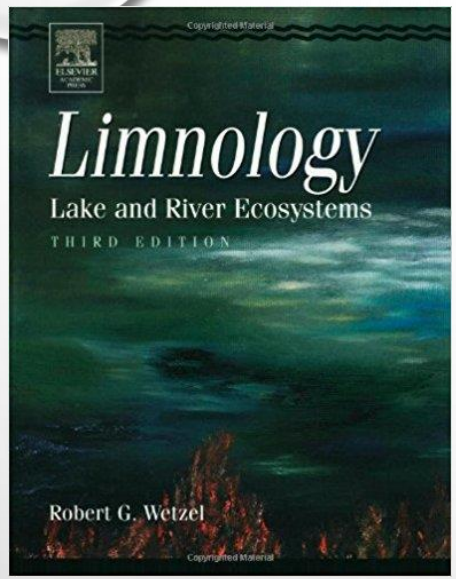
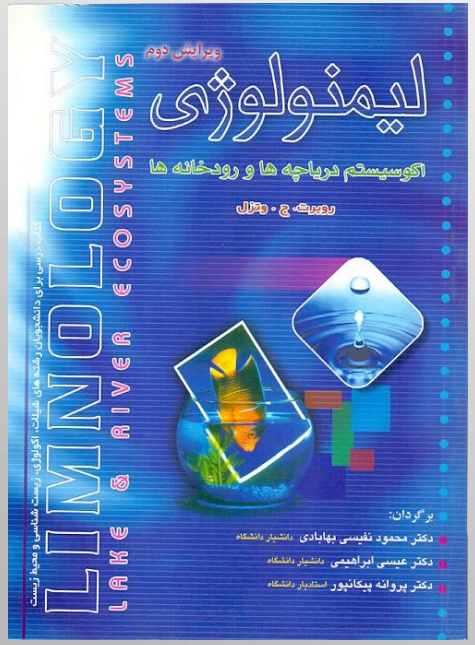
منابع



Limnology
3rd Edition
Lake and River Ecosystems
Authors: Robert Wetzel
eBook ISBN: 9780080574394
Hardcover ISBN: 9780127447605
Imprint: Academic Press
Published Date: 10th May 2001
Page Count: 1006



لیمنولوژی (اکوسیستم دریاچه ها و رودخانه ها)

ترجمه: محمود نفیسی بهابادی، عیسی ابراهیمی و پروانه پیکانور
ناشر: نورگستر
تاریخ نشر: ۲۸ دی، ۱۳۸٤
تعداد صفحه: ٤١٦
شابک: ۹٦٤-۹٤۳٤۸-۷-۹

لیمنولوژی (Limnology):

ریشه لغوی لیمنولوژی از Limnos به معنی گودال و چاله و Logy به معنی شناختن است.

در واقع علم مطالعه مجموعه آب های شیرین و شور موجود در بخش خشکی های کره زمین است که اصطلاحاً به آن ها **آب های داخلی** (Inland waters) می گویند.

نقطه مقابل علم لیمنولوژی، اقیانوس شناسی (Oceanography) است که آبهای باز و اقیانوسی را مورد مطالعه قرار می دهد.

همچنین باید توجه داشت علم مطالعه موجودات زنده در اکوسیستم های آبی را اصطلاحاً هیدروبیولوژی (Hydrobiology) می گویند.

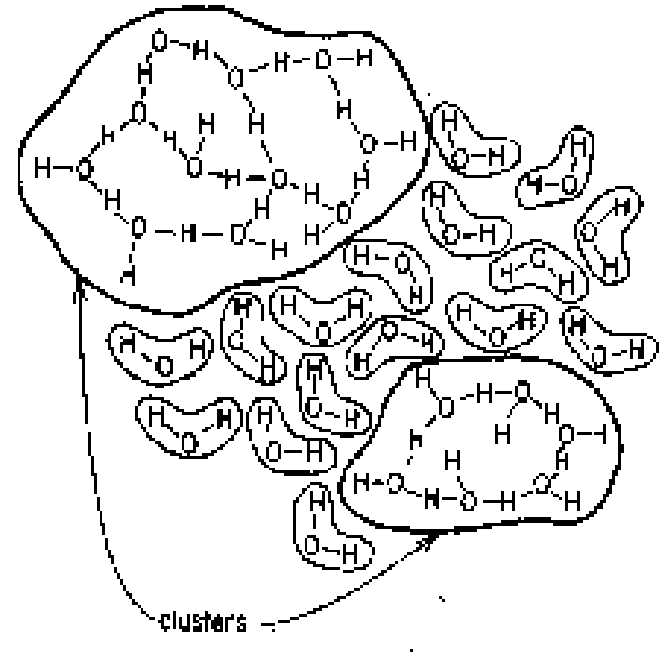
پراکندگی و گستردگی اکوسیستم های آبی

مجموعه ذخایر آبی موجود در کره زمین را هیدروسفر (Hydrosphere) یا کره آبی می گویند.
اقیانوس ها و دریاها ۹۷/۶ درصد حجم آب هیدروسفر را به خود اختصاص می دهند و ۲/۴ درصد باقیمانده به عنوان آب های داخلی در سطح قاره ها پراکنده اند.

منبع آبی	حجم ($km^3.10^3$)	درصد از کل	مدت زمان تجدید
اقیانوس	۱۳۷۰۳۲۳	۹۷/۶۱	۳۱۰۰ سال
یخ و برف	۲۹۰۰۰	۲/۰۸	۱۶۰۰۰ سال
آبهای زیر زمینی (تا عمق ۱ کیلومتر)	۲۰۶۷	۰/۲۹۵	۳۰۰ سال
رطوبت خاک	۶۷	۰/۰۰۵	۲۸۰ روز
بخار آب اتمسفر	۱۴	۰/۰۰۰۹	۹ روز
دریاچه آب شیرین	۱۲۶	۰/۰۰۹	۱-۱۰۰ سال
دریاچه آب شور	۱۰۲	۰/۰۰۸	۱۰-۱۰۰۰ سال
رودخانه	۱/۲	۰/۰۰۰۰۹	۱۲-۲۰ روز
رطوبت موجود در گیاهان و جانوران	۶۵	۰/۰۰۵	-

ساختمان و خواص فیزیکی آب

برخی خصوصیات فیزیکی آب	
چگالی (بر حسب kg/m^3) در ۲۵ درجه سانتیگراد	۹۹۷/۰۷۵
حداکثر چگالی (بر حسب kg/m^3)	۱۰۰۰/۰۰
دمایی که در آن حداکثر چگالی را دارد (بر حسب درجه سانتیگراد)	۳/۹۴۰
دمای نقطه انجماد در فشار یک اتمسفر (بر حسب درجه سانتیگراد)	۰/۰۰
دمای نقطه جوش (بر حسب درجه سانتیگراد)	۱۰۰/۰۰
ظرفیت گرمایی ویژه (در ۱۵ درجه سانتیگراد) بر حسب $J/cmsC^o$	۰/۰۰۵۶۹
کشش سطحی (در ۲۵ درجه سانتیگراد) N/m	۷۱/۹۷*۱۰$^{-۳}$
ثابت دی الکتریک (در ۲۵ درجه سانتیگراد)	۷۸/۵۴



از نظر ساختاری، مولکول های آب بوسیله پیوندهای هیدروژنی یک سری اجتماعات مولکولی تشکیل می دهند که به آن ها کلاستر (Cluster) گفته می شود.

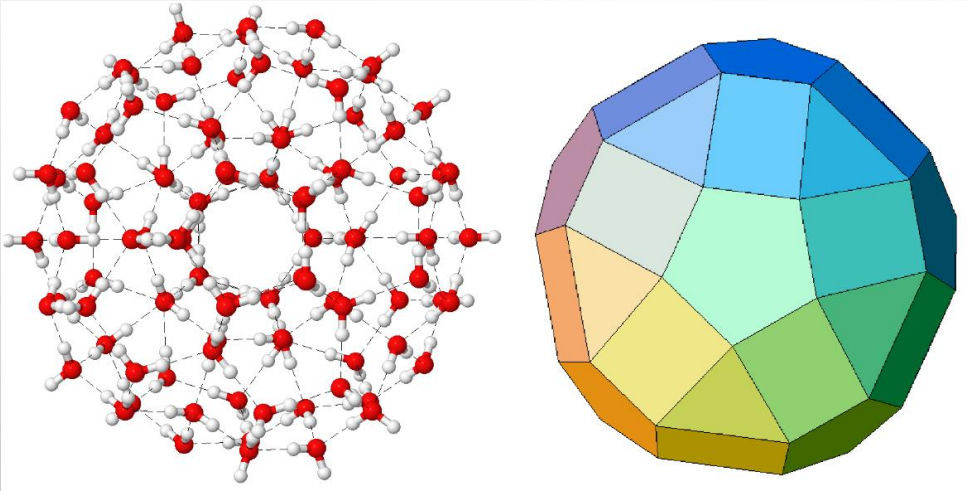
تعداد و بزرگی کلاسترها به شدت به دمای آب بستگی دارد، بطوریکه با سردتر شدن آب از تعداد مولکولهای منفرد کم و به تعداد کلاسترها افزوده می شود.

همچنین هر چه دمای آب کمتر باشد اندازه کلاسترها بزرگتر است، مادامی که در حالت یخ بزرگترین ساختار کلاستری مشاهده می شود و مولکول منفرد H_2O دیده نمی شود.

ارتباط بین دمای آب و تعداد مولکول های موجود در یک کلاستر

دمای آب	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۱۰۰
تعداد مولکولهای موجود در یک کلاستر	۶۴/۹۶	۴۹/۲۵	۳۸/۳۷	۳۰/۲۴	۲۴/۲۵	۱۹/۲۸	۱۱/۷

کلاسترها که به صورت آزادانه در داخل آب حرکت می کنند با کاهش دمای آب بی حرکت تر شده و در **حالت انجماد** یک شبکه شیشه ای و درخشان به نام Tridymite به وجود می آورند.



