

Το Θαλάσσιο Περιβάλλον ως Αποδέκτης Αποβλήτων

Σημείωση

Το ΕΑΠ είναι υπεύθυνο για την επιμέλεια έκδοσης και την ανάπτυξη των κειμένων σύμφωνα με τη Μεθοδολογία της εξ Αποστάσεως Εκπαίδευσης. Για την επιστημονική αριότητα και πληρότητα των συγγραμμάτων την αποκλειστική ευθύνη φέρουν οι συγγραφείς, κριτικοί αναγνώστες και ακαδημαϊκοί υπεύθυνοι που ανέλαβαν το έργο αυτό.

Σημείωση

Οι εικόνες οι οποίες έχουν περιληφθεί στον παρόντα τόμο χρησιμοποιούνται για καθαρά εκπαιδευτικούς σκοπούς και υποκαθιστούν την προβολή εικαστικού υλικού στο πλαίσιο μιας διάλεξης. Παρατίθενται μόνο για προσωπική χρήση των φοιτητών του ΕΑΠ και συνοδεύονται από αναφορά της πηγής ή/και του δημιουργού τους. Οι εικόνες έχουν αναπαραχθεί σε τέτοιο μέγεθος ώστε αυτό να επαρκεί για την κατανόηση του τρόπου χρήσης των λέξεων, των συμβόλων και γενικά του περιεχομένου τους.

Απαγορεύεται η ανατύπωση και κάθε μορφής αναπαραγωγή του παρόντος τόμου, ο οποίος προορίζεται αποκλειστικά για τη διδασκαλία και τις εξετάσεις των φοιτητών του ΕΑΠ. Διανέμεται δωρεάν μόνο στους δημιουργούς του διδακτικού υλικού, στους εγγεγραμμένους φοιτητές του ΕΑΠ και στο αντίστοιχο διδακτικό προσωπικό και δεν διατίθεται προς πώληση.



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Σπουδών
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Θεματική Ενότητα
ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ

Τόμος Β'

Το Θαλάσσιο Περιβάλλον ως Αποδέκτης Αποβλήτων

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ

Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ

Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών

ΚΩΝ/ΝΟΣ ΚΟΥΤΣΙΚΟΠΟΥΛΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Βιολογίας Πανεπιστημίου Πατρών

ΙΕΡΟΘΕΟΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

Ερευνητής στο Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας
Πρόγραμμα Σπουδών
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
Θεματική Ενότητα
ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΣΗ
Τόμος Β'
Το Θαλάσσιο Περιβάλλον ως Αποδέκτης Αποβλήτων

Συγγραφή

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ

Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ

Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών

ΚΩΝ/ΝΟΣ ΚΟΥΤΣΙΚΟΠΟΥΛΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Βιολογίας

Πανεπιστημίου Πατρών

ΙΕΡΟΘΕΟΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

Ερευνητής στο Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών

Κριτική Ανάγνωση

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΥ

Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας
Ζωικής Παραγωγής και Υδάτινου
Περιβάλλοντος Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Ακαδημαϊκός Υπεύθυνος για την επιστημονική επιμέλεια του τόμου

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ

Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών

Επιμέλεια στη μέθοδο της εκπαίδευσης από απόσταση

ΡΑΝΙΑ ΜΠΟΥΣΣΙΟΥ

Γλωσσική Επιμέλεια

ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΣΚΑΡΠΕΛΟΣ

Τεχνική Επιμέλεια

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΚΟΥΤΣΟΥΜΠΟΣ

Καλλιτεχνική Επιμέλεια, Σελιδοποίηση



Συντονισμός ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού και γενική επιμέλεια των εκδόσεων

ΟΜΑΔΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΟΥ ΕΑΠ / 1997-2004

ISBN: 960-538-532-5

Κωδικός Έκδοσης: ΔΙΑ 50/2

Copyright 2004 για την Ελλάδα και όλο τον κόσμο

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Οδός Παπαφλέσσα & Υψηλάντη, 26222 Πάτρα – Τηλ.: 2610 314094, 314206 Φαξ: 2610 317244

Σύμφωνα με το Ν. 2121/1993, απαγορεύεται η συνολική ή αποσπασματική αναδημοσίευση του βιβλίου αυτού ή η αναπαραγωγή του με οποιοδήποτε μέσο χωρίς την άδεια του εκδότη.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	10
---------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ο κόσμος των ωκεανών

