

Φυσικοχημικοί και βιολογικοί παράγοντες σε λίμνες και ποτάμια

## Ιδιότητες του νερού

Το μόριο του νερού αποτελείται από ένα άτομο οξυγόνου και δύο υδρογόνου και είναι μία πολύ σταθερή ένωση. Το νερό λόγω της χημικής του σύστασης, θα έπρεπε να βρίσκεται μόνο σε αέρια μορφή στον πλανήτη. Το ότι δεν είναι, οφείλεται σε ηλεκτροστατικές έλξεις μεταξύ των μορίων του νερού, που ονομάζονται δεσμοί υδρογόνου. Στις ηλεκτροστατικές έλξεις που παρουσιάζει το μόριο του νερού οφείλεται και η ικανότητά του να διαλύει πολλές ουσίες.

Τα μόρια του νερού συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου στους οποίους οφείλονται πολλές από τις ιδιόρρυθμες φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού, καθώς και η ανάπτυξη της ζωής στον πλανήτη. Χάρη σ' αυτές τις ιδιότητες το νερό ρυθμίζει το κλίμα της γης και προσφέρει σταθερό και φιλόξενο περιβάλλον στους υδρόβιους οργανισμούς, οι οποίοι και ανέπτυξαν ειδικές προσαρμογές κατά την εξελικτική τους πορεία μέσα σ' αυτό.

Οι καταπληκτικές αυτές ιδιότητες του νερού επηρεάζονται από ανθρώπινες δραστηριότητες και επηρεάζουν με τη σειρά τους τη βιωσιμότητα των υδρόβιων οργανισμών.

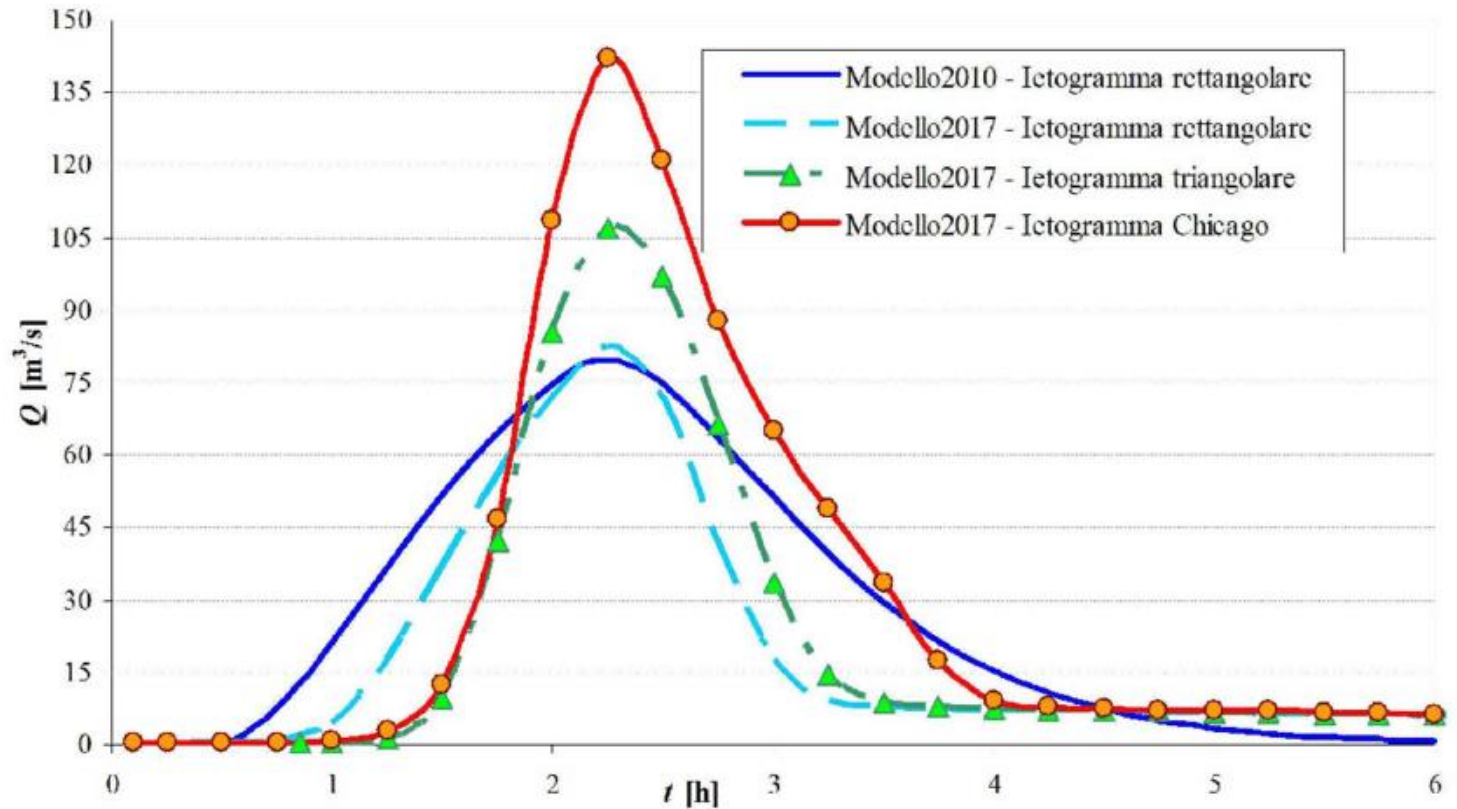
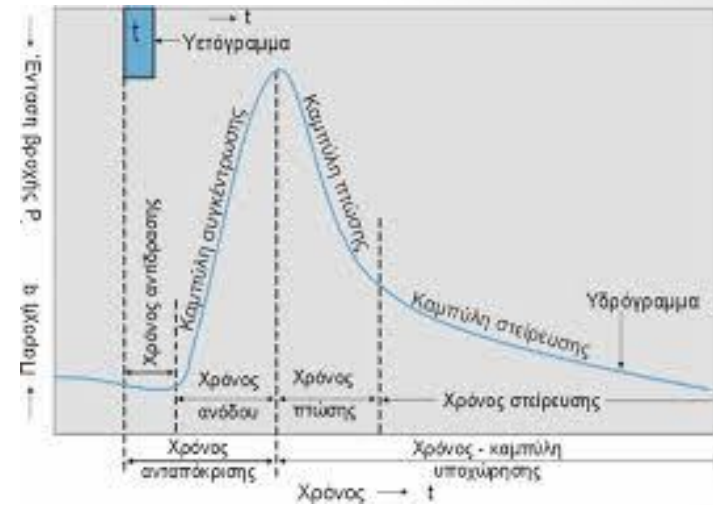
**Πίνακας III.** Τα διαλυμένα ανόργανα συστατικά στα φυσικά νερά.

