

Διαχείριση Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων

Κεφάλαιο 5 – Χρόνος Παραμονής Νερού –
Το μαθηματικό ομοίωμα LOICZ

Δρ. Γιώργος Συλαίος
Ωκεανογράφος – Καθηγητής ΤΜΠ-ΔΠΘ

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.

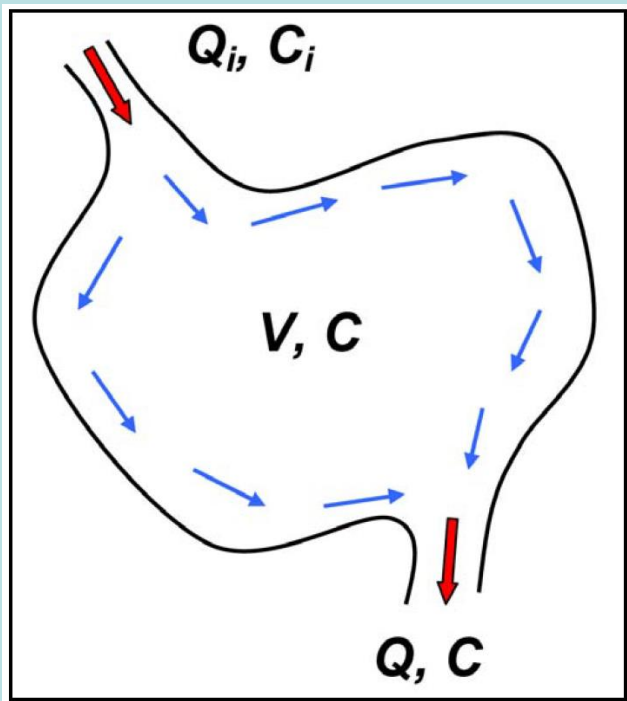
Ο Χρόνος Ανανέωσης εκφράζει την γενική τάση ανταλλαγής τους συστήματος με την ανοικτή θάλασσα χωρίς να υπεισέρχεται σε λεπτομέρειες σχετικές με τις φυσικές διεργασίες και την χωρική κατανομή φυσικών ιδιοτήτων νερού.

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.



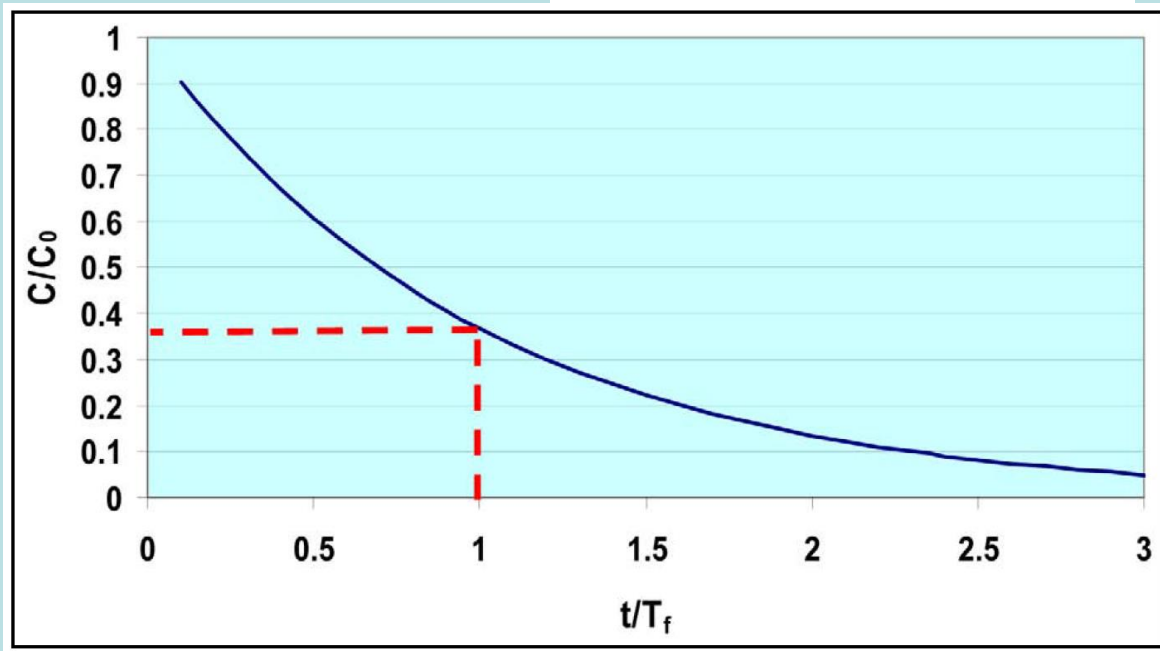
Ο χρόνος ανανέωσης μετρά τον χρόνο που απαιτείται για να απομακρυνθεί ένας ρύπος από το σύστημα, δηλ. να μειωθεί η συγκέντρωσή του.

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

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)

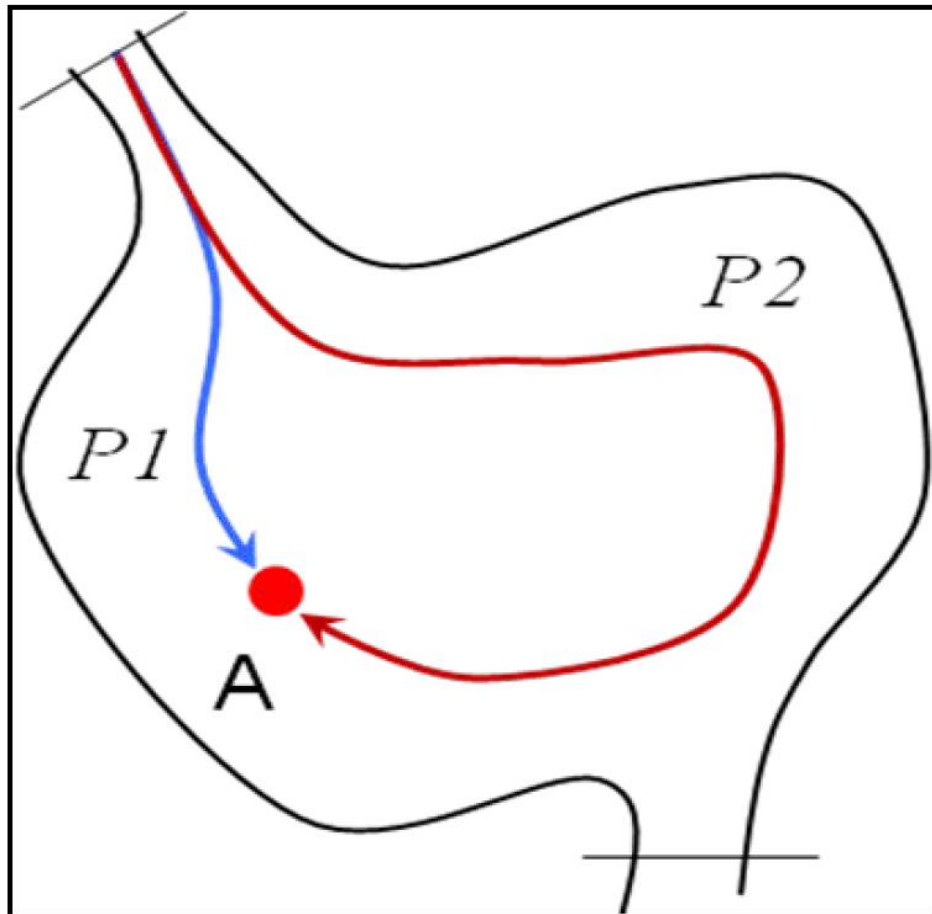
Ο υπολογισμός του Χρόνου Ανανέωσης γίνεται πιο πολύπλοκος αν το σύστημα δέχεται την παλιρροιακή επίδραση. Τότε, τμήμα του όγκου του νερού (και του ρύπου) που απομακρύνθηκε από το σύστημα κατά την άμπωτη ξαναμπαίνει στο σύστημα κατά την επόμενη πλήμμη.

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

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)

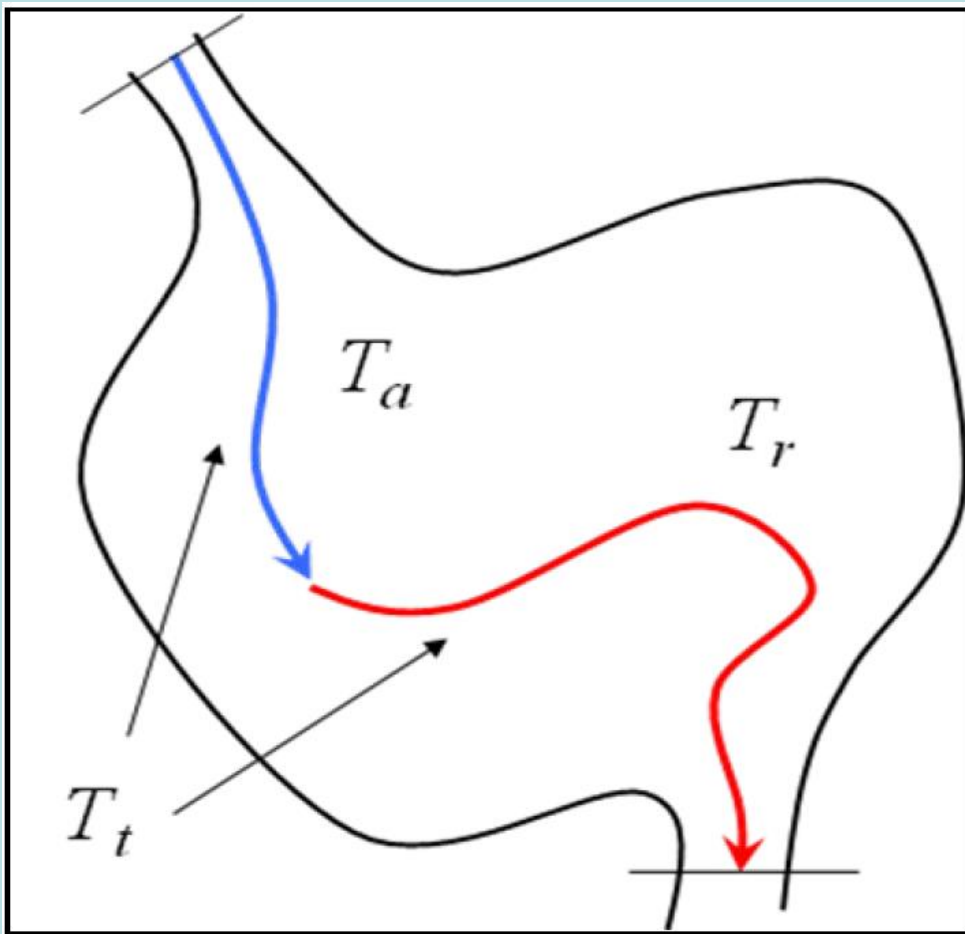
Ο Χρόνος Ανανέωσης είναι ένας μέσος όρος χρονικού διαστήματος που απαιτείται για την απομάκρυνση μίας υδάτινης μάζας. Η **ηλικία του νερού** (T_a) είναι ο χρόνος από την στιγμή εισόδου μίας υδάτινης μάζας στο σύστημα. Η Ηλικία Νερού μεταβάλλεται κατά την κίνηση της υδάτινης μάζας μέσα στο σύστημα.



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. Ο Χρόνος Παραμονής είναι συνάρτηση της σχετικής θέσης της υδάτινης μάζας εντός του συστήματος.



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.

Monitoring and modeling efforts for nutrient cycling and flushing determination in a coastal lagoon

P. Leontarakis ^{1,2}, D. Markou ^{2,3}, N. Kamidis ^{2,3},
G. Sylaios ^{2,3}, V. Tsihrintzis ³, D. Koutsoubas ¹

¹ Dep. of Marine Science, Faculty of Environment,
University of the Aegean, Greece



² National Agricultural Research Foundation,
Fisheries Research Institute, Greece



³ Laboratory of Ecological Engineering and Technology,
Dep. of Environmental Engineering, School of Engineering,
Democritus University of Thrace, Greece



Study Site



- Eratino is a shallow (mean depth: 0.5 m) coastal lagoon located in northern Greece
- has a surface area of about 3.5 km² and is part of a coastal lagoon system, with a total area of 1,700 ha, located at the western part of Nestos River Delta
- supplied with freshwater by a small stream (2 km long), draining agricultural land
- communicates with the nearby Kavala Gulf by a tidal channel
- tidal elevation at the lagoon's mouth ranges between 0.14 and 0.39 m.



Materials and methods

Monthly samplings were conducted between August '05 and August '06 at 10 stations.

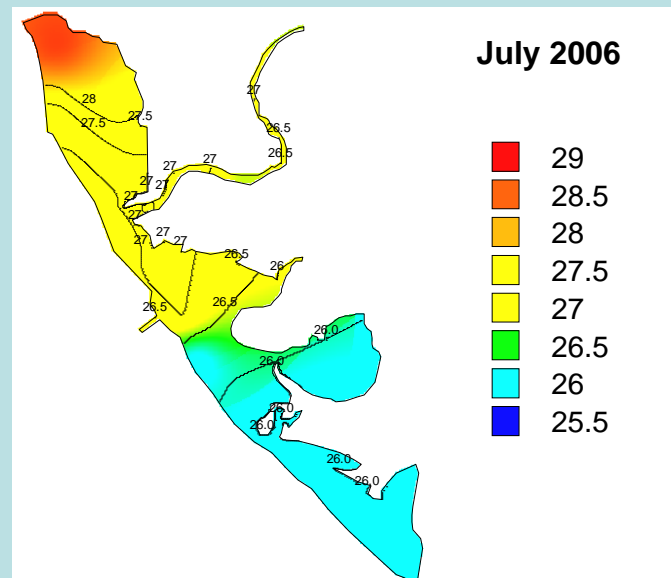
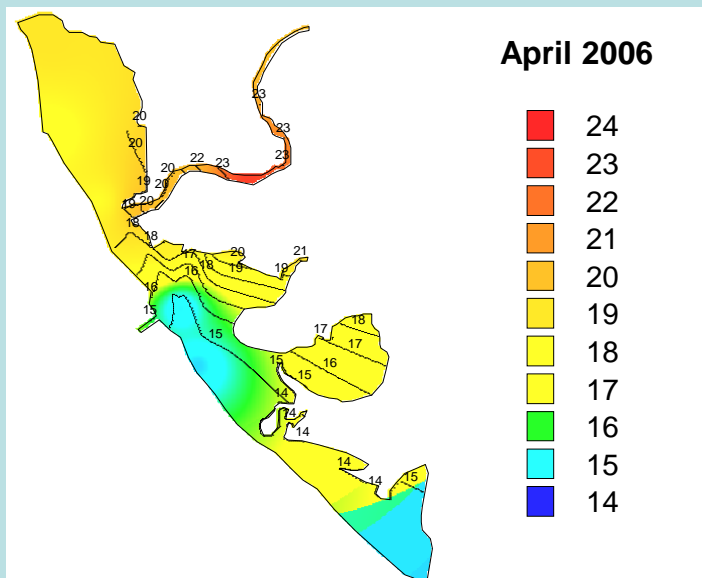
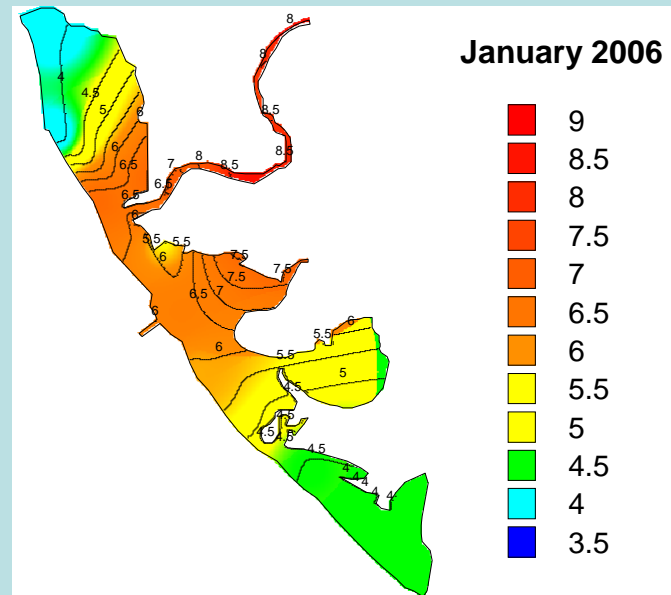
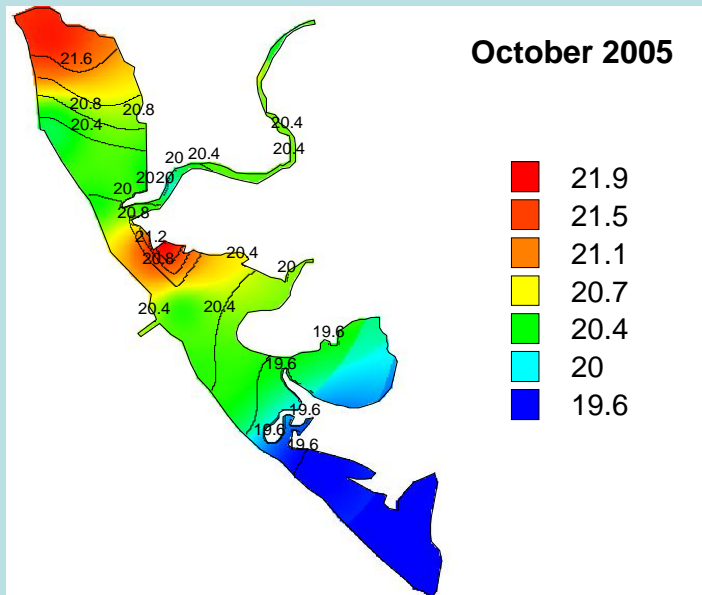
- water temperature, salinity, pH and dissolved oxygen content) were measured *in situ* using portable instrumentation
- nutrients (N-NO₂, N-NO₃, N-NH₄, P-PO₄, Si-SiO₂), chlorophyll-a (Chl-a) and total suspended solids (TSS) were measured using standard methods

Seasonal samplings for sediment samples were carried out at 5 stations

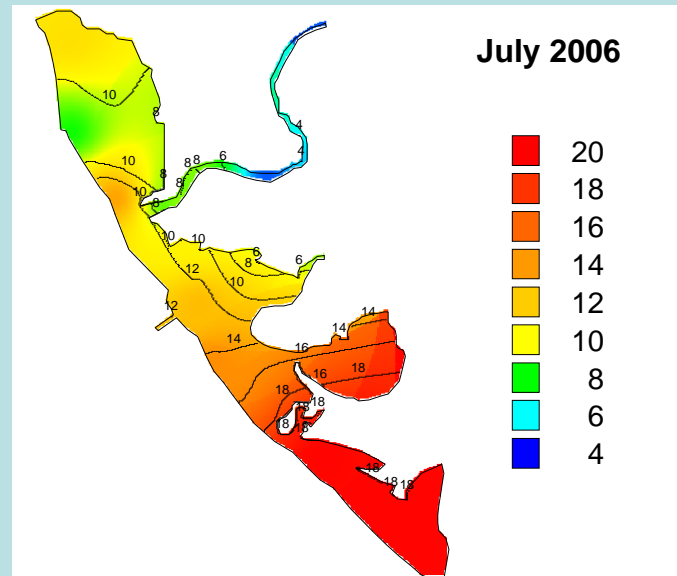
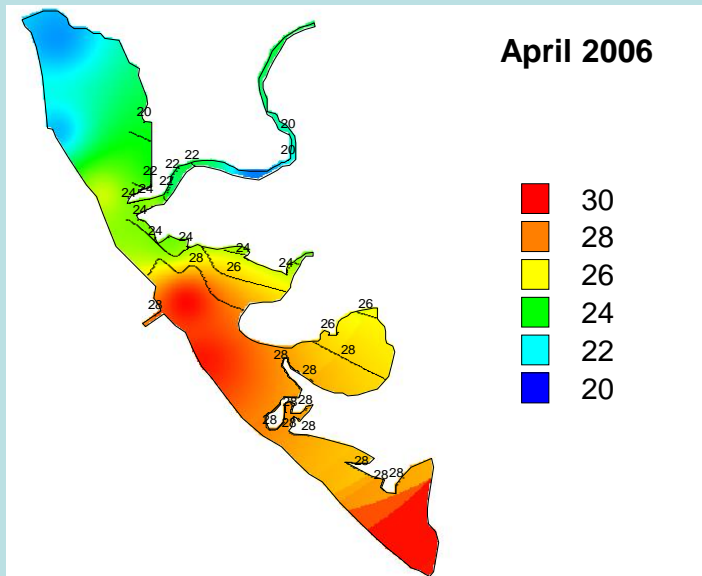
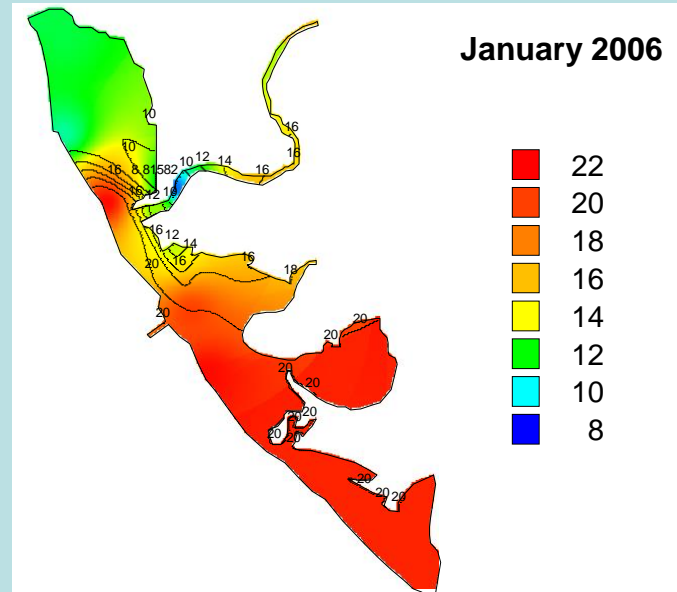
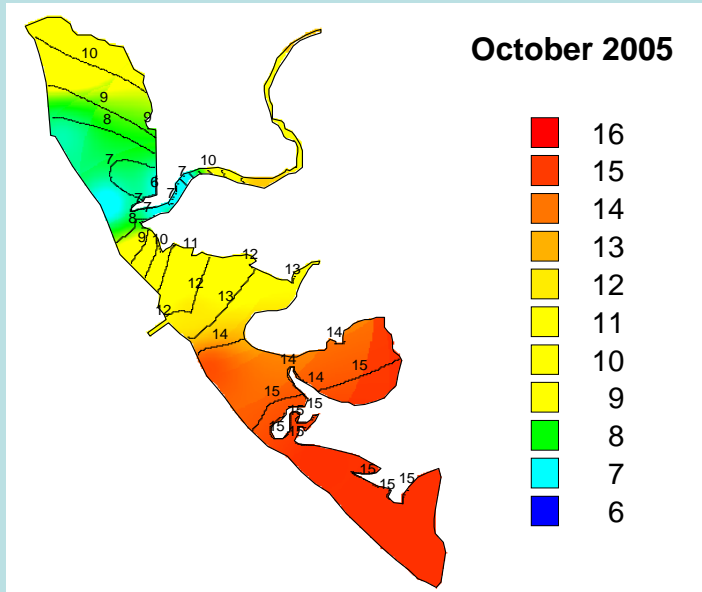
- sediment nitrates, total Kjeldahl nitrogen (TKN) and total phosphorus content (TP) were measured



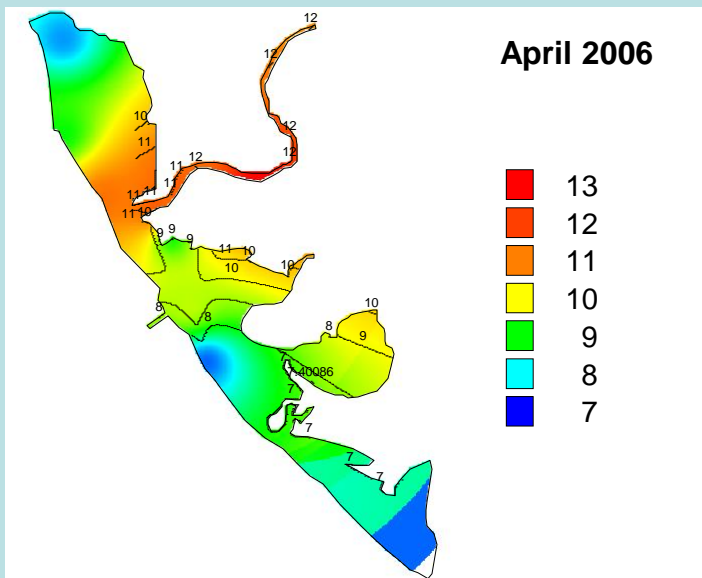
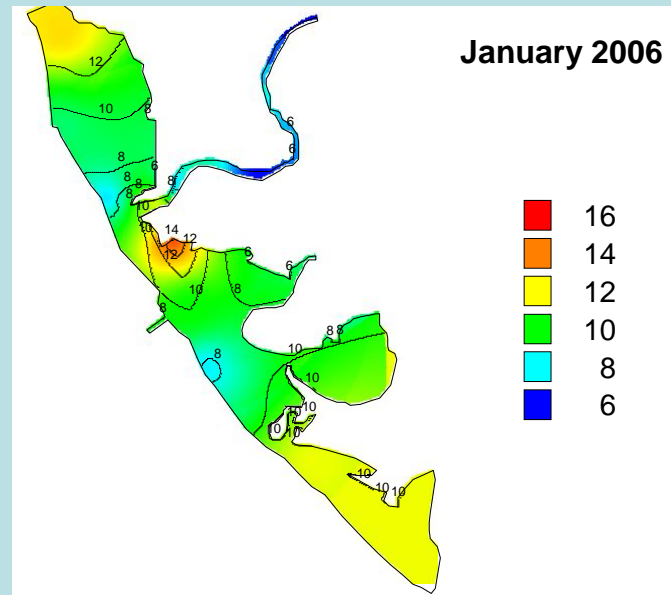
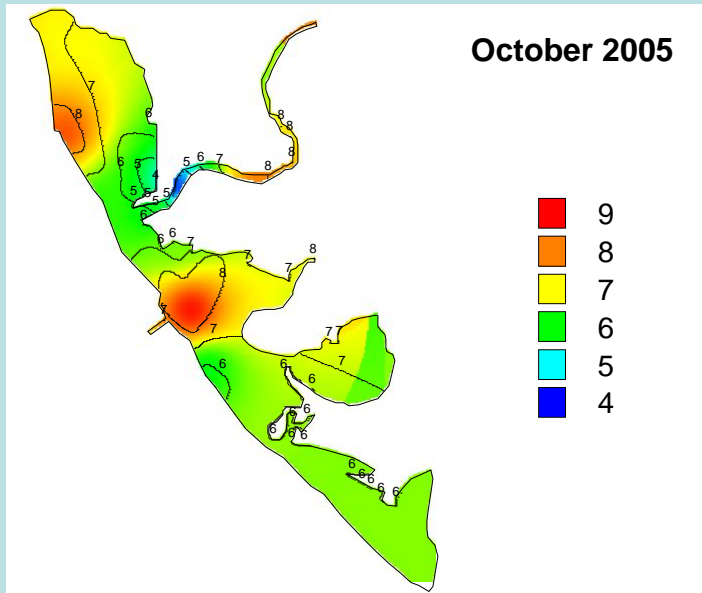
Temperature Seasonal Variability (°C)



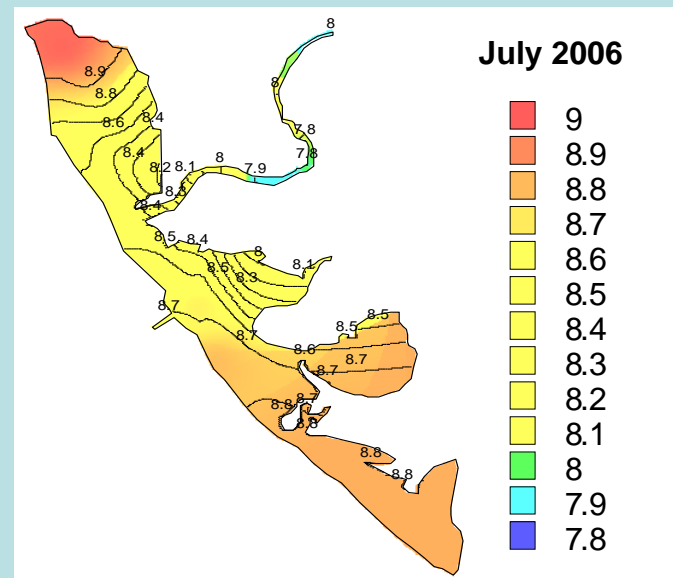
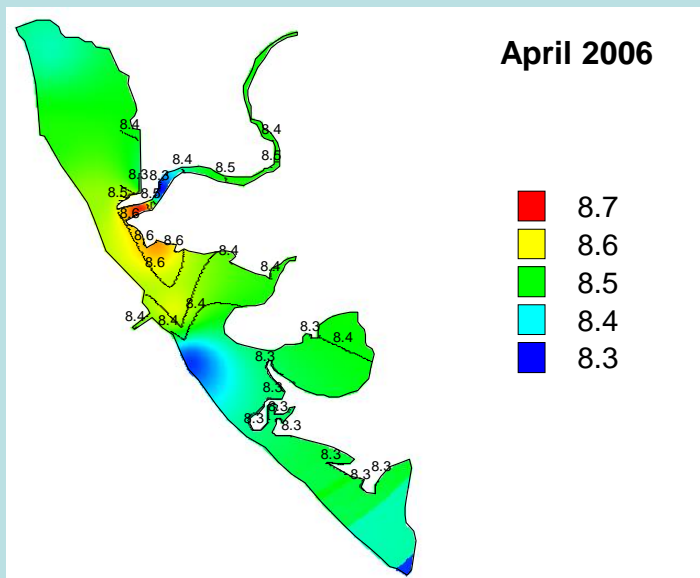
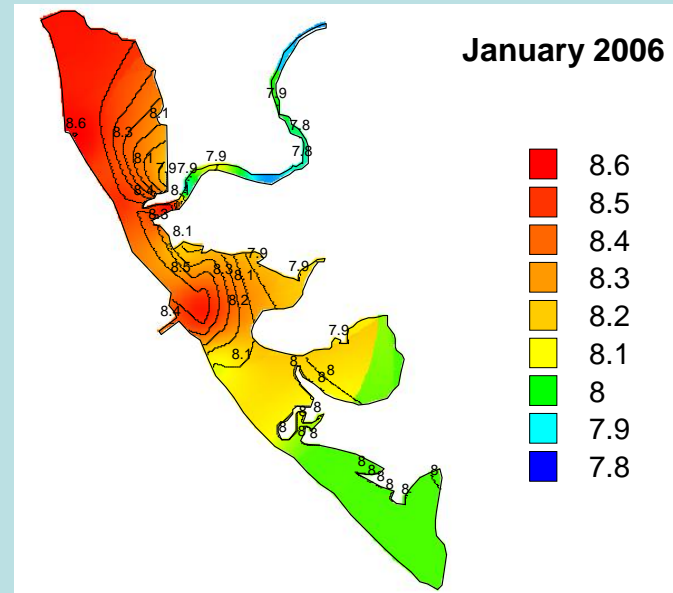
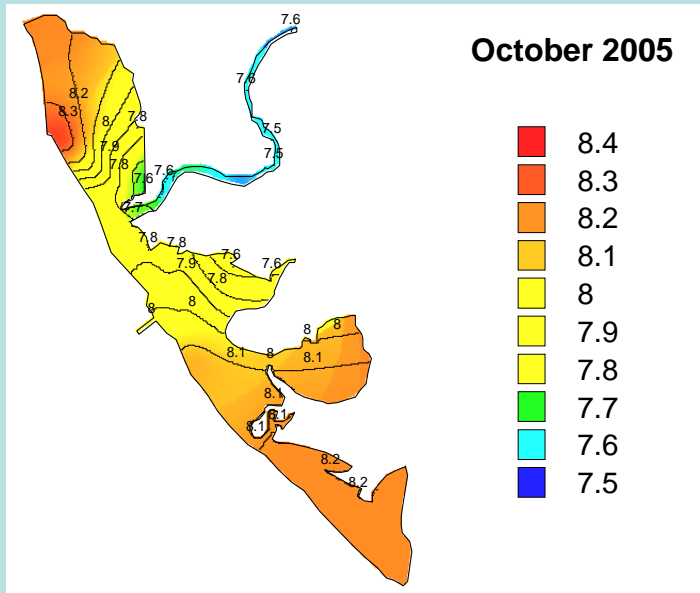
Salinity Seasonal Variability



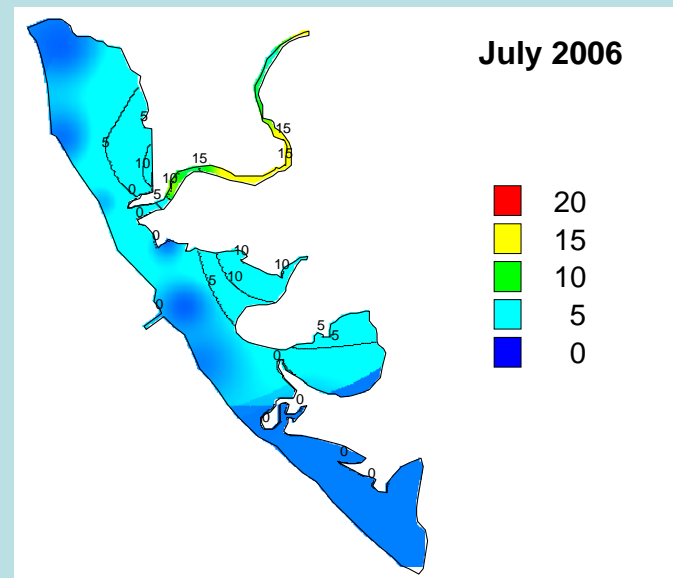
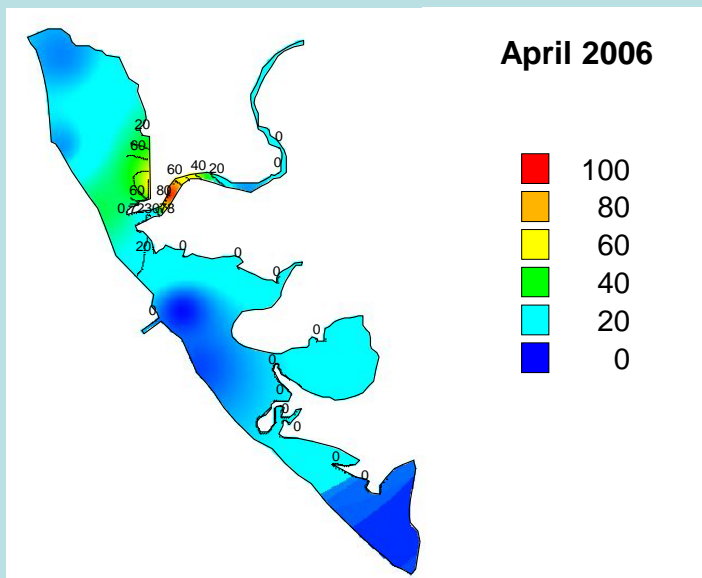
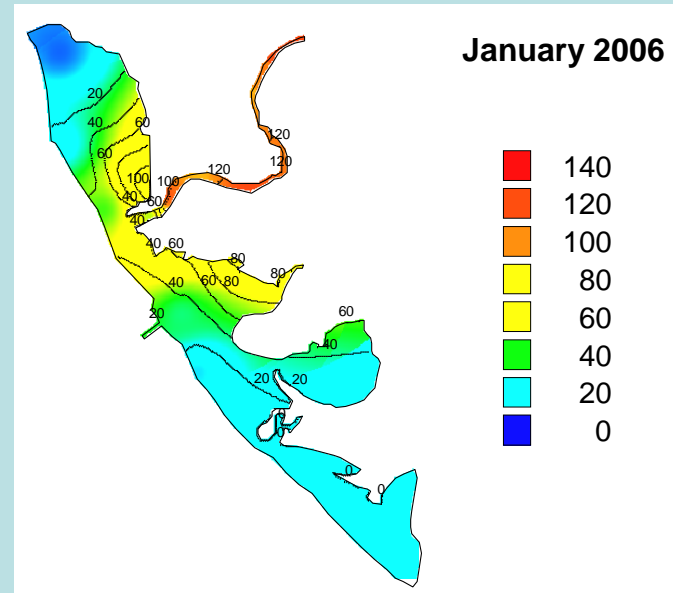
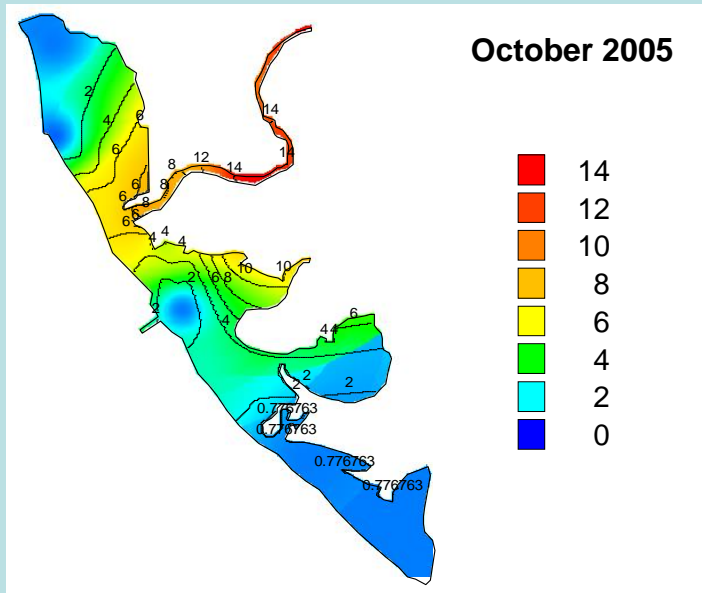
Dissolved Oxygen Seasonal Variability (mg/l)