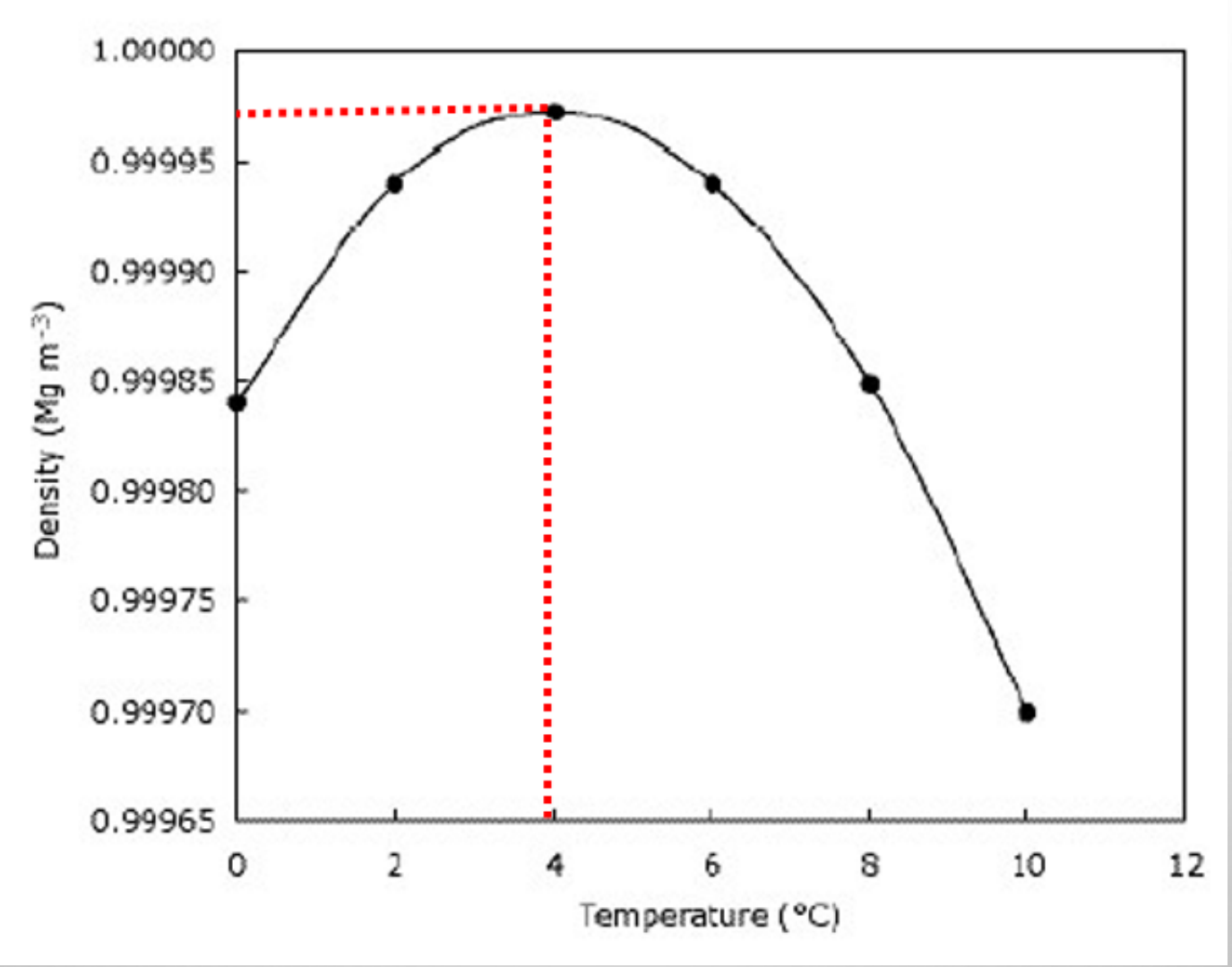
پارامترهای مهم فیزیکی آب

❖ **وزن مخصوص یا چگالی:**

در پروفیل طولی دریاچه ها باعث ایجاد طبقات مختلف می شود (لایه سبکتر در بالا و لایه سنگین تر در پایین) که از نظر زیستی بسیار مهم است.

چگالی آب تحت تأثیر عوامل زیر است:

۱) **درجه حرارت:** بیشترین تأثیر را روی وزن مخصوص در **آبهای شیرین** دارد. آب در دمای ۳/۹۴ درجه سانتیگراد (تقریبا ۴ درجه) بیشترین وزن مخصوص را دارد و آب های سردتر و گرمتر از این دما، وزن مخصوص کمتری دارند. هر چقدر درجه حرارت آب افزایش می یابد اختلاف چگالی با شتاب بیشتری رخ می دهد. برای مثال اختلاف چگالی آب در دمای ۲۴ و ۲۵ درجه سانتیگراد حدوداً ۳۰ برابر اختلاف چگالی در دمای ۴ و ۵ درجه است.


1.00000
0.99995
0.99990
0.99985
0.99980
0.99975
0.99970
0.99965
Density (Mg m-3)
0
2
4
6
8
10
12
Temperature (°C)

تفسیر شکل:

در ساختار آب به هنگام انجماد (دمای صفر) هر اتم اکسیژن توسط ۴ اتم هیدروژن محصور می شود و یک ساختار ۴ وجهی را نشان می دهد. به همین دلیل یخ در حالت جامد با افزایش حجم (۱۲ درصد حجم آن افزایش می یابد) مواجه شده و وزن مخصوص آن کمتر از آب در حالت مایع است.

سپس با حرارت دادن یخ ابتدا شبکه های ۴ وجهی فرو می ریزد و حجم آن کمتر و وزن مخصوص آن زیادتر می شود. این عمل تا دمای تقریباً ۴ درجه ادامه می یابد و بعد از آن با افزایش حرارت فضای مولکولی افزایش یافته و درنتیجه وزن مخصوص کاهش می یابد. این ویژگی آب که بیشترین وزن مخصوص خود را در دمایی بالاتر از نقطه انجماد دارد به **چگالی غیر معمول آب** معروف است. اگر چگالی غیر معمول آب **نبود**، تمام دریاچه ها از بستر یخ می زدند و حیات موجودات آبزی به خطر می افتاد (در این حالت دمای آب اعماق دریاچه ها به کمتر از ۴ درجه نمی رسد).

۲) املاح محلول در آب:

- با افزایش املاح محلول در آب متعاقباً وزن مخصوص نیز افزایش می یابد، اما این رابطه به صورت خطی نیست. وزن مخصوص آب خالص ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و وزن مخصوص آب دریا تقریباً ۱۰۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب است. در آبهای شور مهمترین فاکتور تأثیرگذار بر وزن مخصوص آب، میزان املاح موجود در آب است.

  افزایش هر واحد شوری آب باعث می شود دمایی که در آن حداکثر وزن مخصوص آب مشاهده می گردد به میزان ۰/۲ درجه سانتیگراد کاهش یابد. برای مثال آب دریا با شوری ۳۵ گرم در لیتر در دمای ۳/۵۳ – سانتیگراد بیشترین چگالی را دارد. در حالی که آب دریا در دمای ۱/۹۴ – منجمد می شود. در این حالت آب های سرد دریاها قابلیت ته نشین شدن را دارند و با به سطح آمدن آب های گرم یخ زدن آب دریاها به تعویق می افتد.

۳) فشار:

به ازای افزایش هر ۱۰ اتمسفر فشار آب (معادل ۱۰۰ متر عمق) ۰/۱ درجه سانتیگراد از دمای حداکثر وزن مخصوص کاسته می شود. بنابراین فشار فقط در دریاچه های خیلی عمیق می تواند روی درجه حرارت حداکثر وزن مخصوص آب تأثیرگذار باشد.

❖ چسبندگی و پیوستگی (Adhesion and Cohesion):

- از منظر زیستی نحوه عمل و رفتار مولکول های آب در برابر اجسامی که در آب قرار می گیرند بسیار مهم است. به طوری که اگر نیروی پیوستگی (جاذبه) بین مولکول های آب کمتر از نیروی چسبندگی بین مولکول های آب و جسمی که در آن قرار دارد، باشد جسم خیس می شود و اصطلاحاً به آن **آبدوست یا Hydrophilic** گفته می شود. در موجوداتی که در زیرسطح آب تنفس می کنند (اصطلاحاً به آنها **Hypopneustic** می گویند) مانند ماهی ها، خرچنگ ها و ... سطح برانش ها و حتی کل سطح بدن هیدروفیل است.

برعکس، اگر نیروی پیوستگی بیشتر باشد **جسم آب گریز یا Hydrophobic** است. در موجودات **Epipneustic** (موجوداتی که در سطح آب قرار دارند و تنفس هوازی دارند) و **Meta-pneustic** (بی مهرگان آبزی که زندگی وابسته به سطح دارند مانند عنکبوت آبی (*Argyroneat aquatica*) و...) سطوح هیدروفوبی وجود دارد تا ارتباط بین اندام گیرنده هوا و اتمسفر را به سرعت فراهم کند.

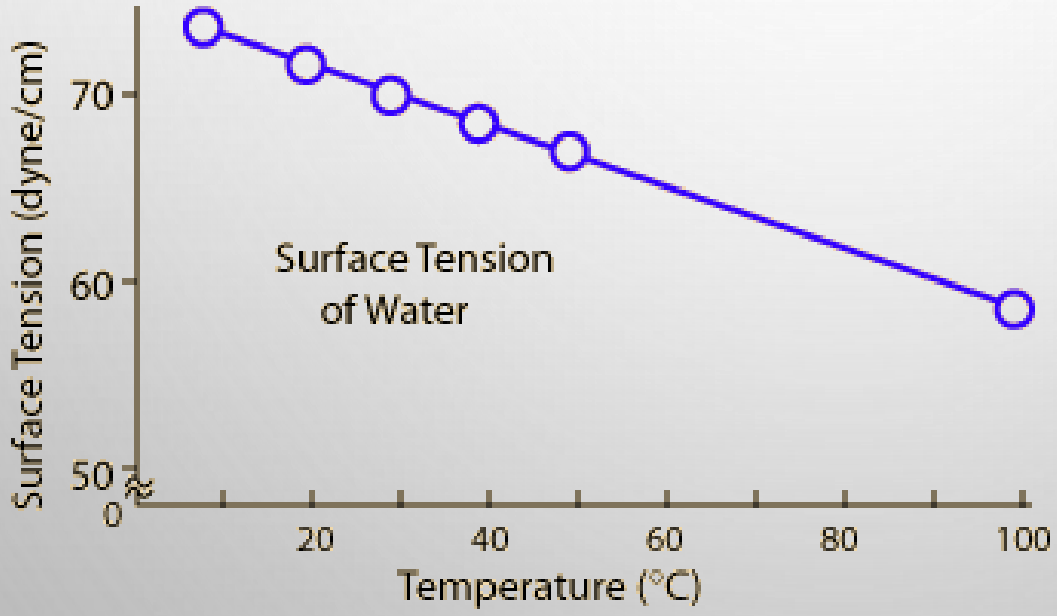
عنکبوت آبی یا Water spider

ARKive
www.arkive.org

❖ **کشش سطحی(Surface tension):**

کشش سطحی آب به دو عامل درجه حرارت و مقدار املاح آب بستگی دارد. این پارامتر به دلیل پیوندهای هیدروژنی و پیوستگی مولکول های آب به وجود می آید.