Κύρια	Δευτερεύοντα	Ιχνοστοιχεία	Αέρια
Ca <sup>++</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N (όπως NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ή NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Fe, Cu, Co	O <sub>2</sub> :
Mg <sup>++</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Si (όπως SiO <sub>2</sub> ή HSiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	B, Mn, Mo	N <sub>2</sub>
Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup>	P (όπως H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Zn, Al κ.ά	CO <sub>2</sub>
(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), F <sup>-</sup>	ή PO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )		
(Fe <sup>++</sup> )			

## Φυσικοχημεία του ύδατος

- Η **παροχή (όγκος νερού /sec)** είναι ο πρώτος παράγοντας που ελέγχει τη **χημεία ύδατος**, κυρίως μέσω της διάλυσης.
- Η παροχή συσχετίζεται επίσης πολύ με τη μεταφορά **του αιωρούμενου ιζήματος** στους ποταμούς. Χωρίς συνεχή μέτρηση της παροχής, οι ροές (μεταφορά) του ιζήματος και των χημικών ουσιών στους ποταμούς δεν μπορούν να υπολογιστούν.
- Το διάγραμμα της παροχής στο χρόνο καλείται **υδρόγραμμα**. Η μορφή του **υδρόγραμματος** συνδέεται με το μέγεθος των ποταμών, το καθεστώς των ποταμών, και τις επιδράσεις των λιμνών ή των υπόγειων νερών.
- Οι μακροπρόθεσμες μηνιαίες περοχές χαρακτηρίζουν το καθεστώς ενός ποταμού.

# Φυσικοχημεία του ύδατος



## Οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα

Γιατί είναι το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα ζωτικής σημασίας για τη διαβίωση των οργανισμών;

- Και τα δύο συμμετέχουν στην αναπνοή και τη φωτοσύνθεση

## Το οξυγόνο

- **Το οξυγόνο** συμμετέχει σε πολλές σημαντικές χημικές και βιολογικές αντιδράσεις. Καταναλώνεται συνεχώς κατά την αναπνοή από τα φυτά (αυτότροφοι οργανισμοί) και τα ζώα (ετεροτροπικοί οργανισμοί) και παράγεται από τη φωτοσύνθεση μόνο όταν το φως είναι ικανοποιητικό και οι θρεπτικές ουσίες (P/N) είναι διαθέσιμες.



- Οικολογικά, το οξυγόνο είναι **περιοριστικός παράγοντας** για τη ζωή όταν είναι σε έλλειψη. Αν και άφθονο στον ατμοσφαιρικό αέρα, **η συγκέντρωσή του στο ύδωρ (λίμνες και ποταμοί) είναι περιορισμένη.**
- Το πολύ κρύο νερό περιέχει λιγότερο από 5% του οξυγόνου που περιλαμβάνεται σε παρόμοιο όγκο του αέρα. **Το ποσό μειώνεται γρήγορα καθώς η θερμοκρασία ύδατος αυξάνεται.**

Γιατί συμβαίνει αυτό;

- Το ύδωρ περιέχει λίγο οξυγόνο λόγω της σχετικά χαμηλής μερικής πίεσης του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα και τη χαμηλή διαλυτότητά του.