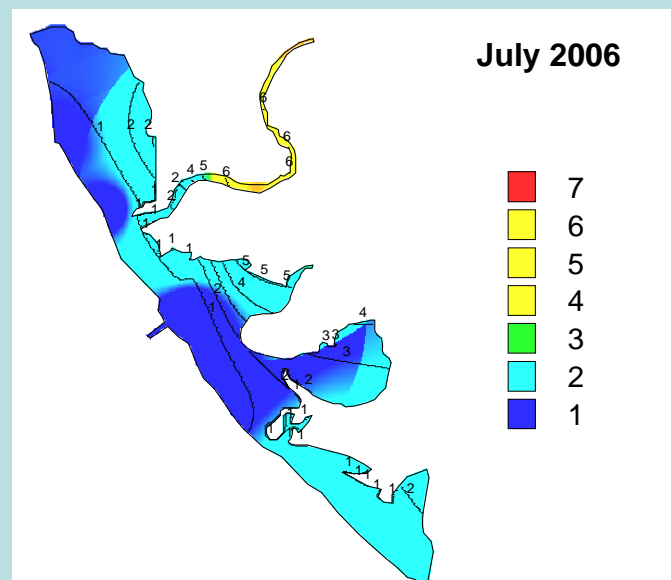
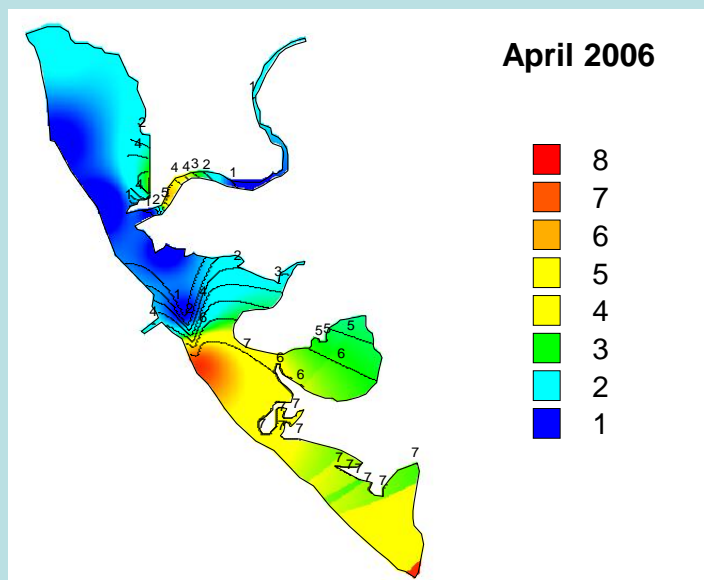
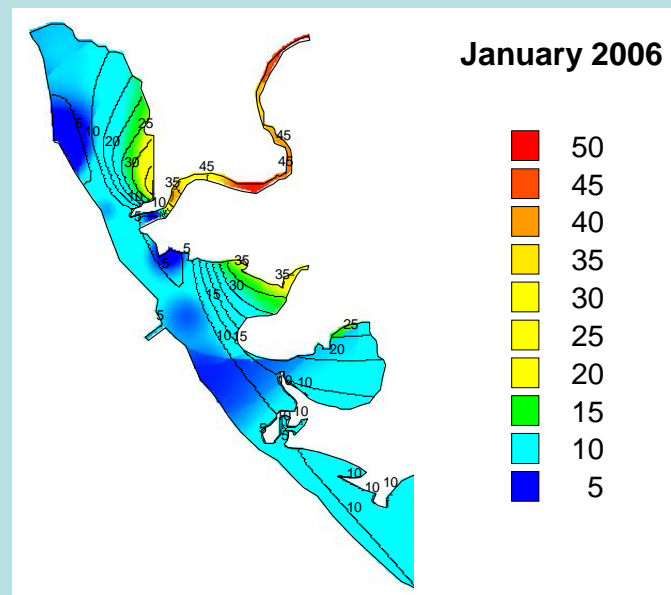
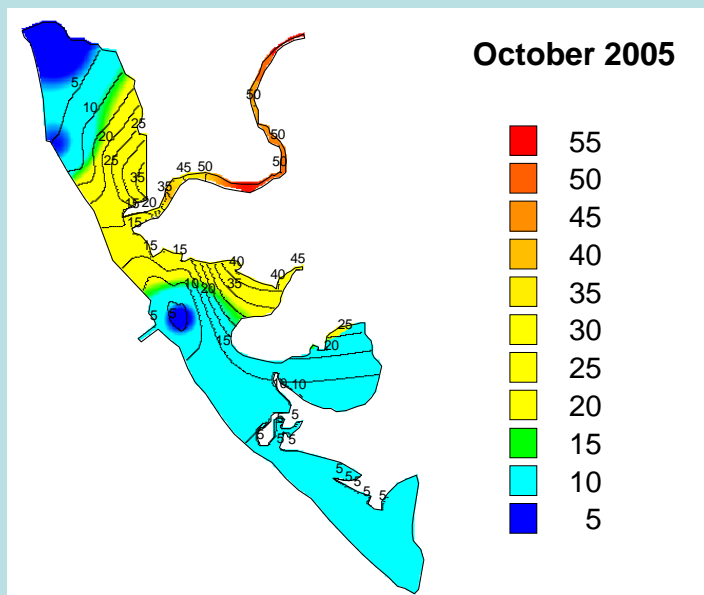
Surface pH Seasonal Variability (mg/l)



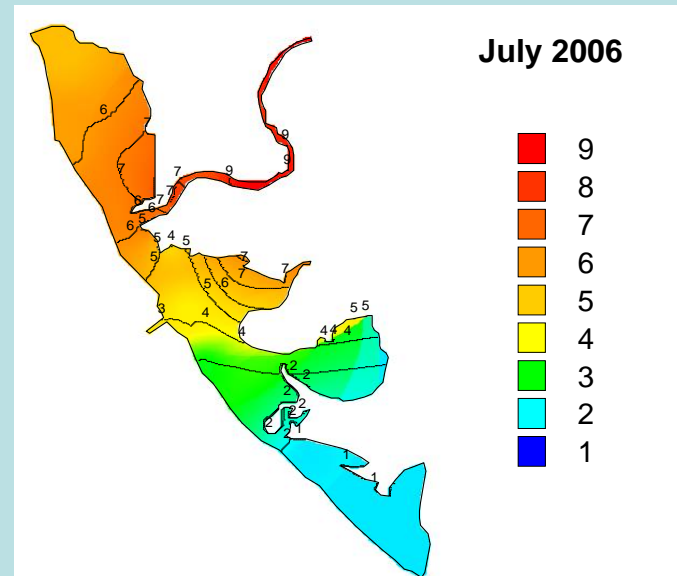
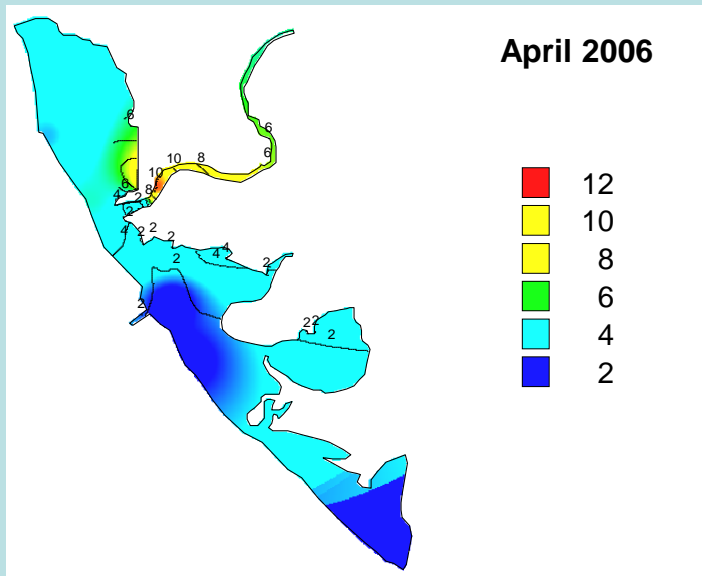
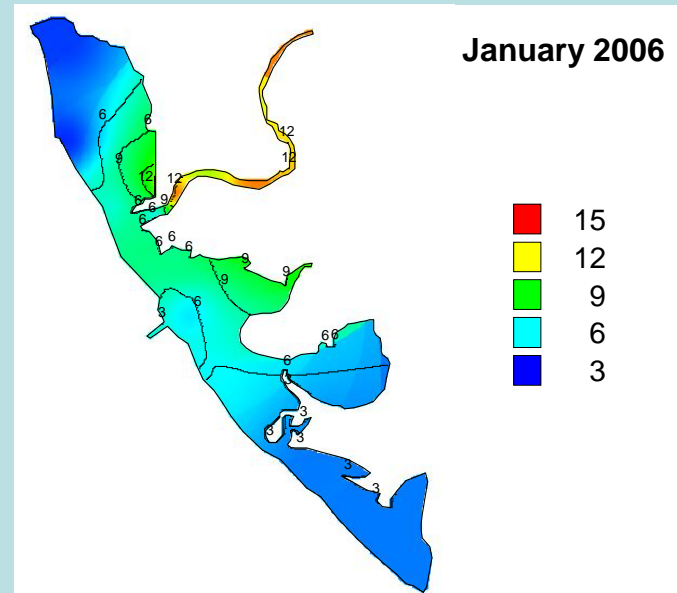
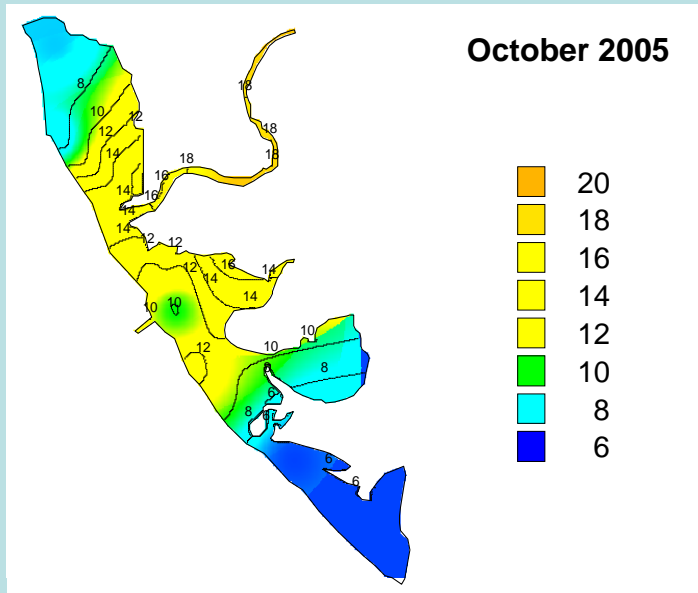
Surface N-NO₃ Seasonal Variability ($\mu\text{mol/l}$)



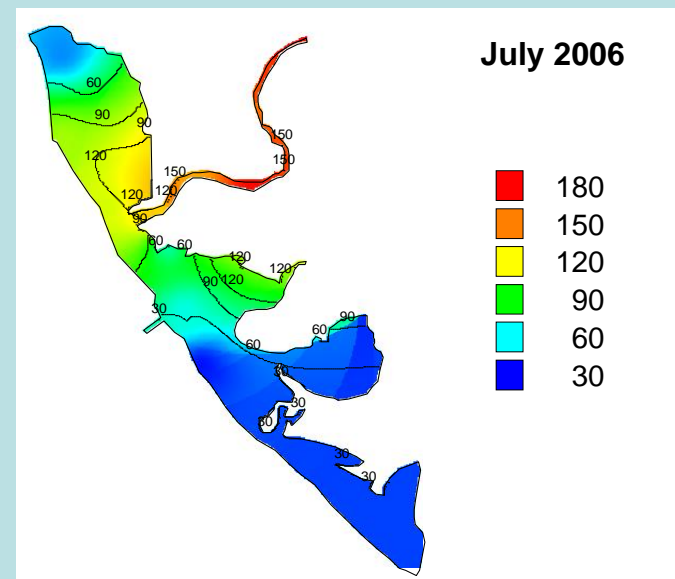
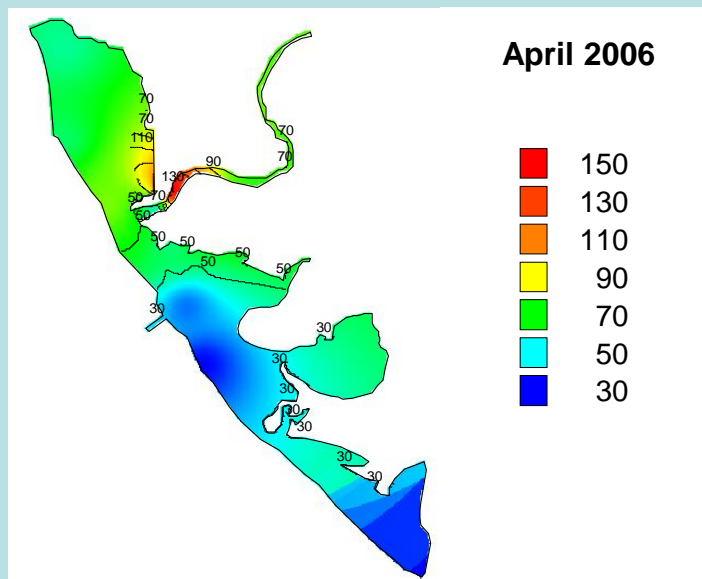
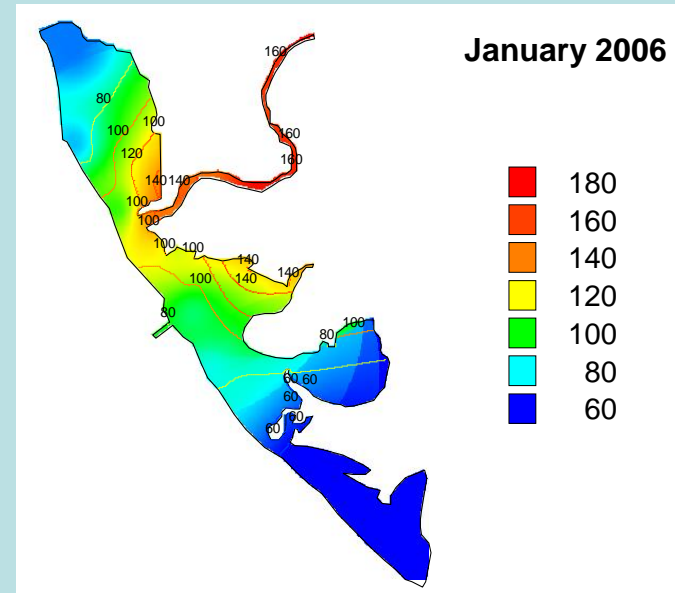
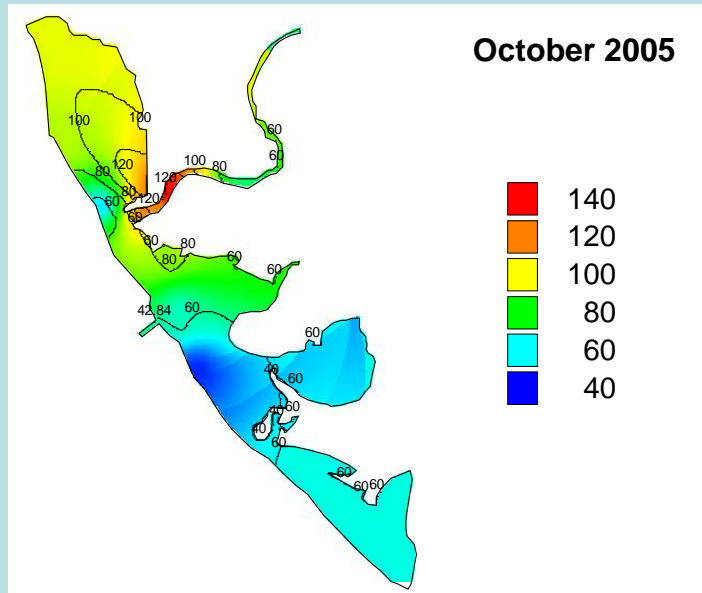
Surface N-NH₄ Seasonal Variability ($\mu\text{mol/l}$)



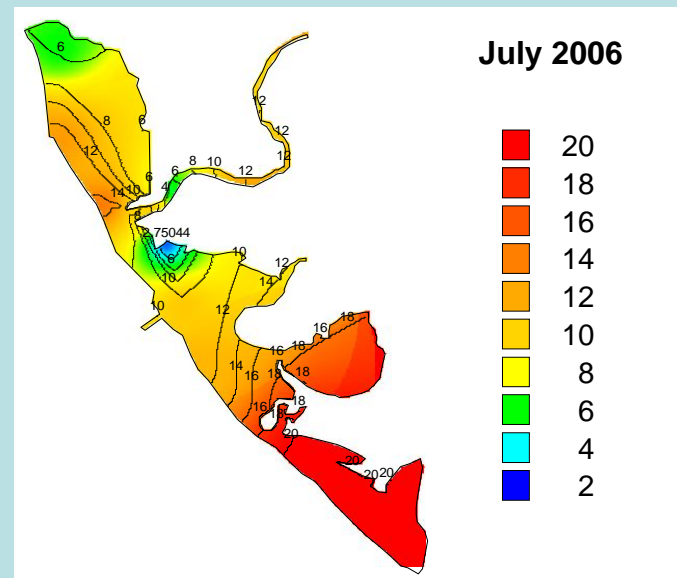
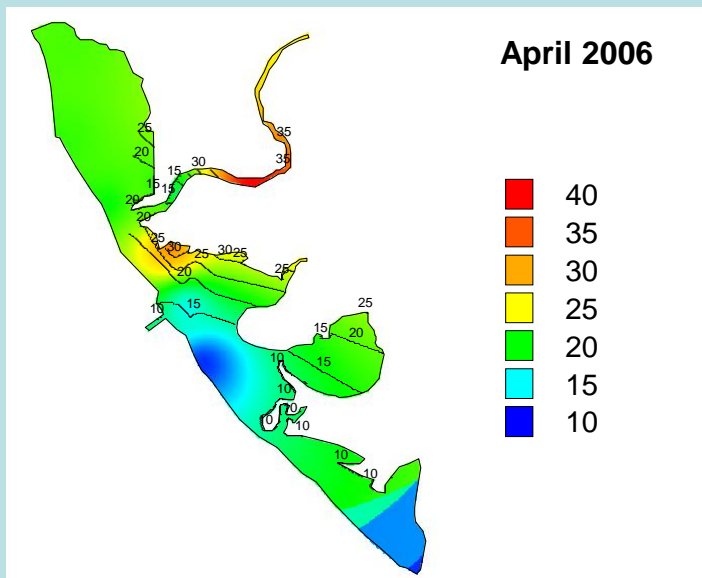
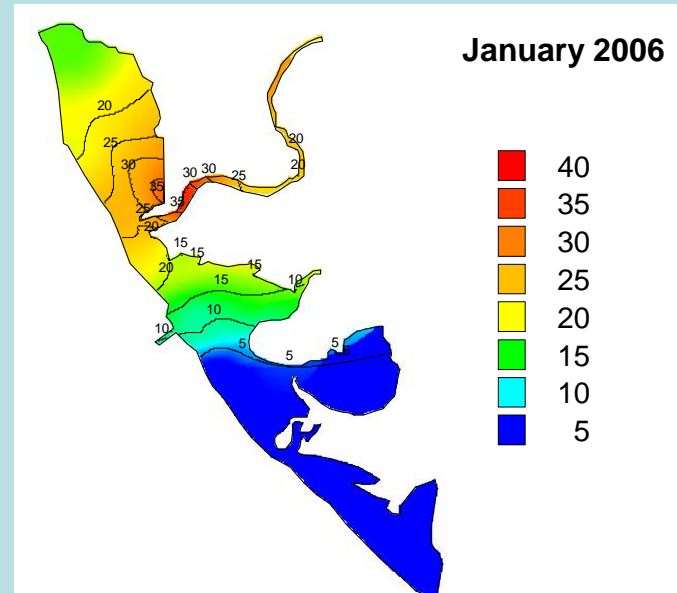
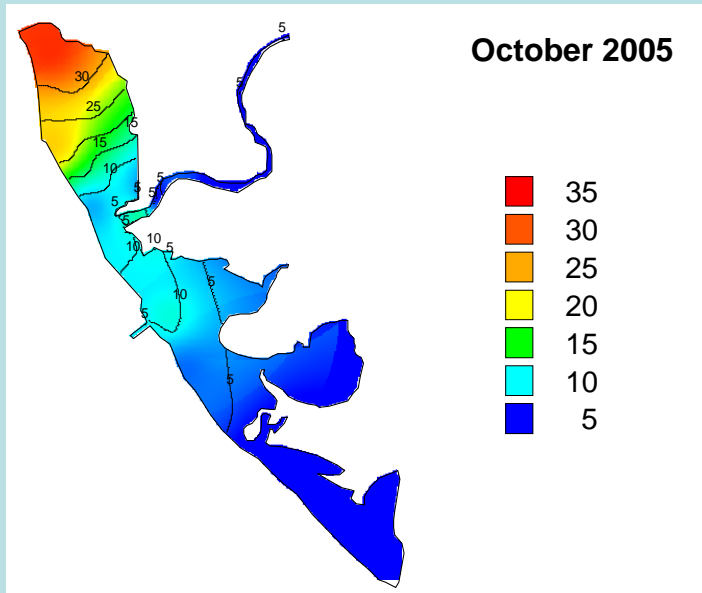
Surface P-PO₄ Seasonal Variability ($\mu\text{mol/l}$)



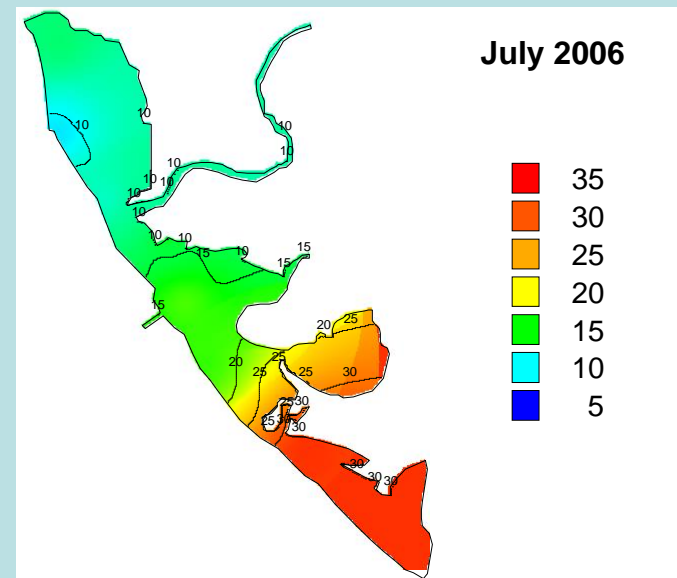
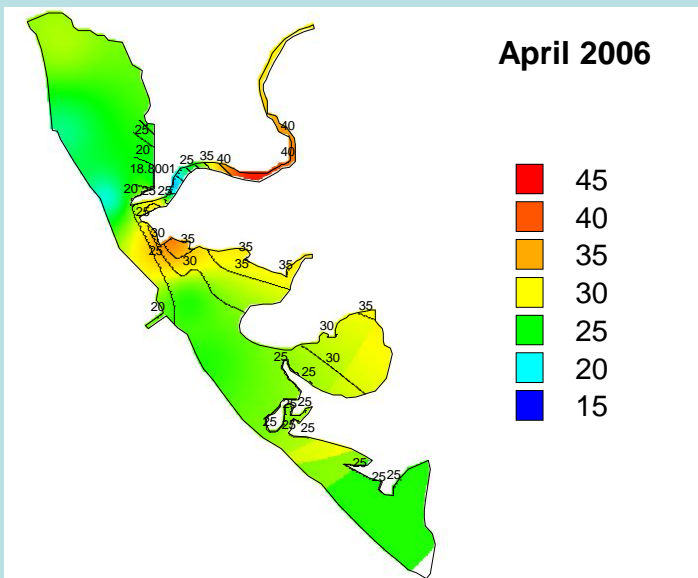
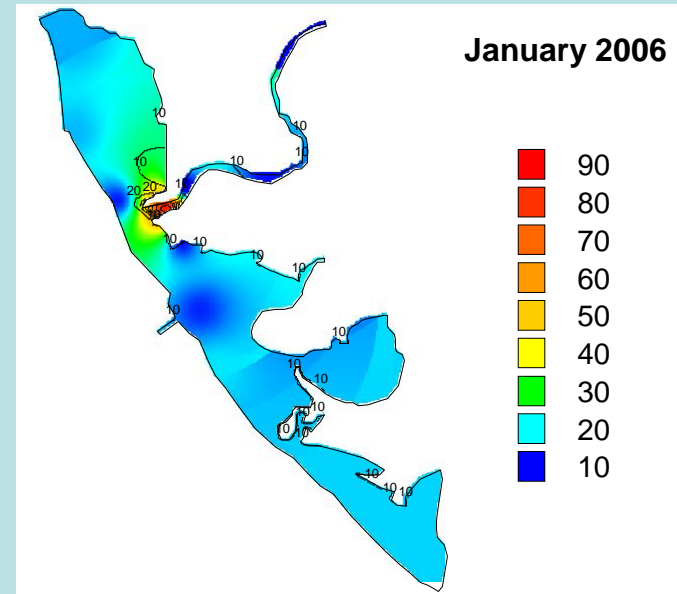
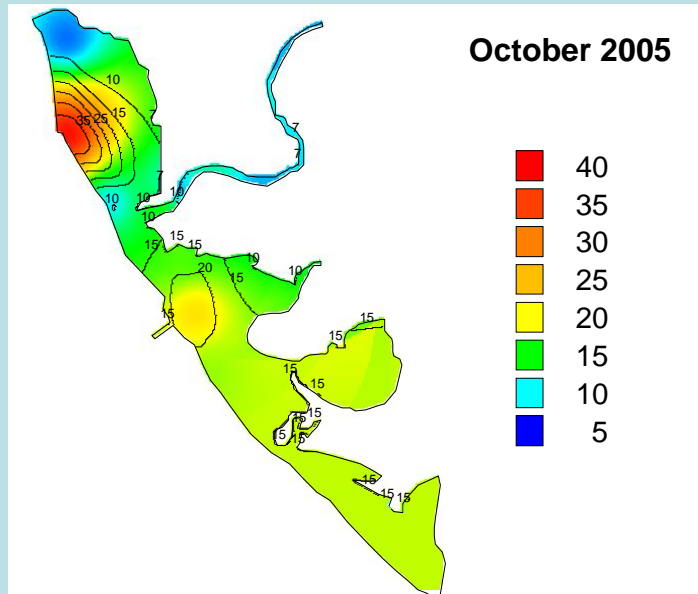
Surface Si-SiO₂ Seasonal Variability ($\mu\text{mol/l}$)



Surface Chl-a Seasonal Variability ($\mu\text{g/l}$)



Surface TSS Seasonal Variability (mg/l)

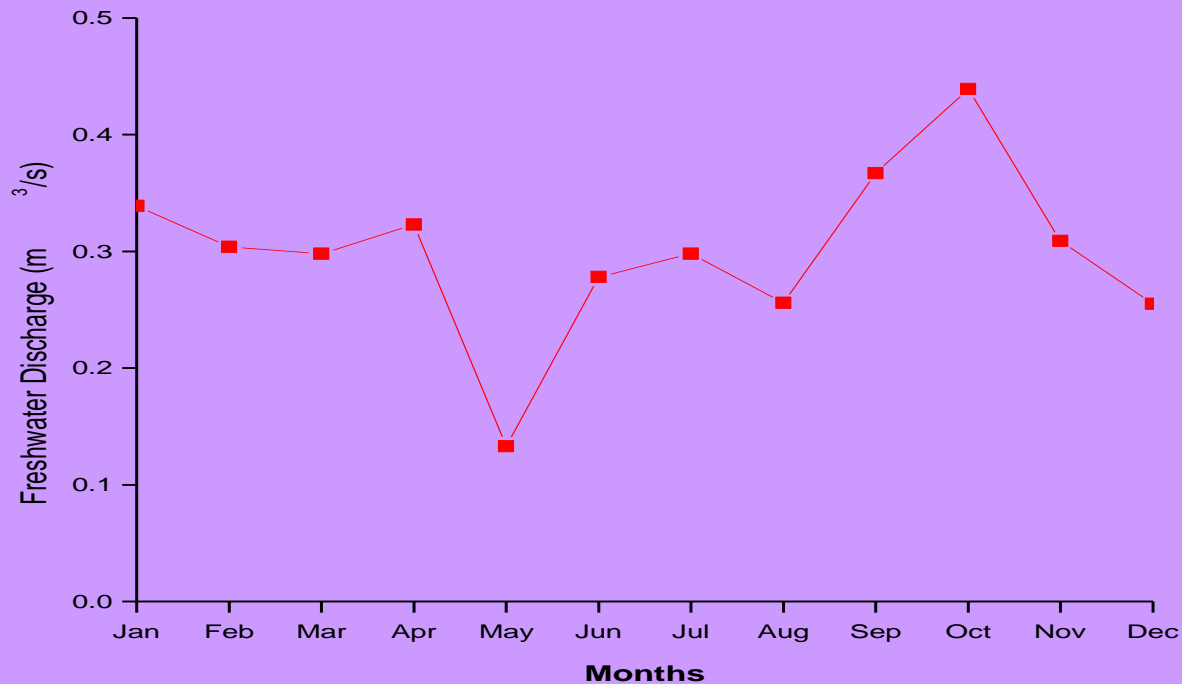


Tidal Prism Model (Sylaios, 2004)

$$(V_{Lagoon} + V_{Prism}) S_{HW} = (1 - f) (V_{Lagoon} + V_{Prism}) S_{OC} \Rightarrow f = 1 - \frac{S_{HW}}{S_{OC}}$$

$$V_R = f V_{Prism}$$

$$Q_R = V_R / T$$



Έλεγχος Εισροών Νερού

1. Ποσότητα Νερού

- Άμεση παρακολούθηση με συστηματικές δειγματοληψίες
- Άμεση παρακολούθηση με σταθμούς συνεχούς καταγραφής
- Έμμεσος προσδιορισμός με χρήση μετρήσεων αλατότητας

$$\frac{V_R}{2} S_R - \left(\frac{V_R}{2} + V_P\right) S_L + \frac{V_R}{2} S_R + \left(V_P - \frac{V_R}{2}\right) S_O = 0$$

- Έμμεσος προσδιορισμός με χρήση μετρήσεων βροχόπτωσης

$$V_R = A_X \left(\frac{\Delta f}{r}\right) \left(\frac{r}{2.592 \times 10^6}\right)$$

$$\frac{\Delta f}{r} = e^{\left(-\frac{e_o}{r}\right)}$$

$$e_o = 10^9 e^{\left(-\frac{4.6210^3}{T}\right)}$$

- Έμμεσος προσδιορισμός με τη χρήση σύνθετων υδρολογικών ομοιωμάτων

Monitoring Water Quality and Assessment of Land-Based Nutrient Loadings and Cycling in Kavala Gulf

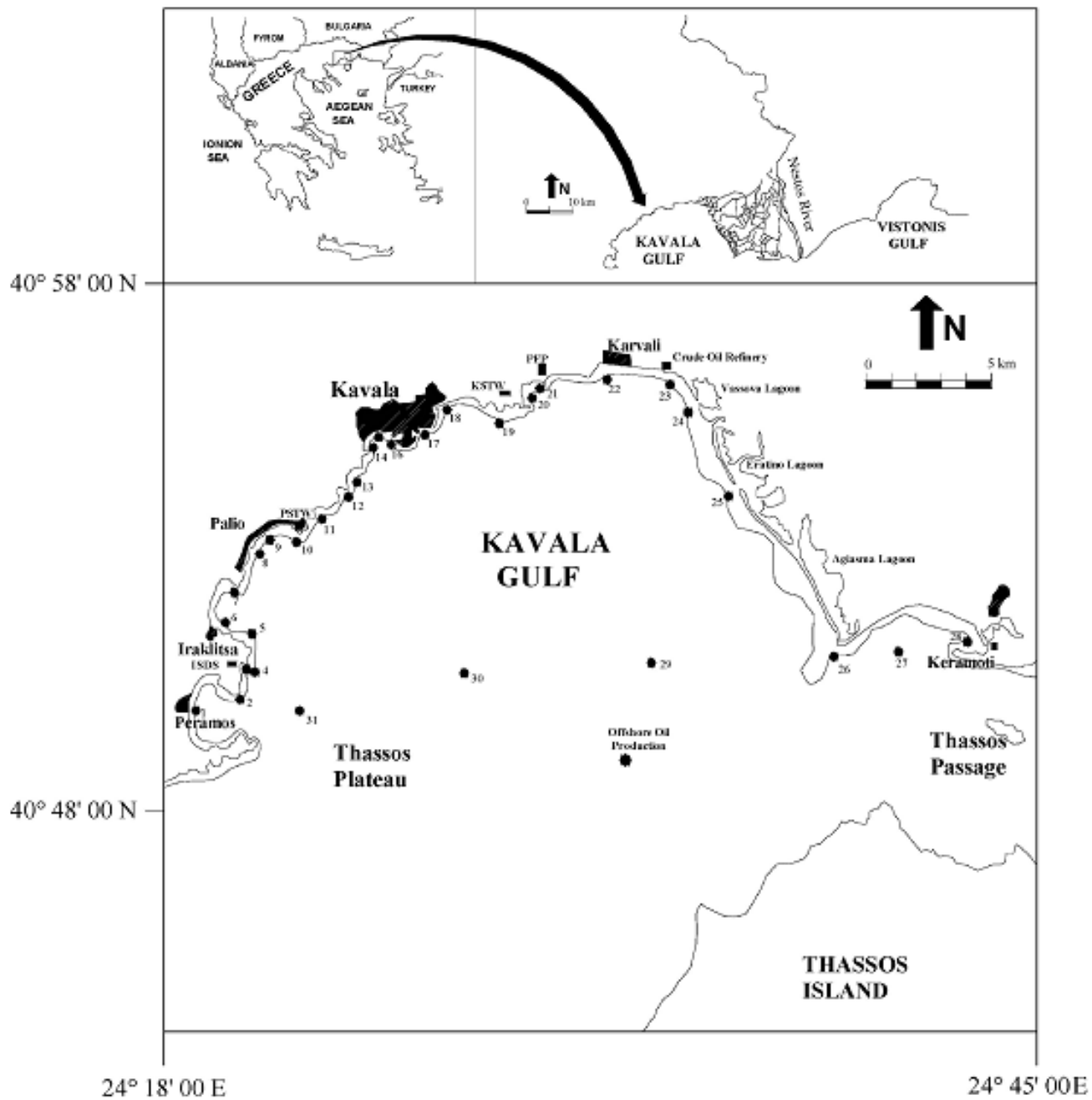
GEORGIOS SYLAIOS*, NIKOLAOS STAMATIS, ARGYRIS KALLIANIOTIS
and PAVLOS VIDORIS

*Fisheries Research Institute, National Agricultural Research Foundation, Nea Peramos 640 07,
Kavala, Greece*

*(*author for correspondence, e-mail: fri@otenet.gr; Fax: +302594022222)*

(Received: 24 June 2003; in final form: 7 September 2004)

Abstract. The results of a systematic and intensive nutrient monitoring program are reported, which took place during the period 1997–1999 in Kavala Gulf, Northern Greece, having as a general task to study the impact of the various human activities on the nutrient loadings and cycling of the aquatic environment. A nutrient budget box model was used to estimate the annual capacity of Kavala Gulf to store and transform dissolved inorganic nitrogen and phosphorus, aiming at understanding the biogeochemical processes taking place in the area of interest. Point sources of nutrients from two municipal wastewater treatment plants (Kavala and Palio Sewage Treatment Works) and a phosphoric fertilizer producing industrial facility (PFP), as well as non-point sources from agricultural activities, seem responsible for the increased concentrations of dissolved inorganic nitrogen and phosphorus.



2.5. ASSESSMENT OF SURFACE RUNOFF AND NUTRIENT LOADINGS

The total freshwater runoff volume (V_T) was calculated according to a simple climatological model (Kjerfve *et al.*, 1996), as the combined effect from (a) surface runoff (V_R), (b) anthropogenic activities (V_H) at KSTW, PSTW and PFP, and (c) from Nestos tributary canals (V_{TR}). The following equations apply:

$$V_T = V_R + V_H + V_{TR} \quad (7)$$

$$V_R = A_X \left(\frac{\Delta f}{r} \right) \left(\frac{r}{2.592 \times 10^6} \right) \quad (8)$$

$$\frac{\Delta f}{r} = e^{-\frac{e_o}{r}} \quad (9)$$

$$e_o = 10^9 e^{-\frac{4.62 \times 10^3}{T}} \quad (10)$$

where A_X is the drainage basin area for Kavala Gulf (417.6 km²), r the mean monthly rainfall (in mm), T the mean air temperature (in °K), e_o the calculated potential evapotranspiration (in mm) and Δf the monthly runoff (in mm).