به طور کلی با افزایش درجه حرارت کشش سطحی کاهش می یابد و این رابطه تقریباً خطی معکوس است.



نقش مواد محلول بستگی به ماهیت جسم حل شونده دارد. کاتیون ها و آنیون ها از آنجا که با حل شدن در آب پیوندهای یونی که با مولکول های آب برقرار می کنند قدرتمندتر از پیوندهای هیدروژنی است، باعث افزایش کشش سطحی می شوند. اما در مقابل غلظت بالای مواد دفعی ناشی از آلگ ها، آلودگی های نفتی و مواد پاک کننده به مقدار قابل توجهی کشش سطحی را کاهش می دهند.

- کشش سطحی آب برای تمام موجوداتی که در ناحیه مرزی بین آب و اتمسفر زندگی می کنند بسیار مهم است. موجوداتی مانند **Neuston** ها (جامعه زیستی از میکروارگانیسم هایی که به سطح آب چسبیده اند) و **Pleuston** ها (جامعه ای از گیاهان شناور بزرگ که روی آب یا در سطح بالایی آن قرار دارند) برای چسبیدن و حرکت کردن به این لایه مرزی وابسته هستند.

❖ ویسکوزیته (Viscosity):

- ویسکوزیته یا لزوجت عبارت است از مقاومتی که آب در مقابل جاری شدن یا سایر تغییر شکل ظاهری از خود نشان می دهد و مقدار آن برابر نیرویی است که برای به جلو راندن یک جسم مکعبی شکل به وزن ۱ گرم در طول ۱ ثانیه و به اندازه ۱ سانتیمتر مورد نیاز است و واحد آن پویس (**Poise**) است.

این بدین معنی است که حرکت لایه های مختلف آب روی هم دارای یک مقاومتی است. ویسکوزیته تحت تأثیر املاح محلول در آب و درجه حرارت آب قرار دارد. البته در محیط های آب شیرین اثر املاح محلول در آب ناچیز است.

ارتباط دمای آب با لزوجت

دمای آب (سانتیگراد)	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
درصد لزوجت	۱۰۰	۸۴/۸	۷۸/۷	۶۳/۷	۵۶	۴۹/۸-۵۰
لزوجت بر سانتی پویس	۱/۷۸۷	۱/۵۶۱	۱/۳۰۶	۱/۱۳۸	۱/۰۰۲	۰/۸۹

ویسکوزیته (لزوجت) از نظر زیستی نیز حائز اهمیت است زیرا شناوری موجودات را تحت تأثیر قرار می دهد.

سرعت سقوط موجودات آبزی به **شکل بدن، وزن، مقاومت فرم بدن، حرکات آب در لایه Epilimnion** و **لزوجت آب** وابسته است. هر چه لزوجت آب بیشتر باشد حرکت موجودات در آب با اصطکاک و صرف انرژی همراه است.

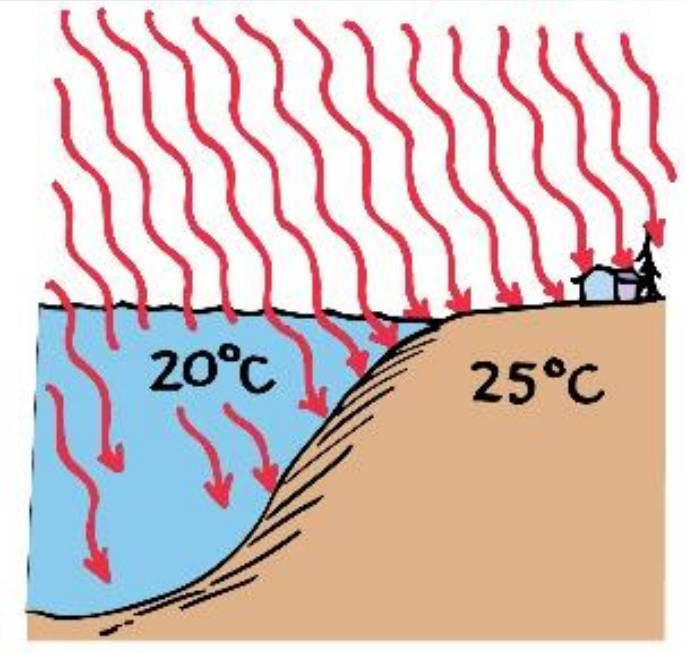
سرعت سقوط یک موجود با شنای آزاد در آب های ساکن با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد ۲ برابر آب با دمای ۰ درجه است.

همچنین در آب های جاری مثل رودخانه و نهرها، لزوجت به شکل نیروهای مکانیکی که در جهت **شستشوی ارگانیسم ها**ی جایگاه دار عمل می کند. بدین ترتیب که هر چه درجه حرارت آب سردتر باشد قدرت شستشوی آب (drifting rate) بیشتر است.

❖ گرمای ویژه آب (Specific heat):

از آن به عنوان مهمترین خصوصیت گرمایی آب یاد می شود. گرمای ویژه آب عبارت است از مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای ۱ کیلوگرم آب به اندازه ۱ درجه سانتیگراد در دمای $25\ c^{\circ}$. مقدار آن برابر ۱ کیلوکالری یا ۴/۱۸۶ KJ است.

ظرفیت گرمایی آب بسیار بالاست (که ناشی از وجود پیوندهای هیدروژنی بین مولکول های آب وساختار کلاستری آن است) و در طبیعت تنها گاز آمونیاک (KJ=۱/۲۳kcal ۵/۱۵) و هیدروژن مایع (KJ=۳/۴kcal ۱۴/۲۳) ظرفیت گرمایی بالاتری نسبت به آب دارند.



اهمیت گرمای ویژه آب در این است که یک توده آبی قادر است که میزان زیادی گرما را در خود ذخیره کند و به یک منبع عظیم حرارتی تبدیل شود. پتانسیل گرمایی یک توده آبی برابر است با حجم توده آبی × گرمای ویژه برحسب کالری.

بنابراین دریاچه ها در فصول گرم سال مقدار زیادی انرژی گرمایی در خود ذخیره می کنند و در فصول سرد این گرما به محیط پس داده می شود، و بدین ترتیب در متعادل نگه داشتن دمای محیط اطراف موثر هستند.

نکته: گرمای ذخیره شده در آب های جاری و رودخانه ها نیز به هنگام حرکت حمل می شود.

کلیمای تابش(Radiation climate):

عامل اصلی و مهم بسیاری از پدیده های لیمنولوژیک در منابع آبی تحت تأثیر تشعشعات خورشیدی می باشد و وقتی که به سطح دریاچه برخورد می کنند به دو فاکتور مهم تبدیل می شوند:

۱) گرما: دمای مورد نیاز را برای متابولیسم و سایر فعالیت های حیاتی بدن موجودات آبزی را فراهم می کند (موجودات آبزی غالباً خونسرد یا Poikilothermic هستند).

۲) نور: خواص نوری دریاچه ها شاخص مهمی در فیزیولوژی و رفتار موجودات زنده آبزی هستند. به عنوان مثال بسیاری از زئوپلانکتون ها از آنجایی که نورگریز هستند، مهاجرت های عمودی شبانه روزی (Diel vertical migration) دارند و در ساعات روز به قسمت های عمیق می آیند و با شروع تاریکی برای تغذیه به نواحی کم عمق و سطحی بر می گردند.

