

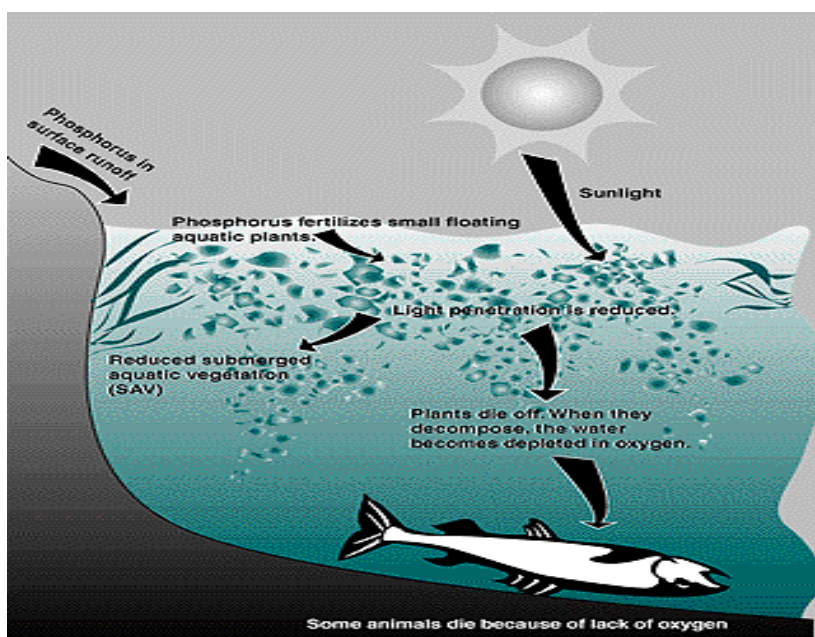


Νικόλαος Π. Νικολαΐδης, Ph.D., P.E., QEP
Καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και
Αποκατάστασης Εδαφών
Χανιά, 73100

Μάθημα Μ-Π 421: Εφαρμογές σε Περιβαλλοντικά Μοντέλα

ΔΟΜΗ – ΟΔΗΓΟΣ 3^{ου} ΕΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

« Δημιουργία και κωδικοποίηση εννοιολογικού μοντέλου
συμπεριφοράς των διαφορετικών μορφών του φωσφόρου σε λίμνη»



16 Δεκεμβρίου 2022

1.1 Στόχος 3^ο εργαστηρίου

Στόχος του τρίτου εργαστηρίου είναι η εξοικείωση του φοιτητή με:

- τη χρήση της Matlab και του excel ως περιβάλλοντα εργασίας και ως εργαλεία στη μοντελοποίηση
- την κατανόηση της συμπεριφοράς των διαφορετικών μορφών του φωσφόρου σε λίμνες
- τη βαθμονόμηση μοντέλων
- την εξοικείωση με σενάρια μείωσης φορτίων ρύπανσης

1.2 Παρουσίαση προβλήματος

Ένα εργοστάσιο βιολογικού καθαρισμού εμπλουτίζει ένα ποτάμι με 5000 kg/year διαλυτό φωσφόρο. Το ποτάμι αυτό εισρέει στη λίμνη Λυσιμαχεία, που βρίσκεται στο νομό Αιτωλοακαρνανίας, με παροχή $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$. Η αρχική συγκέντρωση του διαλυτού φωσφόρου στη λίμνη είναι 8 $\mu\text{g/L}$. Ο όγκος της λίμνης είναι 10^7 m^3 .

Από την επίλυση του συστήματος σε σταθερή κατάσταση της λίμνης έχει υπολογιστεί ότι η συγκέντρωση ισορροπίας του φωσφόρου είναι 26.53 $\mu\text{g/L}$ και ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη 608,3 days. Από αναλύσεις του νερού έχει προκύψει ότι το ποσοστό του ολικού φωσφόρου που είναι ανόργανο είναι 90% και το οργανικό είναι 10%.