Links για Μετεωρολογικά Δεδομένα

<http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php>

www.wunderground.com

Έλεγχος Εισροών Νερού

2. Ποιότητα Νερού

- Άμεση παρακολούθηση με συστηματικές δειγματοληψίες
- Άμεση παρακολούθηση με σταθμούς συνεχούς καταγραφής
- Έμμεσος προσδιορισμός με χρήση συντελεστών έκπλυσης

Πηγές Θρεπτικών Αλάτων		Συντελεστές Μεταφοράς		Συνολικά Φορτία (kg/yr)	
Δραστηριότητα	Επίπεδο Δραστηριότητας	N	P	N	P
Οικιακή					
Στερεά Απόβλητα	14.786 κάτοικοι	0,355 kg/person/yr	0,035 kg/person/yr	5.249,0	517,5
Λύματα	14.786 κάτοικοι	0,765 kg/person/yr	0,090 kg/person/yr	11.311,2	1.330,7
Απορρυπαντικά	14.786 κάτοικοι	—	0,090 kg/person/yr	—	1.330,7
Συνολική Οικιακή Δραστηριότητα				16.560,2	3.178,9

Table 1. Geometrical, climatical and hydrological characteristics for the lagoons of N.E. and N.W. Greece

Lagoon	Northing	Easting	A (km ²)	h (m)	V (km ³)	Δh (m)	P (mm)	E (mm)
N.E. Greece								
Vassova	40°57'N	24°34'E	2.7	1.0	0.003	0.20	490	990
Eratino	40°55'N	24°35'E	3.5	1.0	0.004	0.20	490	990
N.W. Greece								
Loutsa - Papadia	39°33'N	20°09'E	2.0	1.0	0.002	0.20	1100	250
Kalaga	39°32'N	20°11'E	0.7	0.8	0.001	0.20	1100	250
Vatatsa	39°32'N	20°09'E	0.8	1.2	0.001	0.20	1100	250
Richo	39°31'N	20°13'E	1.0	0.6	0.001	0.20	1100	250
Alykes	39°34'N	20°09'E	3.0	0.8	0.002	0.20	1100	250
Vontas	39°30'N	20°16'E	2.5	1.5	0.004	0.20	1100	250

where A = lagoon surface area; h = mean lagoon water depth; V = lagoon water volume; Δh = mean lagoon tidal range; P = annual precipitation; E = annual evaporation.

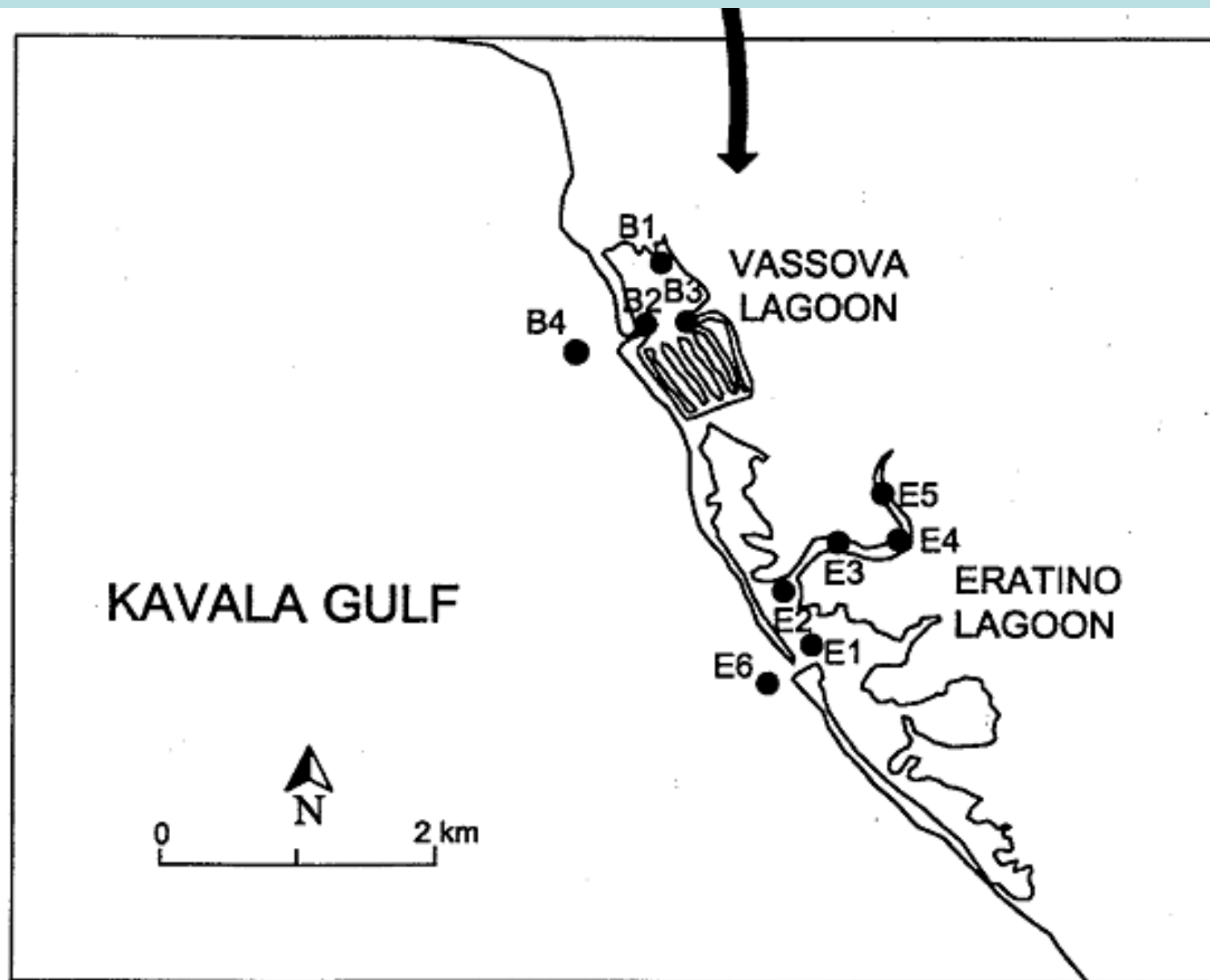


Figure 1. Sampling stations at the lagoons of Nestos River (N.E. Greece).

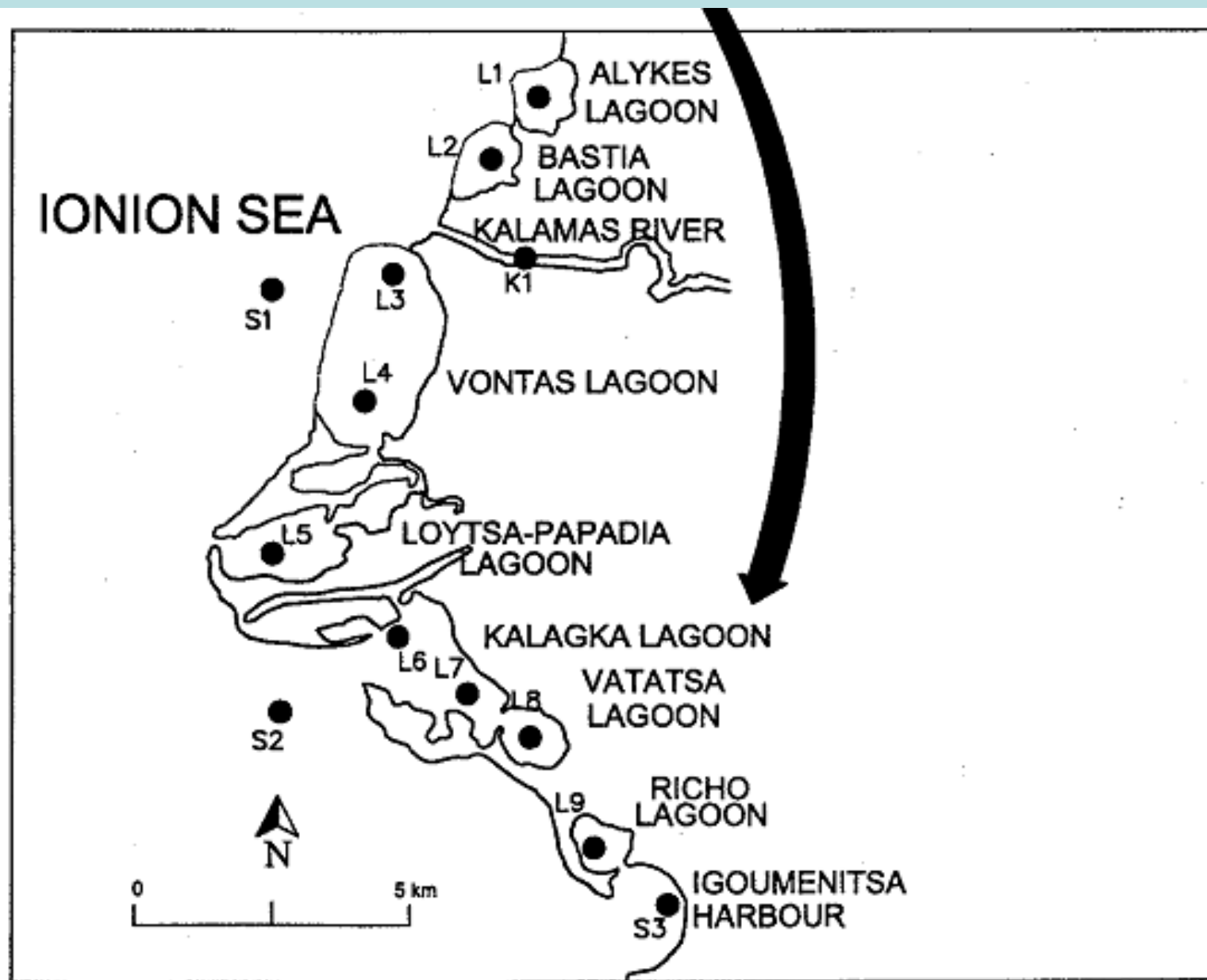


Figure 2. Sampling stations at the lagoons of Kalamas River (N.W. Greece).

Table II. Mean annual values of sampled water parameters at the lagoon systems of N.E. and N.W. Greece

Sampling Location	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Diss. Oxygen (mg L ⁻¹)	pH	N-NO ₃ (μM)	N-NO ₂ (μM)	N-NO ₄ (μM)	P-PO ₄ (μM)
N.E. Greece								
Vassova	16.63	32.26	5.73	8.06	0.29	0.01	0.02	0.24
Eratino	17.04	30.42	7.32	8.30	0.30	0.01	0.02	0.20
Fresh-water discharge	16.38	5.44	5.95	7.71	1.96	0.10	0.04	0.27
Sea-water	17.68	34.20	8.94	8.14	0.21	0.03	0.017	0.20
N.W. Greece								
Alykes	19.80	39.74	8.48	8.26	0.02	0.007	0.008	0.006
Vontas	19.58	31.90	8.08	8.13	0.02	0.002	0.005	0.002
Loutsa-Papadia	20.03	32.80	9.78	8.06	0.05	0.007	0.030	0.007
Kalaga	20.68	39.80	7.80	8.31	0.07	0.013	0.026	0.007
Vatatsa	19.78	32.42	7.64	8.16	0.04	0.002	0.001	0.009
Richo	20.08	30.46	7.73	8.26	0.07	0.015	0.018	0.007
River	16.48	24.74	7.74	7.98	1.66	0.26	0.64	0.009
Kalamas								
Sea-water	19.37	37.57	9.35	8.11	0.009	0.003	0.001	0.002

Έλεγχος Εισροών Νερού

3. Ισοζύγιο Νερού - Χρόνος Ανανέωσης Νερού

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_P + Q_E + Q_G + Q_R + Q_O$$

$$T_{50\%} = 0.69 / k$$

$$k = \frac{[Q_R + Q_P + Q_G + Q_O + |Q_T|]}{V}$$

Table 3. Water fluxes estimates for the eight lagoons of Northern Greece.

Lagoon	Q_P (m ³ /s)	Q_E (m ³ /s)	Q_R (m ³ /s)	Q_O (m ³ /s)	Q_T (m ³ /s)	$T_{50\%}$ (days)
Vassova	0.042	-0.085	0.940	-0.897	12.076	1.98
Eratino	0.054	-0.110	2.110	-2.055	15.655	2.04
Loutsa - Papadia	0.070	-0.016	8.220	-8.274	8.945	1.78
Kalaga	0.024	-0.006	0.370	-0.389	3.131	2.55
Vatatsa	0.028	-0.006	2.090	-2.112	3.578	2.23
Richo	0.035	-0.008	2.170	-2.197	4.472	1.78
Alykes	0.105	-0.024	0.170	-0.251	13.418	1.19
Vontas	0.087	-0.020	3.350	-3.417	11.182	2.85

where Q_P =precipitation rate; Q_E =evaporation rate; Q_R =fresh water runoff discharge; Q_O =tidal net water discharge; Q_T =tidal flushing rate; $T_{50\%}$ =calculated flushing half-life.

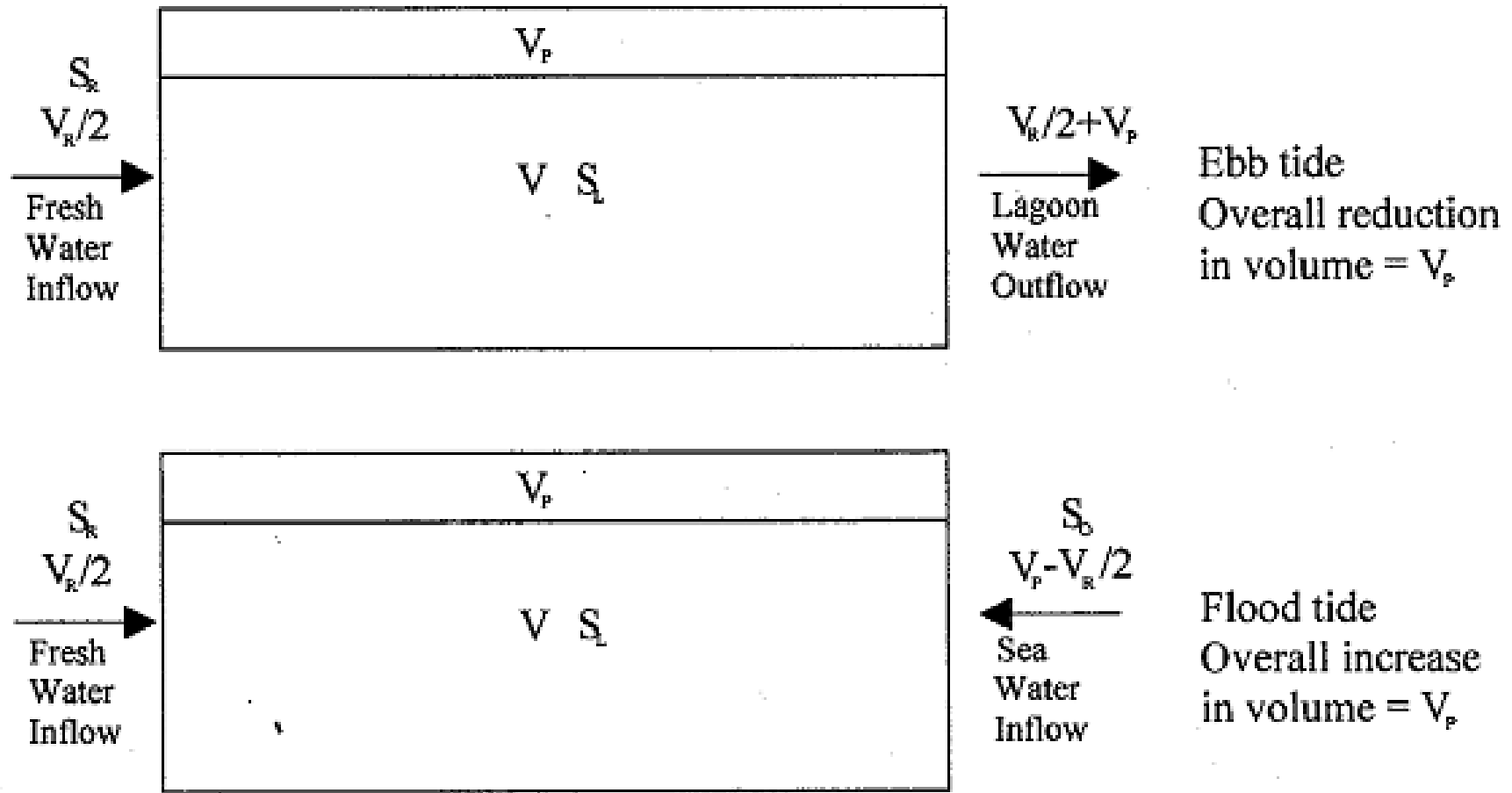


Figure 12. Lagoon representation by a single box, where V is the low tide volume and V_P is the tidal prism. The outflow and inflow volumes are shown for the ebb and flood tides.

$$\frac{V_R}{2} S_R - \left(\frac{V_R}{2} + V_P \right) S_L + \frac{V_R}{2} S_R + \left(V_P - \frac{V_R}{2} \right) S_O = 0 \quad (2)$$

the steady-state flushing rate. Kjerfve *et al.* (1996) considered that lagoon flushing half-life is estimated by the ratio:

$$T_{50\%} = 0.69 / k \quad (3)$$

where k is a rate constant calculated as the average fraction of lagoon water volume replaced each second by the sum of the water fluxes. Hence,

$$k = \frac{[Q_R + Q_P + Q_G + Q_O + |Q_T|]}{V} \quad (4)$$

The term Q_T ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) represents the tidal flushing rate (the oscillating water exchange on a tidal time scale); hence the absolute value sign was used. Since in both lagoon systems predominant tidal constituent is the semi-diurnal tide, Q_T , was expressed as the prism entering the lagoon system per tidal cycle, although in reality this transport occurs only during half a tidal cycle. Q_T was calculated by:

$$Q_T = \pm \frac{A_L \Delta h}{T} \quad (5)$$

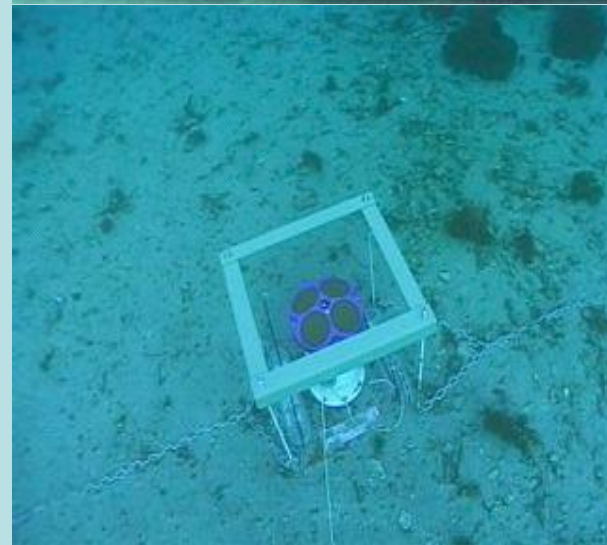
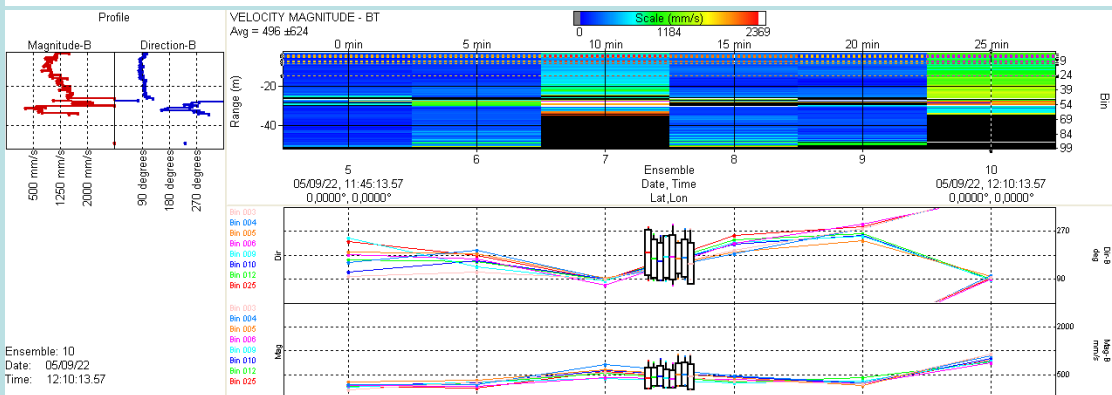
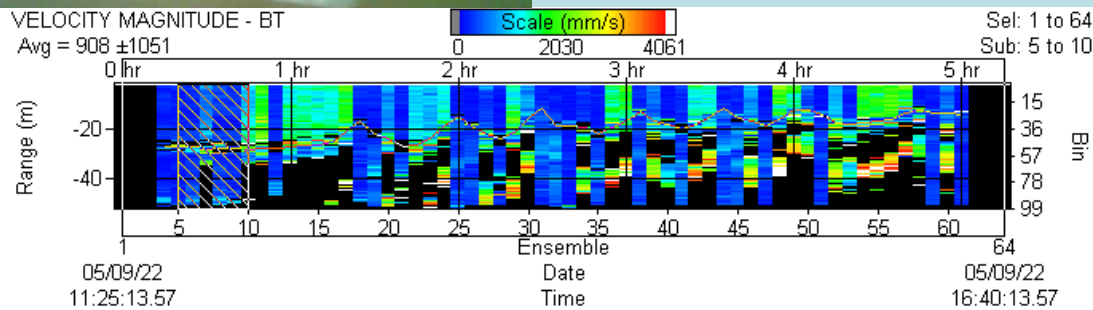
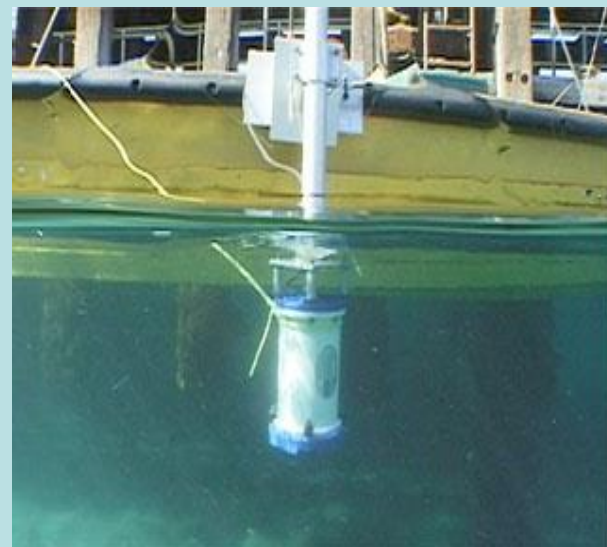
where Δh is the mean tidal range (m), A_L is the lagoon surface area (km^2) and T is the period of the semi-diurnal tide ($T = 12.42 \text{ hr} = 44714 \text{ s}$).

Έλεγχος Ανταλλαγών Νερού

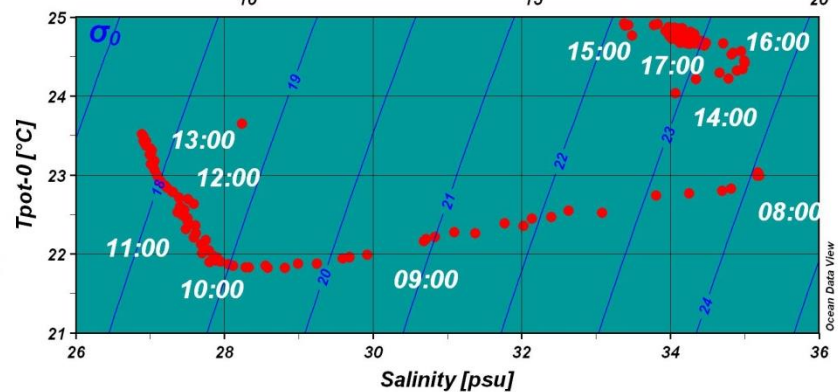
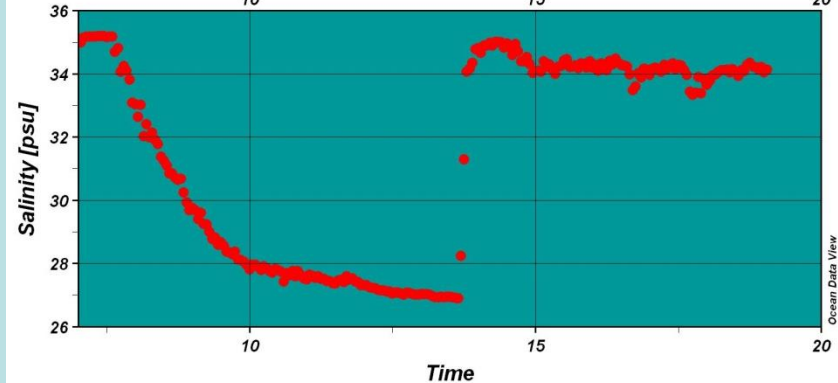
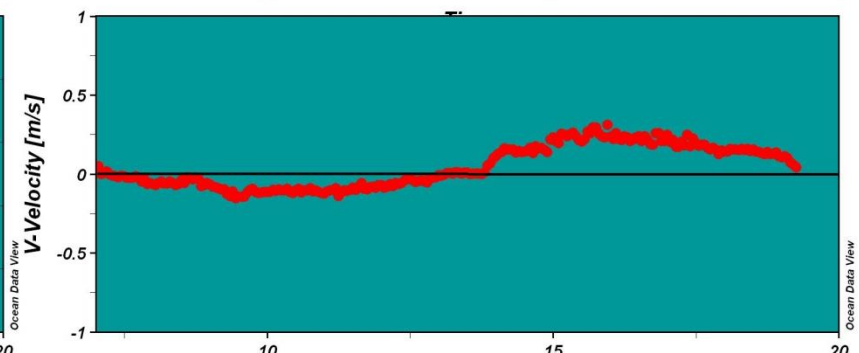
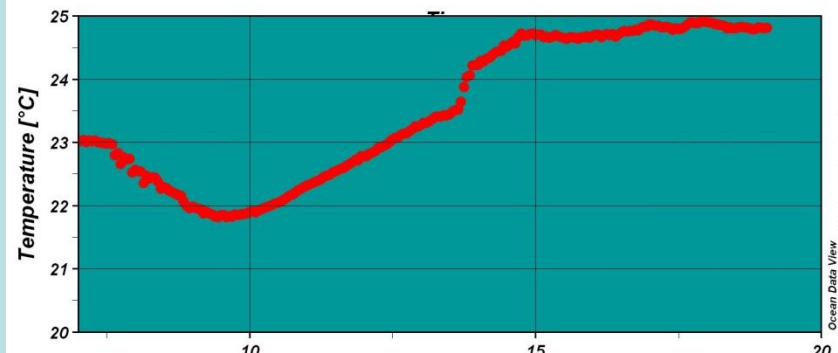
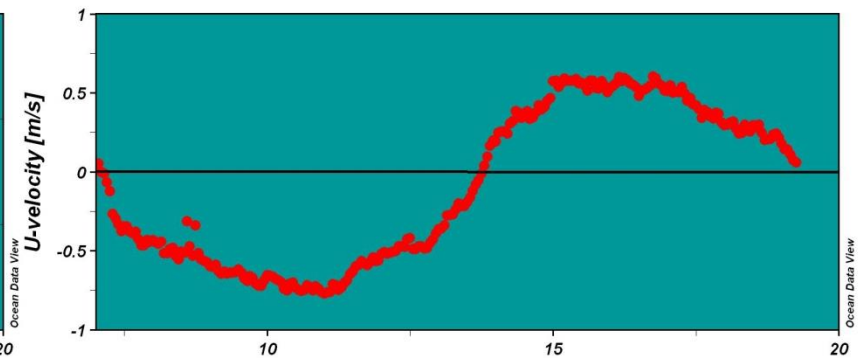
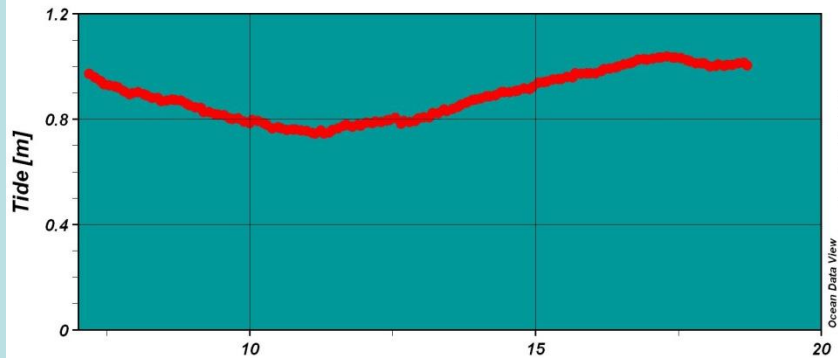
1. Συλλογή Δεδομένων Πεδίου



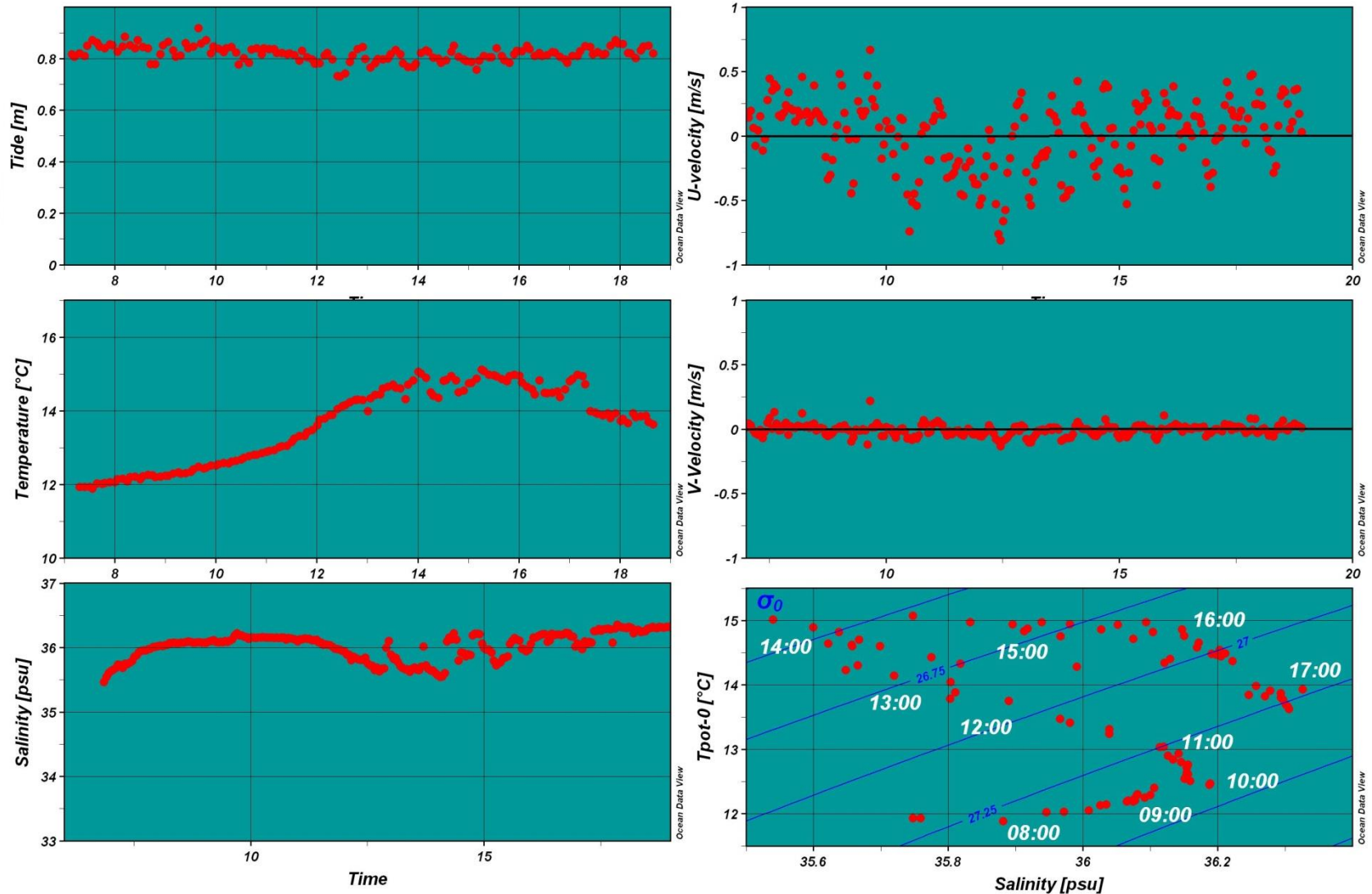
Έλεγχος Ανταλλαγών Νερού



Αποτελέσματα Λ/Θ Βάσσοβας (3/10/02 – παλίρροια μεγάλου εύρους)



Αποτελέσματα Λ/Θ Βάσσοβας (21/3/02 – παλίρροια μικρού εύρους)



Τι είναι ένα Μαθηματικό Ομοίωμα ?

Ορίζεται ως η διαδικασία αναπαράστασης φυσικών, χημικών ή/και βιολογικών διεργασιών με τη μορφή μαθηματικών εξισώσεων, καταστρωμένων με τρόπο ώστε αυτές να περιγράφουν τις διεργασίες του υδατικού συστήματος επαρκώς και με ακρίβεια.

Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του Μαθηματικού Ομοιώματος ?

1. Αντικείμενο Μ.Ο.
2. Στόχοι ανάπτυξης (βασική έρευνα, εφαρμογή, περιγραφή διεργασιών, πρόγνωση συμπεριφοράς συστήματος, κλπ.)
3. Μεταβλητές και Διεργασίες που προσομοιώνονται
4. Διαστάσεις Μ.Ο.
 - 0 διάσταση χώρου (box models)
 - 1 διάσταση χώρου (1D steady state model)
 - 1 διάσταση χώρου + χρόνος (1D dynamic model)
 - 2 διαστάσεις χώρου (2D steady state model)
 - 2 διαστάσεις χώρου (x, y ή x, z) + χρόνος (2D dynamic model)
 - 3 διαστάσεις χώρου (3D steady state model)
4. Μέθοδος Επίλυσης (αναλυτική, αριθμητική)
5. Περιγραφικό ή Προγνωστικό Μ.Ο.

Χαρακτηριστικά Μαθηματικού Ομοιώματος

Αριθμός εξαρτημένων – ανεξάρτητων μεταβλητών \Rightarrow αριθμός διεργασιών και αλληλοεπιδράσεων \Rightarrow αριθμός παραμέτρων & οριακών συνθηκών \Rightarrow υπολογιστικός χρόνος

- Χημικές και Βιολογικές Διεργασίες \Rightarrow 0 διάστασης Μ.Ο.
- Υδροδυναμικές Διεργασίες \Rightarrow 1 – 3 διαστάσεων Μ.Ο.
- Διεργασίες Μεταφοράς – Διάχυσης Ρύπων \Rightarrow 1 – 3 διαστάσεων Μ.Ο.

Μεταβλητές Μ.Ο.

- Ταχύτητα κίνησης νερού
- Θερμοκρασία, Αλατότητα, Πυκνότητα
- Βακτήρια
- BOD – DO
- Θρεπτικά άλατα
- Ευτροφισμός
- Τοξικοί Ρύποι

Χρόνος

```
graph TD; A[Χρόνος] --- B[Steady-state]; A --- C[Steady-input]; A --- D[Quasi-dynamic]; A --- E[Dynamic];
```

Steady-state

Steady-input

Quasi-dynamic

Dynamic

Χώρος

```
graph TD; A[Χώρος] --- B[One-dimensional (x or z)]; A --- C[Two-dimensional (x-y or x-z)]; A --- D[Three-dimensional]
```

One-dimensional (x or z)

Two-dimensional (x-y or x-z)

Three-dimensional

Επίλυση

Αριθμητική

Αναλυτική

Υπολογιστικές Διεργασίες

Προγραμματισμός Η/Υ (PC, mainframe)

Χρήση έτοιμων Μ.Ο.