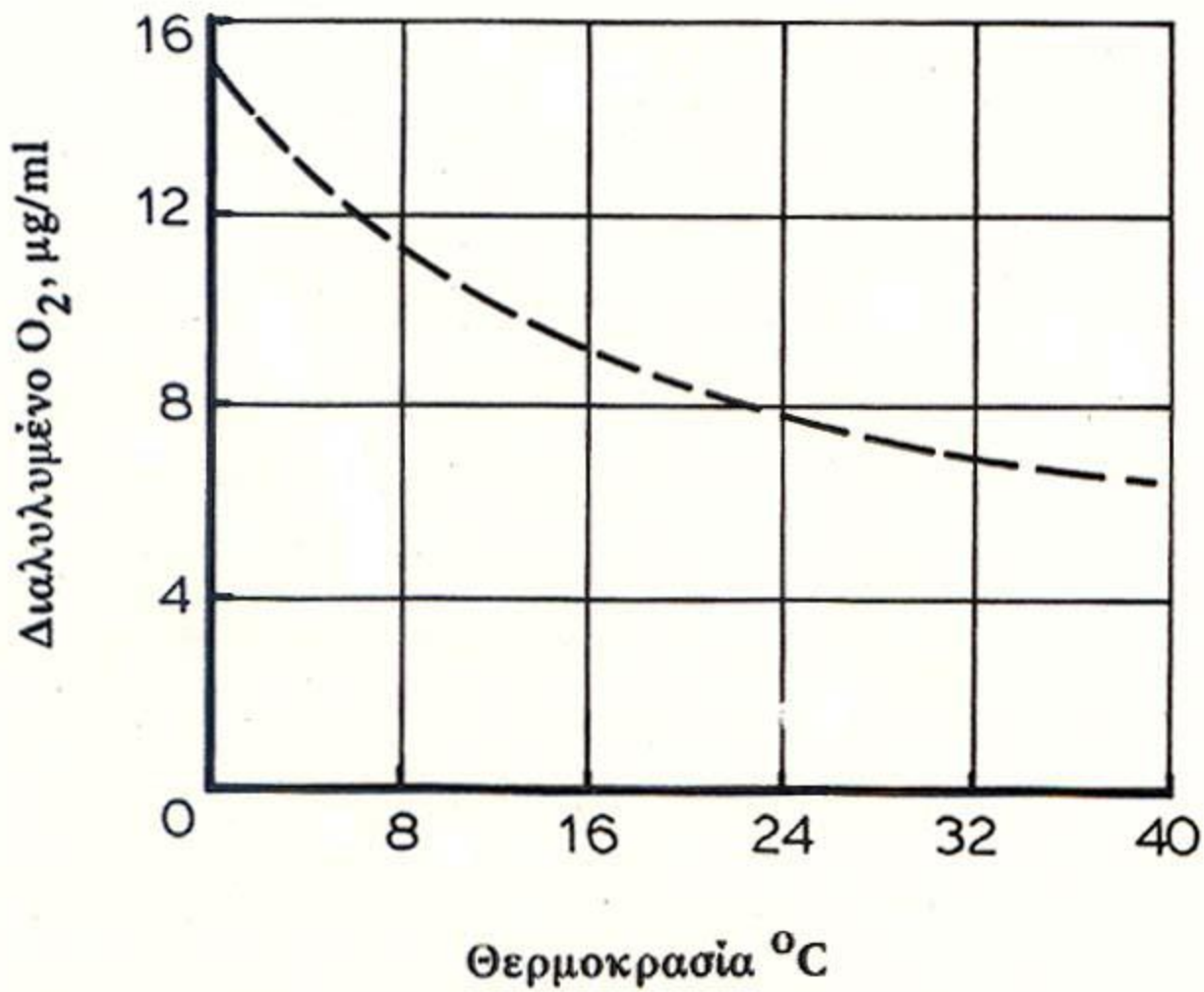


# O<sub>2</sub>

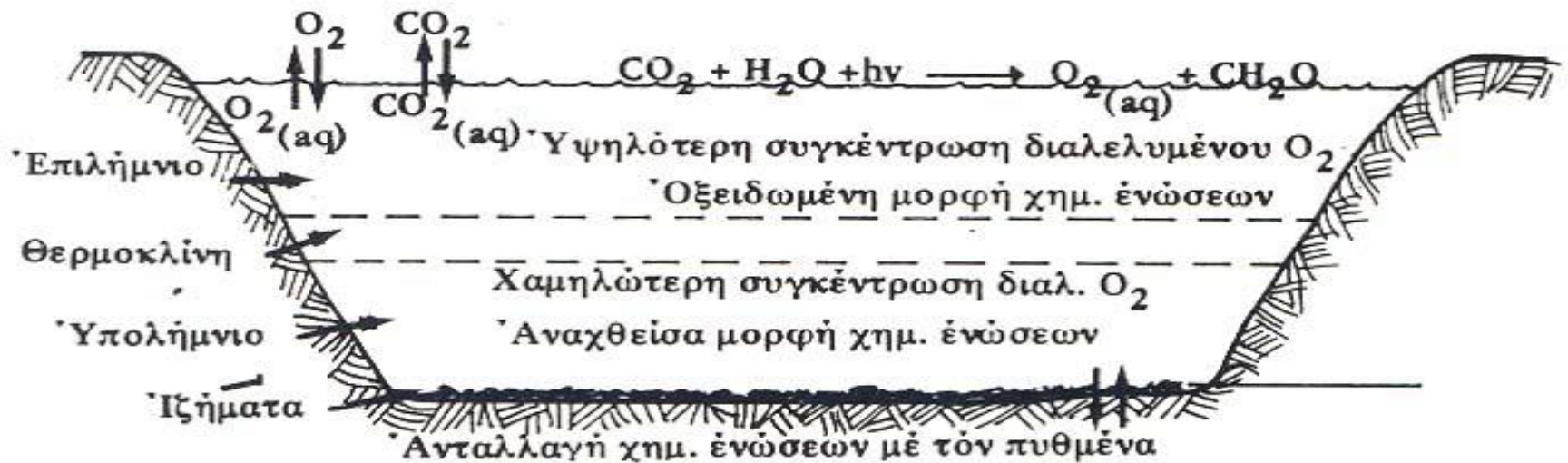
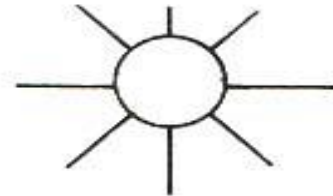
- Το ποσό διαλυμένου οξυγόνου σε ένα υδρόβιο οικοσύστημα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως **η θερμοκρασία, η αλκαλικότητα, η ατμοσφαιρική πίεση**. Η αύξηση των τιμών αυτών των παραμέτρων προκαλεί τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου.
- Η διαλυμένη συγκέντρωση οξυγόνου εξαρτάται επίσης από το **οργανικό φορτίο** του ύδατος και των **φωτοσυνθετικών οργανισμών**. Στα ολιγοτροφικά συστήματα το νερό είναι κορεσμένο σε O<sub>2</sub> ενώ στα εύτροφα υπάρχει μείωση.

# O<sub>2</sub>

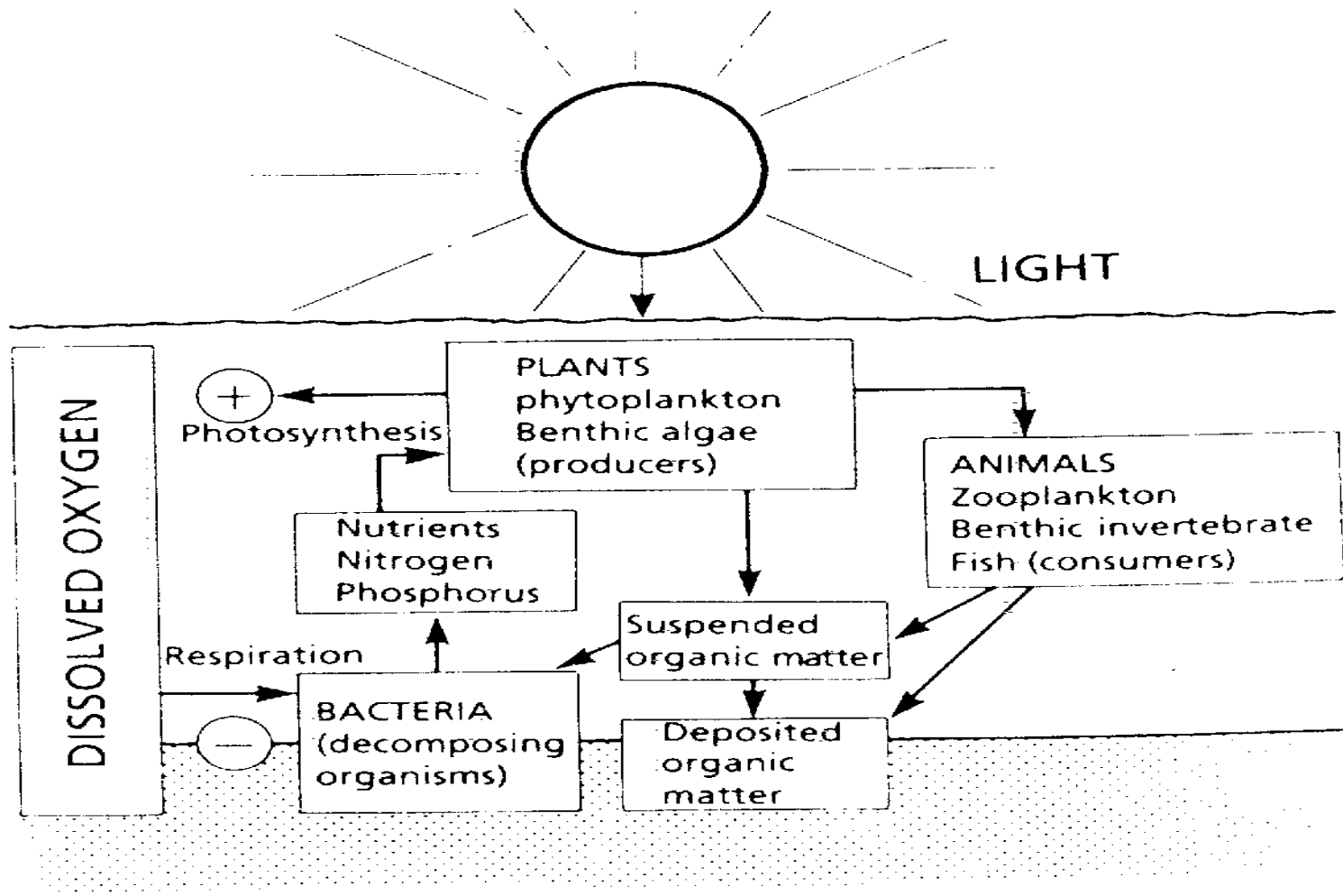
- Το οργανικό φορτίο είτε από φυσικές πηγές είτε από τα αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να οδηγήσει στη σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αύξησης του αριθμού μικροοργανισμών που χρησιμοποιούν την οργανική ουσία ως υπόστρωμα για την αποσύνθεση που μειώνει κατ' αυτό τον τρόπο το διαθέσιμο οξυγόνο.
- Όταν αυτό συμβαίνει και διαρκεί αρκετά, οι περισσότεροι υδρόβιοι οργανισμοί χάνονται ή αντικαθίστανται από άλλους εξειδικευμένους οργανισμούς και ανθεκτικούς στο χαμηλό οξυγόνο.
- Η **έλλειψη λοιπόν οξυγόνου** στο ύδωρ (ποταμοί και λίμνες) σχετικά με τον αέρα οφείλεται στο ότι **μειώνεται εύκολα** κατά την αναπνοή και την αποσύνθεση εκτός αν συνεχώς ανανεώνεται από τον αέρα.