Επίσης η συγκέντρωση της χλωροφύλλης στη λίμνη είναι 2.73 $\mu\text{g/L}$ και χωρίς μεγάλο σφάλμα θεωρείται ότι η συγκέντρωση του φωσφόρου που είναι δεσμευμένος στη χλωροφύλλη είναι ίση με 2.73 $\mu\text{g/L}$. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στον ολικό φώσφορο (P_{total}) δεν συμπεριλαμβάνεται η συγκέντρωση του φωσφόρου που είναι δεσμευμένος στη χλωροφύλλη, διότι η συγκέντρωση ολικού φωσφόρου (P_{total}) αναφέρεται στο διαλυτό φώσφορο. Συνεπώς η αφαίρεση του φωσφόρου που είναι δεσμευμένος στη χλωροφύλλη από τη συγκέντρωση steady state του φωσφόρου του νερού μας δίνει τη συγκέντρωση του διαλυτού φωσφόρου στην οργανική και ανόργανη μορφή.

Ζητείται να μοντελοποιηθεί η μεταβολή των διαφορετικών μορφών του φωσφόρου στη λίμνη σε σχέση με το χρόνο (ενότητα 1.3.3), και να γίνει το σενάριο που παρουσιάζεται στην ενότητα 1.3.4.

1.3 Θεωρητικό υπόβαθρο- Βοηθητικά βήματα για τη λύση του προβλήματος

1.3.1. Εννοιολογική Προσέγγιση

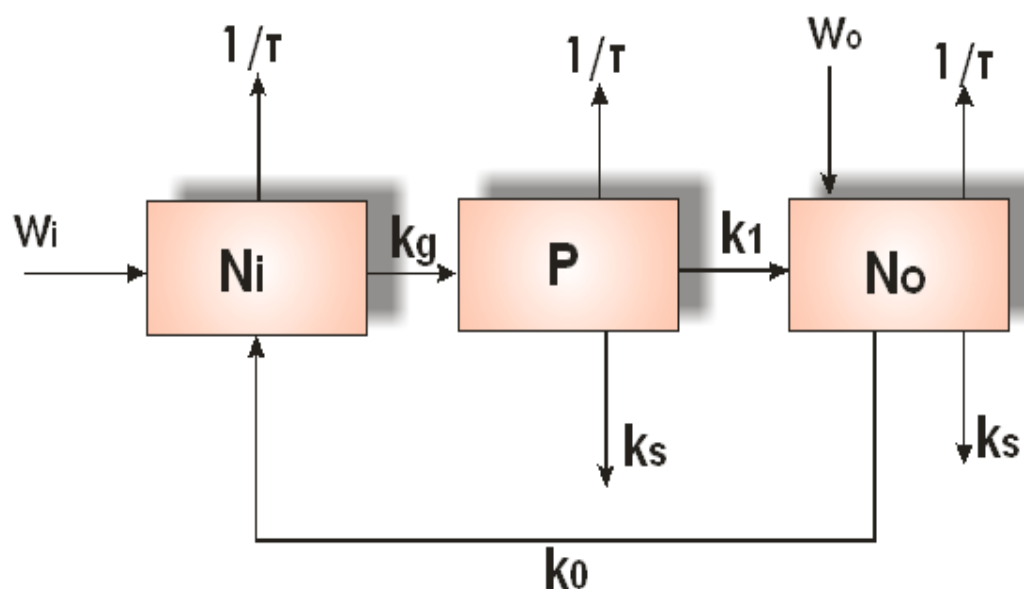
Μορφές ύπαρξης φωσφόρου στη λίμνη



Προκειμένου να μπορέσουμε να επιλύσουμε πιο εύκολα τα ισοζύγια κάνουμε απλουστεύσεις. Παραλείπουμε τις εξής μορφές για τις οποίες δεν έχουμε αρκετές πληροφορίες:

- ✚ Φώσφορος στα ψάρια
- ✚ Φώσφορος στο ζωοπλαγκτόν (αμελητέα)
- ✚ Προσροφημένος φώσφορος στα αιωρούμενα στερεά

Θεωρούμε την παρακάτω περίπτωση συμπεριφοράς του φωσφόρου στη λίμνη.



w_i = εισροή ανόργανου φωσφόρου (input rate of inorganic nutrient)

w_o = εισροή οργανικού φωσφόρου (input rate of organic nutrient)