Βασικές Αρχές των Μαθηματικών Ομοιωμάτων

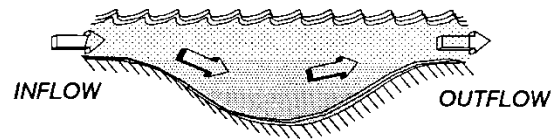
- Αρχές Διατήρησης Συντηρητικών Ιδιοτήτων
 - Μάζα (υδάτινη μάζα, μάζα συστατικών)
 - Ορμής
 - Θερμότητας

MOMENTUM



$$\text{Momentum} = \text{Mass} * \text{Velocity}$$

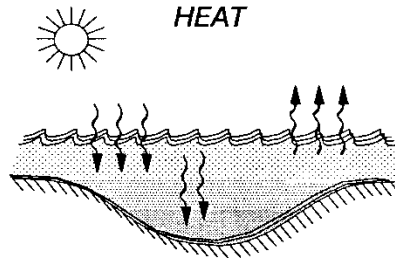
MASS



$$\text{Water Mass} = \rho V \quad \text{Constituent Mass} = VC$$

ρ = Density, V = Volume, C = Concentration

HEAT

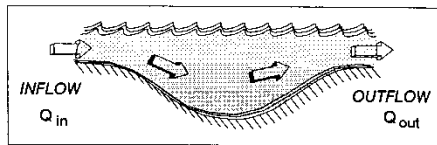


Εξίσωση Ισοζυγίου Μάζας

Συσσώρευση Μάζας = Πηγές Μάζας – Αποθήκευση Μάζας

- Αν Πηγές > Αποθήκευσης \Rightarrow Συσσώρευση > 0 \Rightarrow αύξηση μάζας στη περιοχή μελέτης
- Αν Πηγές < Αποθήκευσης \Rightarrow Συσσώρευση < 0 \Rightarrow μείωση μάζας στη περιοχή μελέτης
- Αν Πηγές = Αποθήκευσης \Rightarrow Συσσώρευση = 0 \Rightarrow διατήρηση μάζας στη περιοχή μελέτης

WATER BALANCE FOR A SIMPLE POND
(Non-Reactive Material)



$$\text{Water Mass} = eV$$

$$e \text{ [ML}^{-3}\text{]}$$

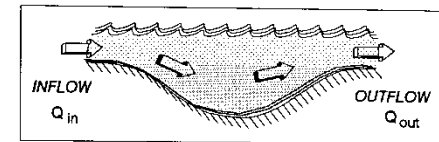
$$V \text{ [L}^3\text{]}$$

$$\text{Accumulation} = \frac{\text{Change in Water Mass}}{\text{Time}}$$

$$= \frac{\Delta eV}{\Delta t} \quad \text{Where } \Delta \text{ is Change}$$

$$= \frac{dV}{dt} e \quad \text{if } \Delta \text{ is "small" } \left[\frac{\text{ML}^{-3}}{\text{L}^3 \text{T}} \right]$$

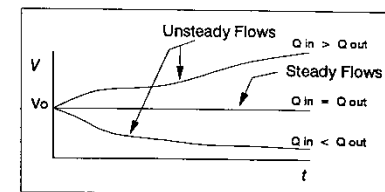
WATER BALANCE FOR A SIMPLE POND
(Non-Reactive Material)



$$\text{Accumulation} = \text{INFLOW} - \text{OUTFLOW}$$

$$\frac{deV}{dt} = (q_{in} - q_{out}) e$$

$$\text{OR, } \frac{dV}{dt} = q_{in} - q_{out} \quad \text{for constant } e$$



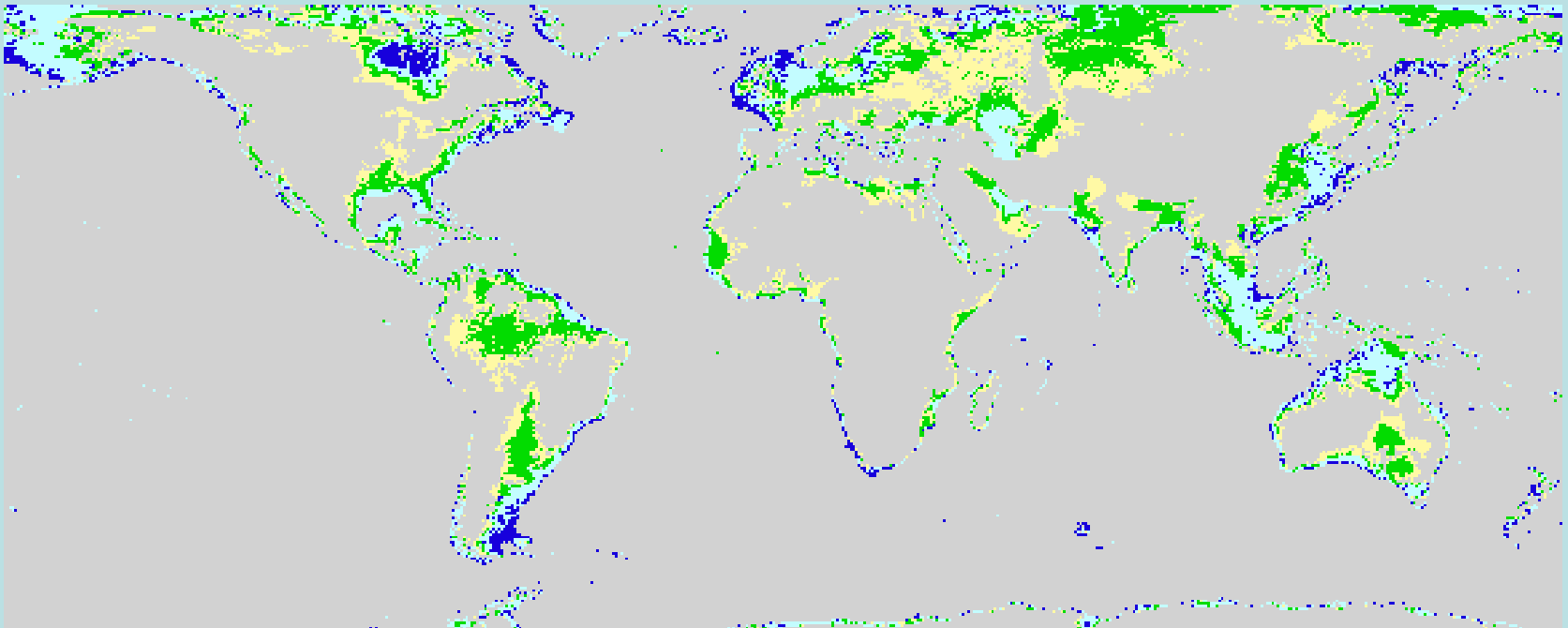
M.O. 0-διάστασης (Box Models)

- 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

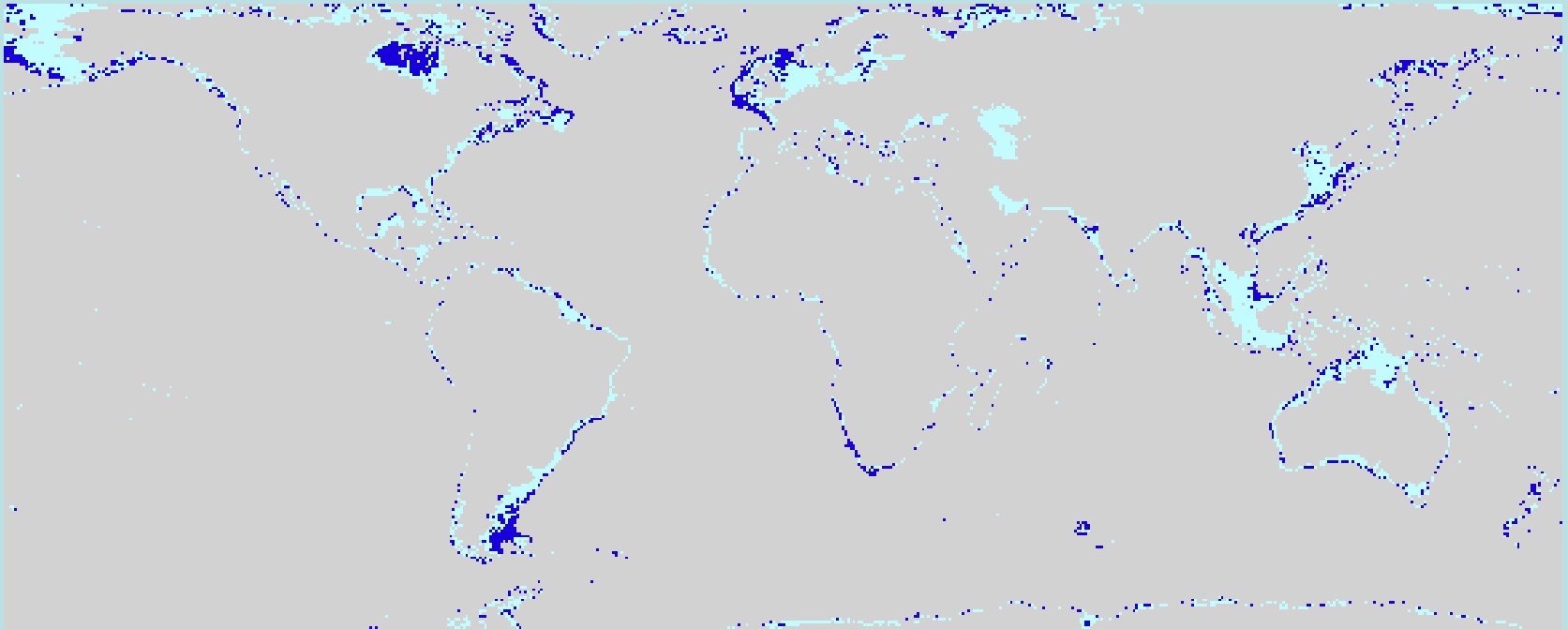
- Το μοντέλο LOICZ συμβάλει στον Υπολογισμό των Ροών C, N, P στη Παγκόσμια Παράκτια Ζώνη.
- Το μοντέλο LOICZ προσομοιώνει τις ανόργανες διεργασίες που σχετίζονται με τις εισροές N, P, C και τις συνδέει με τη παρουσία και την ανάπτυξη αυτότροφων ή ετερότροφων οργανισμών
- Το μοντέλο LOICZ περιγράφει τις 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.

Παράκτια Ζώνη (+200 to -200 m)



Καλύπτει περίπου το 18% της επιφάνειας της Γης

Παράκτιος Ωκεανός (0 to -200 m)



Ο παράκτιος ωκεανός που έχει μοντελοποιηθεί από το LOICZ καλύπτει περίπου το 5% της επιφάνειας της Γης

Primary foci for *new* LOICZ

Global: Direct disturbance (eg. altered hydrology, sea level rise)

Polar: Climate change

Tropical: Coastal Development

Temperate: Eutrophication



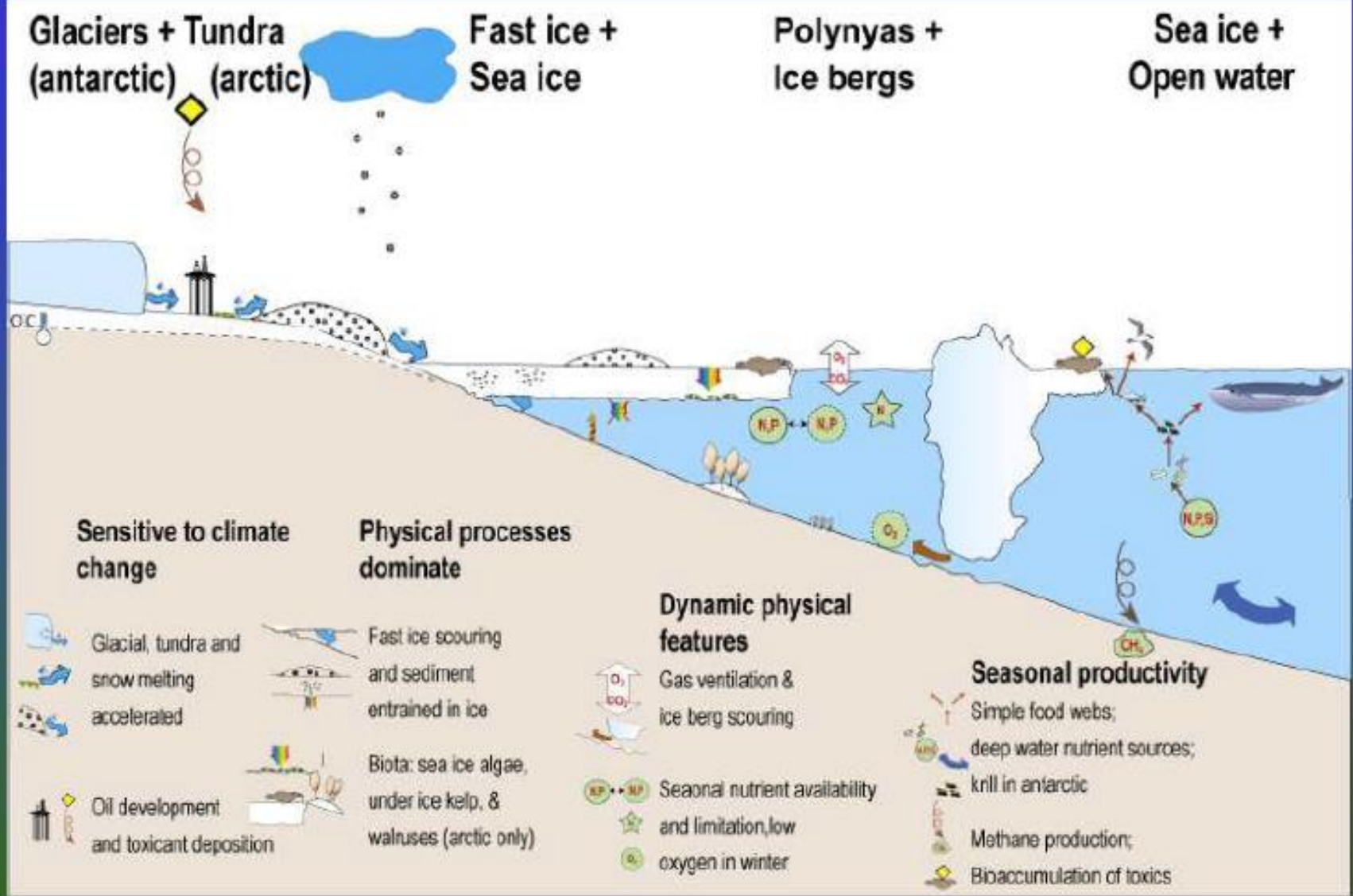
A world map showing the primary foci for the new LOICZ (Low Impact Ocean Use and Coastal Zone) across different climate zones. The map is color-coded by climate zone: Polar (<math><4^{\circ}\text{C}</math>), Tropical (24°C+), and Temperate ($4-24^{\circ}\text{C}$). Yellow dots indicate the primary foci for each zone. The Polar zone is highlighted in cyan, the Tropical zone in orange, and the Temperate zone in green. The map shows that the primary foci for the Polar zone are located in the Arctic region, the Tropical zone is located in the coastal regions of the tropics, and the Temperate zone is located in the coastal regions of the temperate zones.

Polar ($<4^{\circ}\text{C}$)

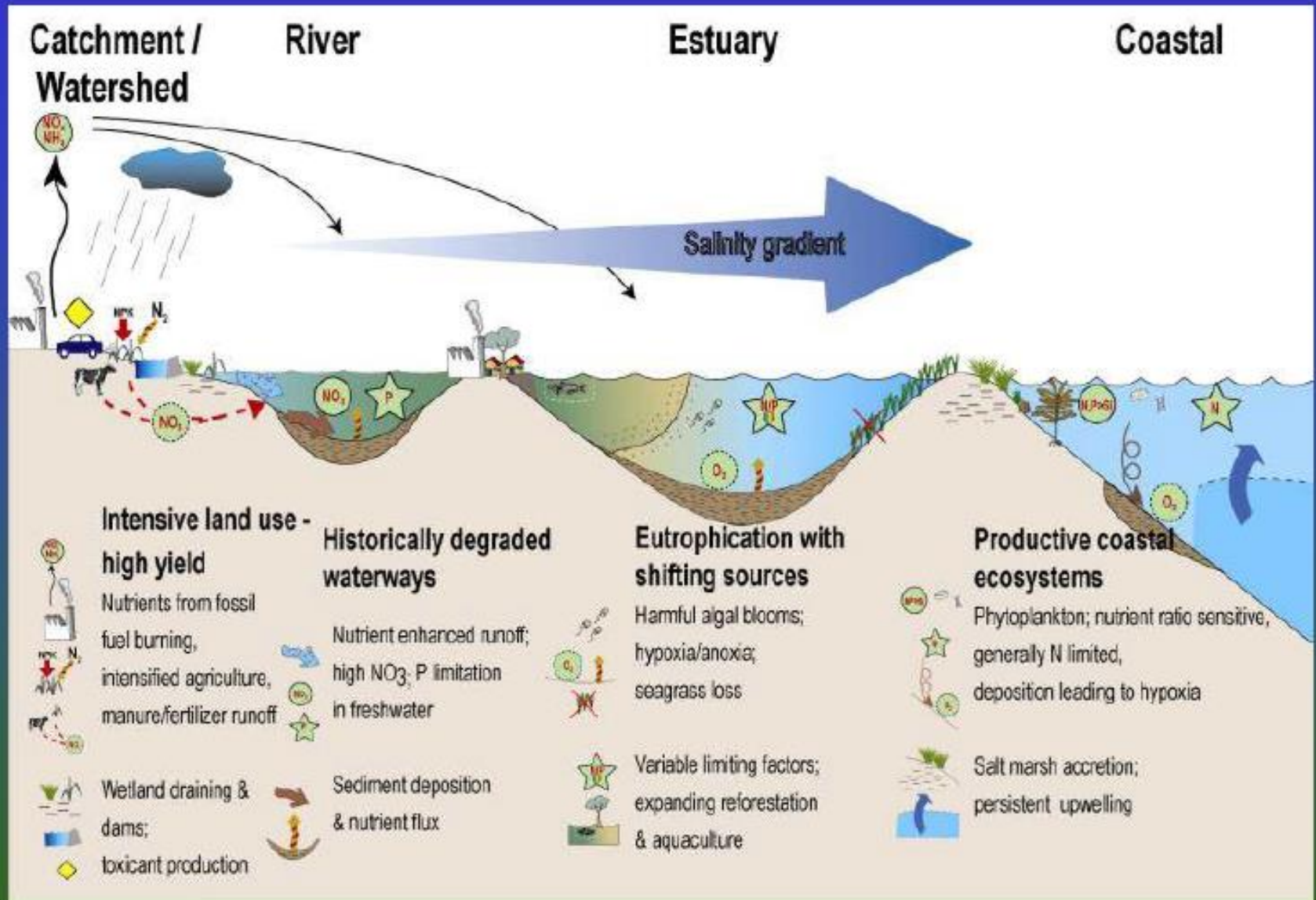
Tropical ($24^{\circ}\text{C}+$)

Temperate ($4-24^{\circ}\text{C}$)

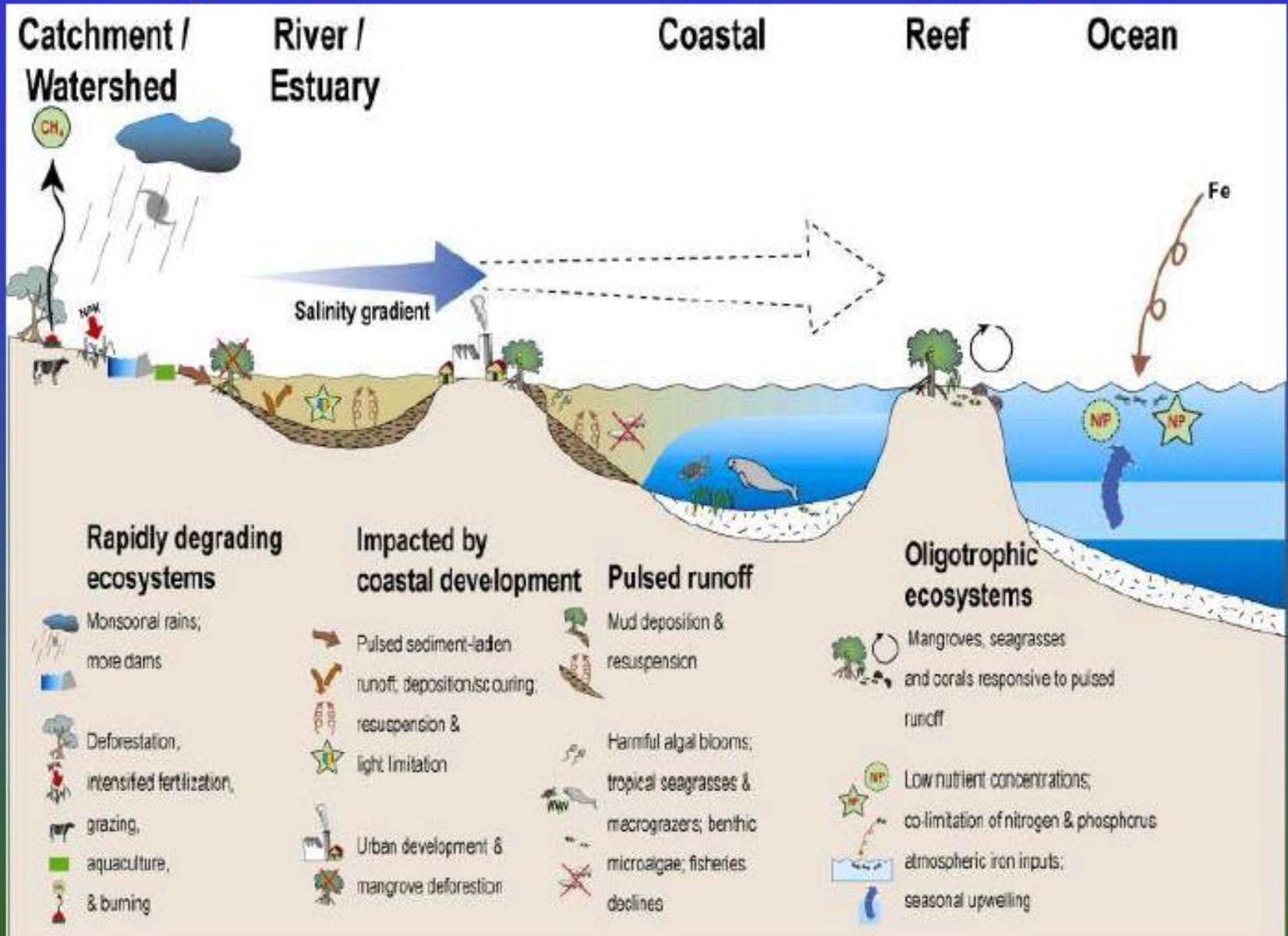
Polar issues: Climate change



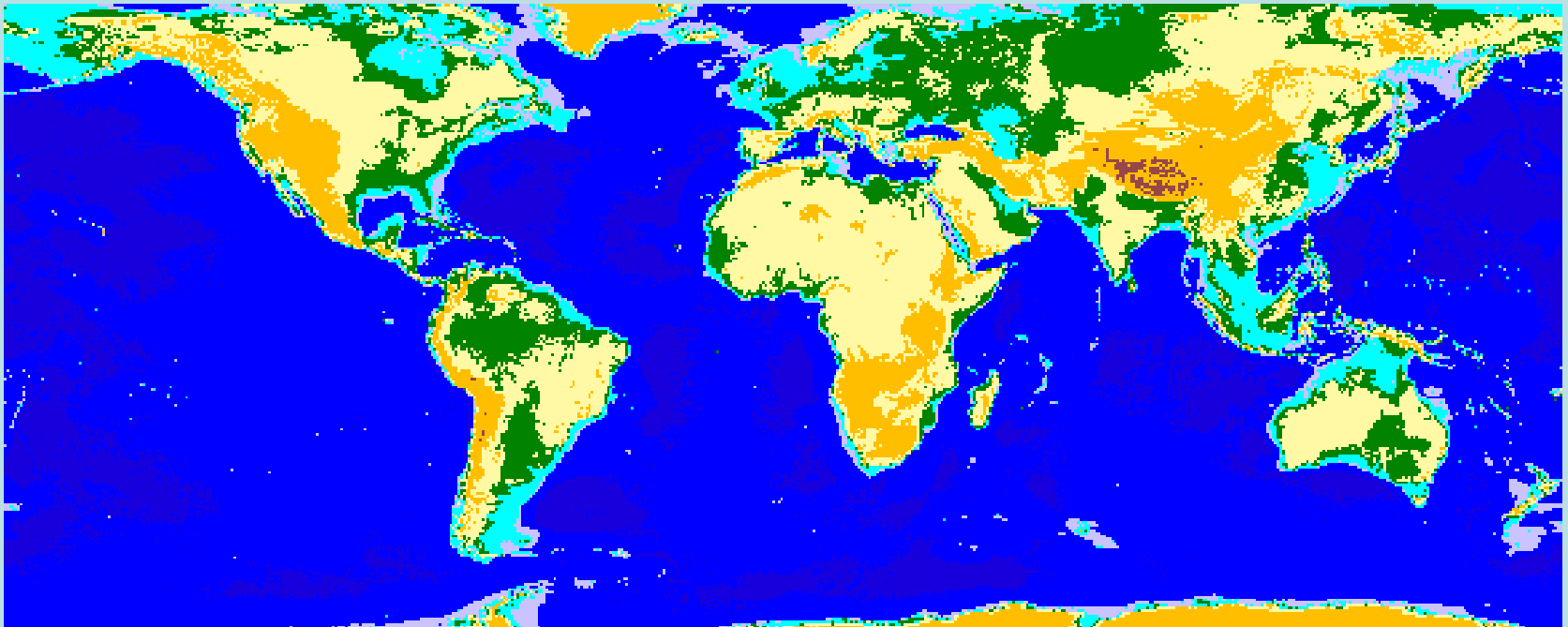
Temperate issues: Eutrophication



Tropical issues: Coastal development

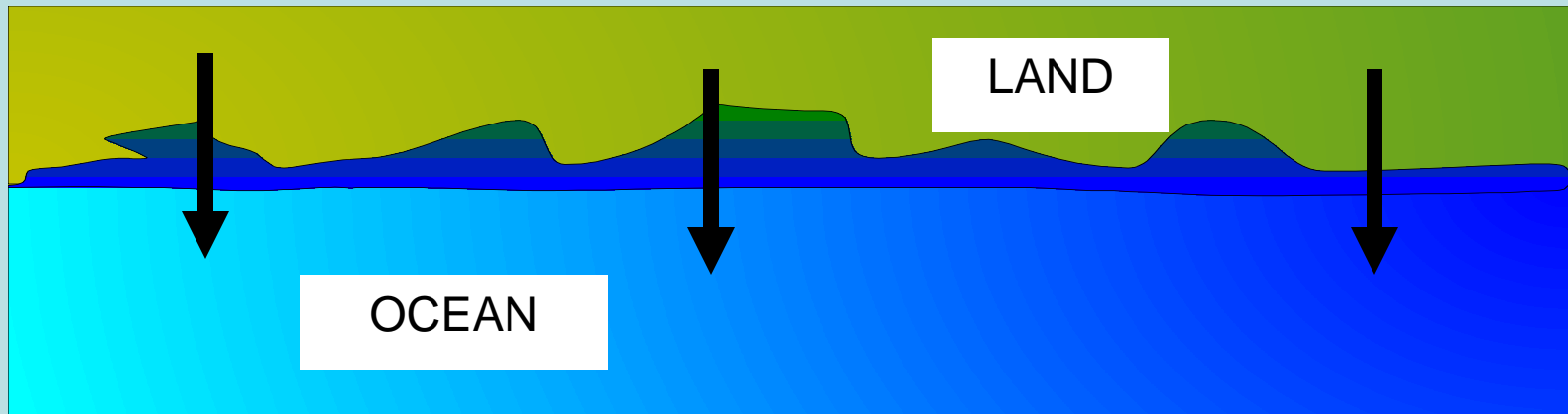


Παγκόσμια Ανύψωση Στάθμης Θάλασσας



Μόνο ένα μικρό τμήμα βρίσκεται στην περιοχή ενδιαφέροντος του
LOICZ

Η Παγκόσμια Παράκτια Ζώνη: Καλύπτει μια στενή, ανομοιογενή και ‘βιο-χημικά’ ενεργή λωρίδα



Η παγκόσμια παράκτια ζώνη είναι μήκους ~ 500,000 χλμ και μέσου πλάτους περίπου 50 χλμ

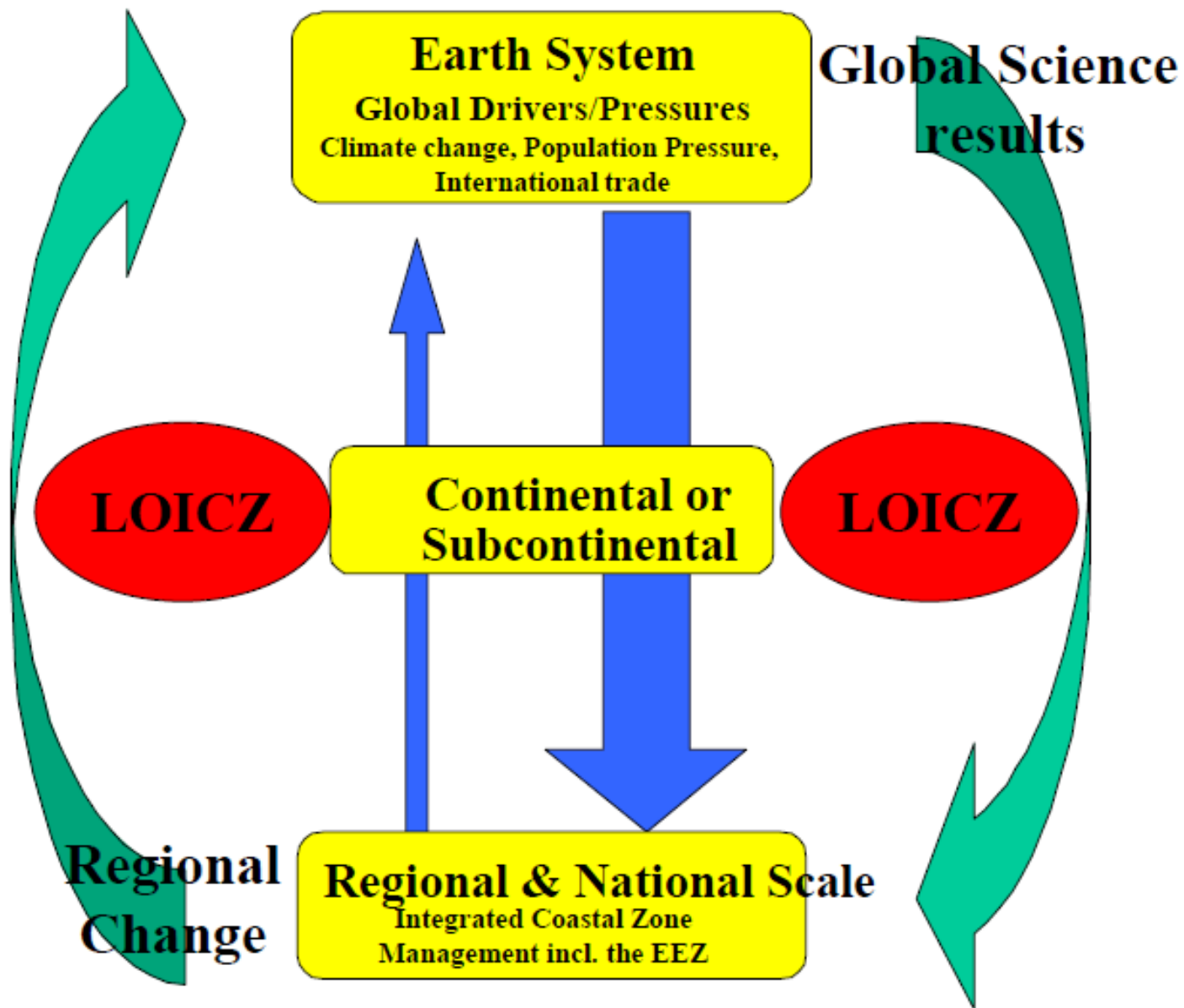
Το μεγαλύτερο μέρος των χημικών ενώσεων που εισέρχονται στον ωκεανό, διέρχονται μέσω της παγκόσμιας παράκτιας ζώνης

Οι εντονότερες βιο-γεωχημικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα στη περιοχή αυτή (εκβολές ποταμών, ημίκλειστοι κόλποι, λιμνοθάλασσες, υφαλοκρηπίδες).

IGBP:
International Geosphere-Biosphere Program
LOICZ:
Land – Ocean Interaction in the Coastal Zone

Σκοπός του IGBP– Η περιγραφή και κατανόηση των αλληλοεπιδράσεων των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στη Γη, στο βιοτικό και αβιοτικό περιβάλλον, οι μεταβολές που συμβαίνουν στο σύστημα και οι ανθρώπινες επιδράσεις.

Σκοπός του LOICZ – Σχεδόν όμοιος με IGBP — με ειδικό ενδιαφέρον για τη παράκτια ζώνη.



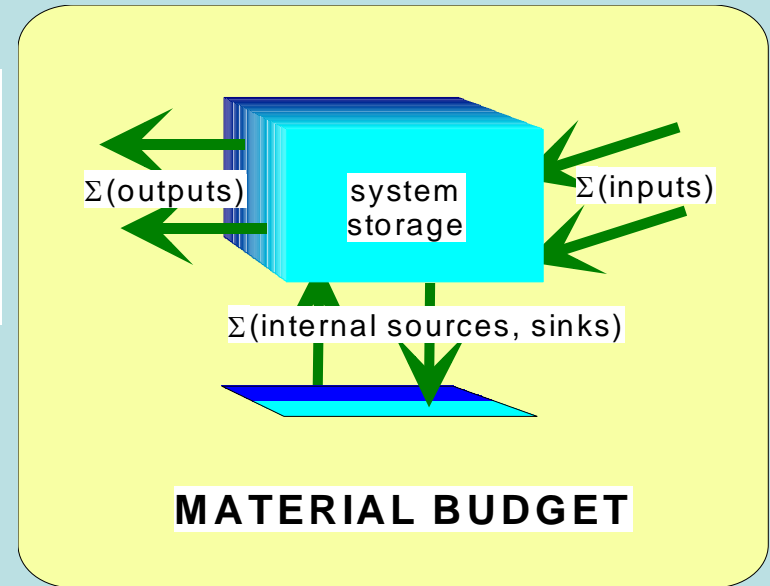
Ανάπτυξη μίας Παγκόσμια Εφαρμόσιμης Τεχνικής Υπολογισμού των Ροών C, N, P στη Παράκτια Ζώνη

- **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 ?