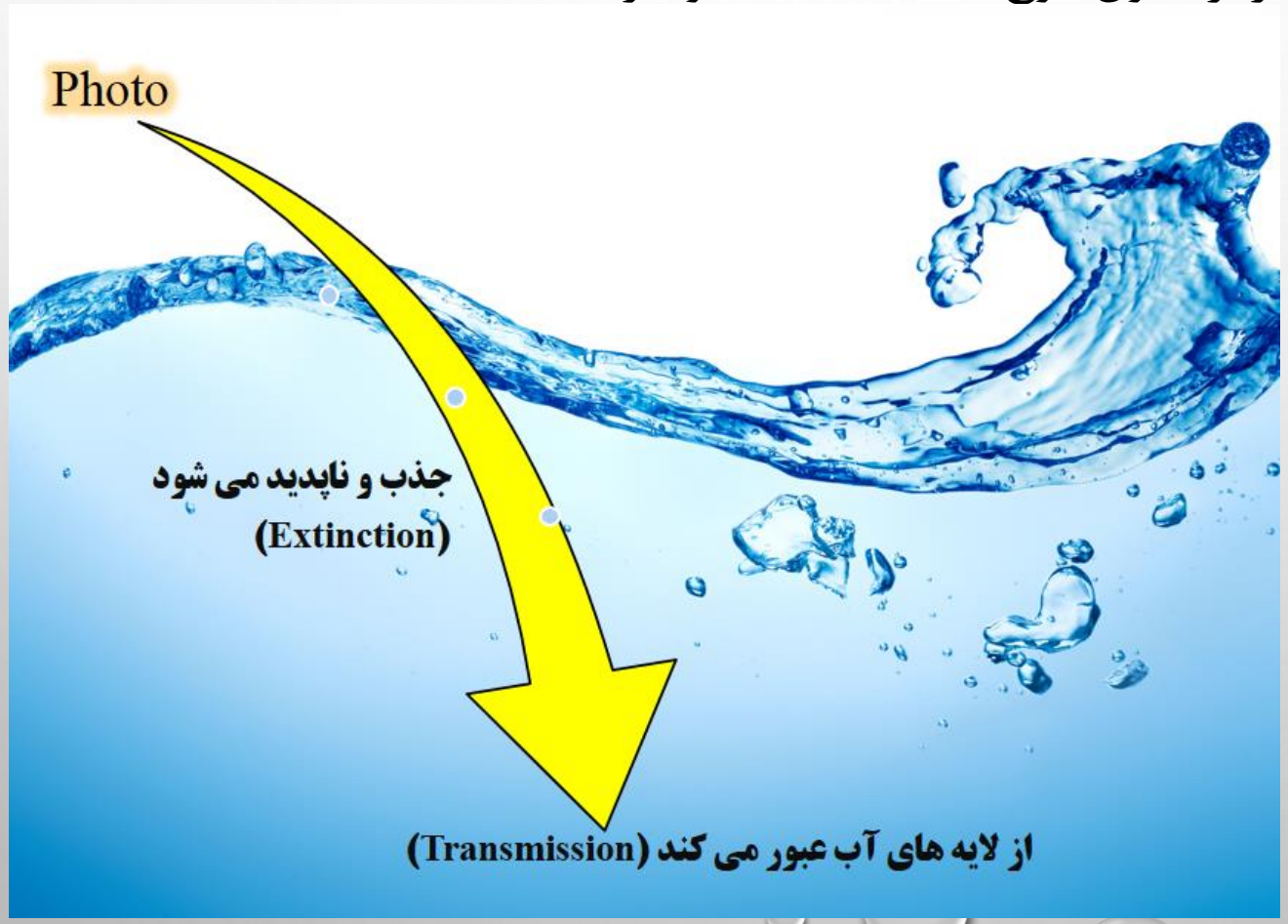
در آب های جاری نیز بسیاری از حشرات آبزی در طول ساعات روز در زیر سنگ ها و مناطق تاریک رودخانه ها به سر برده تا از دست شکارچیان خود در امان بمانند و به هنگام شب جهت تغذیه از **جلبک های سطح سنگ ها (اصطلاحاً Epilithic)** که در طول روز عمل فتوسنتز انجام داده و غنی از انرژی هستند، به سمت قسمت های بالای سنگ حرکت می کنند.

طبقه بندی اشعه های نوری بر اساس طول موج:

۱) اشعه ماوراء بنفش: طول موج ۳۸۰-۳۰۰ نانومتر (nm)

۲) نور مرئی: دامنه طول موج ۷۵۰-۳۸۰ نانومتر

۳) اشعه مادون قرمز: طول موج ۳۰۰۰-۷۵۰ نانومتر



میزان جذب (ناپدیدشدگی) نور بر حسب ضریب ناپدیدشدگی نور (Extinction coefficient) بدست می آید که این مقدار وابستگی زیادی به عمق لایه آبی دارد.

در بررسی های اکولوژیک ضریب ناپدیدشدگی (K) می تواند بیانگر وضعیت یک منبع آبی از نظر Trophy (شدت حاصلخیزی تولیدات اولیه در منابع آبی) باشد. هر چقدر ضریب ناپدیدشدگی بیشتر باشد در این صورت آب کدرتر بوده و نور به میزان کمتری در آب نفوذ می کند و حاصلخیزی آب زیادتر است. بر عکس، در آبهای شفاف مقدار K کم است و در نتیجه نور بیشتری نفوذ می کند. بنابراین در آب های عمیق مقدار K کمتر از آبهای نواحی ساحلی است.

- بر اساس قانون ریلاق (Rayleigh) پخش (عبور) نور در آب به نسبت عکس توان چهارم طول موج آن صورت می گیرد.

$$\text{پخش نور} = 1 \Big/ \text{طول موج نور}^4$$

- بدین ترتیب، تابش های با طول موج کوتاه (۶۴۰-۳۹۰ نانومتر) با شدت بیشتری پخش می شوند و جذب کمتری دارند.
- همچنین هر چقدر که زاویه تابش ها مایل تر باشد میزان انعکاس نور افزایش می یابد، به طوریکه در مناطق معتدله از کل میزان نور برخورد کرده به آب در یک روز صاف تابستانی حدود ۵ تا ۶ درصد آن به طور متوسط منعکس می شود که این رقم در زمستان به ۱۰ درصد افزایش می یابد.
- هر چقدر که نور به صورت مایل بتابد میزان انعکاس نور در ناحیه طول موج های بلندتر بیشتر است (موج قرمز بیشترین طول موج را بین نورهای مرئی دارد). به همین دلیل است که در زمان های سپیده دم و غروب، نور خورشید سرخ رنگ دیده می شود.

رابطه بین طول موج نور، ضریب ناپدید شگی و مقدار نور جذب شده

رنگ	طول موج (nm)	ضریب Extinction	نور جذب شده (٪) در هر متر
مادون قرمز	۸۰۰	۱/۸۷	۸۴/۶
قرمز	۷۲۰	۱/۰۵	۶۵/۰
نارنجی	۶۱۳	۰/۲۵	۲۲/۲
زرد	۵۶۵	۰/۰۴۳	۴/۲
سبز	۵۰۴	۰/۰۱۰	۰/۹
آبی	۴۷۳	۰/۰۰۵	۰/۴۶
بنفش	۴۰۸	۰/۰۱۰	۰/۹
ماورابنفش	۳۶۵	۰/۰۳۶	۳/۶

- بنابراین: نور مادون قرمز بیشترین میزان جذب و کمترین پخش را داراست و نور آبی کمترین میزان جذب و بیشترین میزان پخش را دارد.

- میزان پخش نور در محیط های آبی تابع **عمق آب**، **فصول مختلف سال**، **موقعیت دریاچه** و به خصوص **مواد معلق موجود در آب** است. برای مثال در دریاچه Untersee (واقع در شرق قطب جنوب) پخش نور در عمق ۱ متری معادل ۱ درصد میزان نور وارد شده است و در دریاچه Leopoldsteinersee (واقع در کشور اتریش) که گل آلودتر است پخش نور در همین عمق به ۹ درصد می رسد.

- پخش نور از نظر بیولوژیکی هم دارای اهمیت زیادی است و به وسیله آن ارگانیسم های آبزی انرژی لازم را برای انجام **عمل فتوسنتز** کسب می کنند.

Lake Untersee

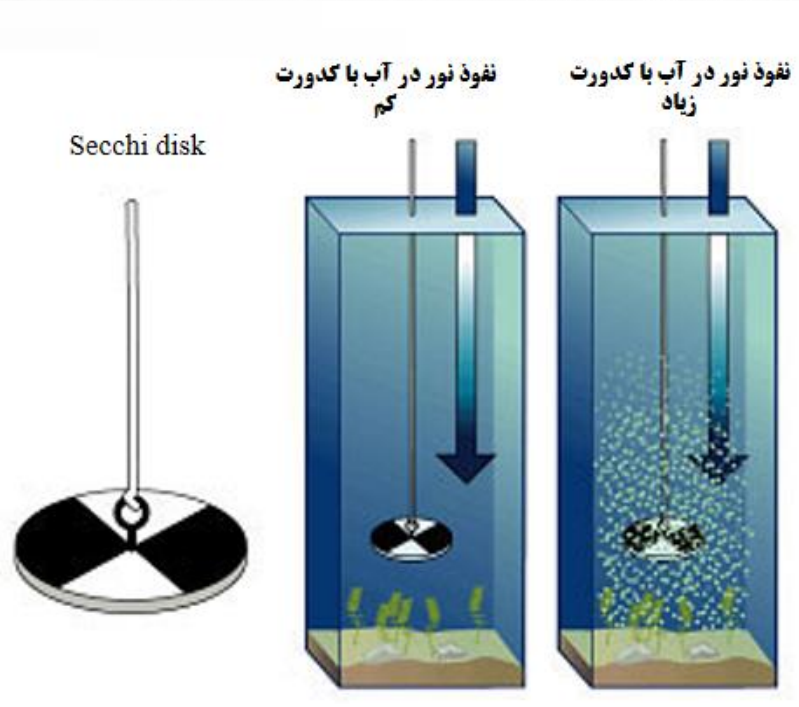
Leopoldsteinersee

- با **افزایش میزان مواد معلق** در آب میزان **جذب نور بیشتر** و در مقابل میزان **پخش نور کاهش** می یابد. به طوری که هر چقدر میزان مواد معلق کمتر باشد نفوذ نور آبی بیشتر بوده و آب به رنگ آبی دیده می شود، بنابراین حاصلخیزی این گروه از آب ها کم است. در نواحی ساحلی به دلیل وجود مواد معلق و همچنین مواد غذایی فراوان میزان تولیدات اولیه بیشتر از نواحی عمیق تر است.

- ویژگی های نوری آبهای جاری (نهرها و رودخانه ها) مانند دریاچه ها است، با این تفاوت که **میزان انعکاس نور در آبهای جاری بیشتر است** (به دلیل مواج بودن آبهای جاری). همچنین در نهرهای کوهستانی اشعه های نورانی تا کف عبور می کنند در حالی که در رودخانه های بزرگ مانند کارون به علت وجود مواد معلق نور تا عمق چند سانتیمتری عبور کرده و سپس جذب می شود.