τ = μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής

N_i = συγκέντρωση ανόργανου φωσφόρου

N_o = συγκέντρωση οργανικού φωσφόρου

P = συγκέντρωση φωσφόρου στο φυτοπλαγκτόν

Οι σταθερές οι οποίες χρησιμοποιούνται, ποσοτικοποιούν τα εξής φαινόμενα:

K_g = μετατροπή ανόργανου φωσφόρου σε φυτοπλαγκτόν

k_1 = μετατροπή φυτοπλαγκτόν σε οργανικό φώσφορο (θάνατος φυτοπλαγκτόν)

k_s = απώλειες φυτοπλαγκτόν (εκτός της λίμνης)

k_o = μετατροπή οργανικού φωσφόρου σε ανόργανο

$1/\tau$ = washout

Για τη δημιουργία του μοντέλου, έχουν γίνει κάποιες παραδοχές με σκοπό την απλοποίησή του, για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα:

-  Δεν λαμβάνεται υπόψη το ζωοπλαγκτόν και οι απώλειες του φυτοπλαγκτόν από αυτό, συμπεριλαμβάνονται στο k_s .
-  Υποθέτουμε σταθερή ροή
-  Υποθέτουμε CMS αντιδραστήρα (πλήρους ανάμιξης)

1.3.2. Αλγόριθμος και αναλυτικές λύσεις

Στη συνέχεια, δημιουργούμε τα ισοζύγια για κάθε μία από τις τρεις παραπάνω μορφές εμφάνισης του φωσφόρου στη λίμνη.

Τα ισοζύγια μάζας για τον ανόργανο φώσφορο, τον φώσφορο του φυτοπλαγκτόν και τον οργανικό φώσφορο αντίστοιχα, θα είναι:

$$\frac{dVN_i}{dt} = w_i - Q \cdot N_i + K_o \cdot V \cdot N_o - K_g \cdot V \cdot P \cdot N_i$$

και διαιρώντας με τον όγκο, τον οποίο θεωρούμε σταθερό, είναι:

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} - K_g \cdot P \cdot N_i + K_o \cdot N_o \quad (1)$$

Ομοίως προκύπτουν τα ισοζύγια μάζας και για τις άλλες μορφές του φωσφόρου:

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau} + K_g \cdot P \cdot N_i - K_1 \cdot P - K_s \cdot P \quad (2)$$

και

$$\frac{dN_o}{dt} = \frac{w_o}{V} - \frac{N_o}{\tau} + K_1 \cdot P - K_o \cdot N_o - K_s \cdot N_o \quad (3)$$

Αν προσθέσουμε τα τρία παραπάνω ισοζύγια μάζας θα έχουμε το συνολικό ισοζύγιο μάζας, για τον συνολικό φώσφορο:

$$\frac{dN_i}{dt} + \frac{dP}{dt} + \frac{dN_o}{dt} = \frac{w_i}{V} + \frac{w_o}{V} - \frac{N_i}{\tau} - \frac{N_o}{\tau} - \frac{P}{\tau} - k_s P - k_s N_o$$

$$\text{Θέτοντας } N_{\text{Total}} = N_i + N_o + P$$

$$w_{\text{Total}} = w_i + w_o$$

$$\frac{dN_{\text{Total}}}{dt} = \frac{w_{\text{Total}}}{V} - \frac{N_{\text{Total}}}{\tau} - k_s P - k_s N_o$$

Θεώρηση Σταθερής Κατάστασης (Steady State)

Στη συνέχεια, θα θεωρήσουμε ότι το σύστημά μας βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση, άρα δεν έχουμε μεταβολές στις συγκεντρώσεις των τριών μορφών του φωσφόρου τις οποίες και εξετάζουμε. Συγκεκριμένα θα έχουμε :

$$\frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} - K_g \cdot P \cdot N_i + K_o \cdot N_o = 0 \quad (4)$$

$$-\frac{P}{\tau} + K_g \cdot P \cdot N_i - K_1 \cdot P - K_s \cdot P = 0 \quad (5)$$

και

$$\frac{w_o}{V} - \frac{N_o}{\tau} + K_1 \cdot P - K_o \cdot N_o - K_s \cdot N_o = 0 \quad (6)$$