ΣΧΗΜΑ 4. Διαλυτότητα οξυγόνου στο ύδωρ



ΣΧΗΜΑ 2. Σχηματική τομή λίμνης



(b)

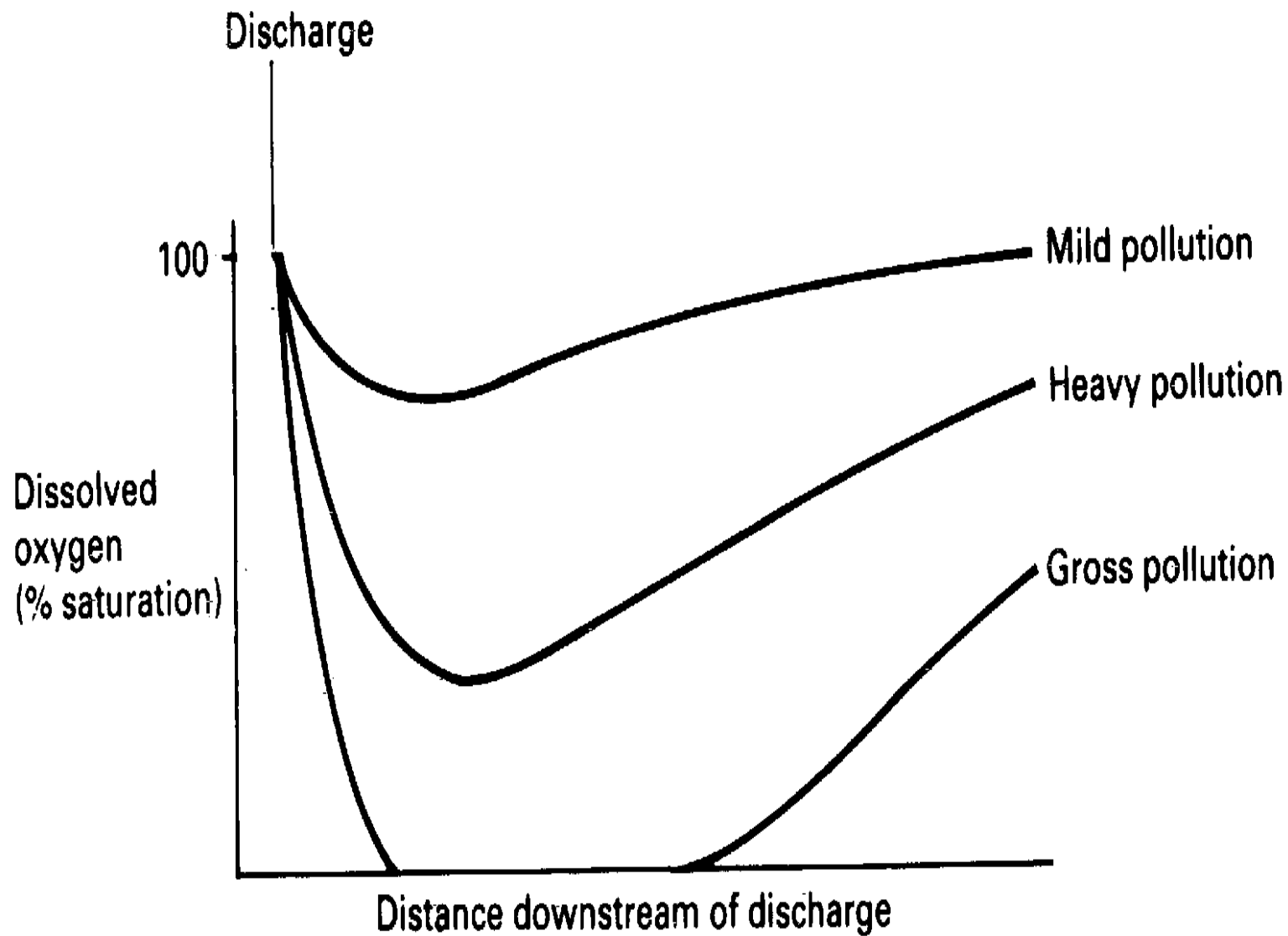
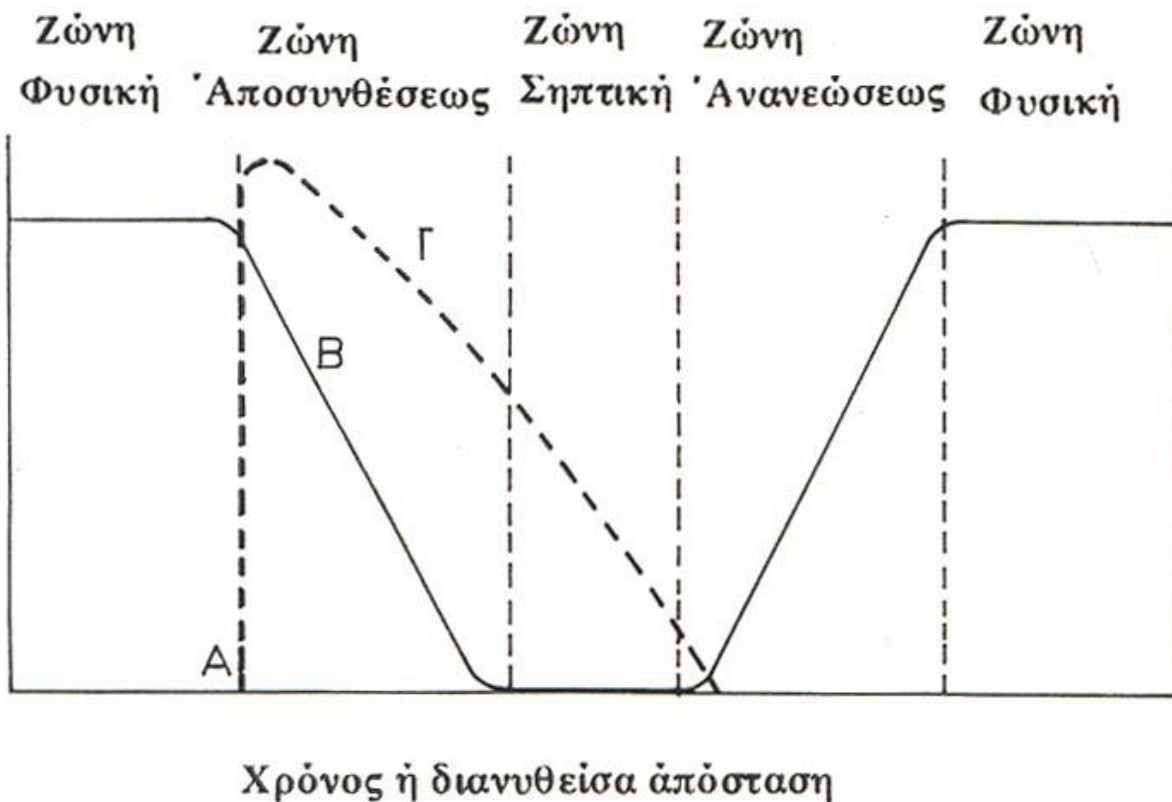