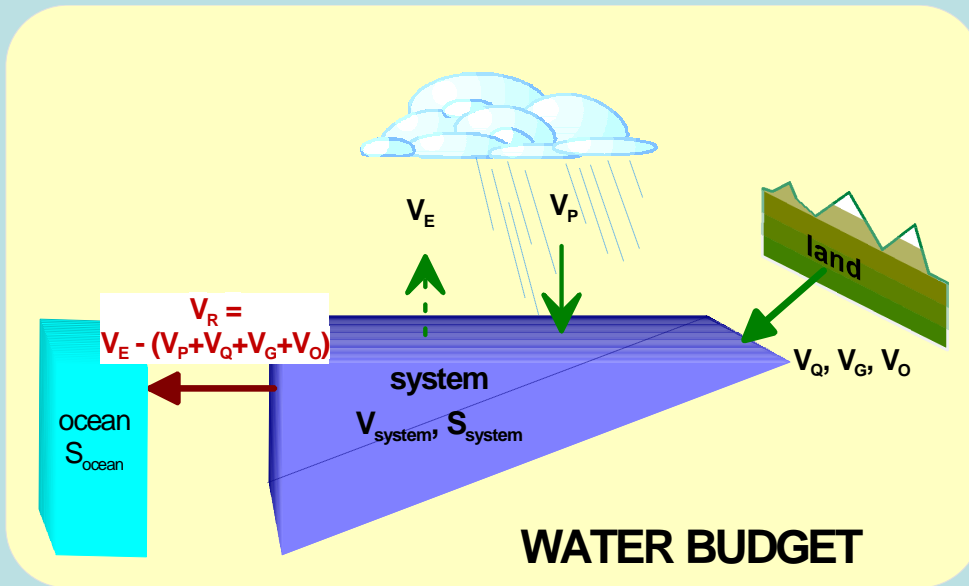
(Ισοζύγιο Νερού – Ισοζύγιο Άλατος)

- Πόσο γρήγορα κινούνται τα στοιχεία άνθρακα, 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



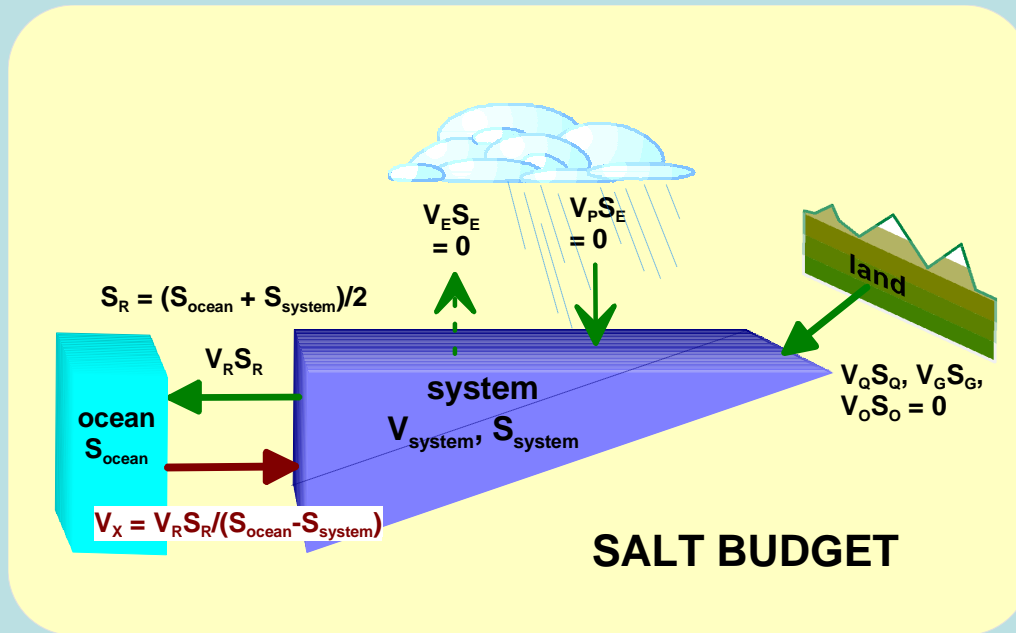
- Ισοζύγιο Νερού

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

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

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

Ισοζύγιο Άλατος



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

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

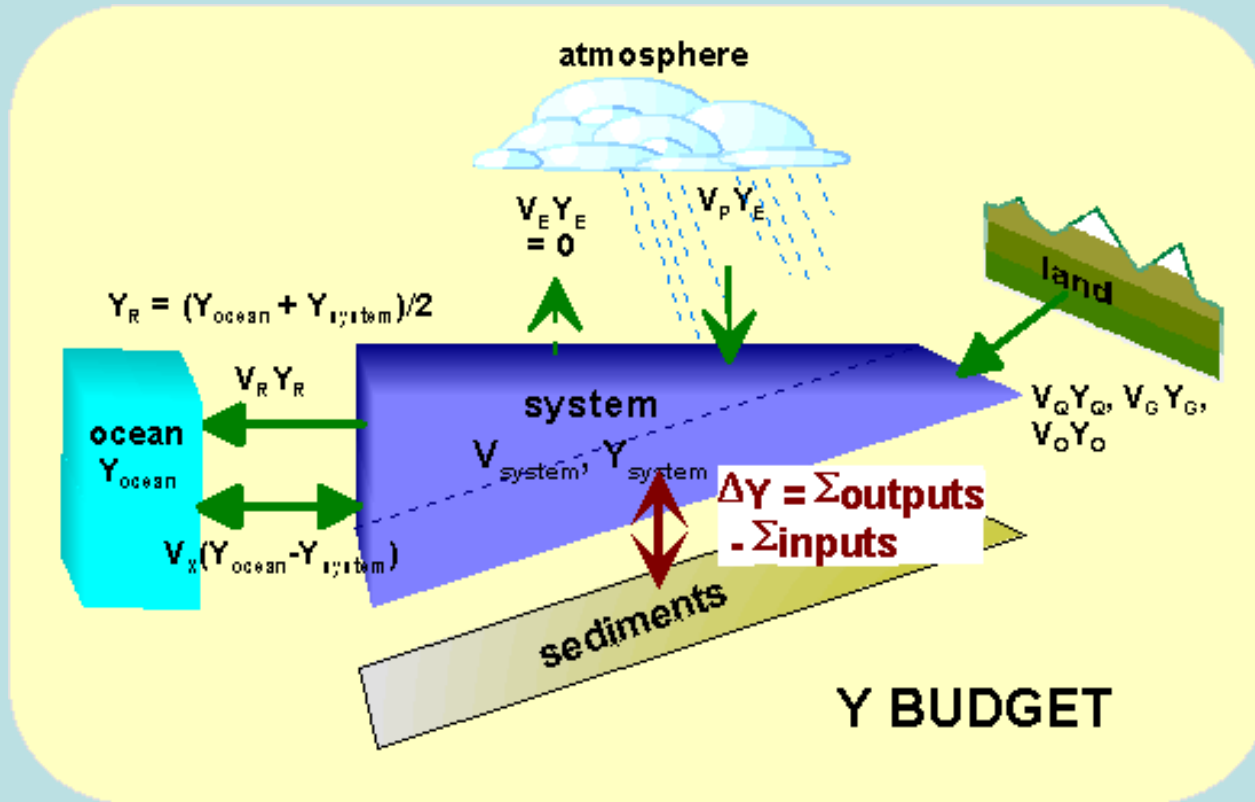
$$0 = \sum (V_R S_R + V_X S_{ocean}) - \sum (V_X S_{system})$$

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

Υπολογισμός Χρόνου Ανανεωσιμότητας Συστήματος

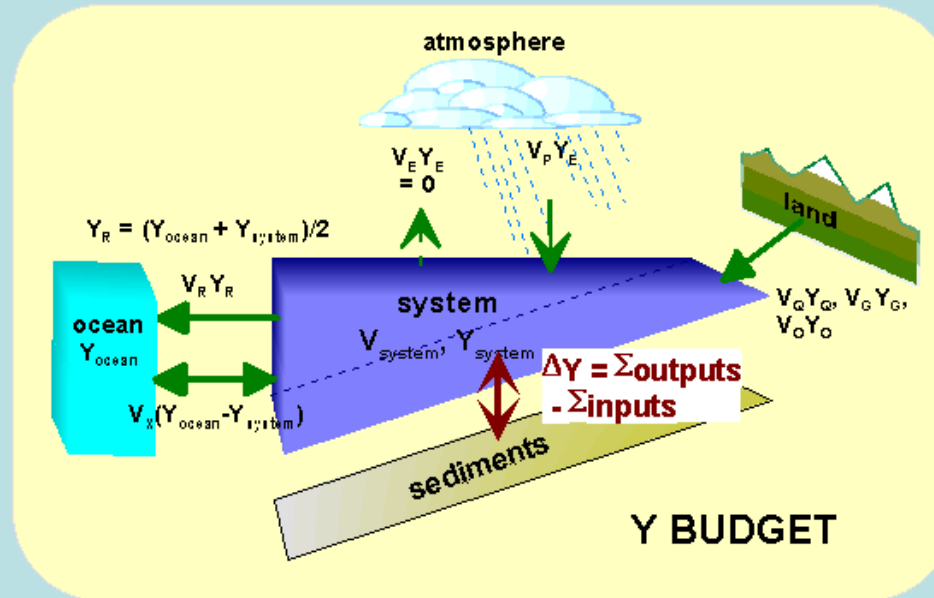
$$T_f = V_{\text{system}} / (V_X + |V_R|)$$

Ισοζύγια CNP



$$d(VY)/dt = V_Q Y_Q + V_P Y_P + V_G Y_G + V_O Y_O + V_E Y_E + V_R Y_R + V_X (Y_{ocean} - Y_{gulf}) + \Delta Y$$

Ισοζύγια Φωσφόρου



$$d(VY)/dt = V_Q Y_Q + V_P Y_P + V_G Y_G + V_O Y_O + V_E Y_E + V_R Y_R + V_X (Y_{ocean} - Y_{gulf}) + \Delta Y$$

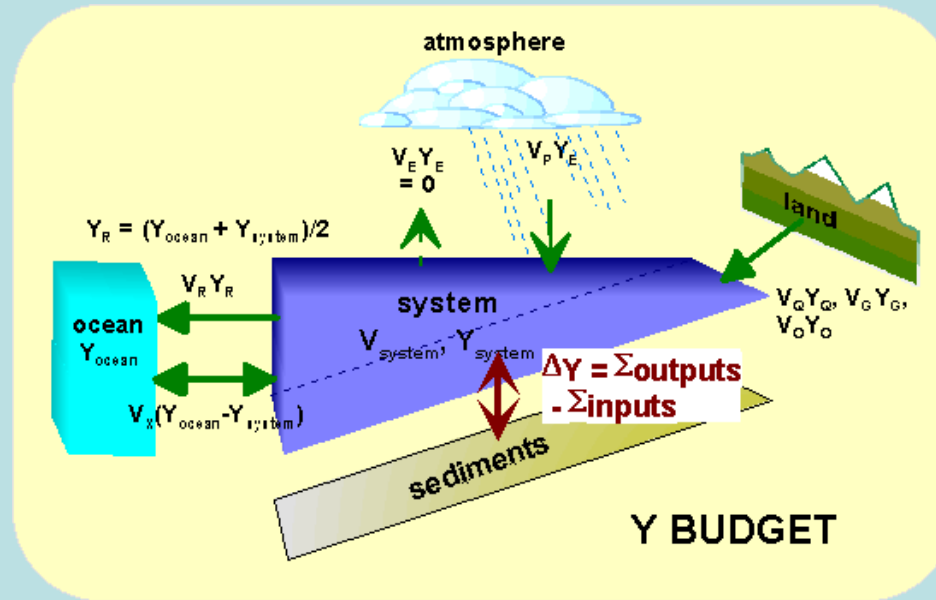
- $\Delta DIP > 0 \Rightarrow$ DIP κινείται από το ίζημα προς το σύστημα \Rightarrow το σύστημα καταναλώνει οργανικό υλικό μέσω της αναπνοής $\Rightarrow (p-r) < 0$
- $\Delta DIP < 0 \Rightarrow$ DIP κινείται από το σύστημα προς το ίζημα \Rightarrow το σύστημα παράγει οργανικό υλικό μέσω της φωτοσύνθεσης $\Rightarrow (p-r) > 0$

$$[p-r] = -\Delta DIP \times (C:P)_{part}$$

$$(C:P)_{part} = 106:1 \text{ (πλαγκτόν)}$$

$$(C:P)_{part} = 550:1 \text{ (μακροφύκη)}$$

Ισοζύγιο Αζώτου

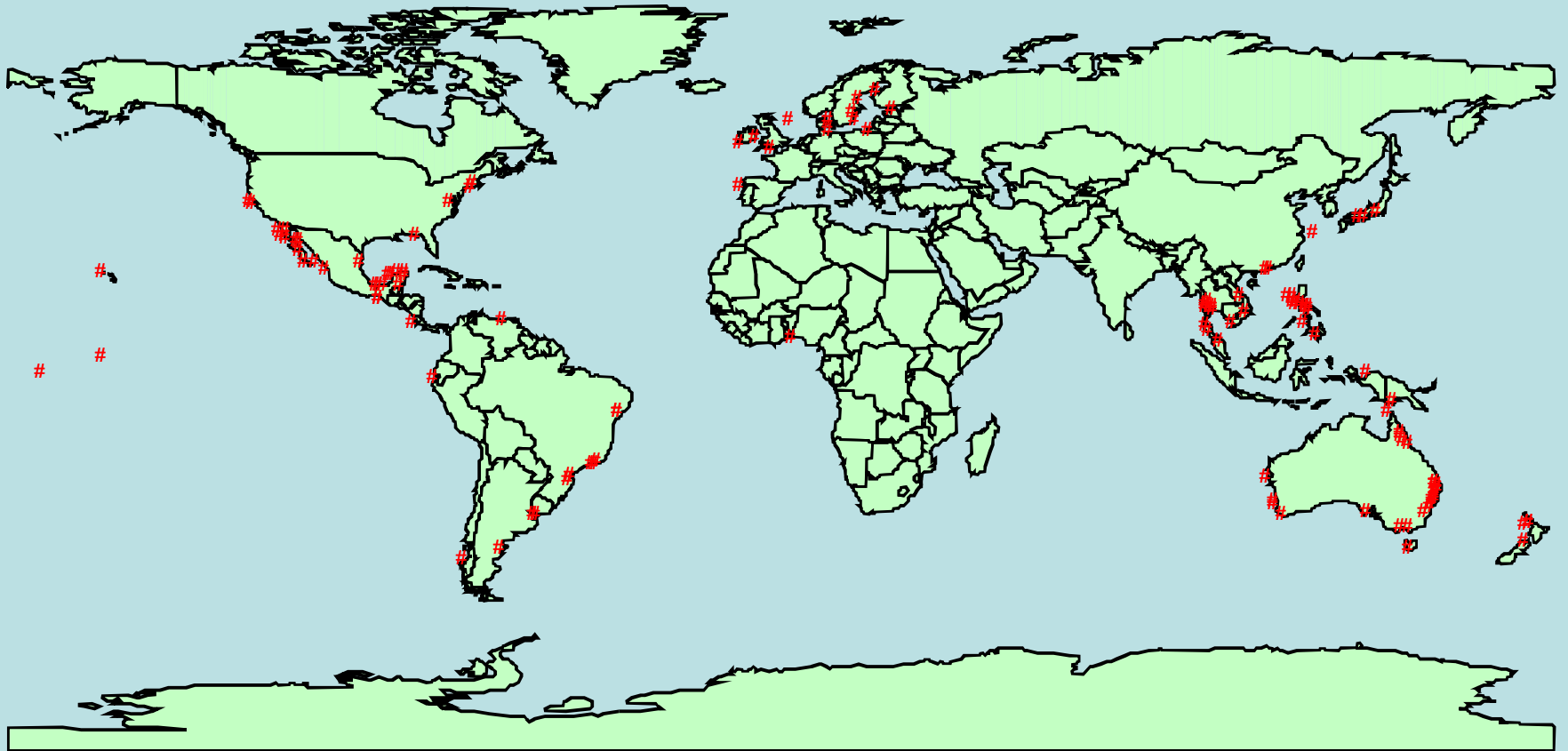


$$d(VY)/dt = V_Q Y_Q + V_P Y_P + V_G Y_G + V_O Y_O + V_E Y_E + V_R Y_R + V_X (Y_{ocean} - Y_{gulf}) + \Delta Y$$

$$[nfix - denitr] = \Delta N_{obs} - \Delta N_{exp} = \Delta N_{obs} - \Delta DIP \times (N:P)_{part}$$

- $(nfix - denitr) > 0 \Rightarrow$ nitrification prevails \Rightarrow Converts N_2 to organic nitrogen
- $(nfix - denitr) < 0 \Rightarrow$ denitrification prevails \Rightarrow Converts nitrate to Nitrogen gas (never measured)

Περιοχές με Εφαρμογή Ισοζυγίων LOICZ



>100 sites so far; > 200 sites desired.

Περιγραφικές Συσχετίσεις

$$\text{Log (DIP mol km}^{-2} \text{ yr}^{-1} \text{)} = 2.72 + 0.36 \text{ X log (persons km}^{-2} \text{)} + 0.78 \text{ X log (runoff in m}^3 \text{ yr}^{-1} \text{)}$$

DIP load, number of persons, and runoff scaled to catchment basin area

N= 168; $r^2 = 0.58$ (Smith et al, in prep.)














Από πού προέρχεται αυτό το φορτίο ?

- αστικές δραστηριότητες
- βιομηχανικές δραστηριότητες
- γεωργικές δραστηριότητες

ESTIMATION OF WASTE LOAD

(This spreadsheet calculates DIN and DIP load in waste generated by various activities. Knowledge of the activities relevant to your coastal water body is necessary and the only input needed in the spreadsheet would be the activity level of the waste generating activity in column F. Sum of the DIN and DIP load are given at the bottom of the table (column L and M). There are two other spreadsheets at the bottom to calculate DIN and DIP concentration from BOD and COD concentration.)

Activity	Discharge coef (unit)	Reference	Activity level (no) (unit)	Total N (kg/yr)	Total P (kg/yr)	%entering the bay	DIN (mol/yr)	DIP (mol/yr)
<i>Household</i>								
a. solid waste	0.71 kgN/pm/yr 0.07 kgP/pm/yr	a b	70000 person	49700	4900	20	269800	15806.45161
b. domestic sewage	1.53 kgN/pm/yr 0.18 kgP/pm/yr	c c	70000 person	107100	12600	100	2907000	203225.8065
c. detergent	0.18 kgP/pm/yr	c	70000 person		12600	100	0	203225.8065
<i>Urban runoff (unsewered areas)</i>	1.9 mgN/liter 0.4 mgP/liter	d d	avg rain(m/yr) x urban area(m2)	0	0	25	0	0
<i>Livestock</i>								
a. cattle	2.74 kgN/cow/yr 0.4 kgP/cow/yr	e e	4755 cow	13028.7	1902	30	106090.8429	9203.225806
b. horses	3.1 kgN/hor/yr 0.5 kgP/hor/yr	e e	27 horse	83.7	13.5	30	681.5571429	65.32258065
c. sheep	0.25 kgN/shp/yr 0.023 kgP/shp/yr	e e	52711 sheep	13177.75	1212.353	30	107304.5357	5866.224194
a. piggery	0.57 kgN/pig/yr 0.18 kgP/pig/yr	e e	1829 pig	1042.53	329.22	30	8489.172857	1593
b. poultry	0.0024 kgN/bird/yr 0.1 kgP/bird/yr	f f	95043 bird	228.1032	9504.3	30	1857.411771	45988.54839

<i>Aquaculture</i>									
a. prawn	5.2 kgN/ton/yr 4.7 kgP/ton/yr	g	 ton prawn	0	0	25	0	0	
b. milkfish	2.9 kgN/ton/yr 2.6 kgP/ton/yr	g	 ton fish	0	0	25	0	0	
<i>Non-point agricultural runoff</i>									
a. cropland erosion	1.68 kgN/ton 0.04 kgP/ton	b	 ton soil eroded/yr	0	0	25	0	0	
<i>Manufacturing</i>									
a. slaughtering									
- cattle	0.3 kgN/cattle 0.02 kgP/cattle	e	 cattle/yr	0	0	25	0	0	
- pig	0.08 kgN/pig 0.006 kgP/pig	e	 pig/yr	0	0	25	0	0	
- lamb	0.04 kgN/lamb 0.003 kgP/lamb	e	 lamb/yr	0	0	25	0	0	
b. packing									
- cattle	0.56 kgN/cattle 0.15 kgP/cattle	e	 cattle/yr	0	0	25	0	0	
- pig	0.16 kgN/pig 0.05 kgP/pig	e	 pig/yr	0	0	25	0	0	
- lamb	0.07 kgN/lamb 0.02 kgP/lamb	e	 lamb/yr	0	0	25	0	0	
c. dairy products									
- butter	1.95 kgN/ton 0.42 kgP/ton	e	 ton butter/yr	0	0	25	0	0	
- cheese	1.56 kgN/ton 0.34 kgP/ton	e	 ton cheese/yr	0	0	25	0	0	
- condensed milk	0.39 kgN/ton 0.08 kgP/ton	e	 ton milk/yr	0	0	25	0	0	
- powdered milk	1.5 kgN/ton 0.34 kgP/ton	e	 ton milk/yr	0	0	25	0	0	

d. canning									
- catfish	0.65 kgN/ton	e		ton catfish/yr	0		25	0	
- blue crab	1 kgN/ton	e		ton crab/yr	0		25	0	
- shrimp	10 kgN/ton	e		ton shrimp/yr	0		25	0	
- tuna	2.1 kgN/ton	e		ton tuna/yr	0		25	0	
e. bakery products	0.005 kgN/ton	e		ton baked products/yr	0		25	0	
f. specialty foods									
- prepared dinners	0.44 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.19 kgP/ton	e							
- frozen bakery pdt	0.3 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.08 kgP/ton	e							
- dressing, sauces and spreads	0.04 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.03 kgP/ton	e							
- meat specialty	0.57 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.1 kgP/ton	e							
- canned soups and baby foods	0.47 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.18 kgP/ton	e							
- sauced vegetable	1.1 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.33 kgP/ton	e							
- sweet syrups, jams, jellies	0.04 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.05 kgP/ton	e							
- Chinese and Mexican food	0.28 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.14 kgP/ton	e							
- breaded frozen po	2.6 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.35 kgP/ton	e							
g. wheat, starch glute	3.7 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	1 kgP/ton	e							
h. yeast manufacture	127 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
i. Tanneries									
- cattlehide	20.3 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
- sheepskin	4 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
- pigskin	5.7 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
j. Plywood	0.24 kgN/1000m3	e		m3/yr	0		25	0	

k. Fertilizer									
- ammonia nitrate	2.9 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	70	0	0
- ammonia sulfate	10 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
- urea	10 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
- phosphoric acid	5 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	70	0	0
	17 kgP/ton	e							
- normal sugar phosphate	0.65 kgP/ton	e		ton/yr		0	25		0
- triple sugar phosphate	0.32 kgP/ton	e		ton/yr		0	25		0
- NPP fertilizer	0.4 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
l. Drugs and medicines									
- fermentation pdts	279 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	40 kgP/ton	e							
- vaccine pdn	6 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	4 kgP/ton	e							
- chem synthesis products	54.4 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	7.4 kgP/ton	e							
- mixing, compound and formulation	0.2 kgN/ton	e		ton/yr	0	0	25	0	0
	0.14 kgP/ton	e							
m. Petroleum refinery									
- topping refinery	1.2 kgN/1000m3	e		m3 crude oil/yr	0		25	0	
- cracking refinery	28.3 kgN/1000m3	e		m3 crude oil/yr	0		25	0	
- petrochemical ref	34.3 kgN/1000m3	e		m3 crude oil/yr	0		25	0	
- lub oil refinery	24.1 kgN/1000m3	e		m3 crude oil/yr	0		25	0	
- integrated ref	20.5 kgN/1000m3	e		m3 crude oil/yr	0		25	0	
- coke plant	3.5 kgN/ton	e		ton coke/yr	0		25	0	
n. Iron and steel									
	0.27 kgN/ton	e		ton/yr	0		25	0	
SUM (mole/yr)								3,401,223.52	484,974.39
SUM (mole/day)								9,318.42	1,328.70

Table 5. Nutrient sources, activity levels, modified effluent discharge coefficients and total amounts of nitrogen (N) and phosphorus (P) loads entering Nestos river lagoons.

Nutrient Sources		Effluent Discharge Coefficients		Total amounts of nourishing loads (kg/yr)	
Activity	Level of Activity	N	P	N	P
<i>Household</i>					
Solid Wastes	14,786 inhabitants	0.355 kg/person/yr	0.035 kg/person/yr	5,249.0	517.5
Domestic Sewage	14,786 inhabitants	0.765 kg/person/yr	0.090 kg/person/yr	11,311.2	1,330.7
Detergent	14,786 inhabitants	-----	0.090 kg/person/yr	-----	1,330.7
Total Household Impact				16,560.2	3,178.9
<i>Livestock</i>					
Cattle	4,755 cows	1.37 kg/cow/yr	0.20 kg/cow/yr	6,514.3	951.0
Sheep	52,711 sheep	0.10 kg/sheep/yr	0.011 kg/sheep/yr	6,588.8	606.1
Pigs	1,829 pigs	0.285 kg/pig/yr	0.09 kg/pig/yr	521.2	164.6
Horses	27 horses	1.55 kg/horse/yr	0.25 kg/horse/yr	41.8	6.7
Poultry	95,043 birds	0.0012 kg/bird/yr	0.05 kg/bird/yr	114.0	4,752.1
Total Livestock Impact				13,738.3	6,480.5
<i>Non-point Agricultural Runoff</i>					
Cultivated Areas	10,106 ha	2.00 kg/ha/yr	0.10 kg/ha/yr	20,212.0	1,010.6
Non-cultivated Areas	84.3 ha	12 kg/ha/yr	0.2 kg/ha/yr	1,011.6	16.8
Total Agricultural Impact				21,223.6	1,027.4
Total Nutrient Loads				51,522.1	10,686.8

A Budget Model of Water, Salt and non-Conservative Nutrients in Strymonikos and Ierissos Gulfs.

G. SYLAIOS

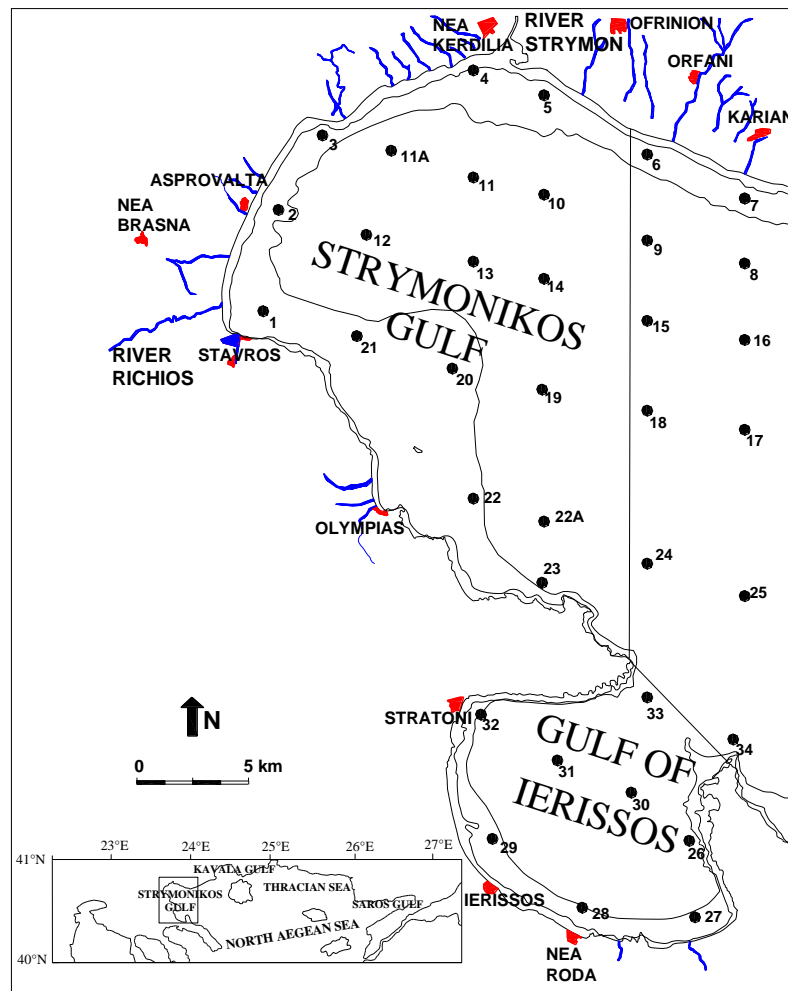
*National Agricultural Research Foundation,
Fisheries Research Institute,
640 07 Nea Peramos, Kavala, GREECE.*

Abstract: Simple box models and steady-state budgeting methods were proposed to be used as an alternative to direct measurements of process rates, in an effort to assess the net rates of non-conservative nutrient processes in shallow coastal seas. In this contribution the application of the budgeting approach (according to LOICZ guidelines) was considered for Strymonikos and Ierissos Gulfs, two semi-enclosed coastal water bodies located at the northeast part of Chalkidiki Peninsula. Strymonikos Gulf is directly affected by the fresh water discharge of rivers Strymon and Richios, while Ierissos Gulf only by local torrents. The residence time of Strymonikos and Ierissos Gulfs was found 107 and 185 days, respectively. The phosphorus budget showed that Strymonikos Gulf is a net consumer of organic matter ($2.68 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) through net organic production, while Ierissos Gulf is a net producer of organic matter ($5.11 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) through respiration. Strymonikos Gulf is producing more nitrogen through nitrification ($0.64 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), while Ierissos Gulf is denitrifying ($0.65 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Key words: biogeochemical budget, water budget, residence time, nutrient cycling, Strymonikos Gulf, Ierissos Gulf.

Περιοχή Μελέτης

40° 48' 00"
24° 01' 00"

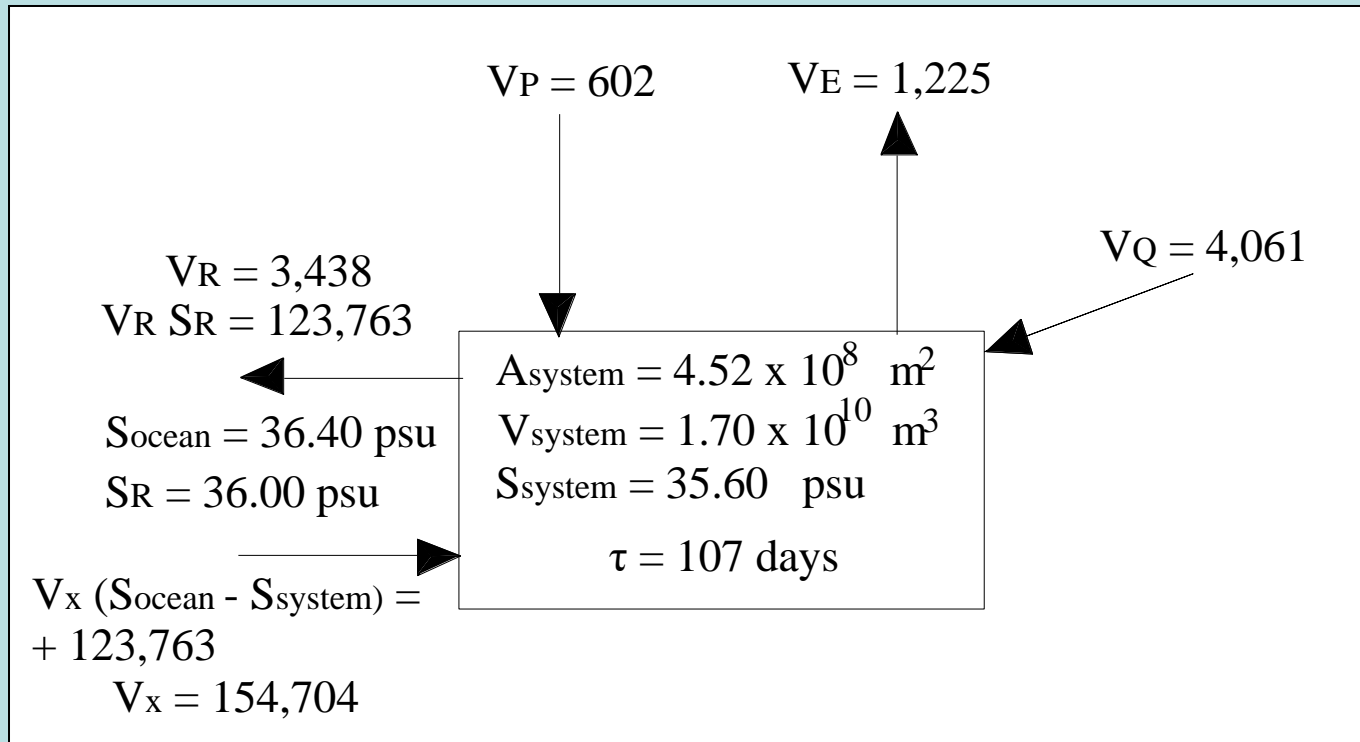


40° 21' 00"
23° 38' 00"

Δεδομένα Εισόδου για τα Ισοζύγια

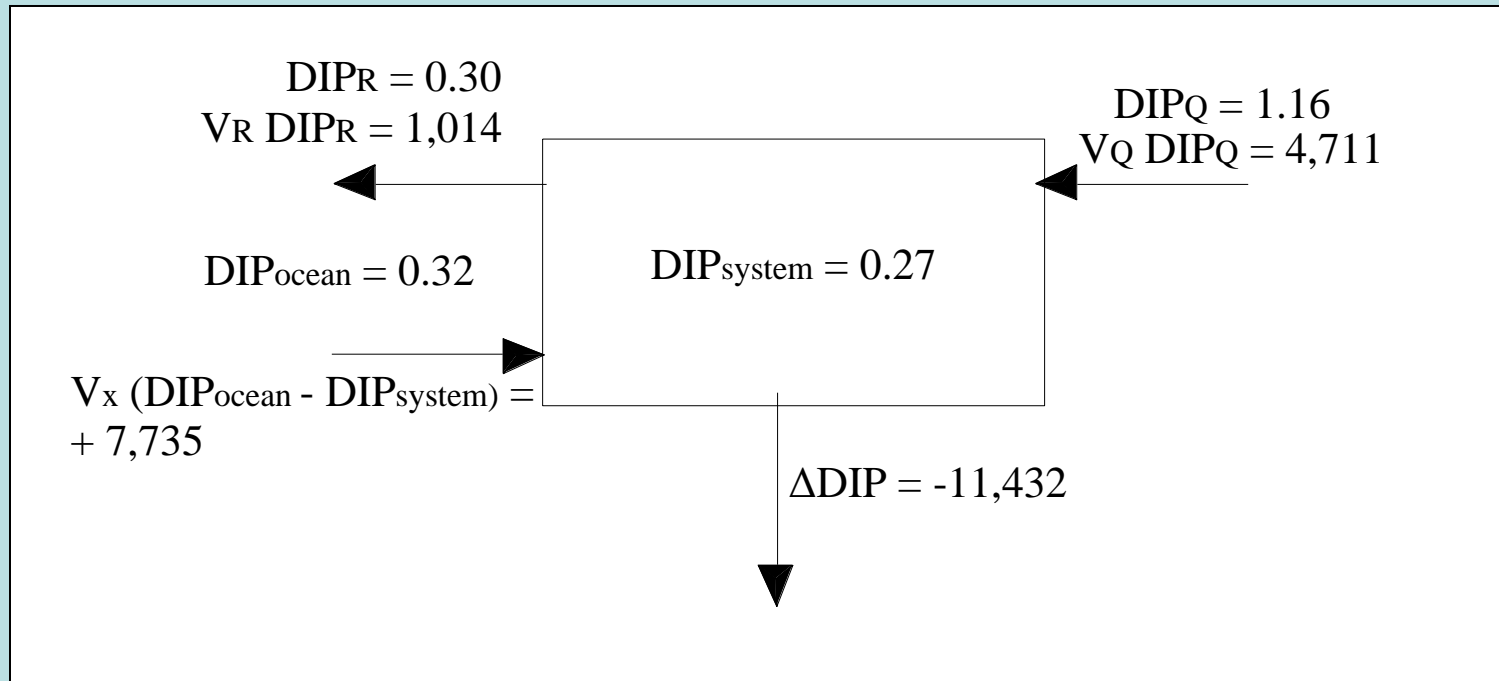
	Strymonikos Gulf	Ierissos Gulf
System Area (m ²)	4.52 × 10 ⁸	1.20 × 10 ⁸
System Volume (m ³)	1.70 × 10 ¹⁰	8.4 × 10 ⁹
River Discharge (m ³ sec ⁻¹)	47.0	0.48
Precipitation (mm d ⁻¹)	1.33	1.33
Evaporation (mm d ⁻¹)	2.71	2.71
System Salinity (psu)	35.6	36.3
Ocean Salinity (psu)	37.4	37.4
System DIP (mmol/m ³)	0.27	0.45
Ocean DIP (mmol/m ³)	0.32	0.32
River DIP (mmol/m ³)	1.16	0.60
System DIN (mmol/m ³)	2.65	1.61
Ocean DIN (mmol/m ³)	1.30	1.30
River DIN (mmol/m ³)	26.84	2.00

Ετήσιο Ισοζύγιο Νερού & Άλατος Στρυμονικού Κόλπου και Κόλπου Ιερισσού



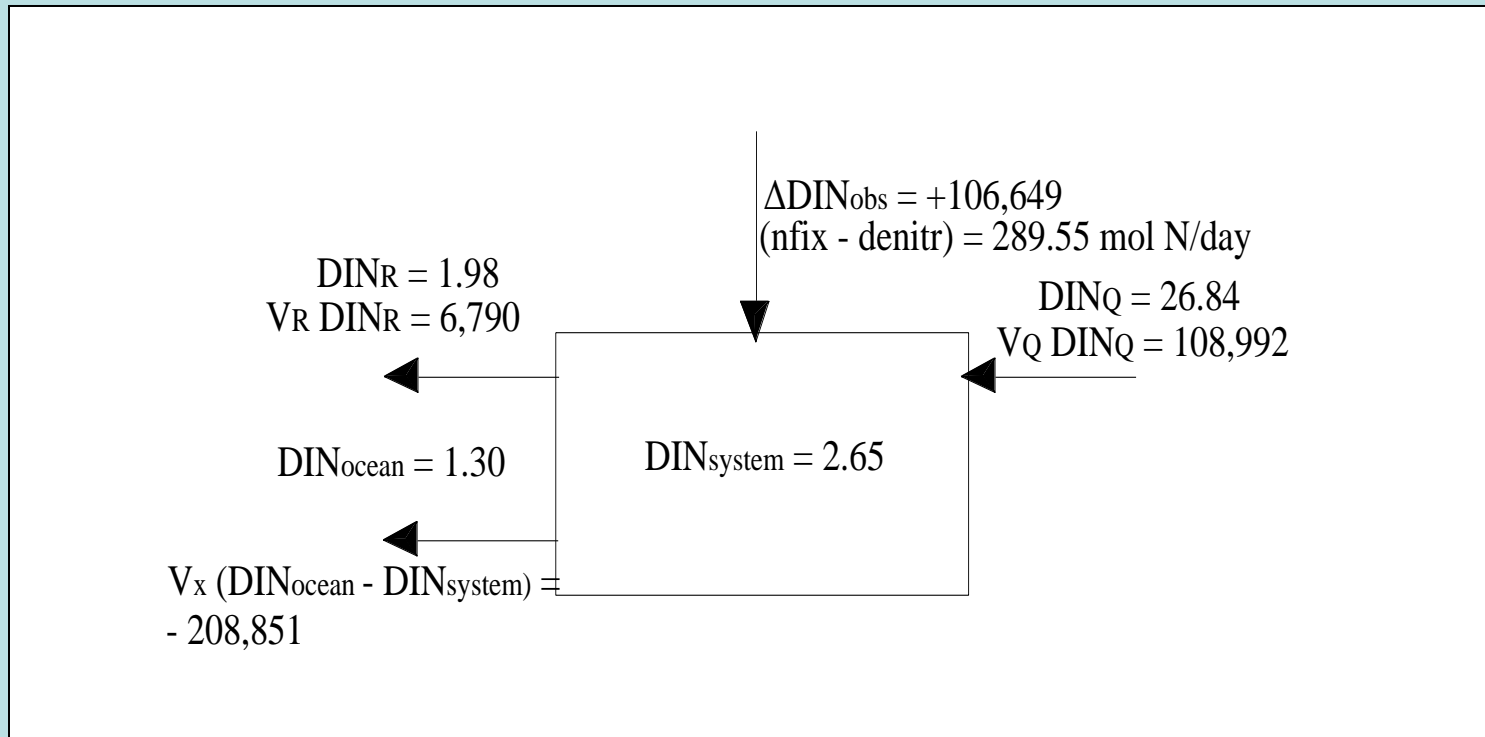
Water fluxes in $10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ and salt fluxes in $10^3 \text{ psu m}^3 \text{ d}^{-1}$

Ετήσιο Ισοζύγιο Φωσφόρου Στρυμονικού Κόλπου



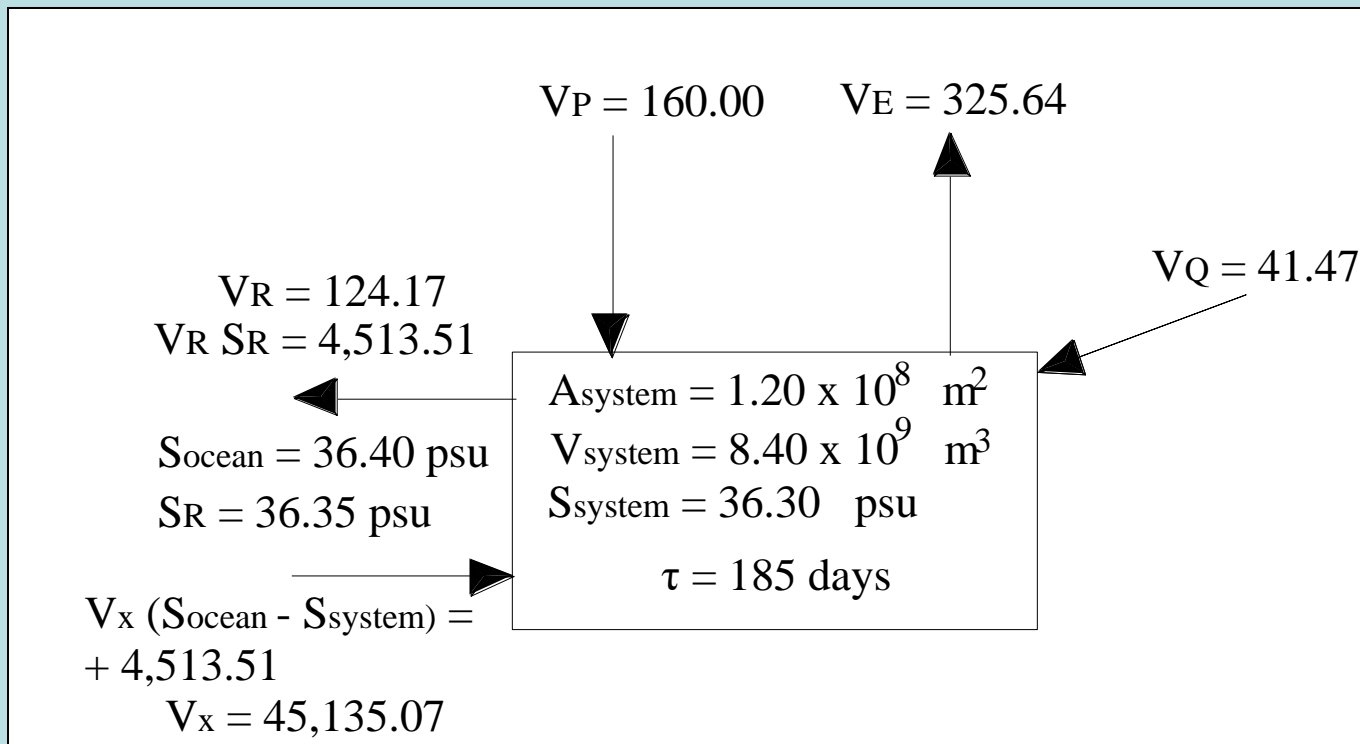
DIP concentrations in mmol m^{-3} and DIP fluxes in mol d^{-1} .

