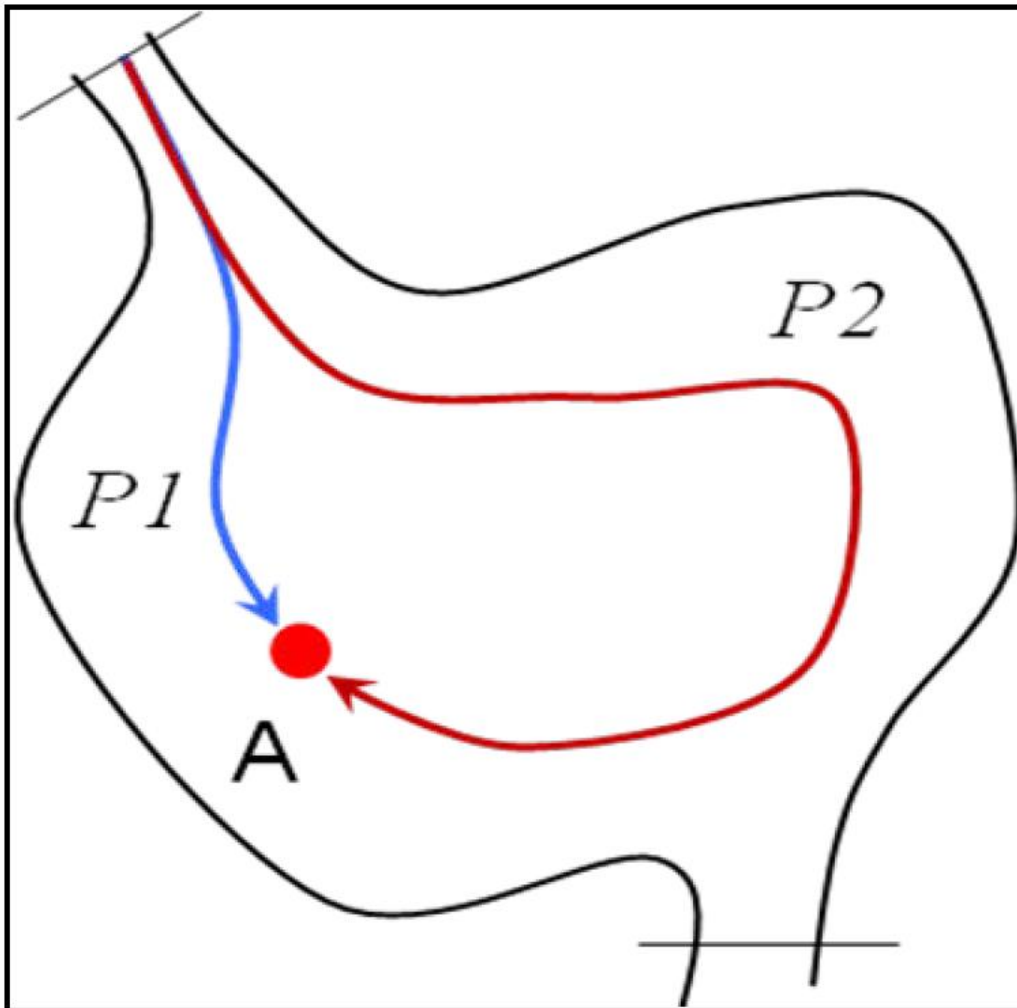
Ο υπολογισμός του Χρόνου Ανανέωσης γίνεται πιο πολύπλοκος αν το σύστημα δέχεται την παλιρροιακή επίδραση. Τότε, τμήμα του όγκου του νερού (και του ρύπου) που απομακρύνθηκε από το σύστημα κατά την άμπωτη ξαναμπαίνει στο σύστημα κατά την επόμενη πλήμμη.

$$T_f = \frac{V}{(1-b)Q}$$

Όπου b είναι ο παράγοντας ροής επαναφοράς (return flow factor) και εκφράζει το ποσοστό της ροής που επανέρχεται στο σύστημα. Κυμαίνεται από 0 έως 1.

Ηλικία Νερού (Water Age)