Fig. 2.5. The effect of an organic discharge on the oxygen content of river water.

Στάθμη DO ή συγκέντρωση ρυπαντών

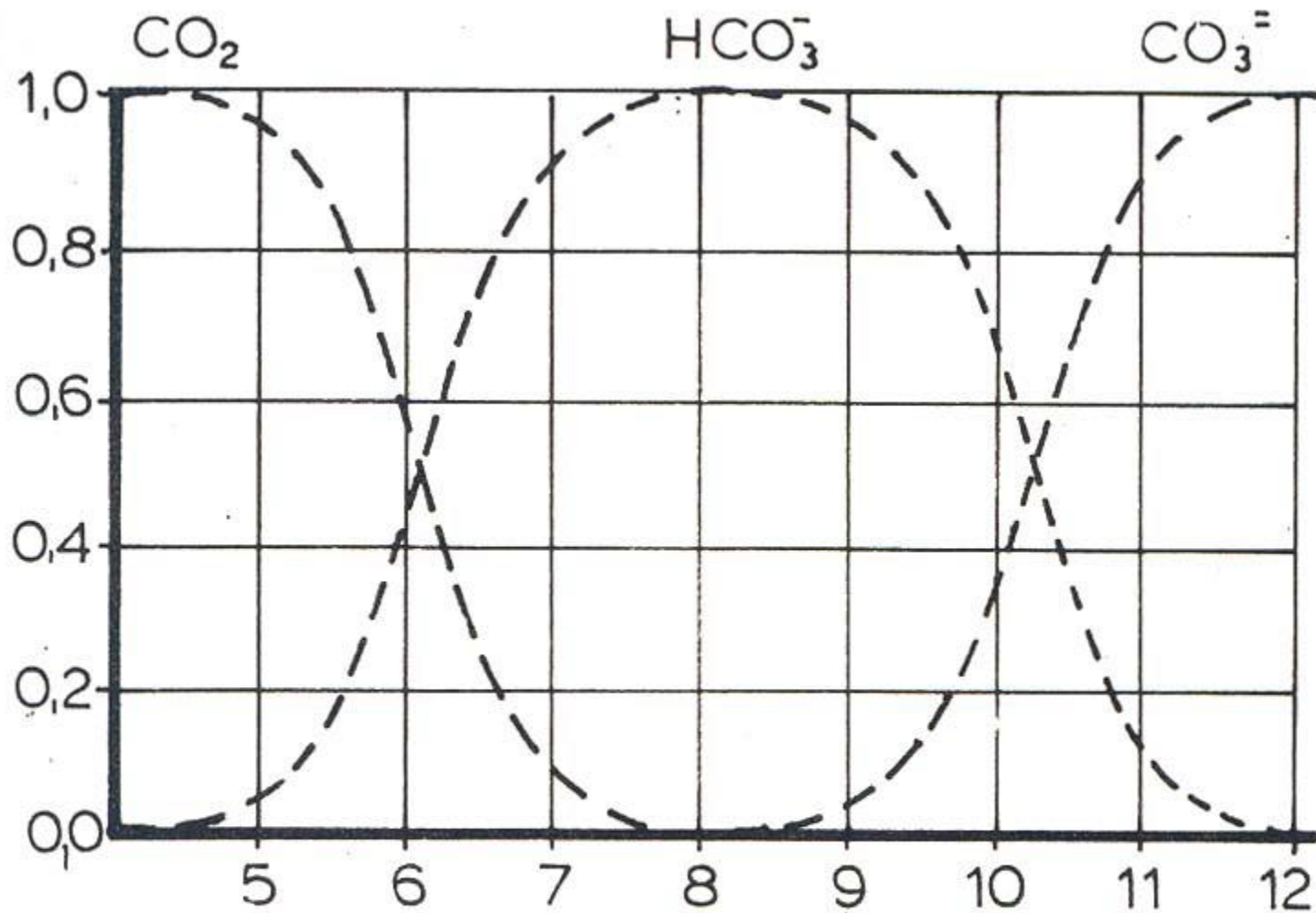


ΣΧΗΜΑ 6: Σχηματική παράσταση προσθήκης οργανικών ρυπαντών στο φυσικό ύδωρ. (Α) σημείο προσθήκης ρυπαντών, (Β) στάθμη διαλυμένου οξυγόνου DO, (Γ) στάθμη συγκέντρωσεως ρυπαντού.