Ετήσιο Ισοζύγιο Αζώτου Στρυμονικού Κόλπου



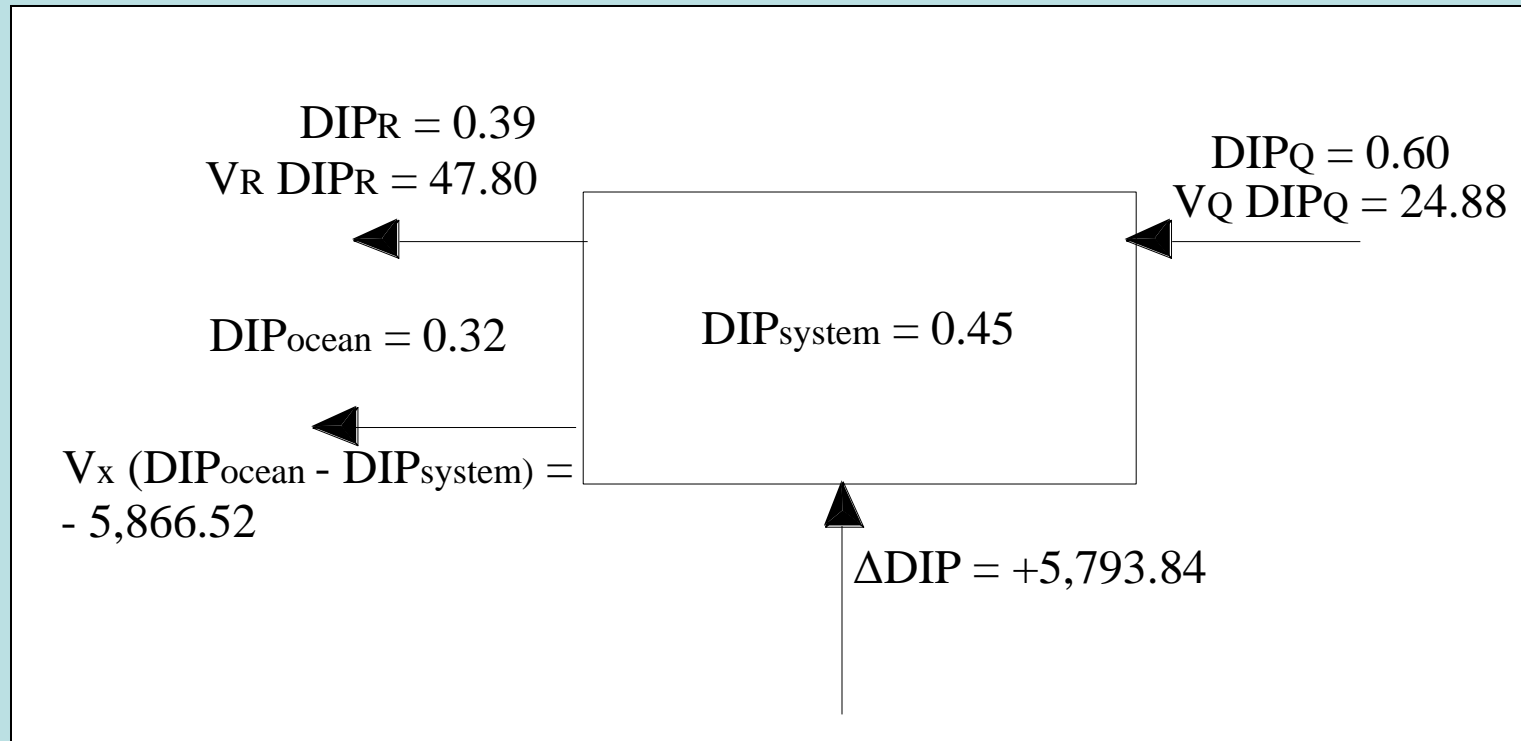
DIN concentrations in mmol m^{-3} and DIN fluxes in mol d^{-1}

Ισοζύγια Νερού και Άλατος Κόλπου Ιερισσού



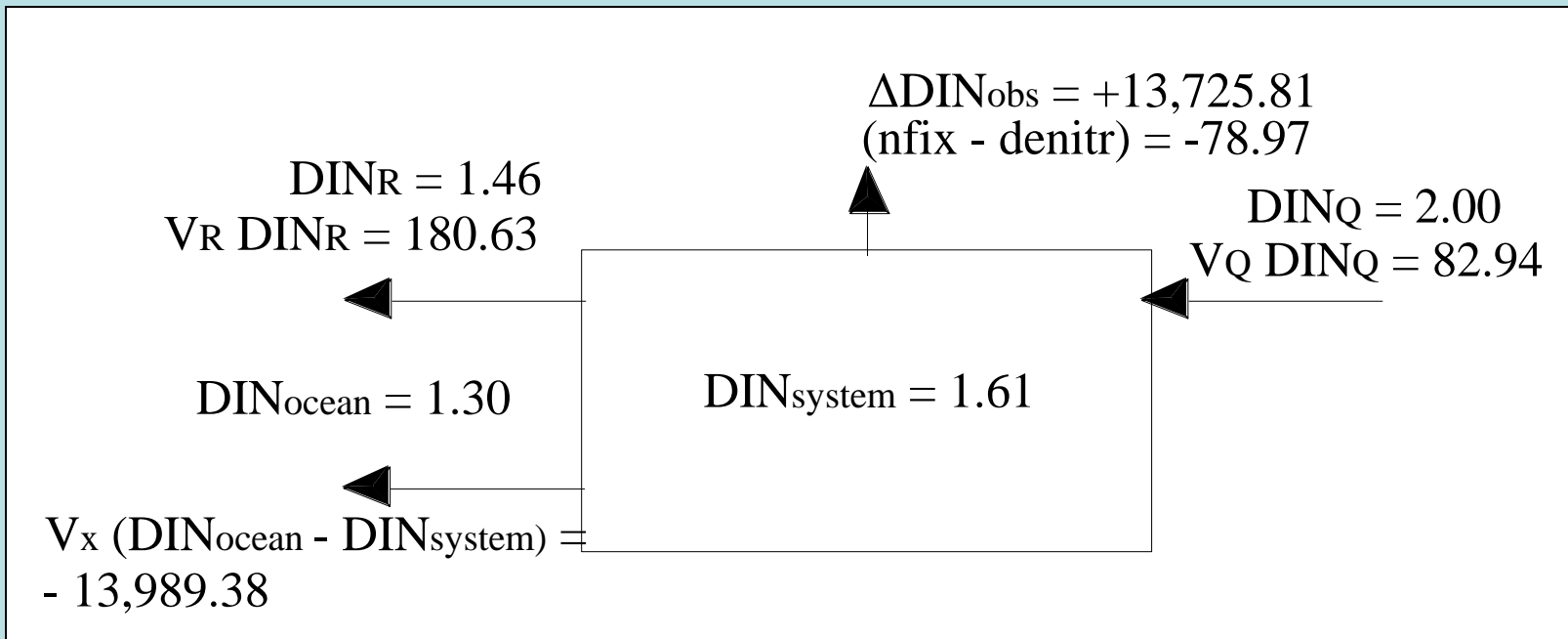
Water fluxes in 10^3 m³ d⁻¹ and salt fluxes in 10^3 psu m³ d⁻¹

Ετήσιο Ισοζύγιο Φωσφόρου Κόλπου Ιερισσού



DIP concentrations in mmol m⁻³ and DIP fluxes in mol d⁻¹.

Ετήσιο Ισοζύγιο Αζώτου Κόλπου Ιερισσού



DIN concentrations in mmol m^{-3} and DIN fluxes in mol d^{-1}

Summary for annual phosphorus and nitrogen stoichiometric calculations for net ecosystem metabolism

	Strymonikos Gulf	Ierissos Gulf
Residence Time (d)	107	185
ΔDIP (mol d ⁻¹)	-11,432	+5,795
ΔDIP (mmol m ⁻² d ⁻¹)	-0.025	+0.05
ΔDIN (mol d ⁻¹)	+106,649	+13,728
ΔDIN (mmol m ⁻² d ⁻¹)	+0.24	+0.11
$[p - r]$ (mmol C m ⁻² d ⁻¹)	+2.68	-5.11
$[nfix - denitr]$ (mmol N m ⁻² d ⁻¹)	+0.64	-0.65

4. CONCLUSIONS

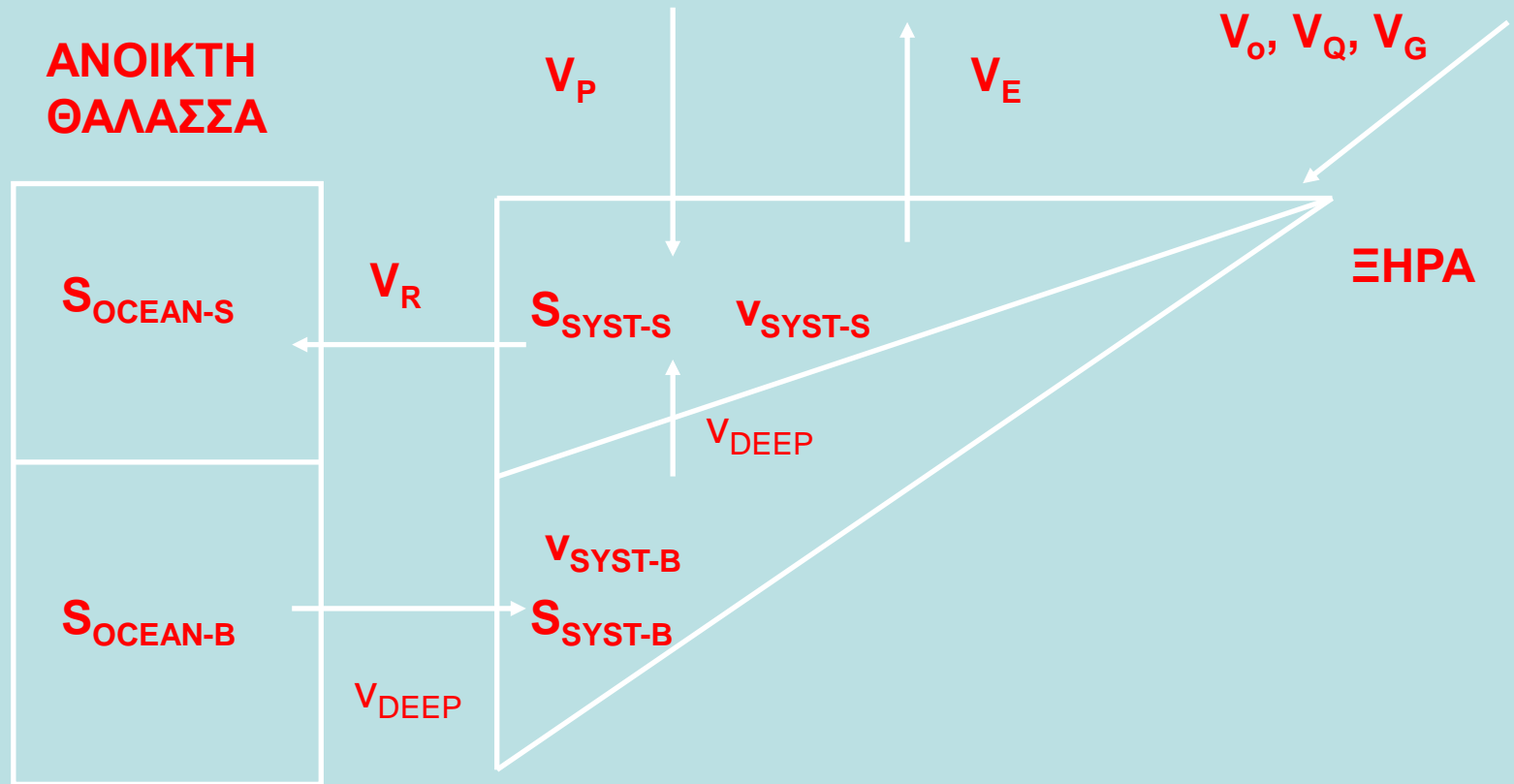
The residence time of Strymonikos and Ierissos Gulfs was found 107 and 185 days, respectively. The phosphorus budget showed that Strymonikos Gulf is a net consumer of organic matter ($2.68 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) through net organic production, while Ierissos Gulf is a net producer of organic matter ($5.11 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) through respiration. Strymonikos Gulf is producing more nitrogen through nitrification ($0.64 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), while Ierissos Gulf is denitrifying ($0.65 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Εφαρμογή LOICZ σε στρωματοποιημένα παράκτια συστήματα

Για παράκτια συστήματα με έντονη κατακόρυφη στρωματοποίηση, η οποία συνήθως οφείλεται στη προσφορά γλυκού νερού από ποταμούς, έχουμε παρόμοια μεθοδολογία με αυτή που εφαρμόζουμε στο απλό ομοίωμα. Ωστόσο υπάρχουν 4 παραδοχές:

1. Ο όρος V_R που εκφράζει τον όγκο ποτάμιου νερού, εισέρχεται μόνο στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα, προκαλώντας επιφανειακή ροή άλατος από το σύστημα προς την ανοικτή θάλασσα,
2. Ο όρος V_{Deep} εκφράζει την είσοδο υψηλής αλατότητας ωκεάνιου νερού που εισέρχεται στο στρώμα πυθμένα και κατόπιν κινείται ανοδικά στο επιφανειακό στρώμα,
3. Δεν υπάρχει όρος διάχυσης V_x .
4. Η ισορροπία άλατος διατηρείται μέσω της κατακόρυφης ροής διάχυσης V_z μεταξύ του επιφανειακού και του πυθμιαίου στρώματος.

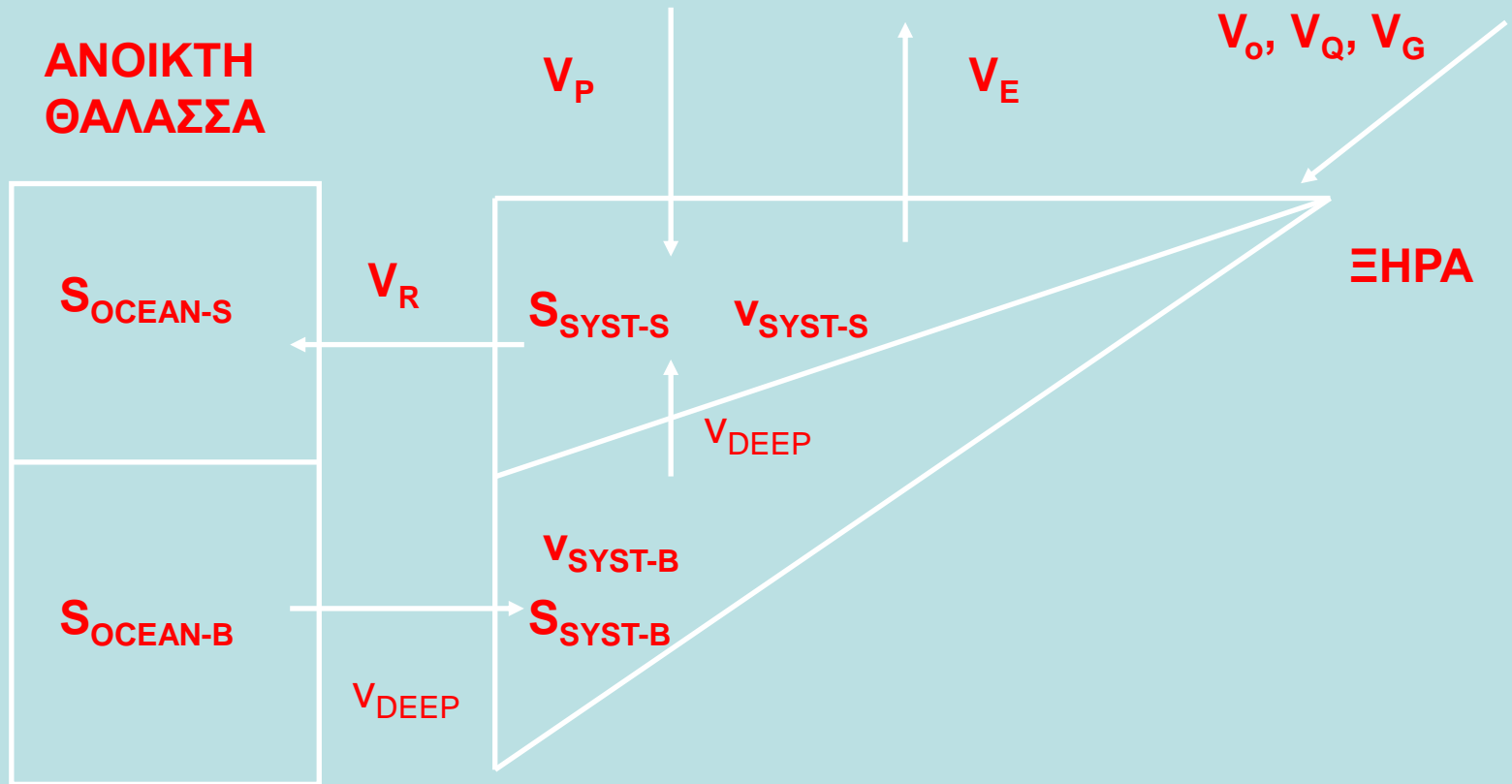
ΜΟΝΤΕΛΟ LOICZ



$$V_R = -(V_P + V_E + V_Q + V_G + V_O) \quad \text{ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΗ ΡΟΗ}$$

$$V_{SURF} = V_R - V_{DEEP} \quad \text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΡΟΗ}$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΝΕΡΟΥ



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΣΤΡΩΜΑ

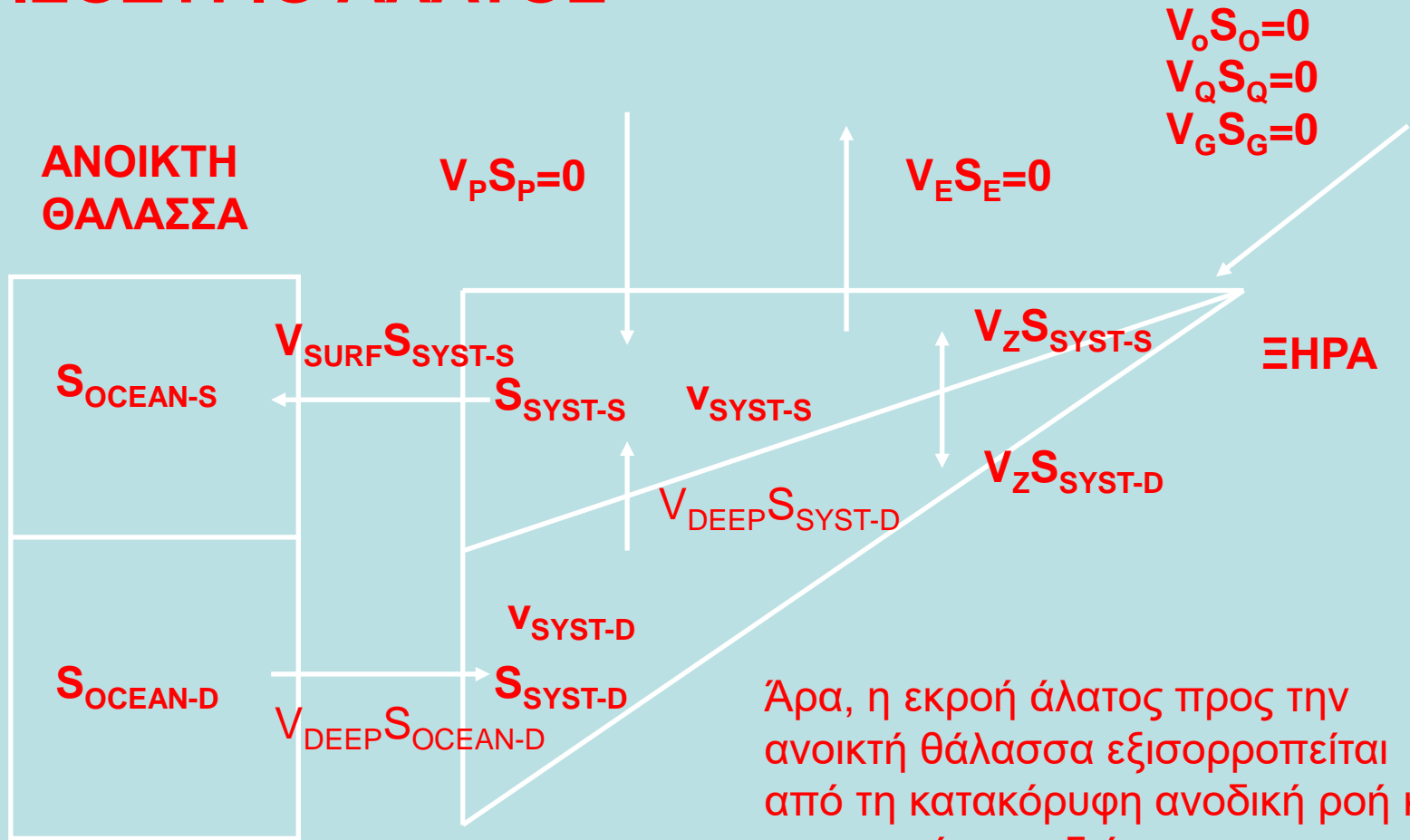
ΣΤΡΩΜΑ ΠΥΘΟΜΕΝΑ

$$V_{\text{SURF}} + V_P + V_E + V_Q + V_G + V_O + V_{\text{DEEP}} = 0$$

$$V_{\text{SURF}}, V_E < 0$$

$$V_{\text{DEEP}} - V_{\text{DEEP}} = 0$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΛΑΤΟΣ

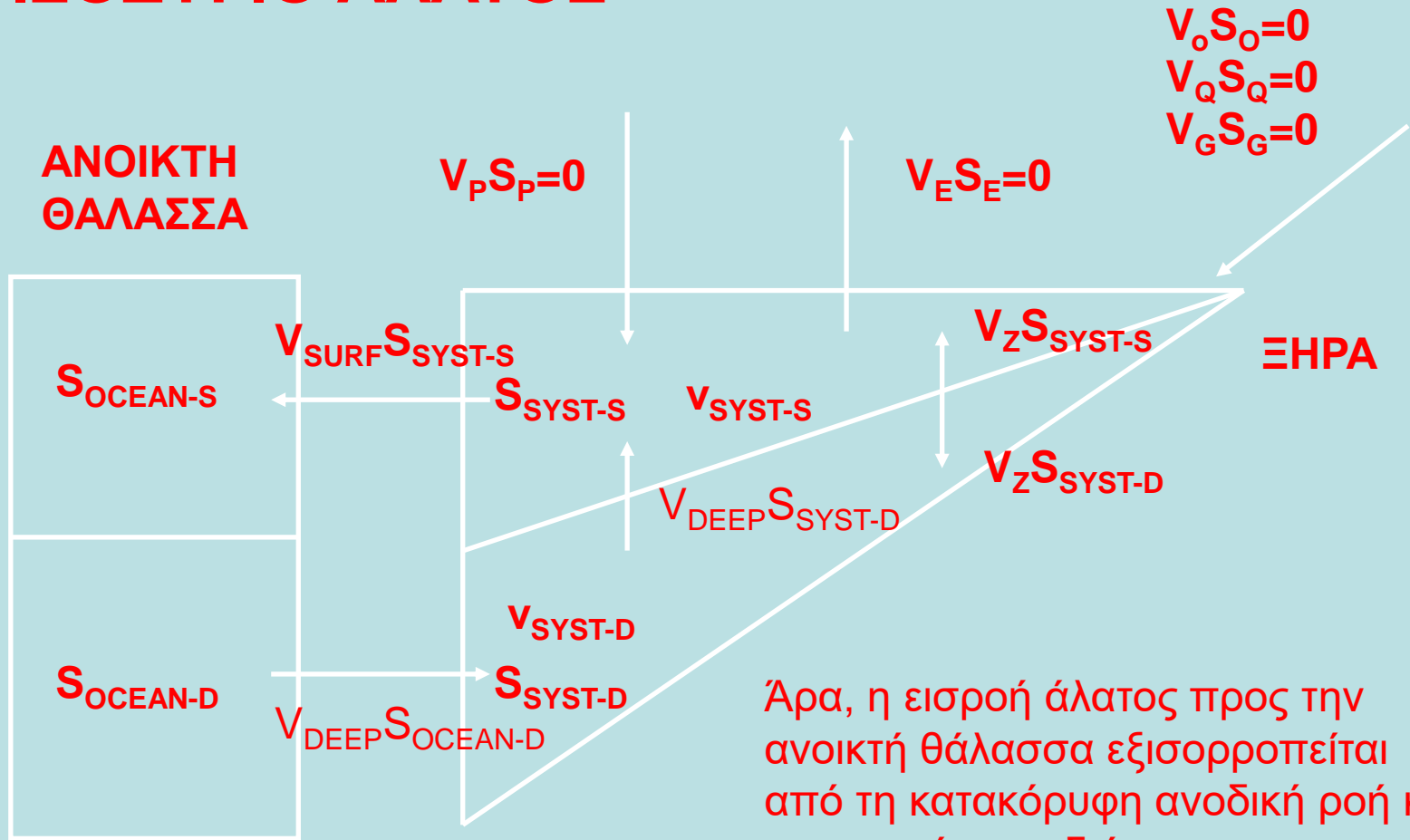


Άρα, η εκροή άλατος προς την ανοικτή θάλασσα εξισορροπείται από τη κατακόρυφη ανοδική ροή και τη κατακόρυφη διάχυση

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΣΤΡΩΜΑ

$$-V_{SURF} S_{SYSTEM-S} + V_{DEEP} S_{SYSTEM-D} + V_Z (S_{SYSTEM-D} - S_{SYSTEM-S}) = 0$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΑΛΑΤΟΣ



Άρα, η εισροή άλατος προς την ανοικτή θάλασσα εξισορροπείται από τη κατακόρυφη ανοδική ροή και τη κατακόρυφη διάχυση

ΣΤΡΩΜΑ ΠΥΘΜΕΝΑ

$$V_{DEEP} S_{OCEAN-D} - V_{DEEP} S_{SYSTEM-D} - V_Z (S_{SYSTEM-D} - S_{SYSTEM-S}) = 0$$

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

$$V_{SURF} + V_P + V_E + V_Q + V_G + V_O + V_{DEEP} = 0$$

$$V_R = -(V_P + V_E + V_Q + V_G + V_O)$$

$$V_{SURF} = V_R - V_{DEEP}$$

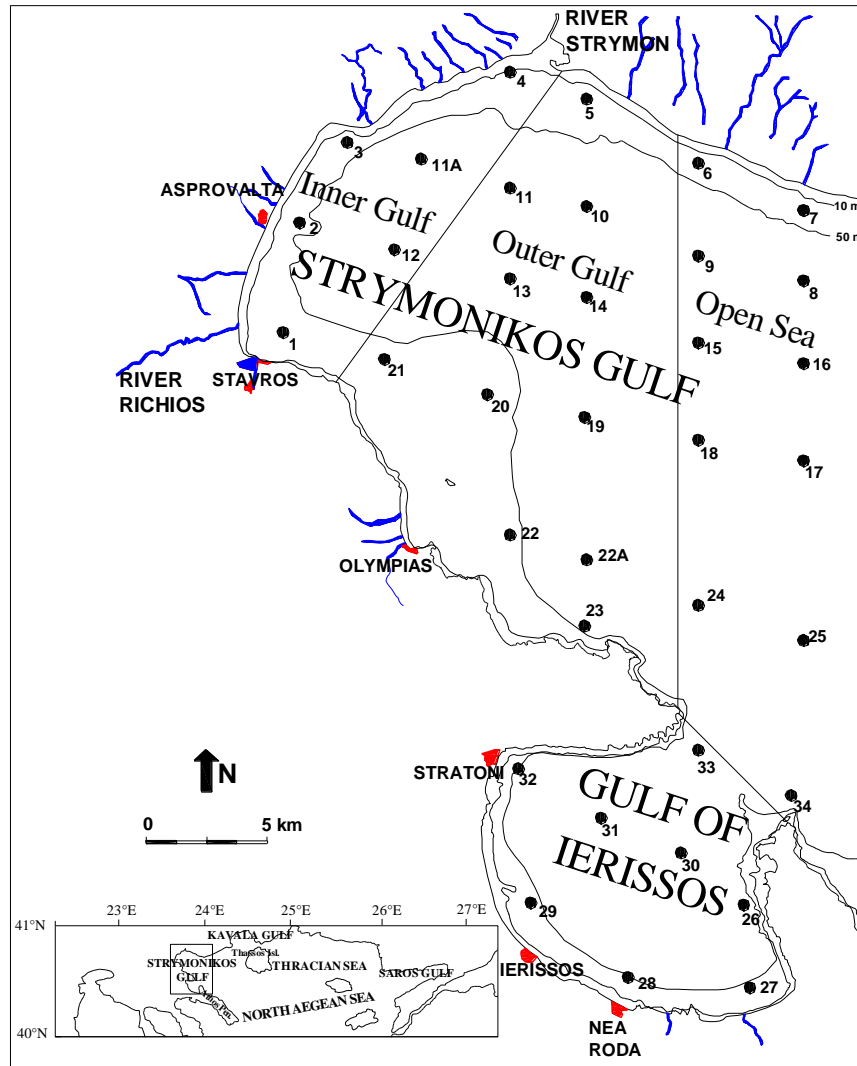
$$V_{SURF} S_{SYST-S} + V_{DEEP} S_{SYST-D} + V_Z (S_{SYST-D} - S_{SYST-S}) = 0$$