Γ. Φερεντίνος, Γ. Παπαθεοδώρου, Κ. Κουτσικόπουλος

Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά, Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	17
1.1 Το ανάγλυφο των ωκεανών	20
1.2 Τα ιζήματα στους ωκεανούς	26
1.2.1 Τι είναι ιζήματα	26
1.2.2 Ταξινόμηση ιζημάτων	27
1.2.3 Φυσικές ιδιότητες ιζημάτων	31
1.2.4 Το χρώμα των ιζημάτων	32
1.2.5 Η κίνηση των ιζημάτων στους ωκεανούς	32
1.2.6 Πηγές και παροχές των ιζημάτων	33
1.3 Η φυσική συμπεριφορά του θαλασσινού νερού στους ωκεανούς	39
1.3.1 Ο υδρολογικός κύκλος	39
1.3.2 Αλατότητα – Θερμοκρασία – Πυκνότητα	40
1.3.3 Κατανομή της θερμοκρασίας, αλατότητας και πυκνότητας στους ωκεανούς.....	47
1.3.4 Στατιστική ευστάθεια	54
1.3.5 Στρωματοποίηση	57
1.3.6 Γενική κυκλοφορία των νερών στους ωκεανούς	59
1.3.7 Το φως στους ωκεανούς.....	64
1.4 Οι πλουτοπαραγωγικές πηγές των ωκεανών.....	73
1.4.1 Φυσικοί πόροι	73

1.4.2 Βιολογικοί πόροι	83
Κ. Κουτσικόπουλος	
1.5 Θαλάσσιοι βιότοποι και βιοκοινωνίες	102
1.5.1 Η ζωή στη θάλασσα: γενική θεώρηση	102
1.5.2 Οικολογική ταξινόμηση των θαλάσσιων οργανισμών και περιοχών	105
1.5.3 Οικολογία των θαλασσών	109
1.5.4 Η παραγωγικότητα των θαλάσσιων οικοσυστημάτων	114
1.5.5 Θαλάσσιες βιοκοινωνίες: σύντομη περιγραφή.....	117
1.5.6 Ανθρωπογενείς μεταβολές στη δομή του θαλάσσιου οικοσυστήματος.....	120
<i>Σύνοψη</i>	122
<i>Βιβλιογραφία</i>	126
<i>Κατάλογος Έγχρωμων Εικόνων</i>	129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φυσικές διεργασίες στη θάλασσα

Γ. Φερεντίνος

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά, Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....</i>	137
2.1 Δυνάμεις και θαλάσσια ρεύματα	140
2.2 Εξισώσεις της κίνησης και θαλάσσια ρεύματα	141
2.3 Διεργασίες μίξης στο θαλασσινό νερό.....	157
2.4 Ρεύματα.....	168
2.5 Κυκλοφορία υδάτων σε κλειστές θάλασσες και κόλπους	196
2.6 Κυκλοφορία υδάτων σε εστούρες και δέλτα	201
2.7 Παράκτια μέτωπα	217
2.8 Θερμοκρασιακή στρωμάτωση	219
<i>Σύνοψη</i>	223
<i>Βιβλιογραφία</i>	225

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Βιογεωχημικές διεργασίες στο θαλάσσιο περιβάλλον*Γ. Παπαθεοδώρου, Γ. Φερεντίνος*

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά,</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....</i>	<i>227</i>
3.1 Τα υλικά που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό	229
3.2 Διεργασίες και προϊόντα αποσάθρωσης των πετρωμάτων στις ηπείρους...231	
3.2.1 Φυσική αποσάθρωση.....	231
3.2.2 Χημική αποσάθρωση.....	231
3.2.3 Έδαφος.....	245
3.3 Χημική σύσταση του γλυκού νερού των ποταμών	247
3.3.1 Ανόργανο σωματιδιακό υλικό.....	247
3.3.2 Ανόργανα διαλυμένα στοιχεία.....	248
3.3.3 Οργανικό σωματιδιακό και διαλυμένο υλικό.....	252
3.3.4 Διαλυμένες και σωματιδιακές θρεπτικές ενώσεις	252
3.4 Χημική σύσταση του θαλασσινού νερού	254
3.4.1 Ανόργανα διαλυμένα στοιχεία.....	254
3.4.2 Τα κύρια στοιχεία και ο χρόνος παραμονής τους στο θαλασσινό νερό	257
3.4.3 Ο υδρολογικός κύκλος και η διακίνηση των κύριων στοιχείων	259
3.5 Μέταλλα στο θαλάσσιο περιβάλλον	263
3.5.1 Μεταλλικές μορφές	263
3.5.2 Βιογεωχημικές διεργασίες που ελέγχουν τη μορφή των μετάλλων στο θαλάσσιο περιβάλλον.....	264
3.5.3 Χημικές φάσεις ιζημάτων	274
3.6 Μέθοδοι ποσοτικοποίησης της ρύπανσης των θαλάσσιων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα	288
3.6.1 Συγκεντρώσεις υποβάθρου.....	288
3.6.2 Μέθοδοι προσδιορισμού των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στις επιμέρους χημικές φάσεις των ιζημάτων	290