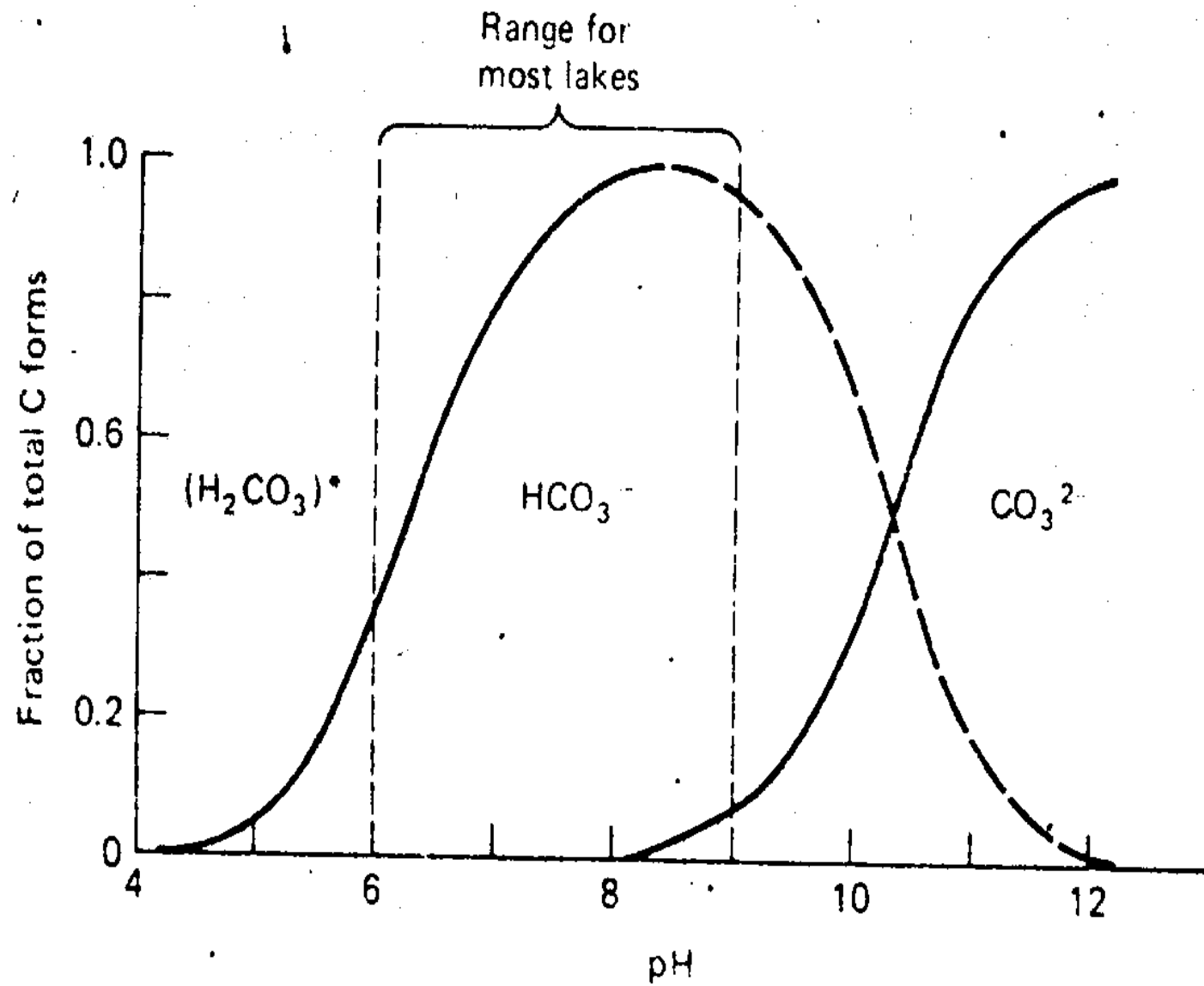
# Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

- Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι προϊόν της αναπνοής και από τα φυτά και από τα ζώα
- Παρέχει τη σημαντικότερη πηγή άνθρακα για τη φωτοσύνθεση και στις περισσότερες περιπτώσεις παρουσιάζει **αντίστροφη σχέση με το οξυγόνο.**
- Εισέρχεται στο γλυκό νερό είτε με τη διάχυση από τον αέρα είτε από όλες τις ενώσεις ανθρακικών ή διττανθρακικών αλάτων, οι οποίες προέρχονται από τη διάλυση των ιζηματογενών πετρωμάτων ή σχηματίζεται κατά την αναπνοή.
- Η διαλυτότητά του στο ύδωρ είναι 200 φορές αυτής του οξυγόνου. Όταν διαλύεται στο ύδωρ, παράγει το ανθρακικό οξύ (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), το οποίο διασπάται σε διάφορα κλάσματα (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ανάλογα με τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (**pH**).





**ΣΧΗΜΑ 5.** Κατανομή μοριακών κλασμάτων  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{CO}_3^{=}$  συναρτήσει του pH



# CO<sub>2</sub>

- Τα ακριβή επίπεδα **CO<sub>2</sub>** ποικίλλουν με τη **θερμοκρασία** και με την **ιοντική δύναμη** του ποταμού ή της λίμνης.
- Το ελεύθερο **CO<sub>2</sub>** απαραίτητο να διατηρήσει **HCO<sub>3</sub>** - σε διάλυμα καλείται **CO<sub>2</sub> ισορροπία**.
- Στα κατάντη από ιδιαίτερα παραγωγικούς ποταμούς ή στις λίμνες, οι αυξήσεις των μακροφύτων και των μικροβενθικών φυκών μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις συγκεντρώσεις του **CO<sub>2</sub>** και παρεκκλίσεις από την ατμοσφαιρική ισορροπία

# CO<sub>2</sub>

- Τα περισσότερα φυτά μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο το CO<sub>2</sub> για τη φωτοσύνθεση που προέρχεται από διάχυση μέσω του αέρα κοντά στην επιφάνεια ή από HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> σε μεγάλα βάθη.
- Έλλειψη CO<sub>2</sub>

**Το περιοριστικό στάδιο στη λύση του διοξειδίου του άνθρακα είναι η υδάτωση-αφυδάτωση του διοξειδίου του άνθρακα σε ανθρακικό οξύ.** Αυτή η αντίδραση μπορεί να περιορίσει τη φωτοσύνθεση κατά τη διάρκεια των ήρεμων ημερών στα πολύ παραγωγικά ύδατα, όπου οι απαιτήσεις των φυτών είναι μεγάλες από τα ελεύθερα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα.