روش های اندازه گیری میزان نور در آب:

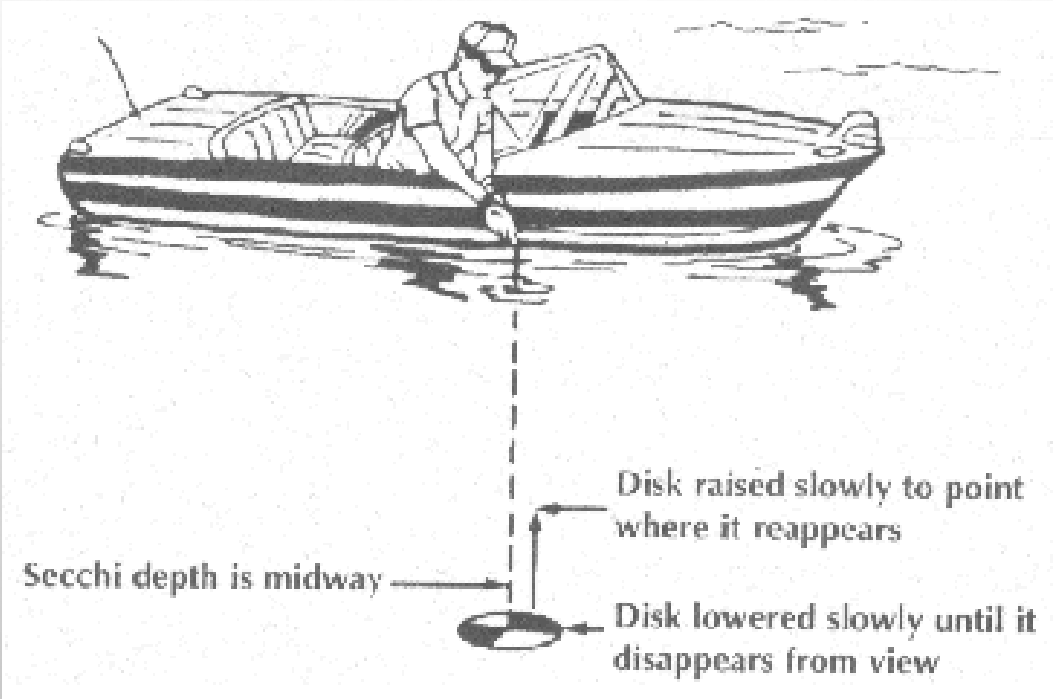
۱) Secchi disk



صفحه را به وسیله وزنه به داخل آب می فرستند و عمقی را که صفحه ممکن است در آن قابل رویت باشد و عمقی نیز که غیر قابل رویت می شود را ثبت می کنند و از طریق معادله زیر عمق شفافیت آب (Transparency depth) را محاسبه می کنند.

$$T = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

عمق شفافیت آب در منابع دریایی و دریاچه ای بر حسب متر بیان می شود، اما در استخرهای پرورش ماهی به صورت سانتیمتر است.


Disk raised slowly to point where it reappears
Secchi depth is midway
Disk lowered slowly until it disappears from view

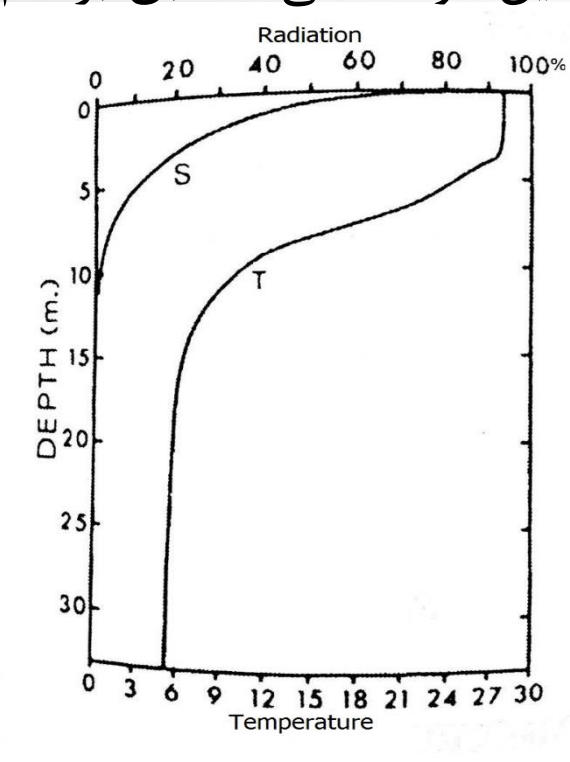
۲) سلول های فتوالکتریک (Photoelectric cells)

مبنای کار این سلول ها بر اساس شدت تابش نور است. در این روش می توان از انواع فیلترهای مختلف مانند آبی، سبز، زرد و ... استفاده کرد و طیف نوری مورد نظر را در اعماق مختلف رصد کرد. این سلول ها نهایتاً به یک گالوانومتر وصل می شوند و هر چه عدد مشاهده شده روی آن بیشتر باشد، میزان شفافیت نور بیشتر است.

Galvanometer

شرایط گرمایی در محیط های آبی

- همانطور که پیش تر نیز گفته شد قابلیت هدایت (انتقال) گرمایی آب بسیار کم و نا چیز است و انتقال گرما به اعماق عمدتاً به واسطه جریانات آب صورت می گیرد. این موضوع به راحتی از مقایسه منحنی های جذب اشعه و درجه حرارت در اعماق مختلف آب قابل فهم است به طوری که این دو منحنی منطبق بر هم نیستند.



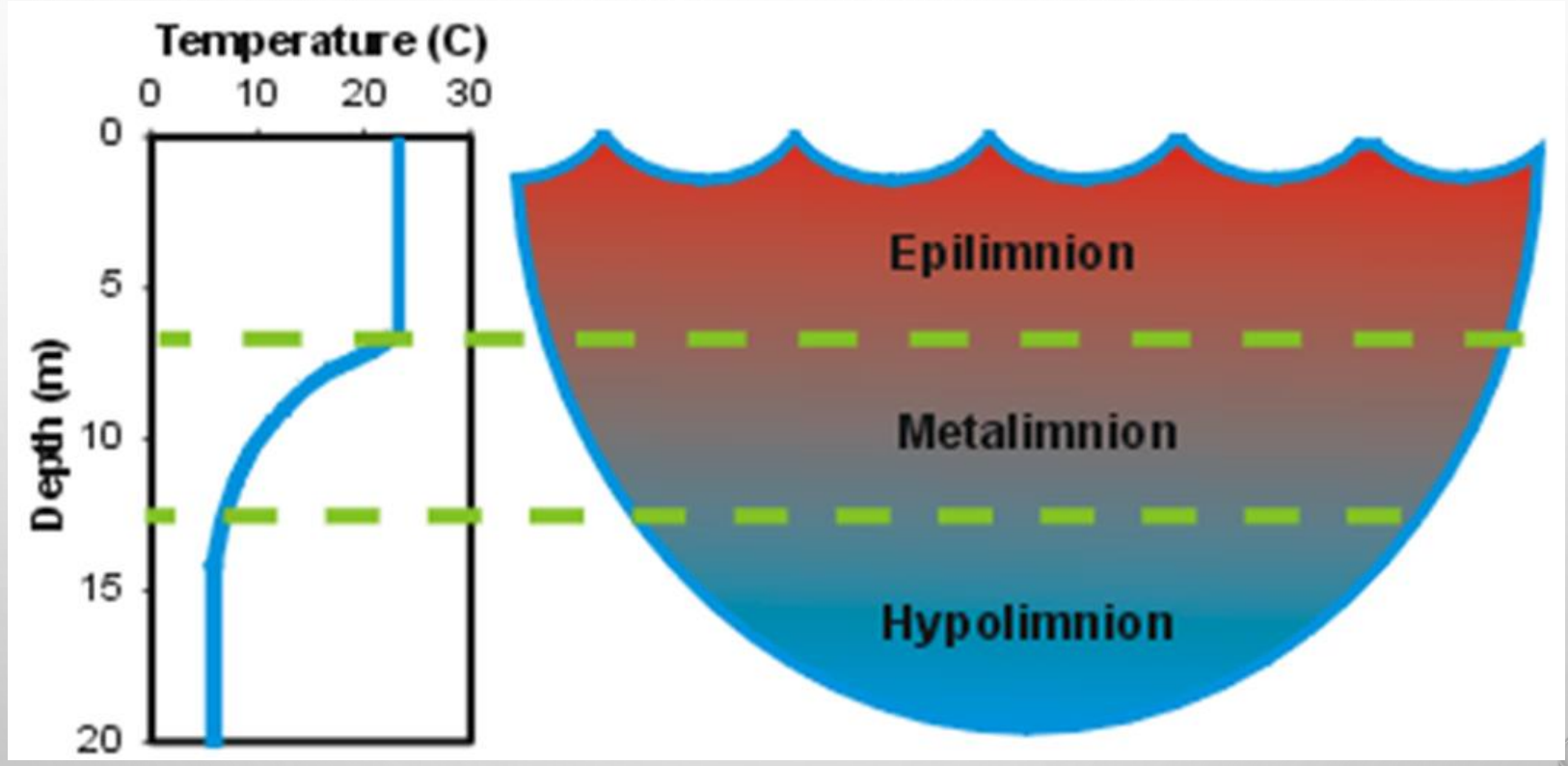
❖ غالباً آب های سطحی دریاچه ها در طول فصل بهار **گرم** می شوند و در اثر **نیروی باد** جا به جا می شوند و عمق اختلاط و سرعت جا به جایی لایه های آبی تابع وزش باد است.

ارتباط بین سرعت باد و عمق اختلاط و سرعت جا به جایی لایه های آبی.

سرعت باد (متر بر ثانیه)	عمق اختلاط لایه آبی (متر)	سرعت جا به جایی لایه آبی (متر بر ساعت)
۲	لایه های سطحی	۳۰۰
۲	۱-۲	۲۴۰
۵	۴-۷	۴۲۰
۱۰	۶-۱۲	۶۳۰

❖بنابراین عمق لایه ای که قابلیت اختلاط را دارد، وابسته به **سرعت باد**، **جهت باد** و **دمای آب لایه سطحی** است.