3.6.3 Δείκτες ρύπανσης θαλάσσιων ιζημάτων από βαρέα μέταλλα	292
<i>Σύνοψη</i>	298
<i>Βιβλιογραφία</i>	301

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μηχανισμοί διασποράς ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον

I. Ζαχαρίας

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά,</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	305
4.1 Κατηγορίες ρύπων	307
4.2 Μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων	309
4.3 Στάδια ανάμιξης	311
4.3.1 Αρχική αραιώση.....	311
4.3.2 Διασπορά.....	319
4.3.3 Αποσύνθεση	323
<i>Σύνοψη</i>	332
<i>Βιβλιογραφία</i>	334
<i>Οδηγός για περαιτέρω μελέτη</i>	335

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μαθηματικά μοντέλα μεταφοράς και διάχυσης ρύπων

I. Ζαχαρίας

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά,</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	337
5.1 Μοντέλα προσομοίωσης	339
5.1.1 Στοχαστικά μοντέλα	339
5.1.2 Φυσικά μοντέλα	339
5.1.3 Αναλυτικά μοντέλα.....	340
5.1.4 Αριθμητικά μοντέλα	340
5.2 Η διαδικασία της προσομοίωσης	342

5.3	Δημιουργία του μαθηματικού μοντέλου	346
5.3.1	Μαθηματικό μοντέλο κυκλοφορίας	346
5.3.2	Μαθηματικό μοντέλο μεταφοράς διάχυσης ρύπανσης	349
5.3.3	Αριθμητική λύση	351
5.3.4	Δειγματοληψία Monte-Carlo	354
	Σύνοψη	357
	Βιβλιογραφία	359
	Οδηγός για περαιτέρω μελέτη	360
	Απαντήσεις Ασκήσεων Αυτοαξιολόγησης	361
	Απαντήσεις Δραστηριοτήτων	381

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ωκεανοί καλύπτουν το 71% της επιφάνειας του πλανήτη μας και περιέχουν το 97,2% του συνολικού νερού που υπάρχει σε αυτόν. Σε απόλυτους αριθμούς καταλαμβάνουν μια έκταση $360 \times 10^6 \text{ km}^2$, ενώ ο όγκος του νερού που περιέχεται σε αυτούς είναι $1,37 \times 10^9 \text{ km}^3$.

Οι ωκεανοί αποτελούν την κύρια τροφοδοσία του υδρολογικού κύκλου στον πλανήτη μας, την κύρια δεξαμενή (reservoir) συγκέντρωσης του CO_2 σ' αυτόν και τροφοδοτούν με πρωτεΐνες χερσαίους και θαλάσσιους οργανισμούς.

Η συμβολή των ωκεανών και γενικότερα του θαλάσσιου περιβάλλοντος στην εξέλιξη, εξάπλωση, ανάπτυξη, αλλά και στο “ευ ζην” της ανθρωπότητας ήταν και είναι σημαντική. Σε όλη τη διάρκεια της πορείας του ανθρώπου πάνω στον πλανήτη Γη, ο ωκεανός αποτέλεσε συνεχή πλουτοπαραγωγική πηγή είτε με τη λήψη πρώτων υλών (βιολογικοί, ορυκτοί πόροι, ενέργεια), ή ως μέσο μεταφοράς αγαθών (εμπόριο, μεταφορά ενέργειας/πληροφοριών).

Η σημαντική αύξηση του πληθυσμού της Γης και η ανάπτυξη της βιομηχανίας για την αντιμετώπιση των νέων συνθηκών διαβίωσης έχουν οδηγήσει: α) στην υπερεκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών των ωκεανών και β) στη χρήση των ωκεανών ως χώρων εύκολης και φτηνής απαλλαγής από τα οικιακά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα.

Η προαναφερθείσα αλόγιστη διαχείριση των ωκεανών έχει αρχίσει να διαταράζει σημαντικά την πολύπτυχη ισορροπία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, επιφέροντας σημαντικές μεταβολές στις φυσικο-βιογεωχημικές συνθήκες που επικρατούν σ' αυτό. Αναλυτικότερα:

- Η εντατική εκμετάλλευση ορυκτών πρώτων υλών από τον πυθμένα των θαλασσών, καθώς επίσης και η απόρριψη υλικών βυθοκόρησης λιμένων έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή τουλάχιστον σε τοπική κλίμακα των φυσικοχημικών παραμέτρων της υδάτινης στήλης, αλλά και των βενθικών βιοτόπων/βιοκοινωνιών στον πυθμένα.
- Η έκχυση μεγάλων ποσοτήτων ακατέργαστων οικιακών λυμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ευτροφικών και ανοξικών συνθηκών σε τοπική ή και περιφερειακή κλίμακα στην παράκτια ζώνη.
- Η είσοδος βιομηχανικών αποβλήτων στο θαλάσσιο περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό της υδάτινης στήλης και των ιζημάτων του πυθμένα σε βαρέα μέταλλα, με άμεση συνέπεια τη δηλητηρίαση ή και τη θανάτωση των θαλασσίων οργανισμών.