# Περίσσεια CO<sub>2</sub>

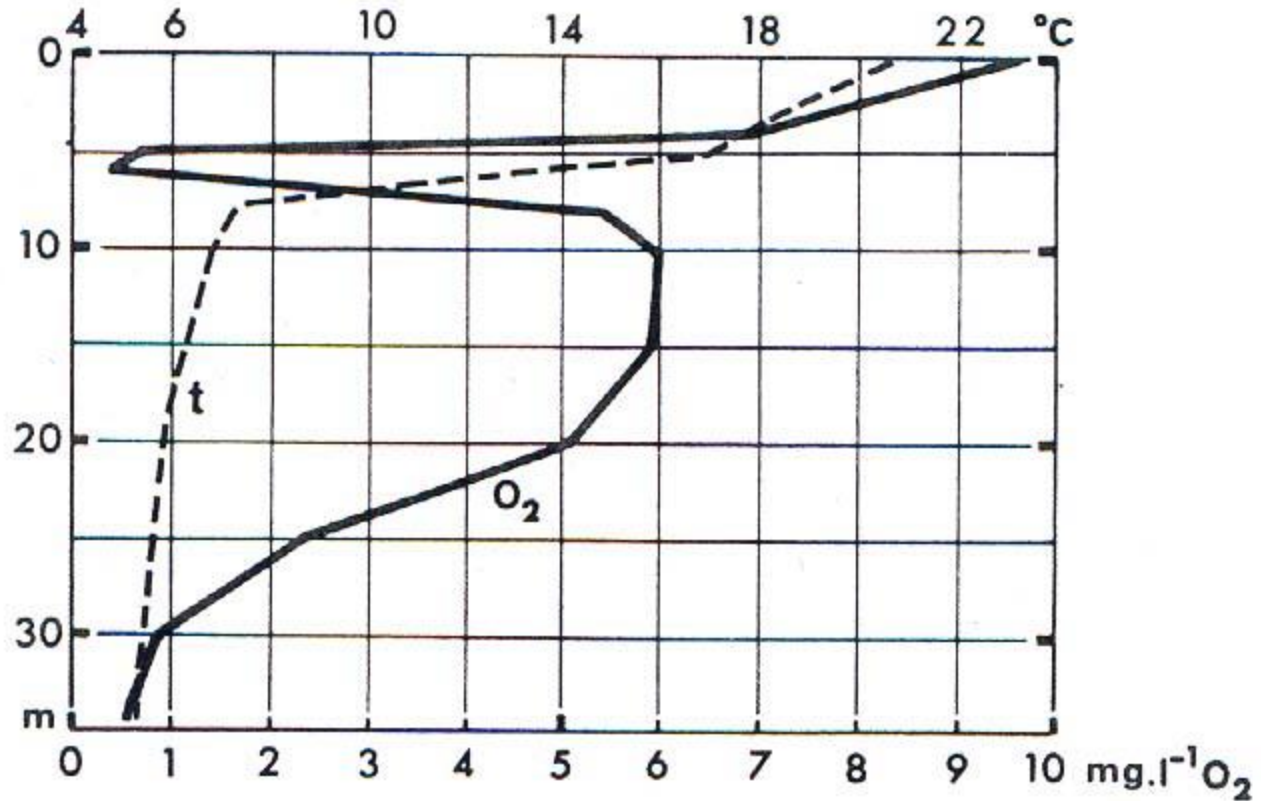
- Επιπλέον, στην περίπτωση όπου υπάρχει σημαντικό οργανικό φορτίο σε έναν μεγάλο ποταμό, η διάχυση του CO<sub>2</sub> από τον ποταμό ή απορρόφηση κατά τη φωτοσύνθεση μπορεί να είναι μικρότερη από το ποσό που παράγεται μέσω της αναπνοής των μικροοργανισμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη σχετική πίεση του CO<sub>2</sub>, η οποία μπορεί να είναι 20 φορές μεγαλύτερη αυτής της ατμοσφαιρικής.

## Εποχικότητα στα επίπεδα οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα

- Σε ιδιαίτερα παραγωγικά ύδατα (αργά κινούμενοι ποταμοί με άφθονα μακρόφυτα) **το οξυγόνο είναι αυξημένο και το διοξείδιο του άνθρακα μειωμένο κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ αντιστροφή εμφανίζεται τη νύχτα.** Τέτοιες αλλαγές δείχνουν τον ισχυρό βιολογικό έλεγχο των συγκεντρώσεων αυτών των αερίων. Σε περίπτωση απουσίας τέτοιου βιολογικού ελέγχου, το οξυγόνο θα ακολουθήσει το αντίθετο σχέδιο.

# Μέτρηση του O<sub>2</sub>

- Το ποσό του οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα παρέχει ένα κατάλληλο μέτρο της οργανικής παραγωγής προϊόντων, της αποσύνθεσης και του οργανικού εμπλουτισμού του ύδατος.
- Οι συγκεντρώσεις οξυγόνου μπορούν να μετρηθούν είτε με τη μέθοδο Winkler, η οποία είναι μια απλή οξυγονοαναγωγική μέθοδος, ή με έναν ευαίσθητο αισθητήρα με μεμβράνη.
- Σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ σχετικά με τα επίπεδα οξυγόνου στο πόσιμο ύδωρ, ο κορεσμός πρέπει να είναι τουλάχιστον 75%.



Εικόνα 20. Ετεροβαθμική αρνητική διανομή του οξυγόνου στη λίμνη Sakrowersee (Γερμανία) στις 25 Αυγούστου 1929 (από Dussart, 1966 κατά Antonescu, 1931).



# Μέτρηση του CO<sub>2</sub>

- Το CO<sub>2</sub> δεν προσδιορίζεται συχνά
- Ο συνολικός ανόργανος άνθρακας μετριέται εύκολα με τιτλοδότηση.
- Το CO<sub>2</sub> στο ύδωρ συνήθως δεν υπερβαίνει 10 ml/l.
- Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσής της είναι τιτλοδότηση και είναι βασισμένη στην αντίδρασή της με Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ή NaOH και το σχηματισμό NaHCO<sub>3</sub>.
- Δεδομένου ότι μια από τις πηγές του CO<sub>2</sub> στα γλυκά νερά είναι οι ενώσεις ανθρακικών και διττανθρακικών αλάτων, οι υψηλές συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> μπορούν να φανούν στην αλκαλικότητα και είναι συνήθως ενδεικτικές των παραγωγικών υδάτων.

# Αλκαλικότητα, Σκληρότητα

- **Η αλκαλικότητα** αναφέρεται στην ποσότητα και τα είδη ενώσεων που μετατοπίζουν συλλογικά το pH σε αλκαλικό. Συνήθως εκφράζεται σε mg/l CaCO<sub>3</sub> και η μέτρησή της γίνεται με τιτλοδότηση.
- **Η αλκαλικότητα συσχετίζεται πολύ με τα είδη υδρόβιας ζωής που θα επιζήσει στο ύδωρ.**
- **Προσοχή: για τη σκληρότητα μετριοούνται άλατα ασβεστίου και μαγνήσιου που δεν είναι μόνο ανθρακικά ή διττανθρακικό άλατα.**

# pH

- Συνήθως το pH των ποταμών κυμαίνεται από 6,4 έως 8,3,
- **HCO<sub>3</sub>** - είναι το πιο κοινό είδος ανθρακικού άλατος που βρίσκεται στα φυσικά ύδατα.
- Η συγκέντρωση αυτών των ιόντων συσχετίζεται έντονα με τις συγκεντρώσεις ασβεστίου ++ που απεικονίζουν τη διάβρωση των ασβεστόλιθων (CaCO<sub>3</sub>) και των δολομιτών (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>). Όταν αυτά τα πετρώματα είναι παρόντα ο κίνδυνος να αυξηθεί η οξύτητα είναι χαμηλός.
- Η κατανομή του διττανθρακικού άλατος ακολουθεί το ίδιο σχέδιο με αυτό του ιόντος ασβεστίου ++.
- Στα ρυάκια (< 100 km<sup>2</sup>) οι συγκεντρώσεις του HCO<sub>3</sub> - κυμαίνονται από 0 έως 350 mg L<sup>-1</sup>, ενώ σε μεγάλους ποταμούς (100.000 km<sup>2</sup>), η συγκέντρωση κυμαίνεται από 10 έως 170 mg L<sup>-1</sup>.