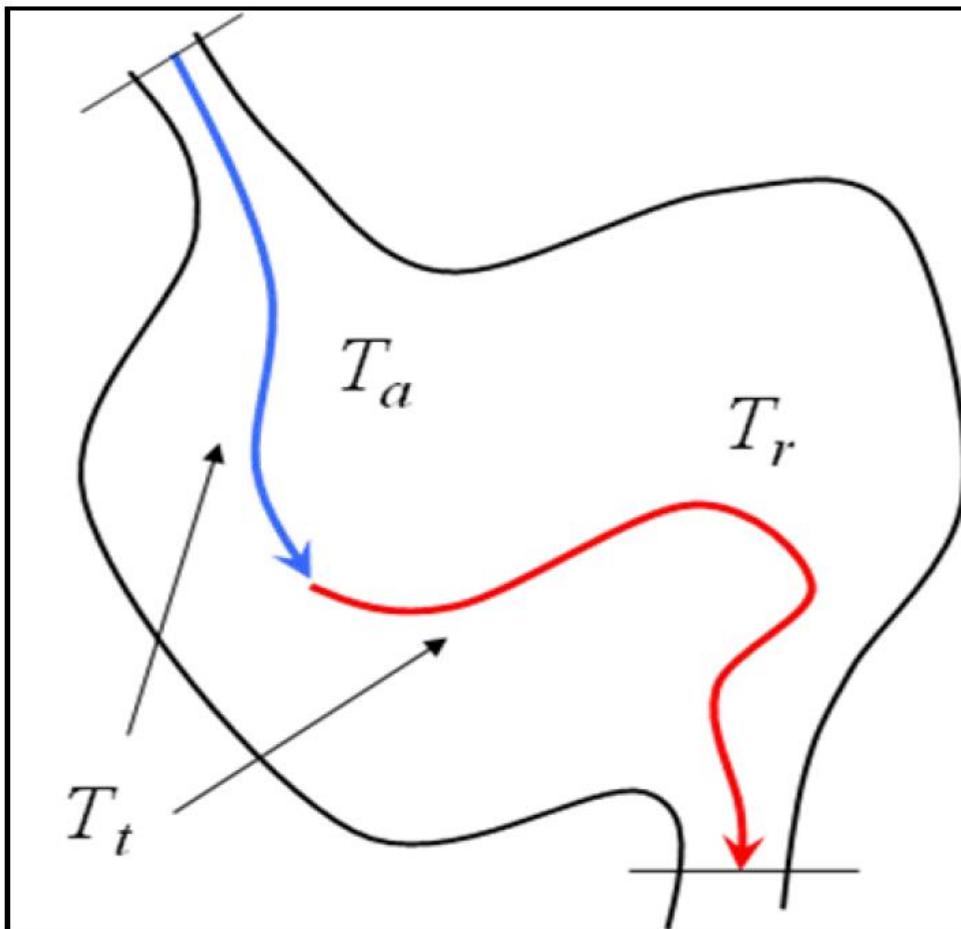
Ο Χρόνος Ανανέωσης είναι ένας μέσος όρος χρονικού διαστήματος που απαιτείται για την απομάκρυνση μίας υδάτινης μάζας. Η **ηλικία του νερού (T_a)** μεταβάλλεται κατά την κίνηση της υδάτινης μάζας μέσα στο σύστημα.



Θεωρώντας ότι η υδάτινη μάζα κινείται από το ποτάμιο στόμιο προς το ανοικτό όριο, μία μάζα νερού έχει μικρότερη ηλικία όσο πιο κοντά βρίσκεται προς το ποτάμιο όριο. Αν δύο υδάτινες μάζες μπουν ταυτόχρονα στο παράκτιο σύστημα και κινηθούν ακολουθώντας διαφορετικές διαδρομές, τότε όταν βρεθούν στο σημείο A έχουν διαφορετικές ηλικίες.

Χρόνος Παραμονής (Residence Time) και Χρόνος Διέλευσης (Transit Time)

Ο **Χρόνος Παραμονής (T_r)** είναι ο χρόνος που απαιτείται για μία υδάτινη μάζα που βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος να απομακρυνθεί από αυτό.



Επομένως, η ηλικία νερού και ο χρόνος παραμονής εκφράζουν τον συνολικό χρόνο που απαιτείται για μία υδάτινη μάζα ώστε να κινηθεί από το ποτάμιο στόμιο έως το ανοικτό με την θάλασσα όριο. Αυτός ο χρόνος καλείται **χρόνος διέλευσης (T_t)**.

Υπολογισμός Χρόνου Ανανέωσης και Χρόνου Παραμονής Παράκτιου Συστήματος

Ο Χρόνος Ανανέωσης μπορεί να υπολογιστεί από την μέση ροή όγκου ή/και την μέση ροή μάζας εισροής και εκροής από το σύστημα κατά την διάρκεια μίας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου T .

Έστω ότι η στιγμιαία εκροή όγκου είναι q_i τότε η εκροή κατά την περίοδο T είναι:

$$Q = \sum_{i=0}^T q_i / T$$

Για παλιρροιακά συστήματα ο χρόνος T μπορεί να αντικατασταθεί από την περίοδο της κύριας παλιρροιακής συνιστώσας (π.χ., 12.42 ώρες για ημι-ημερήσια παλίρροια), και η ροή όγκου ανταλλαγής από το **παλιρροιακό πρίσμα P**.

$$T_f = \frac{V}{Q} = \frac{VT}{P} = \frac{VT}{AR}$$

Όπου V ο όγκος του συστήματος, A το εμβαδόν του συστήματος, T η παλιρροιακή περίοδος και R το παλιρροιακό εύρος διακύμανσης της στάθμης της θάλασσας.