Λύνοντας την σχέση (5) ως προς N_i θα είναι:

$$-\frac{P}{\tau} + K_g \cdot P \cdot N_i - K_1 \cdot P - K_s \cdot P = 0 \Rightarrow K_g P N_i = (K_1 + K_s + \frac{1}{\tau}) \cdot P \Rightarrow$$

$$N_i = \frac{K_1 + K_s + 1/\tau}{K_g} \quad (7)$$

Από την σχέση (6) προκύπτει:

$$\begin{aligned} \frac{w_o}{V} + K_1 \cdot P - \left(\frac{1}{\tau} + K_o + K_s \right) \cdot N_o &= 0 \Rightarrow \\ N_o = \frac{\frac{w_o}{V} + K_1 \cdot P}{\left(\frac{1}{\tau} + K_o + K_s \right)} &\Rightarrow N_o = \frac{\frac{w_o}{VK_1} + P}{\left(\frac{1}{\tau} + K_o + K_s \right)} \Rightarrow \\ &K_1 \end{aligned}$$

$$N_o = \frac{\left(\frac{N_r}{\alpha k_1} \right) + P}{\alpha} \quad (8)$$

$$\text{όπου } \alpha = \frac{(1/\tau + K_o + K_s)}{K_1} \text{ και } N_r = \frac{w_o \cdot \tau}{V}$$

Τέλος, για τον προσδιορισμό του φωσφόρου στο φυτοπλαγκτόν, P αντικαθιστούμε την (8) στην (4), οπότε προκύπτει:

$$\frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} - K_g \cdot P \cdot N_i + K_o \cdot \frac{\left(\frac{N_r}{\tau k_i}\right) + P}{a} = 0 \Rightarrow$$

$$PK_g N_i = \frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} + K_o \cdot \frac{\left(\frac{w_o}{VK_1} + P\right)}{a} \Rightarrow$$

$$PK_g N_i = \frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} + K_o \frac{P}{a} + K_o \frac{w_o}{aVK_1} \Rightarrow$$

$$P \left(k_g \cdot N_i - \frac{k_0}{a} \right) = \frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} + K_o \frac{w_o}{aVK_1} \Rightarrow$$

$$P = \frac{\frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} + K_o \frac{w_o}{aVK_1}}{\left(k_g \cdot N_i - \frac{k_0}{a} \right)} \Rightarrow$$

$$P = \frac{\frac{w_i}{V\tau} - N_i + \frac{K_o w_o \tau}{aVK_1}}{k_g \tau N_i - \frac{k_0 \tau}{a}} \Rightarrow$$

$$P = \frac{(N_q - N_i) + N_r \frac{K_o}{aK_1}}{k_g \tau N_i - \frac{k_0 \tau}{a}} \Rightarrow$$

$$P = \frac{a(N_q - N_i) + N_r \frac{K_o}{K_1}}{ak_g \tau N_i - k_0 \tau} \Rightarrow$$

$$P = \frac{a(N_q - N_i) + N_r \frac{K_o}{K_1}}{(ak_g N_i - k_0)\tau} \quad (9)$$

$$\text{όπου } \alpha = \frac{(1/\tau + K_o + K_s)}{K_1}, \quad N_r = \frac{w_o \cdot \tau}{V} \quad \text{και} \quad N_q = \frac{w_i \cdot \tau}{V}$$

Υπολογισμός συντελεστών k_s , k_o , k_l

Με τη βοήθεια της σχέσης (4) θα υπολογιστεί ο συντελεστής K_o .

Από τις σχέσεις (6) και (7) και αφού λυθεί το σύστημα των εξισώσεων θα υπολογιστούν οι συντελεστές K_s και K_1 .

1.3.3. Δημιουργία μοντέλου

- Θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε τον κώδικα της Matlab που σας δόθηκε για να υπολογίσετε και να παρουσιάσετε γραφικά τις συγκεντρώσεις των N_i , P , No συναρτήσει του χρόνου
- Θα πρέπει να δημιουργήσετε ένα μοντέλο στο excel που να υπολογίζει και να παρουσιάζει γραφικά τις συγκεντρώσεις των N_i , P , No συναρτήσει του χρόνου, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (1), (2), (3) και τη μέθοδο Euler.