- در فصل تابستان گرمای وارد شده به یک دریاچه به تدریج در لایه های سطحی باقی می ماند و تشکیل لایه ای به نام **اپی لیمنیون (Epilimnion)** می دهد. در این لایه آب گرم بوده و اختلاف درجه حرارت در اعماق مختلف آن کم است. به تدریج با افزایش عمق، در یک لایه (با ضخامت کم) درجه حرارت آب به سرعت کاهش می یابد که اصطلاحاً به این لایه **متالیمنیون (Metalimnion)** می گویند. این لایه منطبق بر ترموکلاین است و به عنوان لایه مقاوم حرارتی در برابر مخلوط شدن (Thermal resistance to mixing) نیز نامیده می شود. در زیر لایه متالیمنیون، لایه دیگری به نام **هیپولیمنیون (Hypolimnion)** قرار دارد که در این لایه نیز اختلاف شدید دمایی مشاهده نمی شود اما دمای آب کم است. این لایه در اکثر دریاچه ها در بخشی از فصل تابستان فاقد اکسیژن است.


Temperature (C)
0
10
20
30
Depth (m)
0
5
10
15
20
Epilimnion
Metalimnion
Hypolimnion

گردش و سکون دریاچه ها در طول سال

❖ تابستان:

در این فصل سرعت و مقدار جذب حرارت در لایه های فوقانی آب بیشتر از نفوذ حرارت به لایه های زیرین است. بنابراین اختلاف چگالی حرارتی بوجود آمده مانع مخلوط شدن کامل آب دریاچه می شود و لایه های اپی لیمنیون، متالیمنیون و هیپو لیمنیون تفکیک شده هستند و قابلیت اختلاط با یکدیگر را ندارند. به این حالت **سکون تابستانه (Summer stratification)** می گویند که **در رسوب مواد مغذی بسیار با اهمیت است.** فصل تابستان بهترین زمان برای بررسی شرایط تولید (یوتروفی یا الیگوتروفی) در داخل یک دریاچه است.

❖ پاییز:

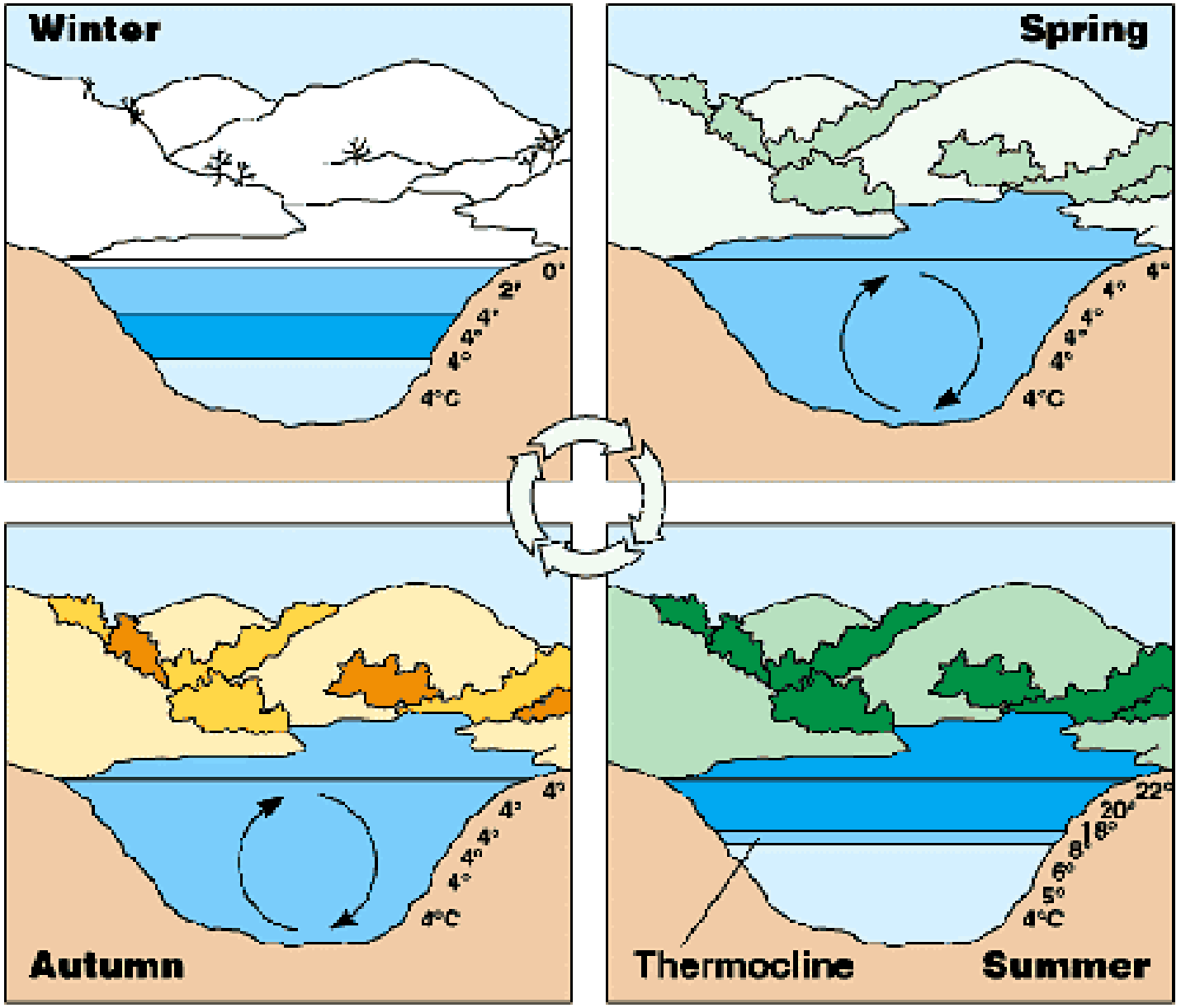
در این فصل دمای هوا کاهش می یابد و متعاقباً دمای نواحی سطحی آب دریاچه نیز کم شده تا جایی که درجه حرارت آب های لایه اپی لیمنیون با دمای آب لایه های دیگر هم دما (ایزوترمال) می شود. بنابراین این امکان را فراهم می شود که با وزش باد لایه های مختلف آبی با هم مخلوط شوند که به این وضعیت گردش پاییزه (Fall turnover) می گویند. مدت زمان لازم برای این گردش به شرایط آب و هوایی منطقه، عمق و مورفولوژی دریاچه بستگی دارد.

❖ زمستان:

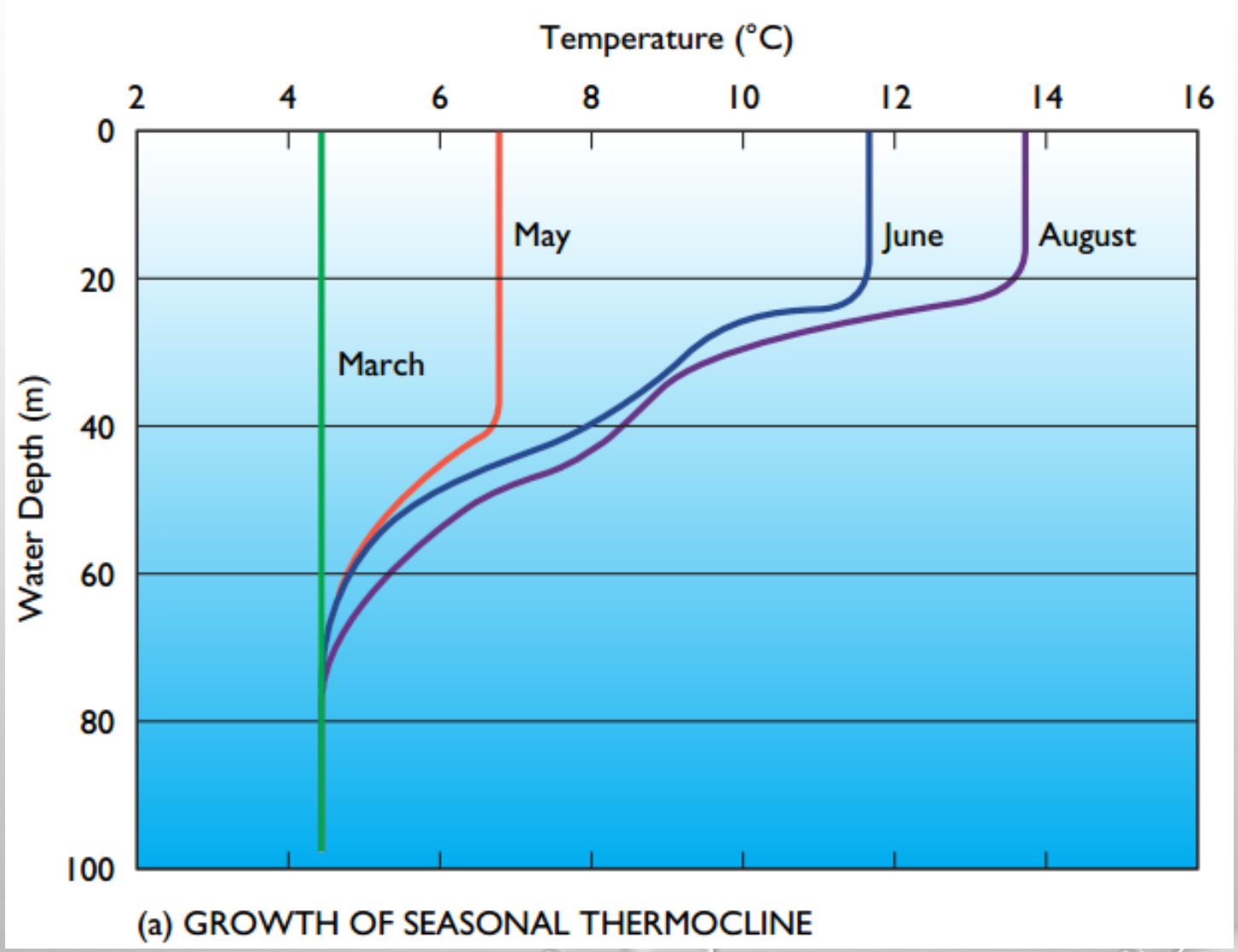
در این فصل افزاش شدید سرما باعث می شود که لایه سطحی روی آب یخ بزند و درجه حرارت لایه سطحی از ۴ درجه کمتر شود، در نهایت **لایه بندی معکوس** اتفاق بیافتد. در این حالت آب با دمای ۴ درجه سانتیگراد در عمق و آب های سردتر از آن در لایه های بالاتر قرار می گیرند. این وضعیت دریاچه را **سکون زمستانه (Winter stratification)** می گویند. لازم به ذکر است که لایه بندی حرارتی در فصل زمستان **کوتاه مدت** است و چه بسا ممکن است در هر دریاچه ای اتفاق نیافتد.