# BOD 5

- Η βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD 5) μετριέται επίσης προκειμένου να αξιολογηθεί το οργανικό φορτίο. Το BOD είναι μια εμπειρική μέτρηση και εστιάζει στο οξυγόνο που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να αποσυνθέσει το οργανικό φορτίο. Εάν το οργανικό φορτίο αυξάνεται, κατόπιν το καταναλωμένο οξυγόνο για την αποσύνθεσή του θα αυξηθεί επίσης. Στους ποταμούς,  $BOD > 2,5 \text{ mg/l}$  δείχνει το οργανικό φορτίο.

Άντιστοιχία ρυπαντών ανθρώπινης και ζωϊκής δραστηριότητας σε BOD.

Πηγή	Ίσοδυναμία σε τιμές BOD
Άνθρωπος	1.0
Πουλερικό	0.1
Χοίρος	1.9
Πρόβατο	2.5
Άλογο	11.3
Άγελάδα	16.4

### Τιμές BOD υδάτων

---

Υδατα ποταμών χωρίς ρύπανση	<1	mg.l <sup>-1</sup>
Υδατα ποταμών που έχουν ρυπανθεί	>10	"
Υδατα αποβλήτων μετά την κατεργασία	10-20	"
Υδατα οικιακών κ' βιομηχ. αποβλήτων	300-5000	"
Επιτρεπτά όρια στην Β. Ελλάδα	30	"

---

## Χαρακτηριστικές τιμές COD και BOD όρισμένων αποβλήτων

Προέλευση απόβλητου	COD μέ $K_2Cr_2O_7$ ( $O_2 mg.l^{-1}$ )	BOD ( $O_2 mg.l^{-1}$ )
Άκατέργαστα λύματα (οίκιακά)	420	360
Βιομηχ. Γάλακτος	700-5600	500-4200
Βιομηχ. Έπεξεργασίας Ξύλου	2400	780
Βιομηχ. Κελλουλόζης	800	300
Βιομηχ. Ζαχάρεως	2000	1800
Βιομηχ. Κονσερβ. Λαχανικών	—	100-300
Βαφεία	—	300-600
Σφαγεία (αίμα μόσχου)	234000	167000

# Αγωγιμότητα

- Η αγωγιμότητα ενός δείγματος νερού είναι **ένα μέτρο της δυνατότητάς του να φέρει ένα ηλεκτρικό φορτίο**. Οι περισσότερες ακαθαρσίες (τα ολικά αιωρούμενα στερεά) στο ύδωρ, τόσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητά του.
- Με τη μέτρηση της αγωγιμότητας, το ποσό των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) στο δείγμα μπορεί να καθοριστεί. Για να μετατραπεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα (microSiemens/cm) μιας δειγματοληψίας ύδατος στη συγκέντρωση των συνολικών διαλυμένων στερεών (PPM) στο δείγμα, θα πρέπει η αγωγιμότητα να πολλαπλασιαστεί με έναν παράγοντα μεταξύ 0,54 και 0,96 για τα φυσικά ύδατα. Η αξία αυτού του παράγοντα εξαρτάται από τον τύπο διαλυμένων στερεών. Μια ευρέως αποδεκτή τιμή όταν δεν καθορίζετε τον τύπο διαλυμένων στερεών είναι 0,67.
- $TDS (PPM) = \text{αγωγιμότητα (microSiemens/cm.)} \times 0,67$



# TDS (ολικά διαλυμένα στερεά)

Το TDS είναι το σύνολο αιρούμενων ιόντων (συν το πυρίτιο -  $\text{SiO}_2$ ) στο ύδωρ. Το TDS μεταβάλλεται στα επιφανειακά ύδατα και δεν υπάρχει επιτρεπτό όριο για την εκτίμηση του επιπέδου ρύπανσης.

**Το περιεχόμενο των διαλυμένων αλάτων** ρυθμίζονται από τη διάβρωση μερικών βασικών ορυκτών (φυσικού άλατος, γύψος, ανθρακικά άλατα και πυριτικά άλατα, κατά φθίνουσα σειρά ως προς τη διαλυτότητα). Γι αυτό **τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) και το ιοντικό περιεχόμενο συνδέεται με τους τύπους των πετρωμάτων.** Τα διαλυτά ορυκτά δεν βρίσκονται στις μεταμορφωμένα πετρώματα ούτε στα ηφαιστειακά πετρώματα όπου τα πυριτικά άλατα είναι αποσαθρωμένα . Ως εκ τούτου τα ύδατα τείνουν να είναι χαμηλά σε TDS. TDS μπορούν, εντούτοις, να είναι αυξημένα όπου εισάγονται υδροθερμικά υπόγεια νερά .

# TDS

- Οι συγκεντρώσεις των TDS είναι γενικά αντιστρόφως ανάλογες προς την παροχή των ποταμών (Q). Αυτή η σχέση είναι το αποτέλεσμα της μίξης περισσότερων μεταλλοποιημένων υπόγειων νερών που εξουσιάζουν κατά τη διάρκεια της χαμηλής ροής, με τα πιο αραιά επιφανειακά ύδατα. Αυτή η αντίστροφη σχέση γίνεται φανερή όταν το εποχιακό TDS συνδυαστεί με τις αντίστοιχες παροχές.
- Οι σχετικές διακυμάνσεις μπορούν να είναι αρκετά υψηλές: από 30% για τους ποταμούς με τα χαμηλά επίπεδα TDS (Sagami, Tennessee) σε 200% ή ακόμα και 400% για τους πιο αλατούχους ποταμούς (Έβρος, Murray).
- Το TDS μπορεί να αυξηθεί αναλογικά με την παροχή (Q) στις ξηρές περιοχές όπου η διάλυση των αλατισμένων καταθέσεων μπορεί να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια του σταδίου της πλημμύρας.

**Πίν. 3.2.** Φυσικές και χημικές παράμετροι.

<b>Παράγοντας</b>	<b>Τιμή</b>
D.O. (%)	70.8
D.O. (mg/l)	7.04
D.O. (mg/l) (BOD)	6.9
pH	7.74
Θ (° C)	15.8
Αγωγιμότητα (mS/cm)	1.769
TDS (g/l)	1.150
Θολερότητα (NTU)	-0.2
Αλατότητα (ppt)	0.9
Ιξώδες (mV)	207.1
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	40.76
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	0.286
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	0.291
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	0.005
Χλωροφύλλη (μg/L)	1.1

Πίν. 3.1. Ροή και βάθος κατά μήκος της διατομής του ποταμού.

Απόσταση (m)	0	0.40	0.80	1.20	1.60	2	2.40	2.80	3.20	3.60	4
Βάθος (cm)	5	6	12	12	10	11	14.50	13	16	14	0
Ροή (m/s)	0	0	0.37	0.45	0.72	0.71	0.91	1	0.92	0.01	0