Parameter	Value	Units										
V	1000000000	L			ΧΡΟΝΟΣ t (days)	N	P	No	ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ Δt	DN/dt	DP/dt	DNo/dt
Q	16438356	L/day			0	26.16	2.73	2.91	1	0.005677315	0.012984329	-0.0063
					1	26.16568	2.742984	2.9037	1	-0.011628731	0.013668996	0.008429
					2	26.15405	2.756653	2.9121294	1	-0.020503273	0.012454857	0.012313
τα	608	days			3	26.13355	2.769108	2.9244428	1	-0.025194792	0.010240098	0.012278
L	16438356164	μg/day			4	26.10835	2.779348	2.9367203	1	-0.027040789	0.007476962	0.010586
W1	14794520548	μg/day			5	26.08131	2.786825	2.9473064	1	-0.026603266	0.004482758	0.0081
W2	1643835616	μg/day			6	26.05471	2.791308	2.9554063	1	-0.024296916	0.001519652	0.005257
					7	26.03041	2.792828	2.9606629	1	-0.020550743	-0.001193804	0.002355
					8	26.00986	2.791634	2.9630182	1	-0.015825048	-0.0034881	-0.00037
					9	25.99403	2.788146	2.9626488	1	-0.01058616	-0.005248643	-0.00274
N (1,1)	26.16	μg/L			10	25.98345	2.782897	2.9599134	1	-0.005273321	-0.00641717	-0.00461
P (1,1)	2.73	μg/L			11	25.97817	2.77648	2.9552998	1	-0.000270055	-0.006988024	-0.00593
No (1,1)	2.91	μg/L			12	25.9779	2.769492	2.9493692	1	0.004115759	-0.007000352	-0.00667
Kg	0.04	L/μg day			13	25.98202	2.762492	2.9427041	1	0.007662442	-0.006527868	-0.00684
Ko	0.49	/day			14	25.98968	2.755964	2.9358618	1	0.010236708	-0.005667746	-0.00652
K1	0.76	/day			15	25.99992	2.750296	2.9293381	1	0.011789244	-0.004529931	-0.0058
Ks	0.28	/day			16	26.01171	2.745766	2.9235409	1	0.012345527	-0.00322765	-0.00477

1.3.4. Σενάριο για τη μελλοντική κατάσταση της λίμνης

Θα πρέπει να τρέξετε το εξής σενάριο για τη μελλοντική κατάσταση της λίμνης 1) στη Matlab βάσει του κώδικα που σας δόθηκε, και 2) βάσει του μοντέλου που δημιουργήσατε στο excel:

Πόσο πρέπει να μειωθεί το συνολικό φορτίο ώστε η ολική συγκέντρωση του φωσφόρου σε σταθερή κατάσταση (C_{ss}) να μην ξεπερνά τα 15 μg/L (μεσοτροφικό σύστημα)?

1.4 Δομή παραδοτέας αναφοράς

Το πρόβλημα που πραγματεύεται το εργαστήριο αυτό, πρέπει να παρουσιασθεί με τη μορφή τεχνικής έκθεσης προς τη νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Αιτωλοακαρνανίας (συμπληρωματικά με το πρώτο εργαστήριο). Η λύση του προβλήματος αυτού, πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Μια εισαγωγή που να παρουσιάζει την περιοχή μελέτης και να εκθέτει το πρόβλημα (συμπληρωματικά μπορούν να γίνουν αναφορές στην ελληνική και ξένη βιβλιογραφία)
- Αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για τη λύση του προβλήματος
- Τα αποτελέσματα που προέκυψαν
- Παράρτημα όπου θα παρουσιάζονται οι αλλαγές που έγιναν στον κώδικα της Matlab που δόθηκε
- Παράρτημα όπου θα παρουσιάζονται το μοντέλο που δημιουργήσατε στο excel και τις αλλαγές που έγιναν ώστε να τρέξετε το σενάριο

Επικοινωνία με το εργαστήριο

Μαρία Λιλλή - ΜΗΠΕΡ Κτίριο K1.117, τηλ 28210-37784

email: marialilli02@gmail.com