- Η αύξηση της θαλάσσιας διακίνησης πετρελαιοειδών και άλλων τοξικών βιομηχανικών προϊόντων έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση των ατυχημάτων και τη διαρροή αυτών των προϊόντων στο θαλάσσιο περιβάλλον και, κατά συνέπεια, την πρόκληση οικολογικών καταστροφών σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα.
- Η υπεραλίευση έχει ως αποτέλεσμα την πληθυσμιακή μείωση πολλών ειδών σε περιφερειακή κλίμακα.

Σκοπός του παρόντος τόμου είναι να γνωρίσει στον αναγνώστη επιστήμονα ή μηχανικό, ο οποίος ασχολείται ή επιθυμεί να ασχοληθεί με την προστασία και διαχείριση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, την πολύπτυχη δυναμική του και τους μηχανισμούς που το διέπουν. Για την κατανόηση της λειτουργίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος απαραίτητη είναι η γνώση των φυσικών, χημικών, γεωλογικών και βιολογικών διεργασιών που δρουν σ' αυτό και είτε ανεξάρτητα είτε από κοινού συμβάλλουν στη δημιουργία των συνθηκών που επικρατούν σε αυτό. Κατέχοντας τη γνώση των προαναφερθέντων, ο επιστήμονας ή μηχανικός θα είναι σε θέση να εκτιμήσει:

- Τα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή κατάλληλων χώρων στο θαλάσσιο περιβάλλον που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόρριψη αποβλήτων.
- Τη χωρο-χρονική τύχη των αποβλήτων και την επίδρασή τους στο γύρω γεώτοπο και βιότοπο.
- Τα μέτρα προστασίας που πρέπει να ληφθούν για να αποφευχθεί η πρόκληση τυχόν δυσμενών επιπτώσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον.
- Τα μέτρα αντιμετώπισης οικολογικών καταστροφών στο θαλάσσιο περιβάλλον που μπορεί να προκληθούν από ατυχήματα κατά τη θαλάσσια μεταφορά τοξικών προϊόντων και αποβλήτων.
- Την εκμετάλλευση των πλουτοπαραγωγικών πηγών του θαλάσσιου περιβάλλοντος χωρίς την πρόκληση δυσμενών συνθηκών σ' αυτό.

Η παρουσίαση της δυναμικής του θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθώς επίσης και των φυσικών, χημικών, γεωλογικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτό, στον παρόντα τόμο γίνεται σε πέντε κεφάλαια που επεκτείνονται από τον πυθμένα των ωκεανών έως την επιφάνεια της θάλασσας.

Το **πρώτο κεφάλαιο** εισάγει τον αναγνώστη στον κόσμο των ωκεανών δίνοντάς του μια συνοπτική εικόνα για το ανάγλυφο του πυθμένα των ωκεανών, τα ιζήματα που

υπάρχουν σ' αυτούς, τη φυσική δομή της υδάτινης στήλης, τις βιοκοινωνίες και βιότοπους καθώς και τις πλουτοπαραγωγικές πηγές.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** εισάγει τον αναγνώστη στα φυσικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στην υδάτινη στήλη και ιδιαίτερα στην παράκτια θάλασσα, τα οποία διαμορφώνουν την κίνηση του θαλασσινού νερού, καθώς επίσης τη μεταφορά και ανάμιξη των στερεών και υγρών αποβλήτων.

Το **τρίτο κεφάλαιο** εισάγει τον αναγνώστη στις σύνθετες βιο-γεωχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους ωκεανούς. Έμφαση δίνεται: (α) στον κύκλο των προϊόντων αποσάθρωσης των πετρωμάτων, της μεταφοράς τους και της απόθεσής τους στον πυθμένα της θάλασσας και (β) στην παρουσία των βαρέων μετάλλων στο θαλάσσιο νερό και στα ιζήματα του πυθμένα.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** εισάγει τον αναγνώστη στις βασικές έννοιες της μίξης και αραίωσης των ρύπων στο θαλάσσιο περιβάλλον και του παρέχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει και να προγνώσει την κατανομή των ρύπων στο χώρο και χρόνο.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** εισάγει τον αναγνώστη στην έννοια των μοντέλων προσομοίωσης και στον τρόπο δημιουργίας τους.