❖ بهار:

در فصل بهار به تدریج یخ ها ذوب شده و درجه حرارت لایه های سطحی آب افزایش می یابد تا به ۴ درجه سانتیگراد برسد. در این زمان کل توده آب هم دما می شوند و با وزش باد، گردشی در دریاچه رخ می دهد که با آن **گردش بهاره (Spring turnover)** می گویند. وقوع گردش برای تعادل دریاچه ها بسیار مهم است به طوری که انتقال مواد غذایی از لایه های عمقی به بالا و انتقال اکسیژن به لایه های عمقی از بارزترین نتایج آن ها است.


Winter
0°
2°
4°
4°
4°
4°C
Spring
4°
4°
4°
4°
4°
4°C
Autumn
4°
4°
4°
4°
4°
4°C
Thermocline
Summer
22°
20°
18°
8°
6°
5°
4°C

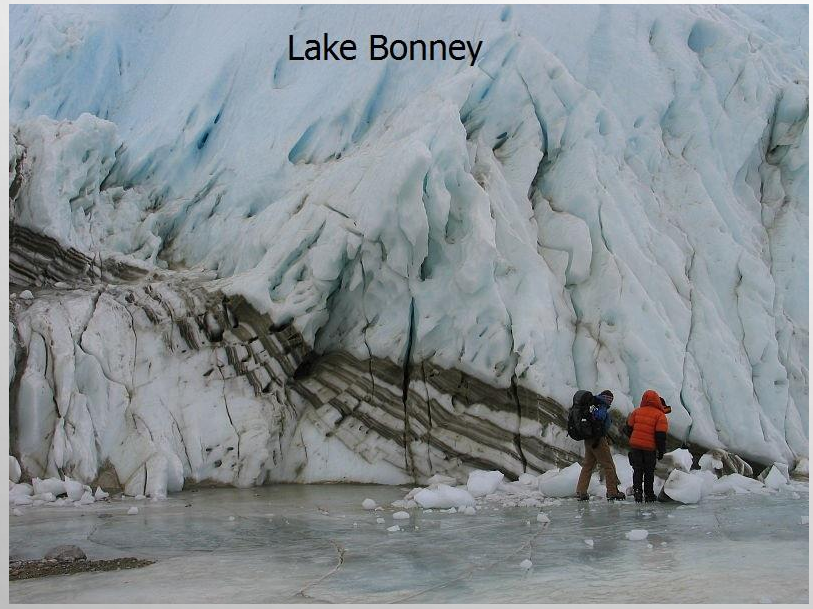
تغییرات زمانی طبقه بندی حرارتی و ترموکلاین



(a) GROWTH OF SEASONAL THERMOCLINE

تقسیم بندی دریاچه ها بر اساس الگوهای گردشی آن ها و موقعیت جغرافیایی

۱- دریاچه های بدون گردش (Amictic):
دریاچه های قطبی با پوشش دائمی یخ که به ندرت در قطب جنوب یافت می شوند.
دریاچه های Vanda و Bonney جزء این گروه هستند.

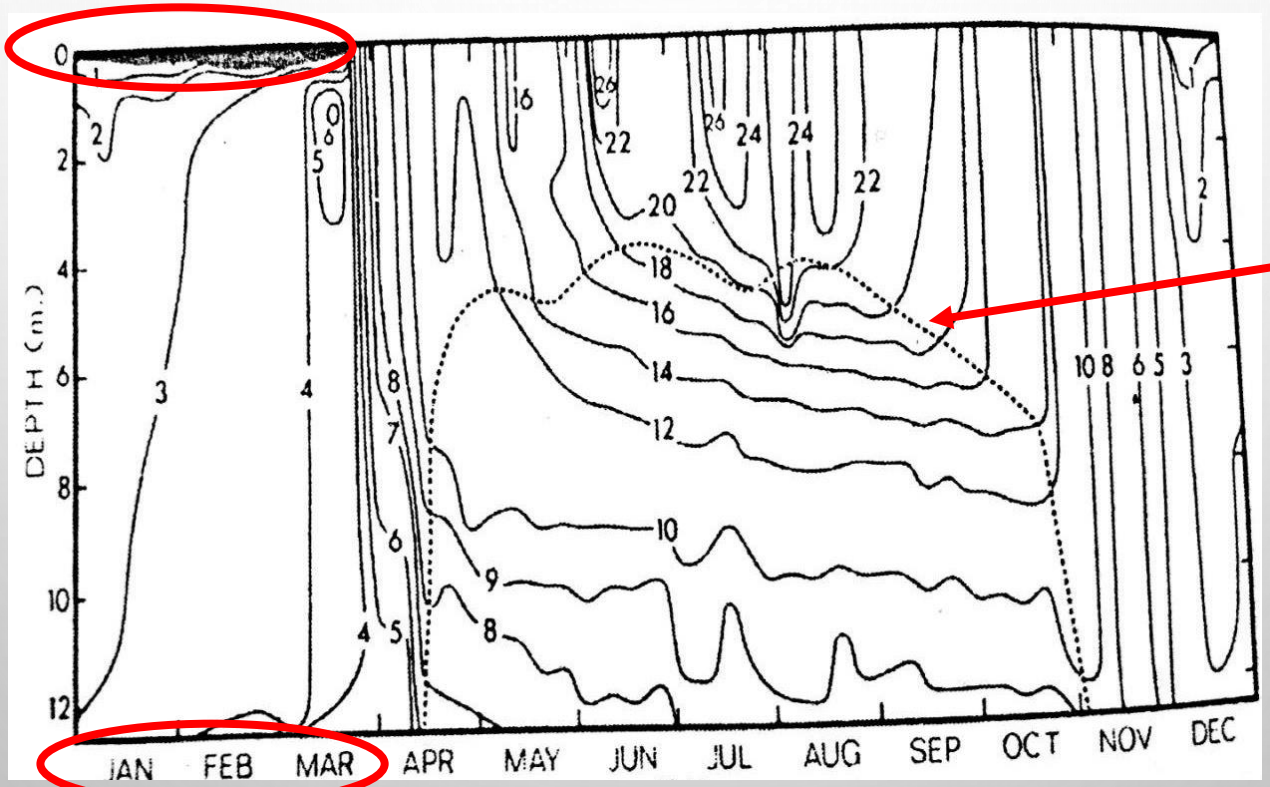


۲- دریاچه های یک گردشی (Monomictic):

- یک گردشی سرد (Cold monomictic): دریاچه های پایین تر از نواحی قطبی که دارای یک گردش در طول فصل تابستان هستند و بقیه ماه های سال دارای سکون زمستانه و پوشیده از یخ هستند. این دریاچه ها به دریاچه های قطبی (Polar lake) نیز معروف هستند.
- یک گردشی گرم (Warm monomictic): دریاچه های نواحی گرم مناطق معتدله و مناطق نیمه گرمسیری که تنها یک گردش در طول فصل زمستان دارند. مانند دریاچه های Constance، Garda و Maggior . دریاچه مازندران نیز معمولاً یک گردش در اواخر پاییز و اوایل زمستان دارد.

۳- دریاچه های دو گردشی (Dimictic):

این دریاچه ها در مناطق معتدله (عرض های جغرافیایی ۶۰-۴۰ درجه) قرار دارند و در طول سال دارای دو گردش کامل در فصول بهار و پاییز هستند.



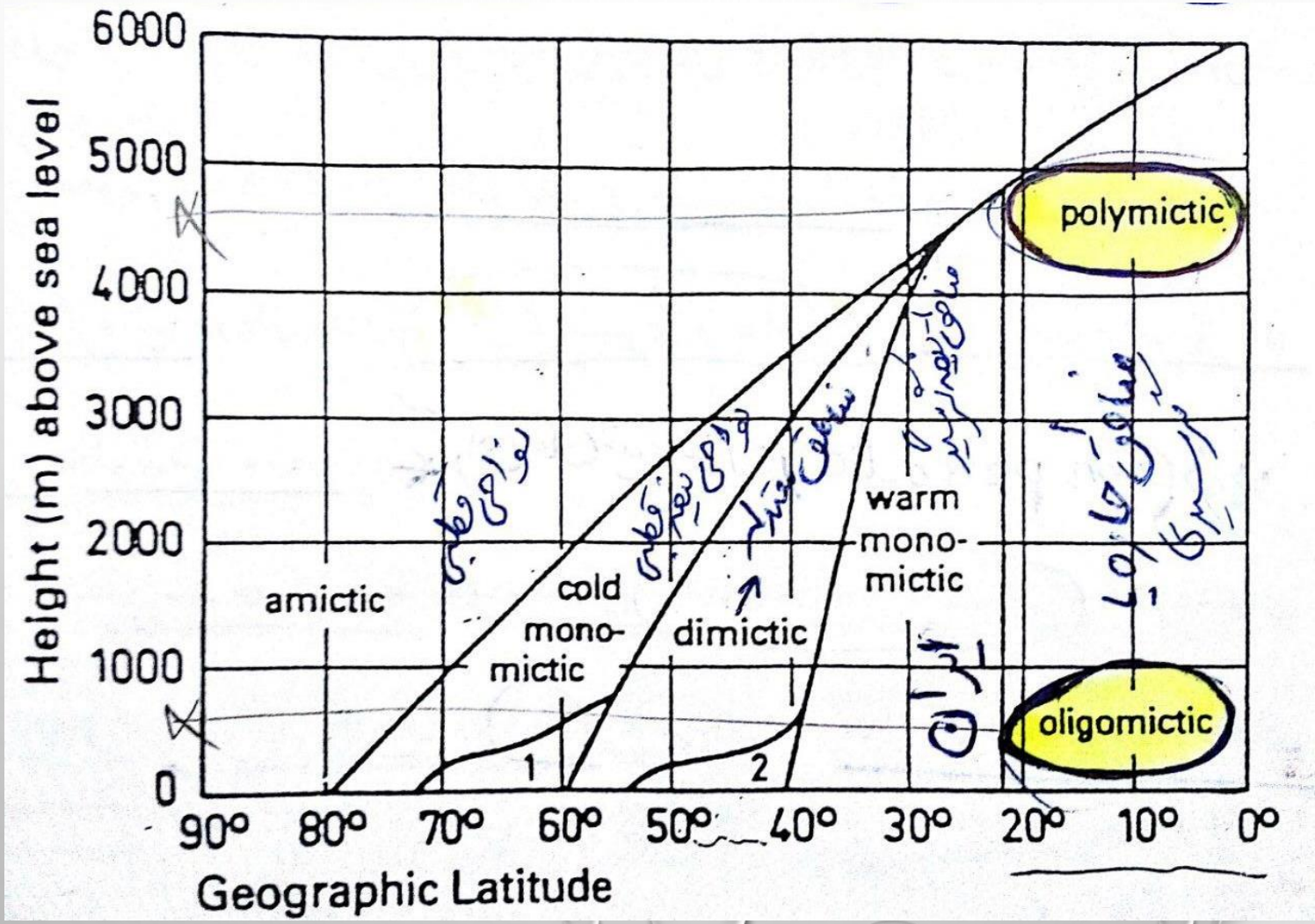
منحنی همدما بر حسب عمق و فصول مختلف سال در دریاچه لاورنس در ایالت میشیگان.