$$V_{DEEP} S_{OCEAN-D} - V_{DEEP} S_{SYST-D} - V_Z (S_{SYST-D} - S_{SYST-S}) = 0$$

$$V_Z = V_{DEEP} \frac{S_{OCEAN-D} - S_{SYST-D}}{S_{SYST-D} - S_{SYST-S}}$$

$$V_{DEEP} = \frac{V_R S_{SYST-S}}{S_{SYST-S} - S_{OCEAN-D}}$$

40° 48' 00" N
24° 01' 00" E



40° 21' 00" N
23° 38' 00" E

Figure 1

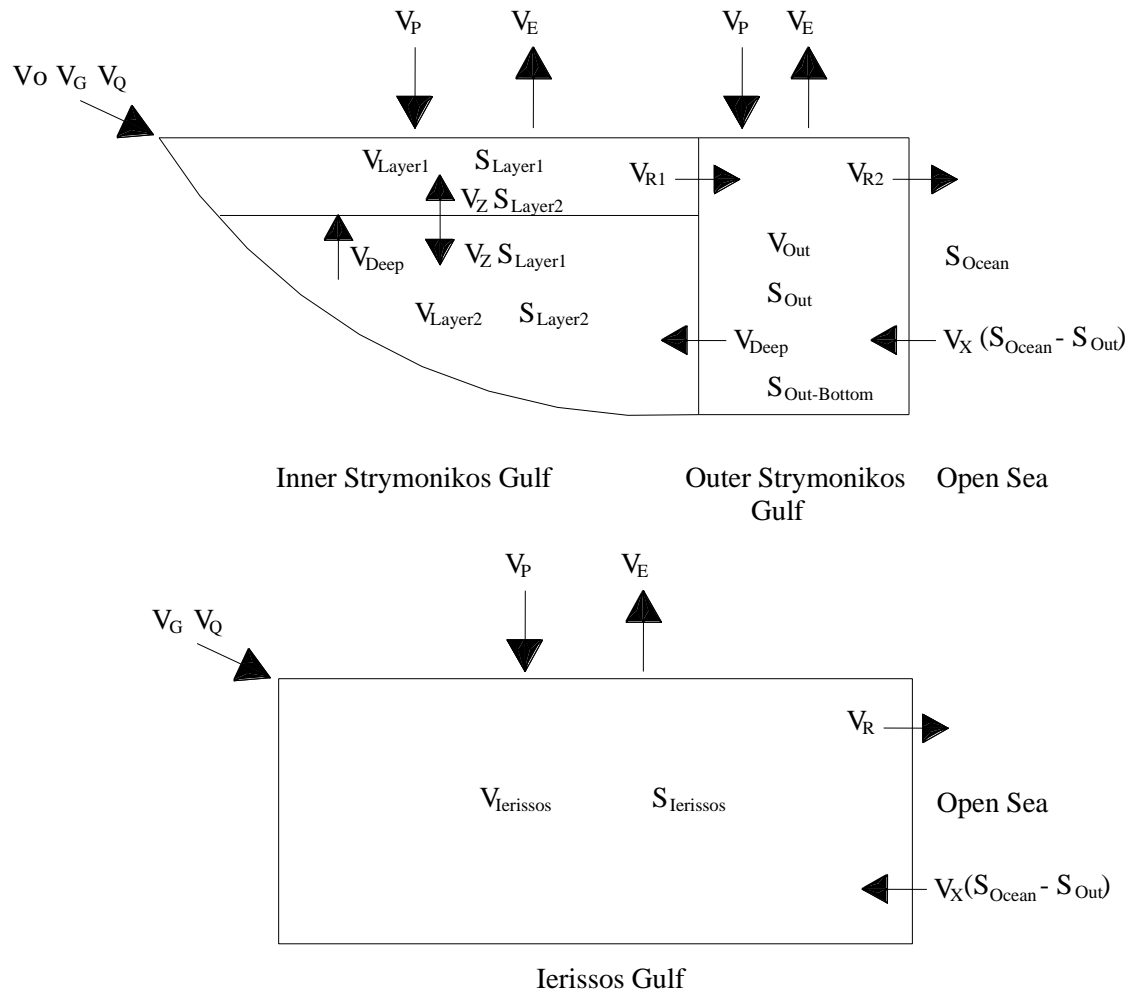
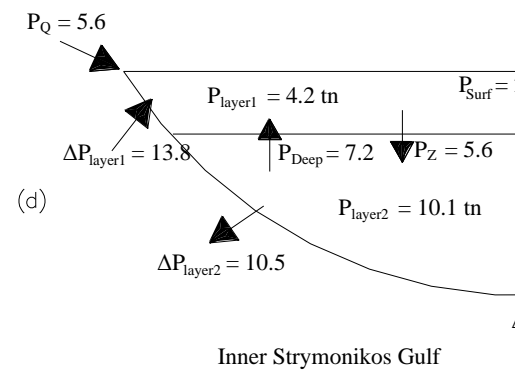
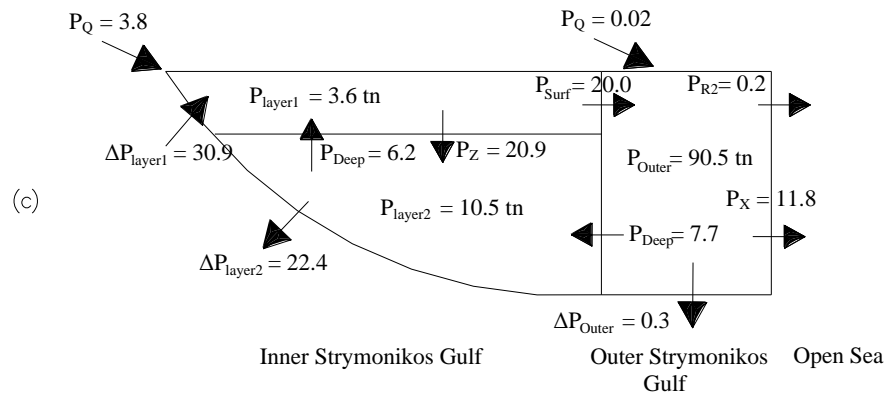
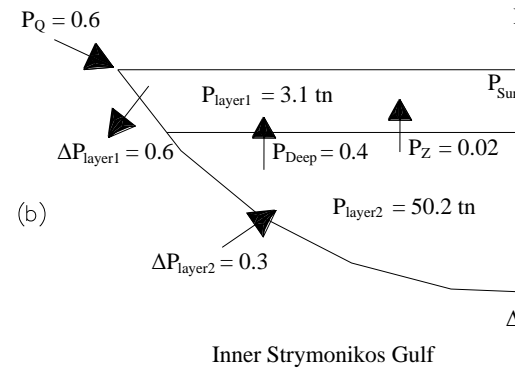
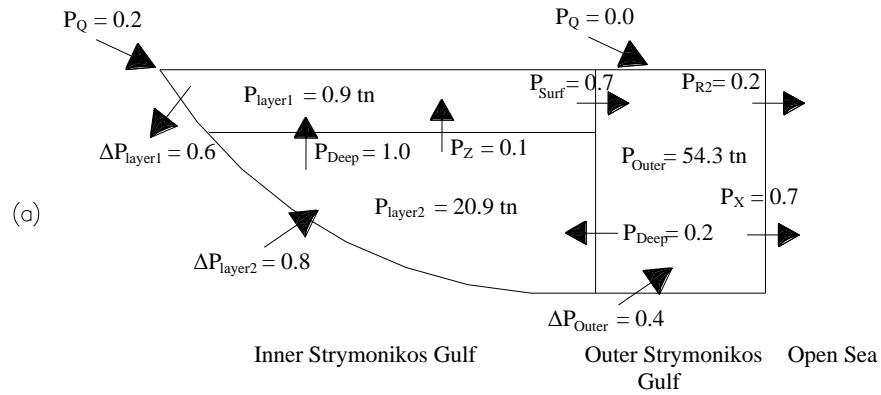
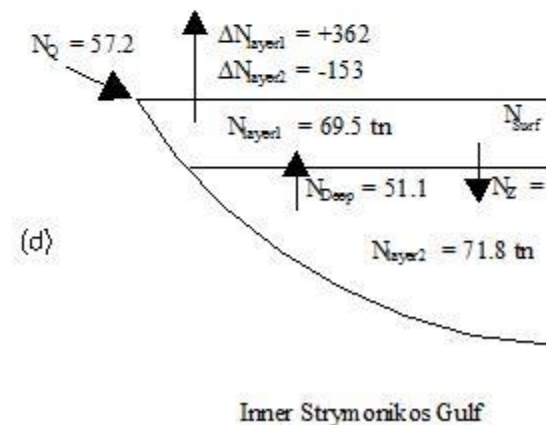
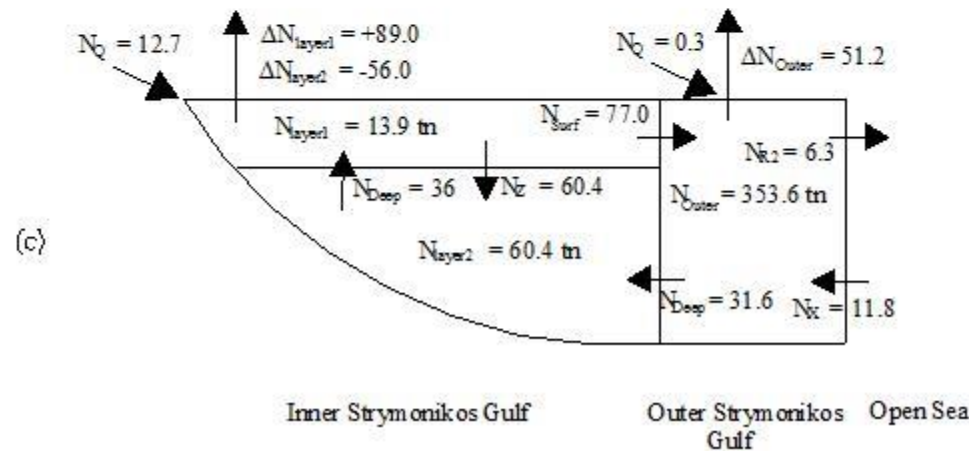
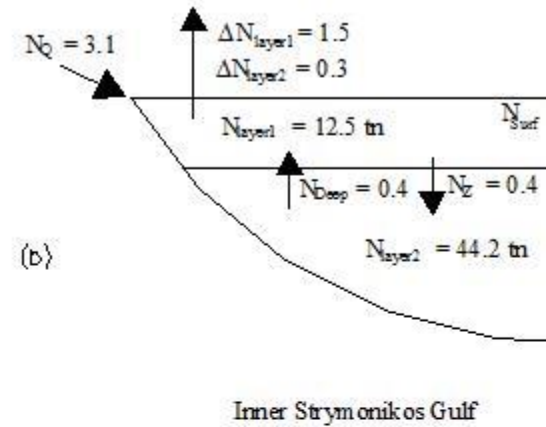
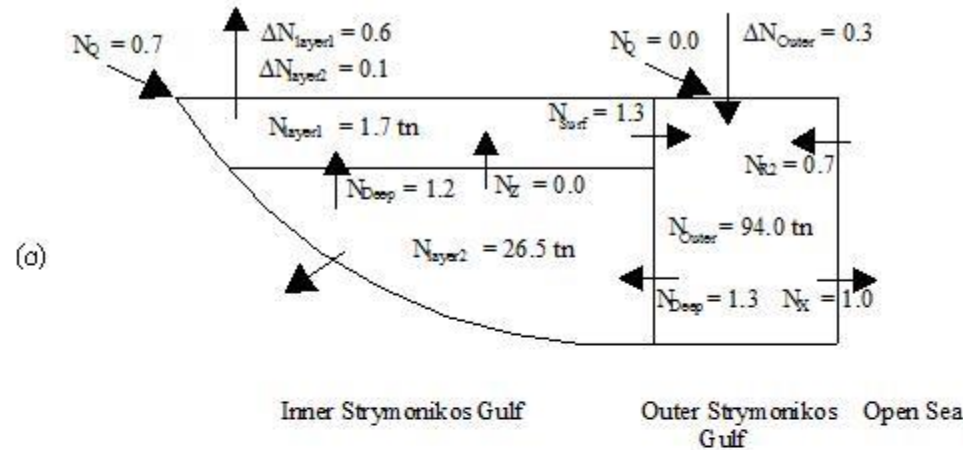
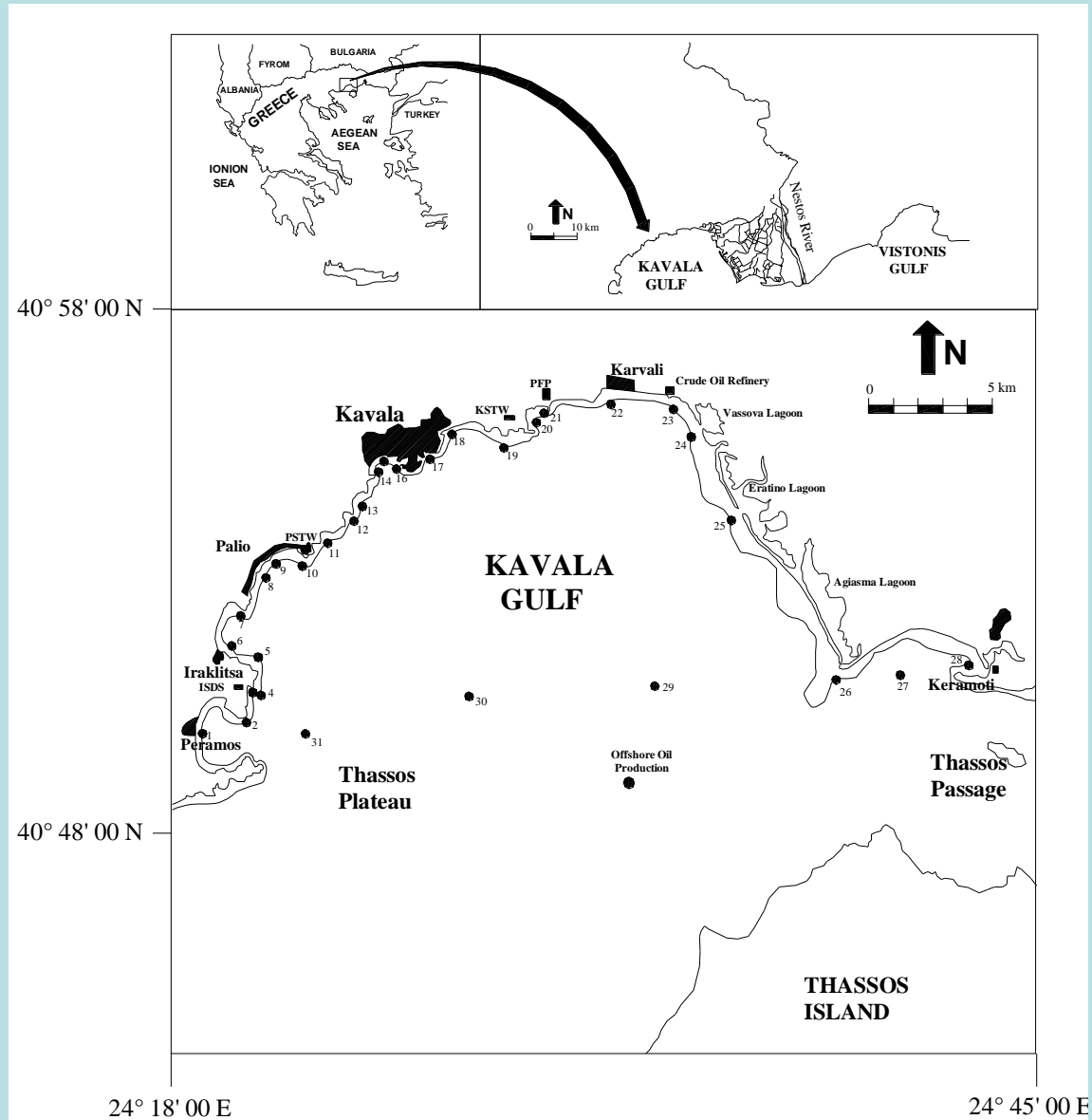


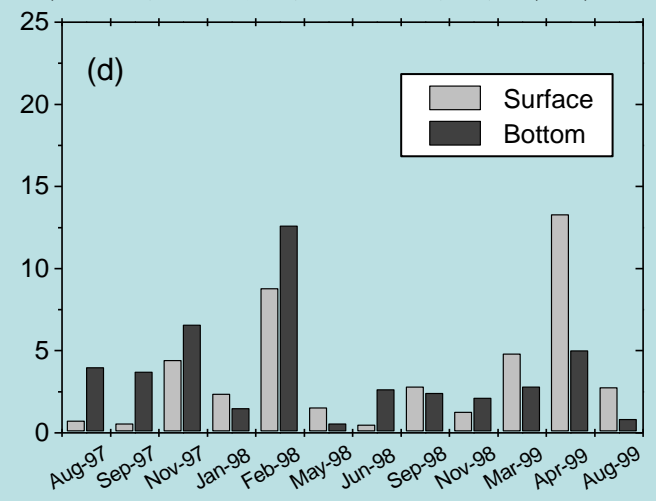
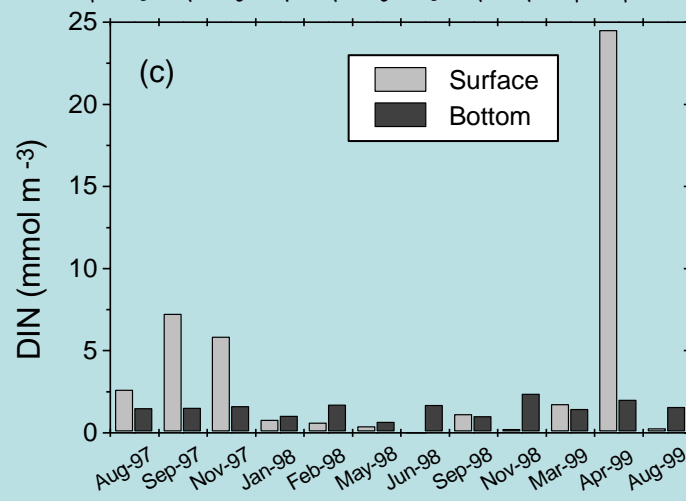
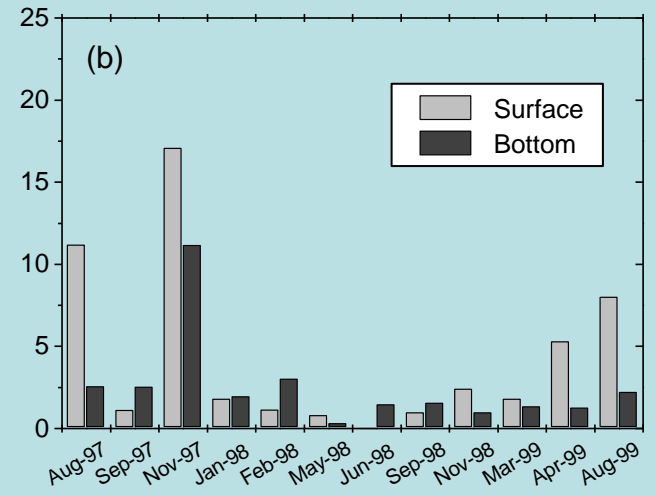
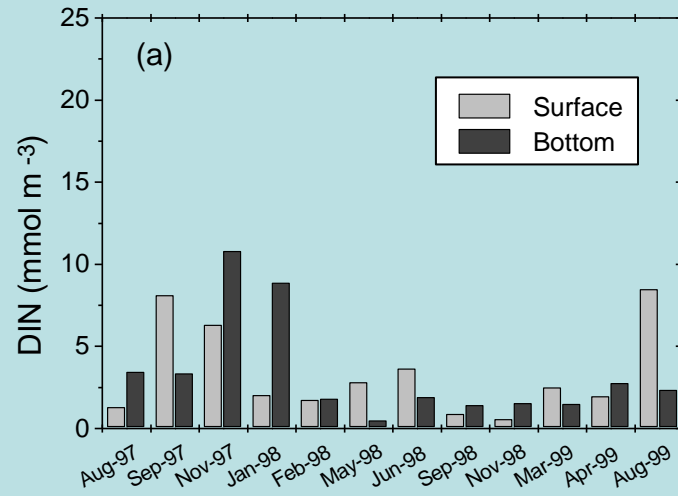
Figure 3





Εφαρμογή Μοντέλου LOICZ στο Κόλπο Καβάλας – 1 Box Model





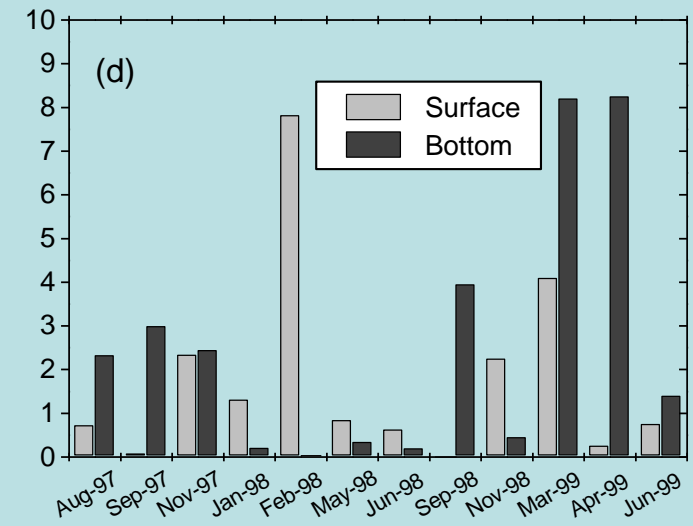
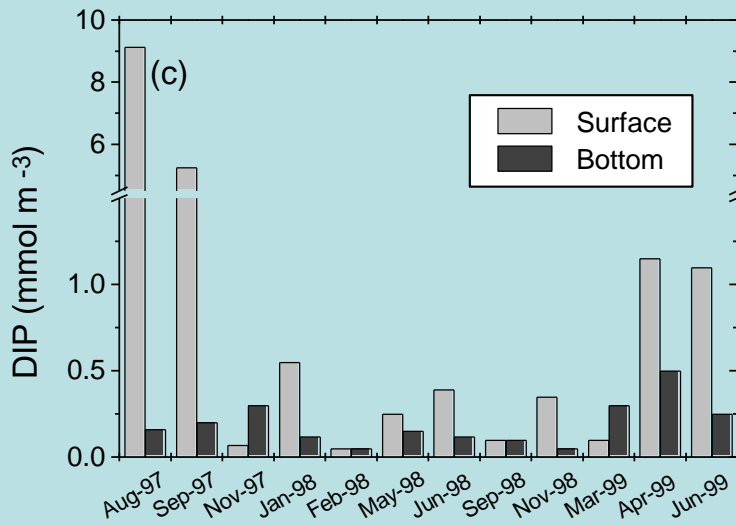
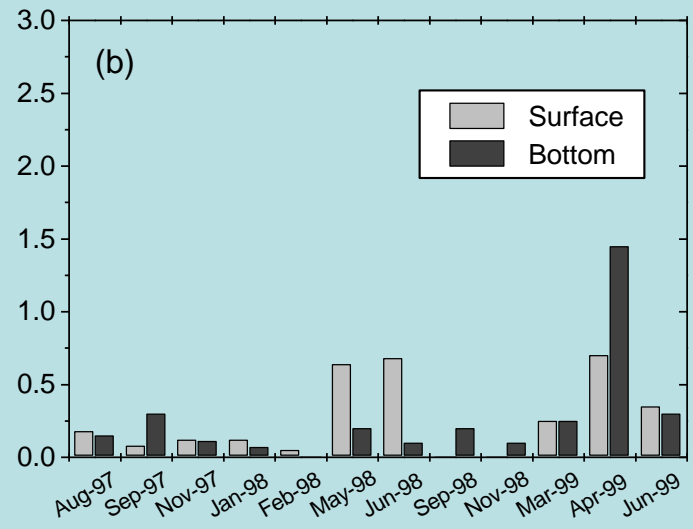
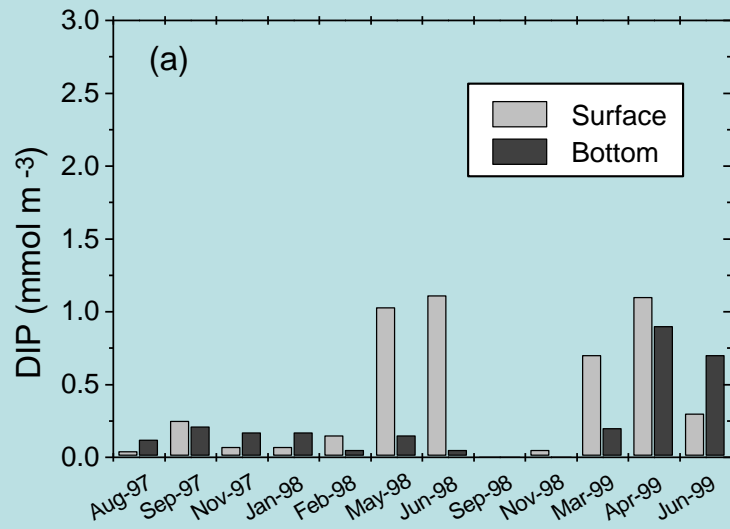
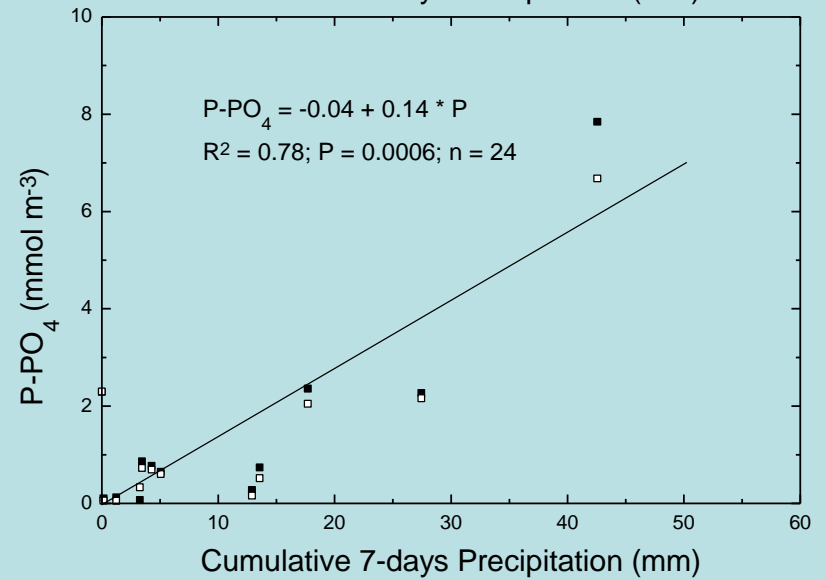
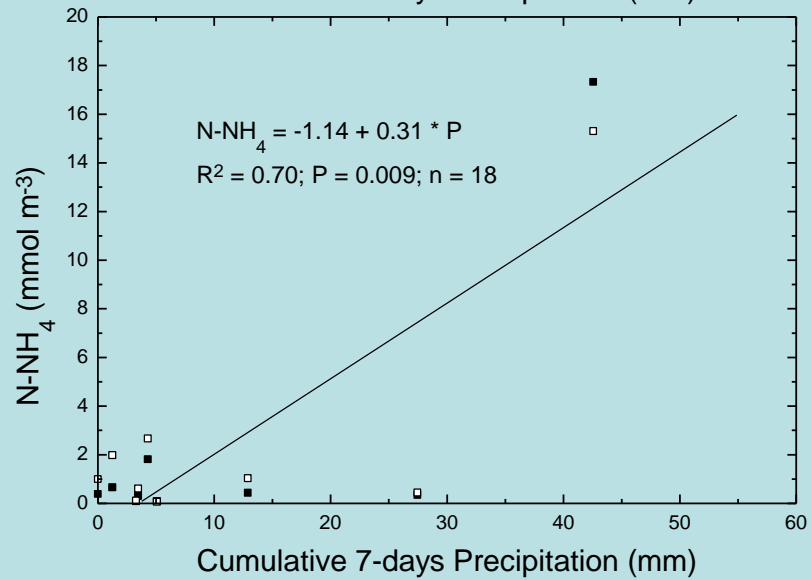
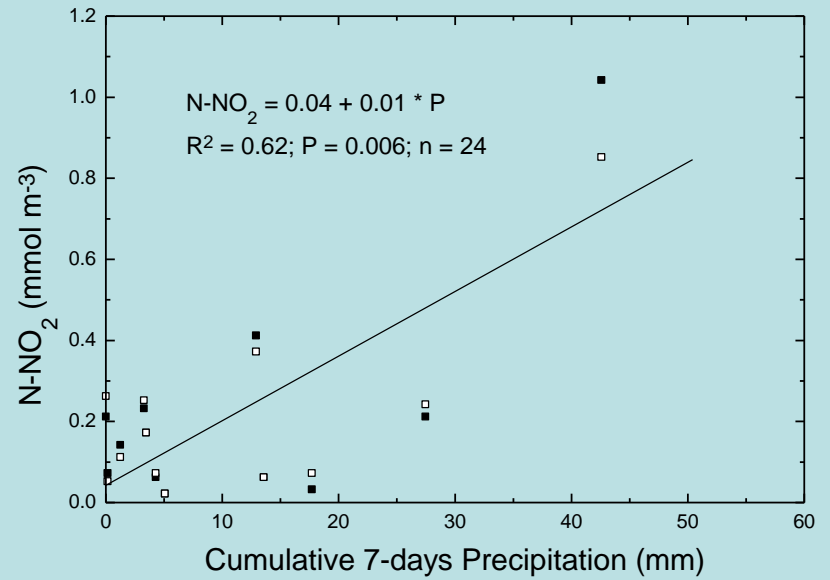
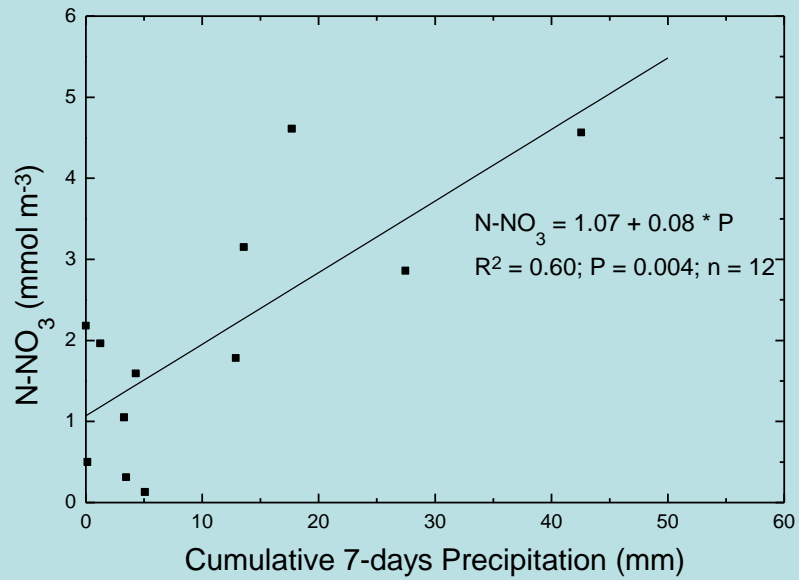
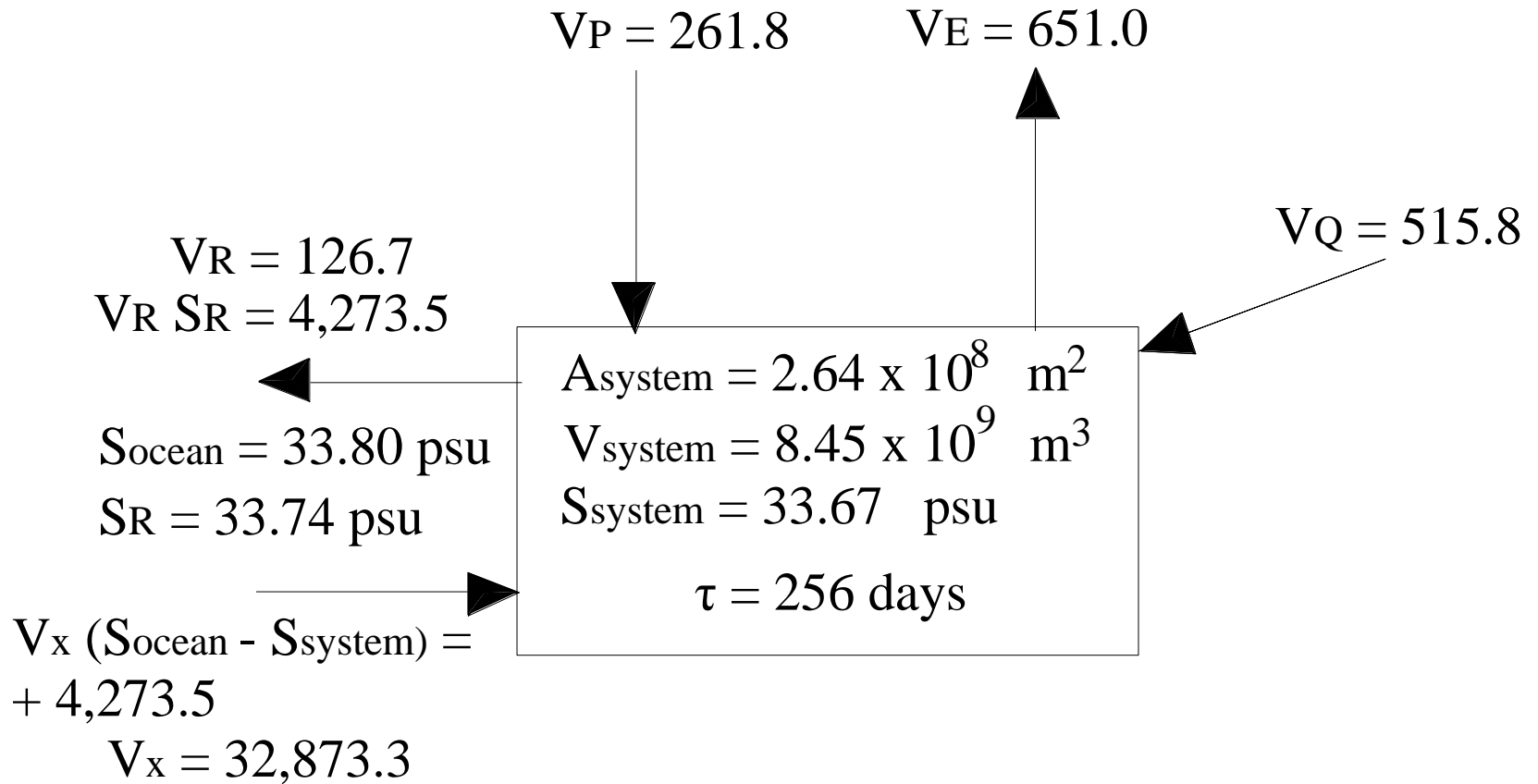


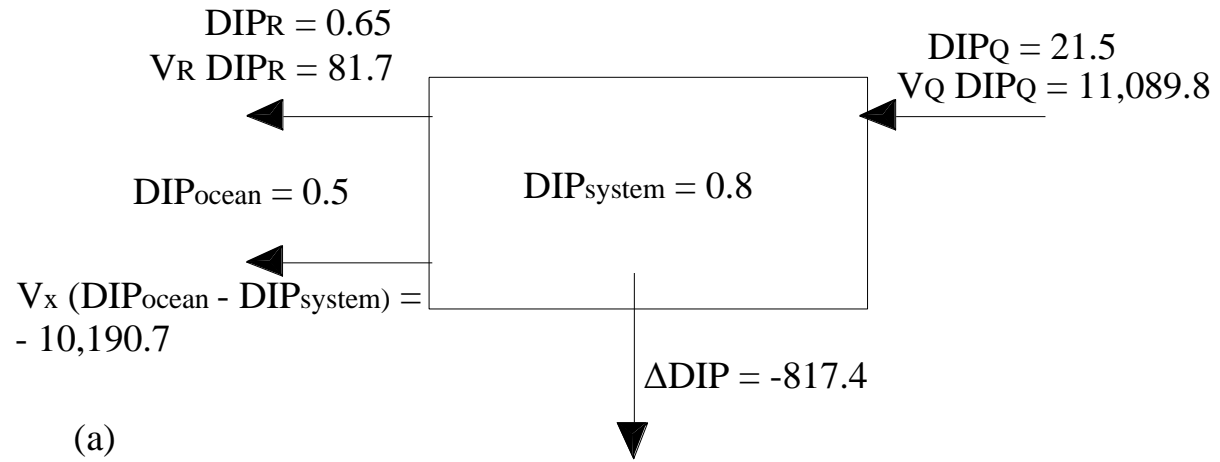
Table 2. Summary of water quality parameters (mean, minimum, maximum and standard deviation) in Kavala Gulf, during the period 1997-1999.

Parameter	Number of Data	Mean	Minimum	Maximum	Standard deviation
Temperature (°C)	720	17.36	10.22	26.29	5.06
Salinity (psu)	720	33.67	27.32	35.59	1.20
D.O. (mg l ⁻¹)	720	8.02	7.08	12.15	2.12
N-NO ₃ (mmol m ⁻³)	720	2.95	n.d	32.48	4.00
N-NO ₂ (mmol m ⁻³)	720	0.20	n.d	4.02	0.34
N-NH ₄ (mmol m ⁻³)	720	1.53	n.d	31.01	3.84
P-PO ₄ (mmol m ⁻³)	720	0.80	n.d	17.95	1.76
Si-SiO ₂ (mmol m ⁻³)	720	5.50	n.d	56.09	5.92
SPM (gr m ⁻³)	720	7.48	0.21	15.10	2.72

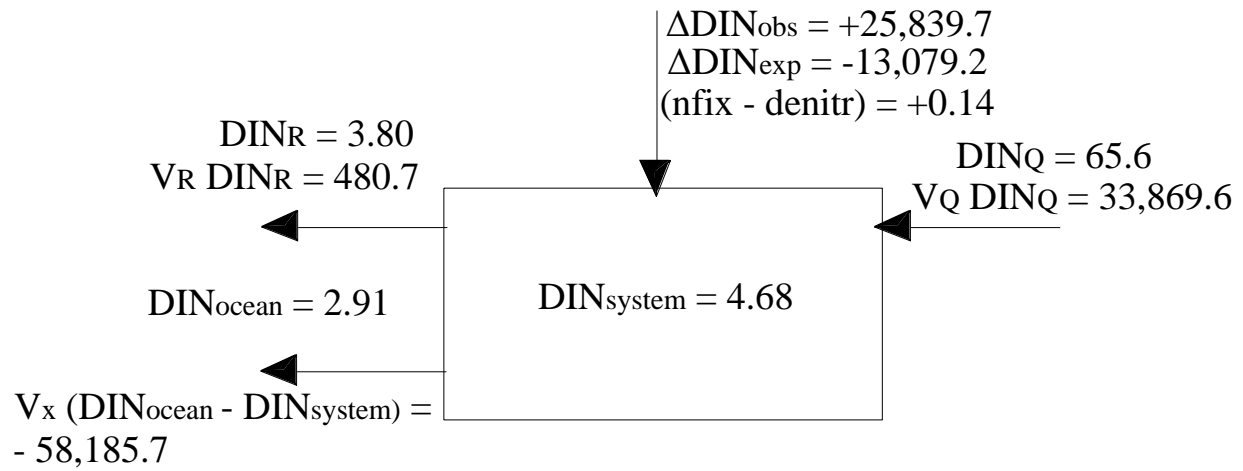
n.d – non detectable nutrient level







(a)



(b)

Table 4. Summary of annual phosphorus and nitrogen stoichiometric calculations for the estimation of net ecosystem metabolism in Kavala Gulf under current nutrient loadings and under different nutrient reduction scenarios.

	Current Nutrient Loadings	50% Reduction in Agricultural Loadings	50% Reduction in Livestock Loadings	50% Reduction in Household Loadings	50% Reduction in Industrial Loadings
ΔDIP (mol d ⁻¹)	-817	-776.1	-647.2	+337.9	+3,355.4
ΔDIP (mmol m ⁻² d ⁻¹)	-0.003	-0.003	-0.002	+0.001	+0.013
ΔDIN (mol d ⁻¹)	+24,839.7	+26,794.6	+25,644.4	+36,285.5	+27,542.5
ΔDIN (mmol m ⁻² d ⁻¹)	+0.09	+0.10	+0.10	+0.14	+0.10
[p – r] (mmol C m ⁻² d ⁻¹)	+0.33	+0.31	+0.26	-0.14	-1.35
[nfix – denitr] (mmol N m ⁻² d ⁻¹)	+0.14	+0.15	+0.14	+0.12	-0.10

A Budget Model to Scale Nutrient Biogeochemical Cycles in Two Semienclosed Gulfs

Georgios K. Sylaios · Vassilios A. Tsihrintzis

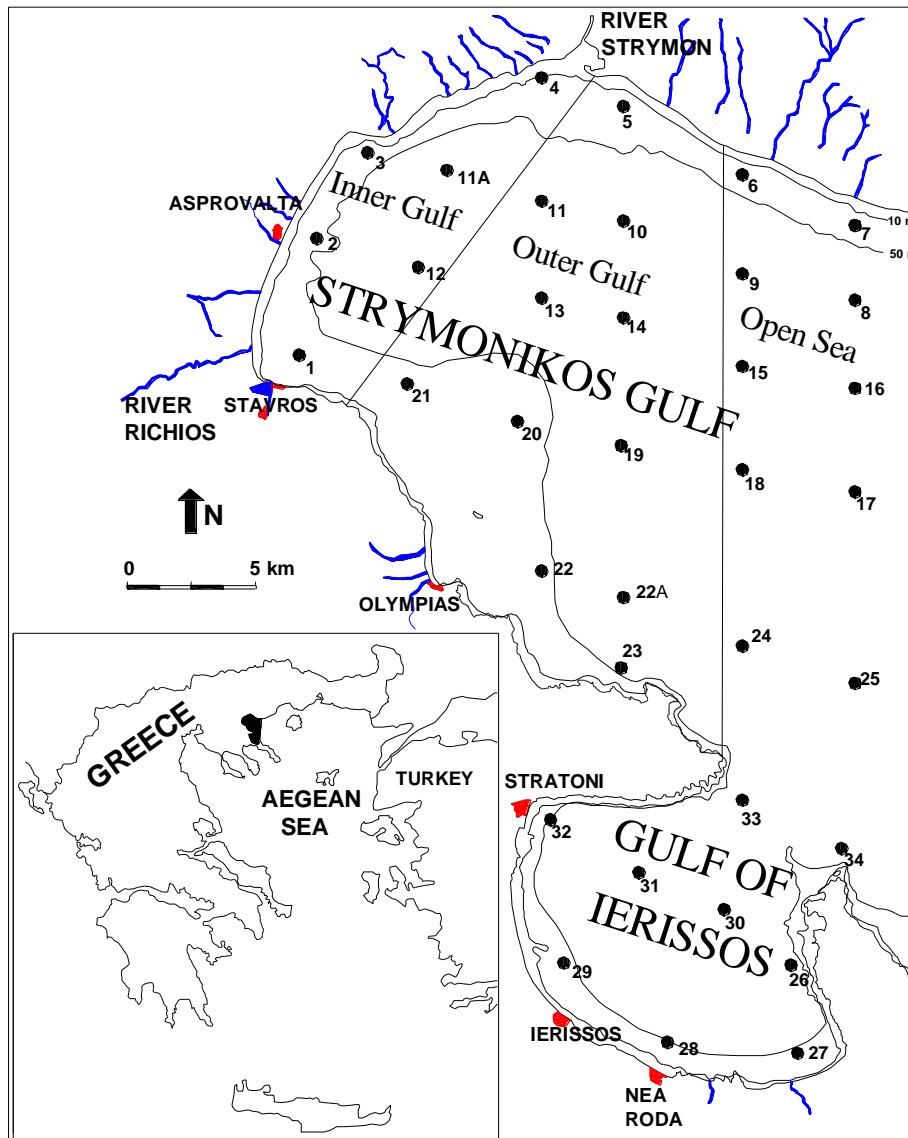
Received: 15 September 2006 / Accepted: 12 March 2008 / Published online: 26 April 2008
© Springer Science + Business Media B.V. 2008

Abstract The nutrient dynamics of the Strymonikos and Ierissos Gulfs, two semienclosed coastal water bodies, are studied using a simple steady-state budget model, according to the Land–Ocean Interaction in the Coastal Zone modeling guidelines. Strymon river plume dynamics prevailed in the area of the Inner and Outer Strymonikos Gulfs, comprising two layers, while the Ierissos Gulf was defined as a one-box system. Seasonal and mean annual model input data for river discharge, precipitation, evaporation,

Model scenarios demonstrated that phosphate concentration increases, even under low river flow conditions and stimulates primary production in excess of respiration, resulting in nitrogen fixation prevalence in the Inner Strymonikos Gulf.

Keywords Box model · LOICZ · Model scenarios · Nutrient fluxes · Strymonikos Gulf

40° 48' 00" N
24° 01' 00" E



40° 21' 00" N
23° 38' 00" E

Figure 1

Table 1 Background data for estimating the seasonal and annual budget models

	June 1997	September 1997	November 1997	February 1998	Annual
Precipitation (mm)	20	30	45	70	500
Evaporation (mm)	130	75	55	40	900
River discharge ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	12.5	3	43	82	58
<i>DIN</i> Dissolved inorganic nitrogen, <i>DIP</i> dissolved inorganic phosphorus					
River DIN (mmol m^{-3})	1.44	28.53	8.15	19.22	14.35
River DIP (mmol m^{-3})	0.24	2.44	1.10	0.85	1.16

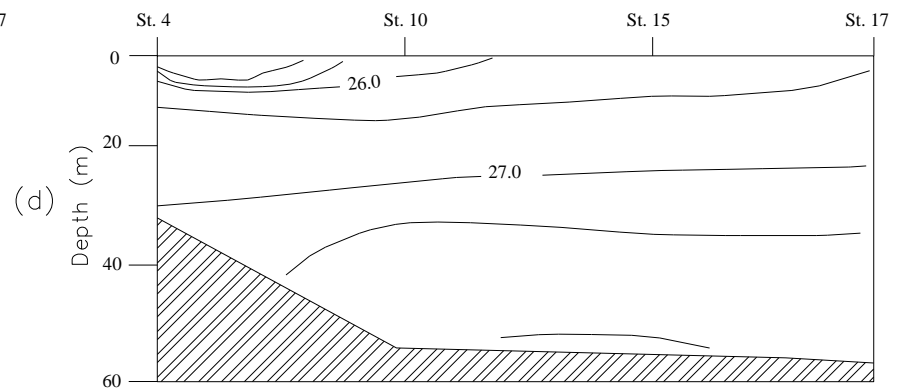
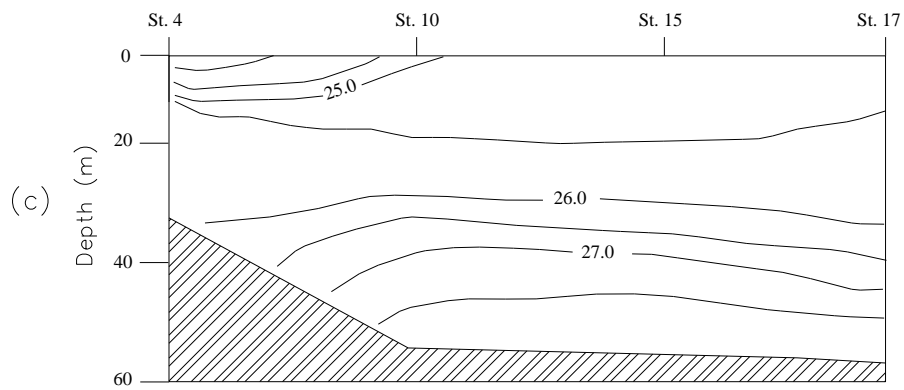
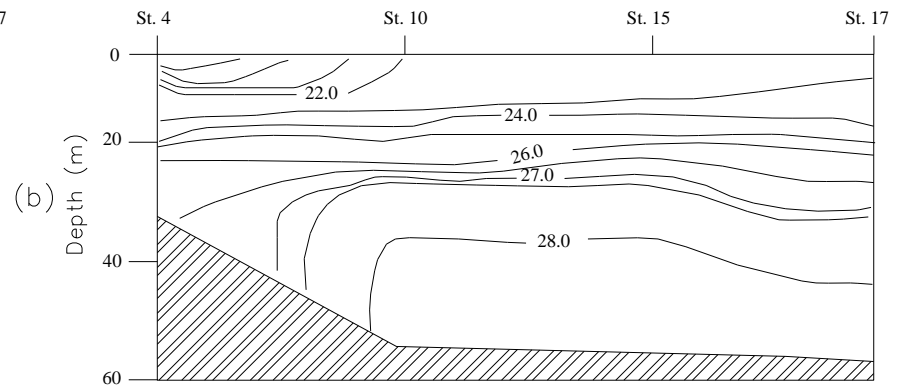
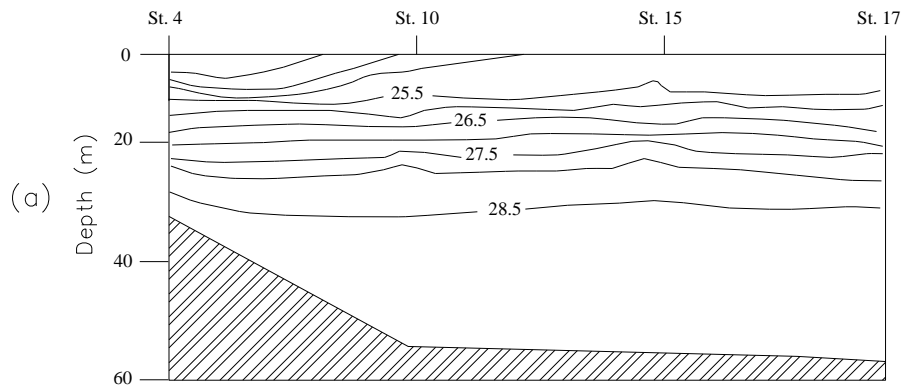
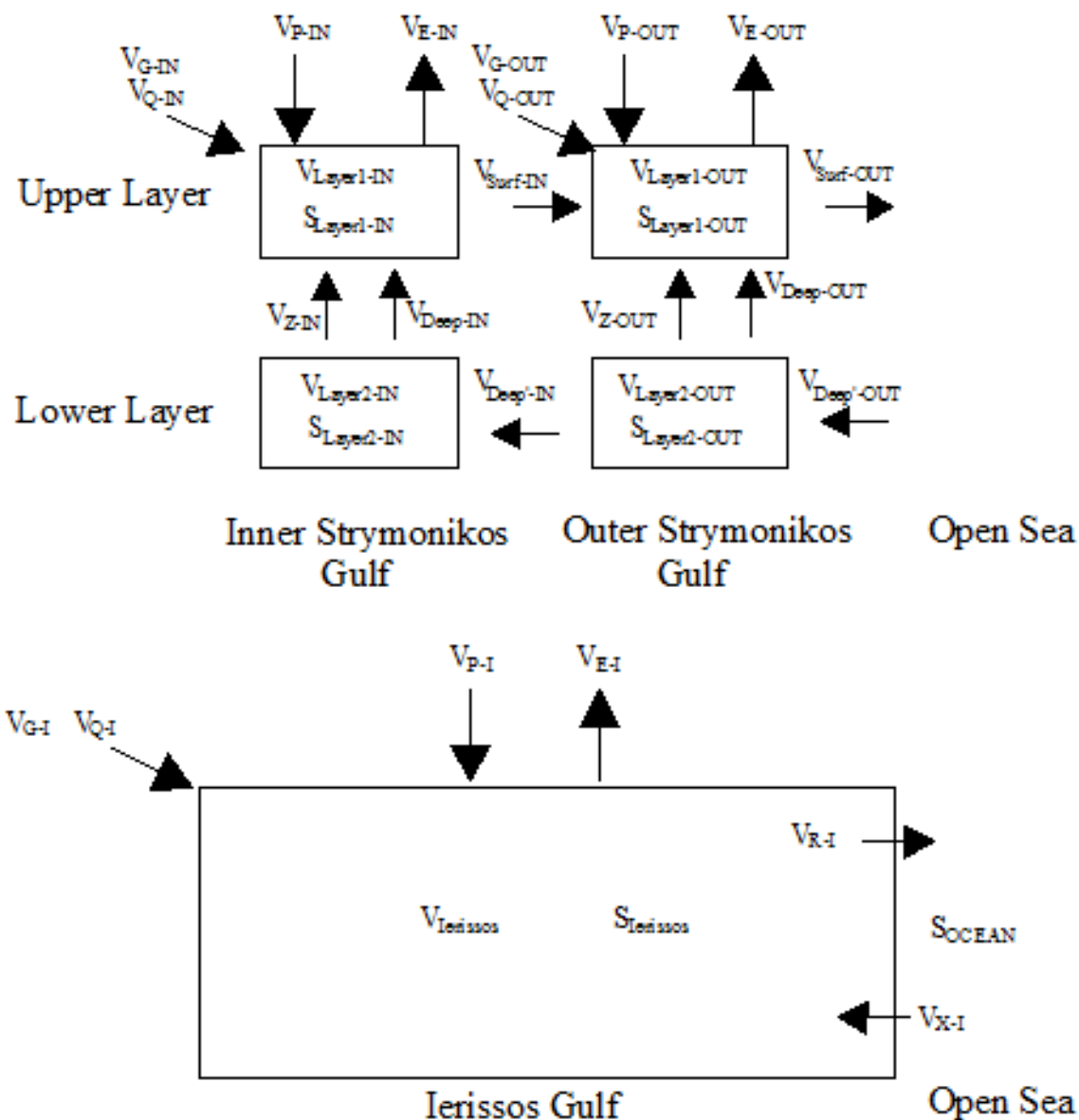
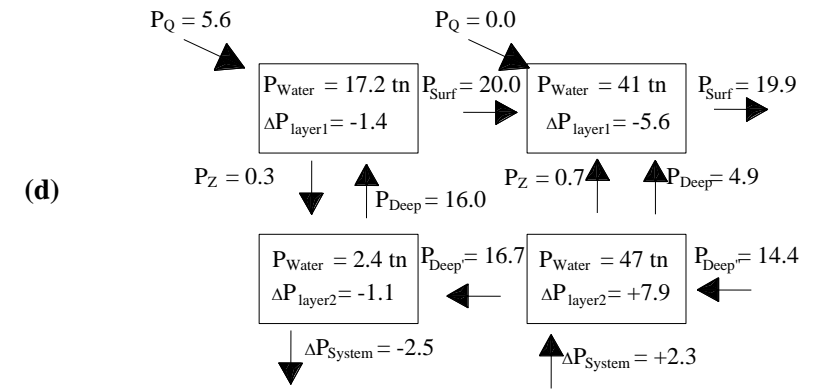
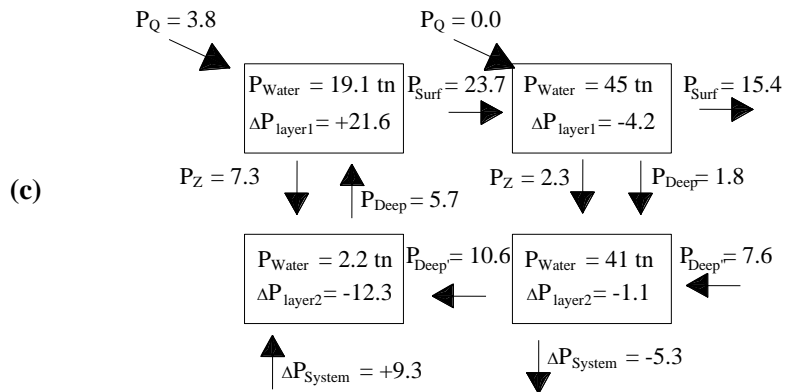
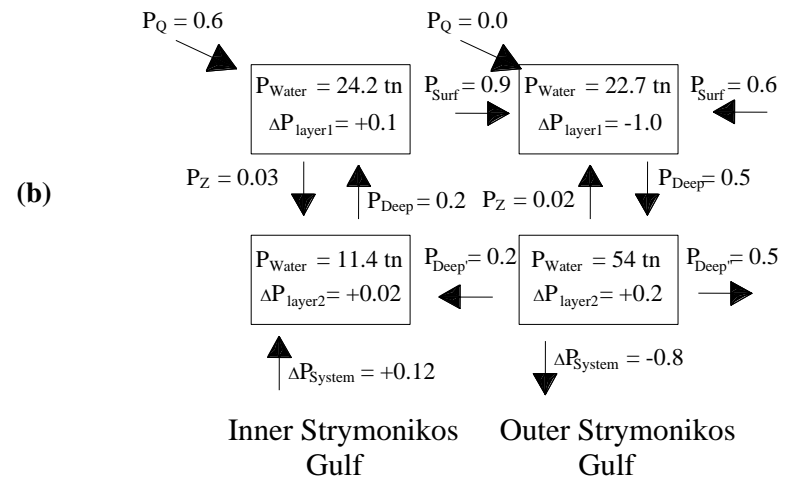
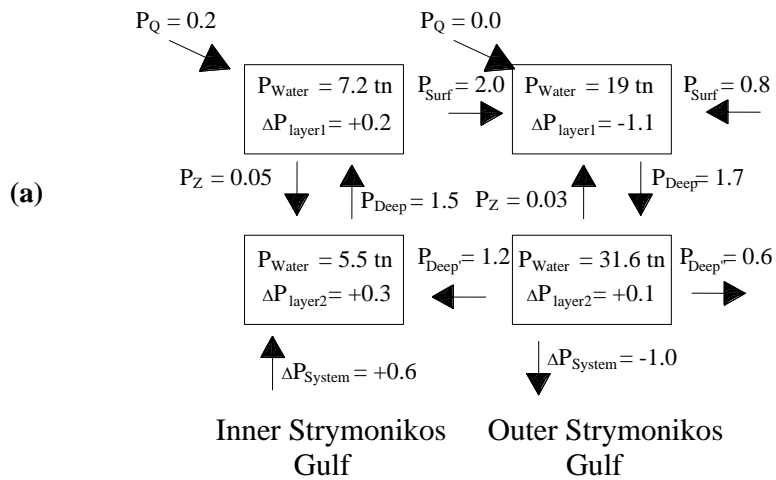
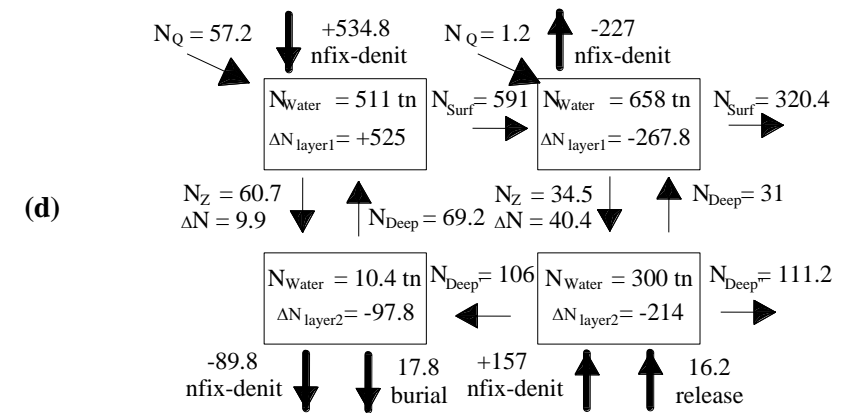
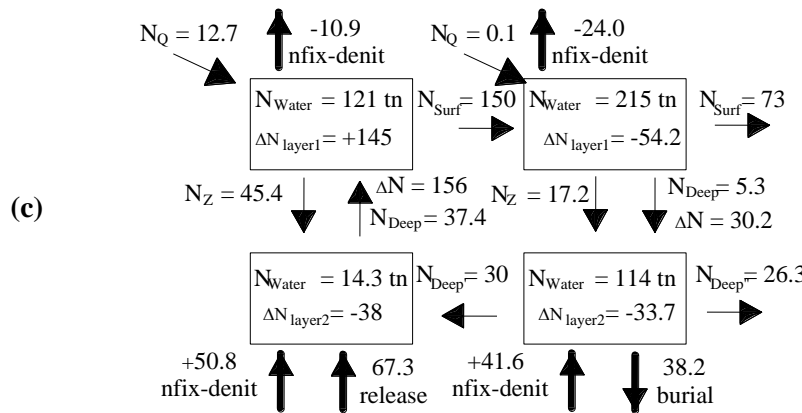
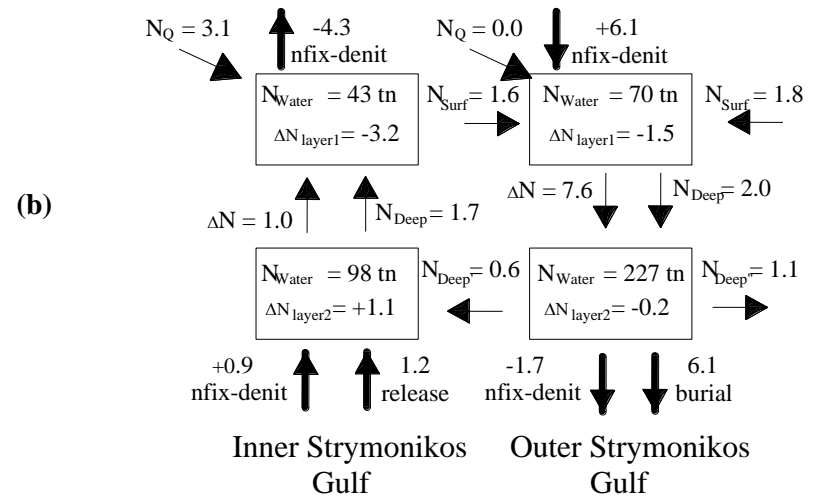
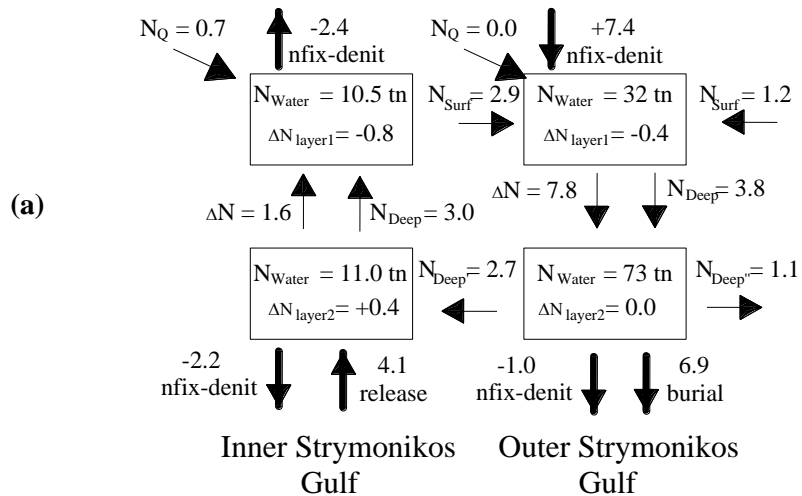


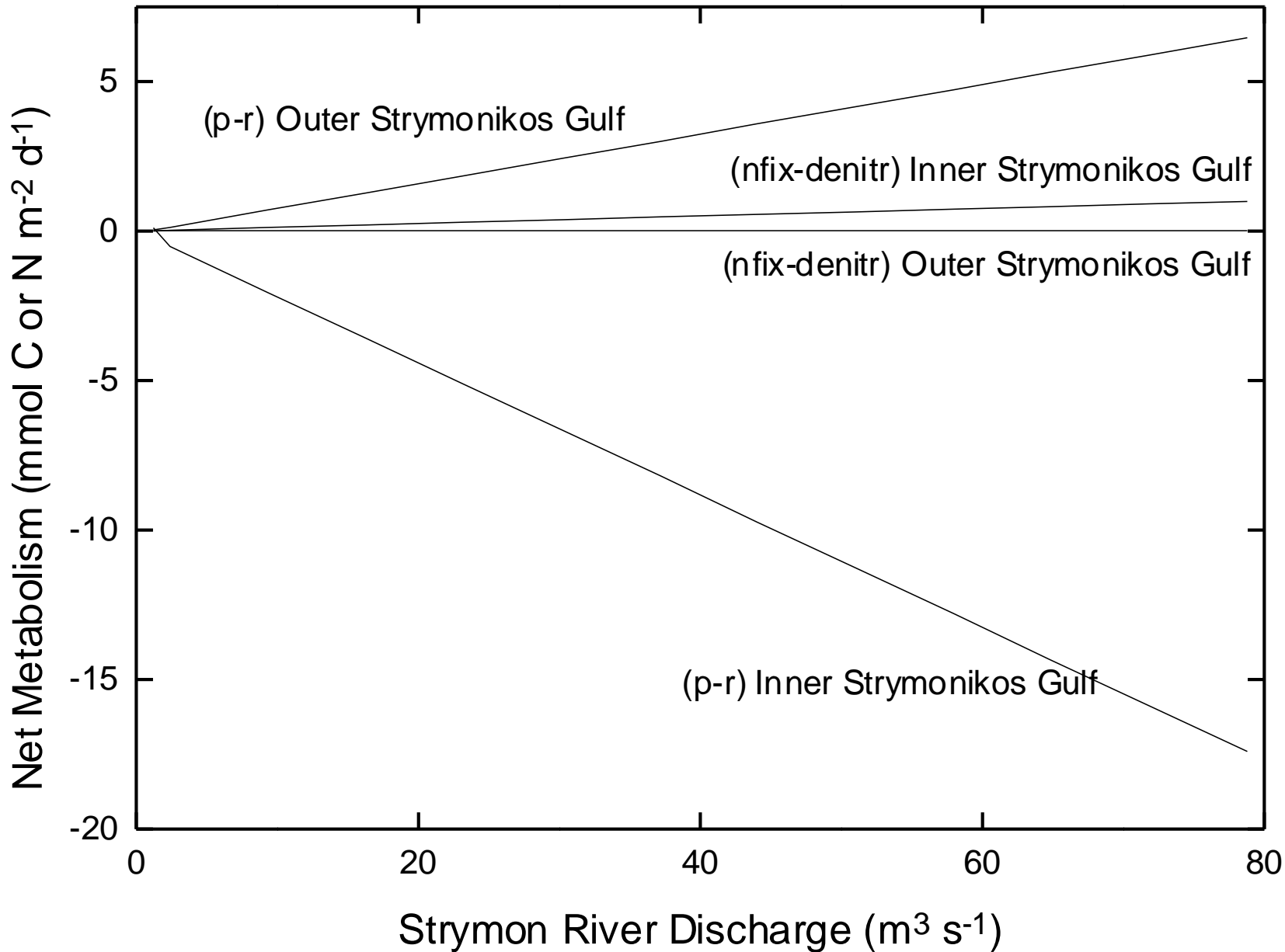
Table 2 Input data for the seasonal and the annual budget models of the Strymonikos and Ierissos Gulfs

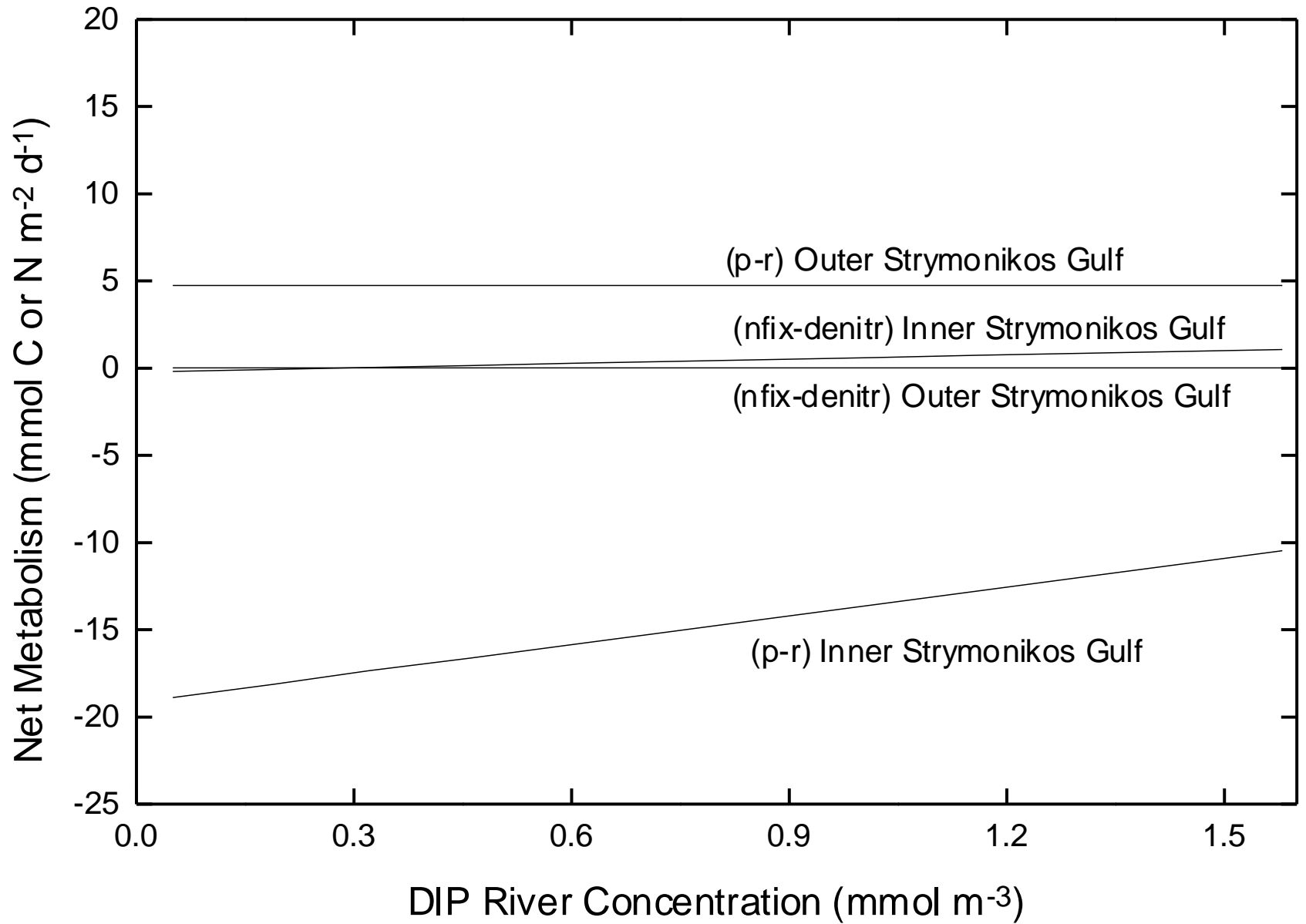
	Salinity (psu)	DIN (mmol m ⁻³)	DIP (mmol m ⁻³)
June 1997			
Inner Strymonikos Gulf			
Upper layer	35.42	0.52	0.16
Lower layer	37.44	0.57	0.13
Outer Strymonikos Gulf			
Upper layer	35.67	0.51	0.14
Lower layer	37.45	0.50	0.10
Ierissos Gulf	37.08	0.60	0.13
September 1997			
Inner Strymonikos Gulf			
Upper layer	33.53	3.20	0.81
Lower layer	36.90	3.81	0.20
Outer Strymonikos Gulf			
Upper layer	33.63	1.70	0.25
Lower layer	37.05	1.39	0.15
Ierissos Gulf	34.34	0.91	1.36
November 1997			
Inner Strymonikos Gulf			
Upper layer	34.26	4.47	0.32
Lower layer	35.42	1.17	0.08
Outer Strymonikos Gulf			
Upper layer	34.43	2.62	0.25
Lower layer	35.92	0.93	0.15
Ierissos Gulf	35.12	1.81	0.21

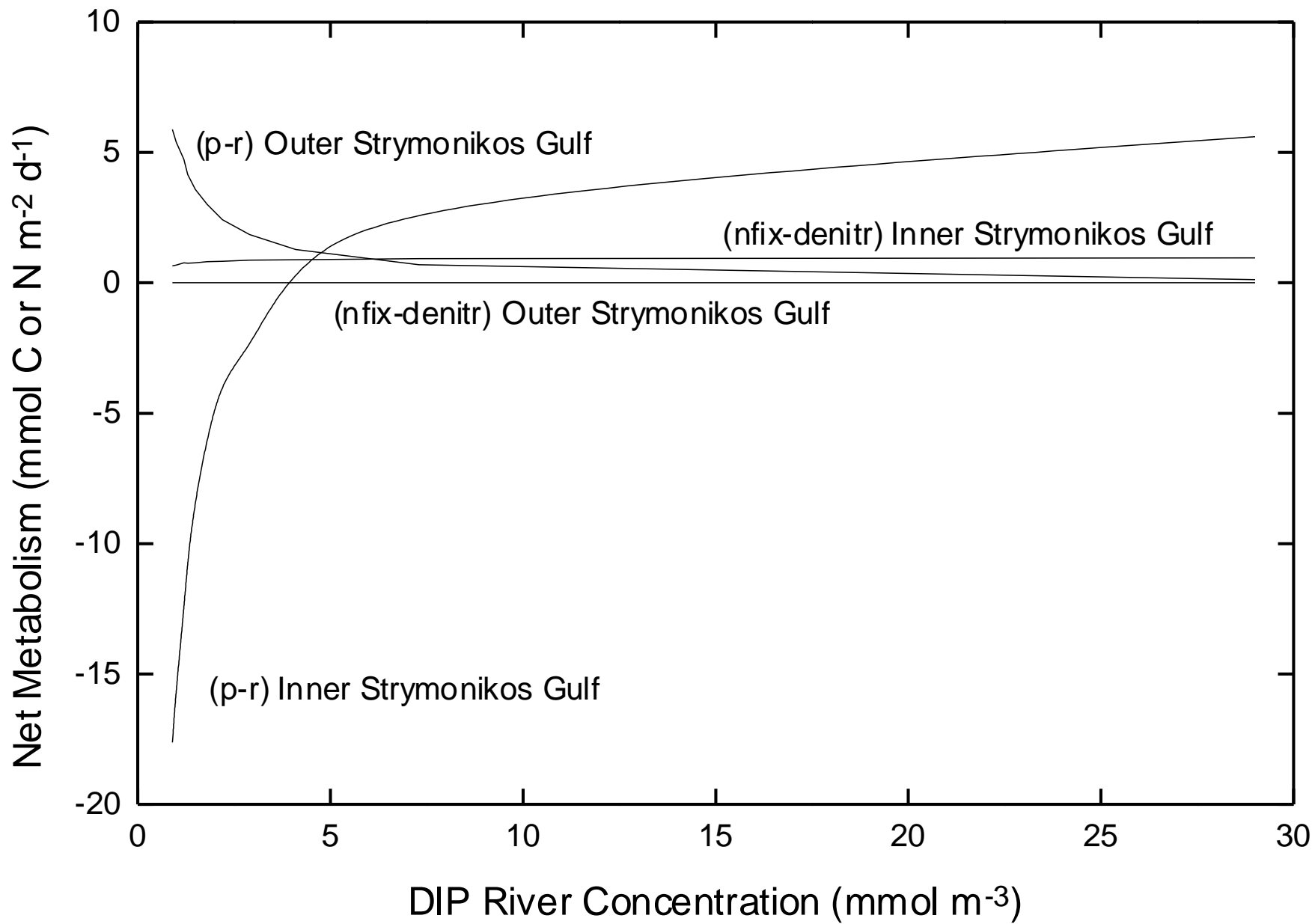


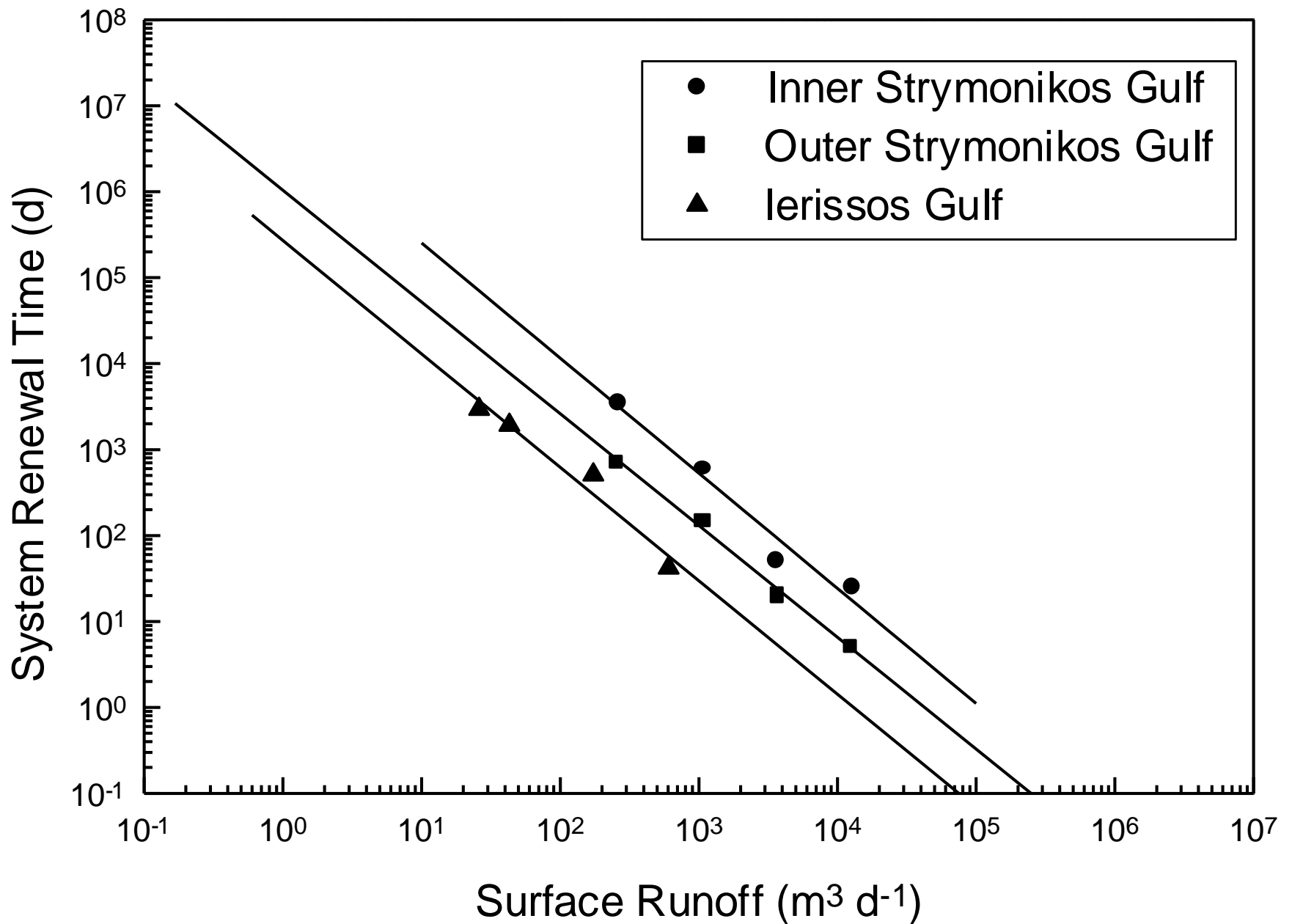












Προσδιορισμός Εξάτμισης σε Παράκτια Συστήματα

1. Μέθοδος PENMAN

Η εξάτμιση ενός υδάτινου σώματος είναι συνάρτηση της σχετικής υγρασίας, της έντασης του ανέμου, της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας.

$$E_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + A_h) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{6.43(1 + 0.536U_2)}{1}$$

Όπου R_n είναι ο ρυθμός ανταλλαγής ενέργειας στην επιφάνεια του υδατικού σώματος (mm/d), A_h ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας από την ατμόσφαιρα στο υδατικό σώμα (mm/d), D είναι το υγρομετρικό έλλειμμα ($e_s - e$)

$$D = \left(\frac{e_s(T_{\max}) + e_s(T_{\min})}{2} \right) \left(1 - \frac{RH}{100} \right)$$

Όπου T_{\max} , T_{\min} η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία κατά το διάστημα μελέτης (°C), RH η μέση σχετική υγρασία κατά τη περίοδο μελέτης (%).

Η παράμετρος λ είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας

$$\lambda = 2.501 - 0.002361 T_s$$

E είναι η πίεση υδρατμών της υπερκείμενης μάζας αέρα (kPa) η οποία υπολογίζεται από τη σχετική υγρασία και τη κορεσμένη πίεση υδρατμών, ως $e = e_s RH/100$

Όπου το e_s είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας αέρα

$$e_s(T) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{237.3 + T}\right)$$

Και το Δ είναι συνάρτηση των e_s και T

$$\Delta(T) = \frac{4098 e_s}{(237.3 + T)^2} = \frac{2503.06 \exp\left(\frac{17.27T}{237.3 + T}\right)}{(237.3 + T)^2}$$

Και γ είναι η ψυχομετρική σταθερά (kPa °C⁻¹)

$$\gamma = 0.0016286 \frac{P}{\lambda} = \frac{P}{(1537.675 - 1.45T)}$$

2. Μέθοδος Hargraves

Υπολογίζει τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (mm/d) σε επίπεδο μήνα

$$E = 0.0023 S_0 (T + 17.8) \sqrt{\delta_T}$$

Όπου T η θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}\text{C}$), δ_T η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της μέγιστης μηνιαίας και της ελάχιστης μηνιαίας και S_0 είναι η ισοδύναμη σε νερό ηλιακή ακτινοβολία (mm/d) για τη περιοχή μελέτης

$$S_0 = 15.392 d_r (\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s)$$

Όπου ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος, ω_s η γωνία κλίσης του Ηλίου κατά τη δύση του (rads), δ είναι η μέση κλίση του Ηλίου κατά την ημέρα J (rads), και d_r είναι η σχετική απόσταση Γης - Ηλίου

$$\delta = 0.4093 \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.405 \right)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta)$$

$$d_r = 1 + 0.0033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right)$$

3. Μέθοδος Hamon

Υπολογίζει τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (mm/d) σε εποχιακό ή ετήσιο επίπεδο

$$E = \frac{2.1 H_t^2 e_s}{(T_t + 273.2)}$$

Όπου E η εξατμηση την ημέρα t (mm/d), H_t ο αριθμός ωρών ημέρας την ημέρα t , e_s η τάση υδρατμών σε κορεσμό στη θερμοκρασία T (kPa), T_t η θερμοκρασία αέρα την ημέρα t ($^{\circ}\text{C}$).