۴- دریاچه های کم گردش (Oligomictic):
دریاچه های مناطق حاره ای و گرمسیری که به ندرت گردش هایی در آن ها دیده می شود. این گردش ها به گردش های Non-periodic معروف هستند.

۵- دریاچه های چند گردشی(Polymictic):

- چند گردشی سرد (Cold polymictic): دریاچه های کوهستانی مناطق استوایی (گرمسیری) که تقریباً به طور دائم در گردش هستند. مانند دریاچه Titicaca در امریکای جنوبی.
- چند گردشی گرم (Warm polymictic): دریاچه های مناطق حاره ای که به دلیل نزدیک بودن لایه های حرارتی و در اثر سرد شدن های شبانه دچار گردش می شوند.

پراکنش انواع دریاچه ها در سطح جهان بر حسب عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا.



- در دریاچه های پرتولید اکسیژن محلول مورد نیاز برای فرآیندهای کاتابولیک بیشتر از مقدار اکسیژنی است که توسط فتوسنتز تولید می شود. این مصرف بالای اکسیژن باعث کاهش شدید آن در محیط شده و شرایط بی هوازی به وجود می آید. این وضعیت مرگ زمستانی (Winter kill) نامیده می شود و در **دریاچه های پر تولید کم عمق در نواحی معتدله** مشاهده می گردد.

تقسیم بندی دریاچه ها بر اساس کامل یا ناقص بودن چرخش

- دریاچه های با گردش کامل (Holomictic)
- دریاچه های با چرخش ناقص (Meromictic): بخشی از لایه پایینی دریاچه به دلایلی در گردش شرکت نمی کند. در این دریاچه ها به لایه ای که در گردش شرکت می کند اصطلاحاً Mixolimnion و لایه ای که در گردش شرکت نمی کند Monimolimnion می گویند.

از آنجا لایه مونیمولیمنیون در گردش شرکت نمی کند از نظر اکسیژنی فقیر است و اکسیژن کافی برای فرآیندهای تجزیه ای فراهم نیست.

علت بوجود آمدن دریاچه های Meromictic

- شرایط توپوگرافی منطقه:

در حالتی که دریاچه ها بین کوه ها یا دیواره های بلند محصور شده به گونه ای که باد قادر به جا به جایی کل توده آبی نباشد. مانند دریاچه سهند.

- وضعیت مورفولوژیک دریاچه:

در دریاچه هایی که بسیار عمیق هستند و سطح کوچکی دارند باد قادر نیست تمام توده آب را بگرداند.

- شرایط شیمیایی: یا منشأ طبیعی دارد مانند مواد محلول یا رسوبات ریزی که بوسیله جریانهای آبی وارد دریاچه می شوند. و یا دارای منشأ مصنوعی است، مانند ورود فاضلابهای حاوی مواد شیمیایی سنگین به دریاچه و ته نشینی در لایه های عمقی دارد.

در هر صورت به دلیل سنگین شدن لایه عمقی در این گونه دریاچه ها امکان گردش کامل وجود ندارد و مرز لایه شیمایی که ایجاد می شود Chemocline نامیده می شود.

Max. length	2.0 km (1.2 mi)	**Surface area**	1.58 km^2 (390 acres)
Max. width	1.2 km (0.75 mi)	**Max. depth**	208 m (682 ft)

تقسیم بندی دریاچه ها از نظر زمین شناختی

۱- دریاچه های تکتونیکی(Tectonic lakes):
در اثر حرکات پوسته زمین ایجاد شده اند (مانند دریاچه های Baikal و Tanganyika) و به دو دسته تقسیم می شوند:

- دریاچه هایی که بر اثر فرو نشستن بخشی از طبقات زمین حاصل شده اند.
- چین خوردگی ها و جا به جایی طبقات زمین که باعث بروز برآمدگی ها و فرو رفتگی هایی شده و دریاچه در محل فرورفتگی تشکیل می شود.

۲- دریاچه های حاصل از فعالیت های آتشفشانی(Volcanic lakes):
فعالیت های آتشفشانی به اشکال مختلفی باعث تشکیل این دریاچه ها می شود (مانند دهانه آتشفشان های خاموش که آب در آن تجمع یافته است). اینگونه دریاچه ها معمولاً **عمیق،کم سطح، دارای بستر و سواحل صخره ای و کم تولید (کمتر از دریاچه های تکتونیک)** هستند. برخلاف سایر دریاچه که عموماً بیضی شکل هستند، این دریاچه ها گرد می باشند.

نمونه ای از دریاچه های حاصل از فعالیت های آتشفشانی.

۳- دریاچه های دوران یخچالی(Glacial lakes):

این دریاچه ها به علت حرکت توده های یخ که توأم با فرسایش است، شکل می گیرند (مانند دریاچه های لاورنتین و گریت اسلاو در آمریکای شمالی). از مهمترین ویژگی های این نوع از دریاچه ها **داشتن اعماق مختلف** است و عموماً سمت رسوبات عمیق تر از نواحی دیگر دریاچه است. همچنین این دریاچه ها دارای **بستر گلی (سیلت و رُس)** و **تولیدات اولیه مناسب** هستند.

در ایران **دریاچه گهر** (استان لرستان) از این طریق بوجود آمده است.

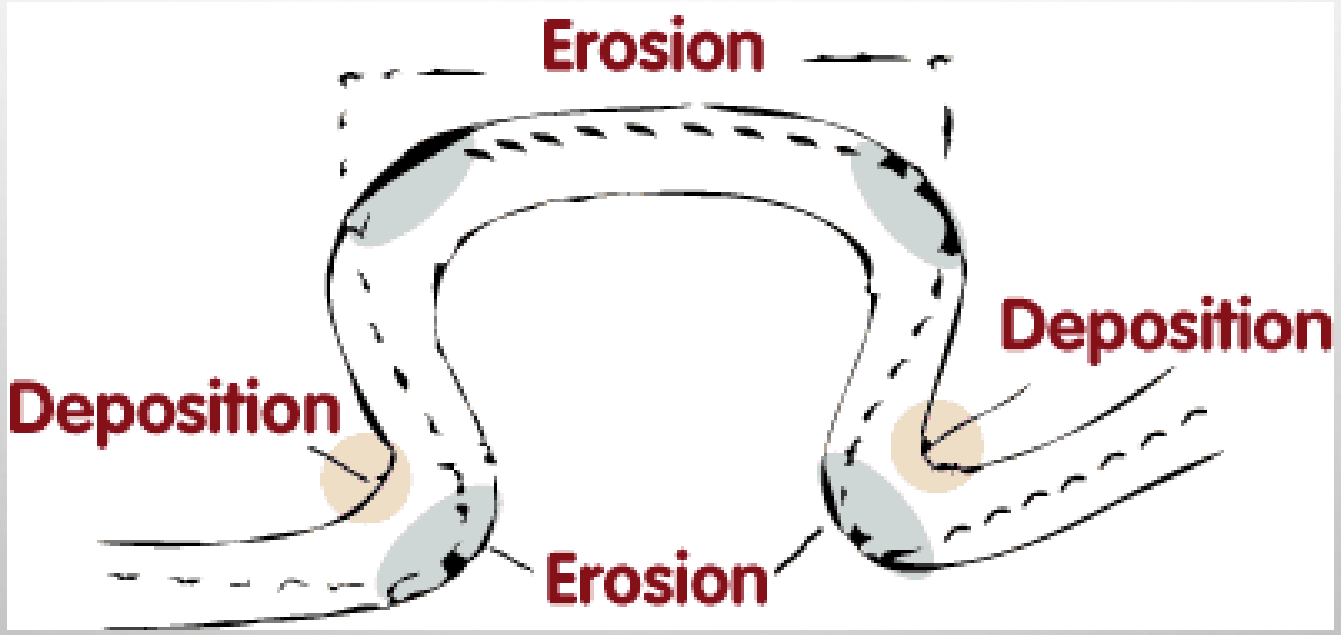
۴- دریاچه های حاصل از تأثیر باد بر سطح زمین:
عموماً این دریاچه ها در **نواحی خشک و کویری** مشاهده می شوند. شن و ماسه و ... بر اثر نیروی وزش باد جا به جا شده و به هنگام برخورد با مانع و یا کاهش سرعت وزش باد رسوب می کنند. بدین ترتیب پستی و بلندی هایی شکل می گیرد که در نقاط پست در صورت مساعد بودن شرایط اقلیمی دریاچه بوجود می آید. در این نوع دریاچه ها معمولاً **عمق آب کم** است و **حالت موقت** تری نسبت به سایر دریاچه ها دارند (آبگیر فصلی هستند). همچنین **از نظر حاصلخیزی و جمعیت جانوری و گیاهی در سطح پایینی هستند.**

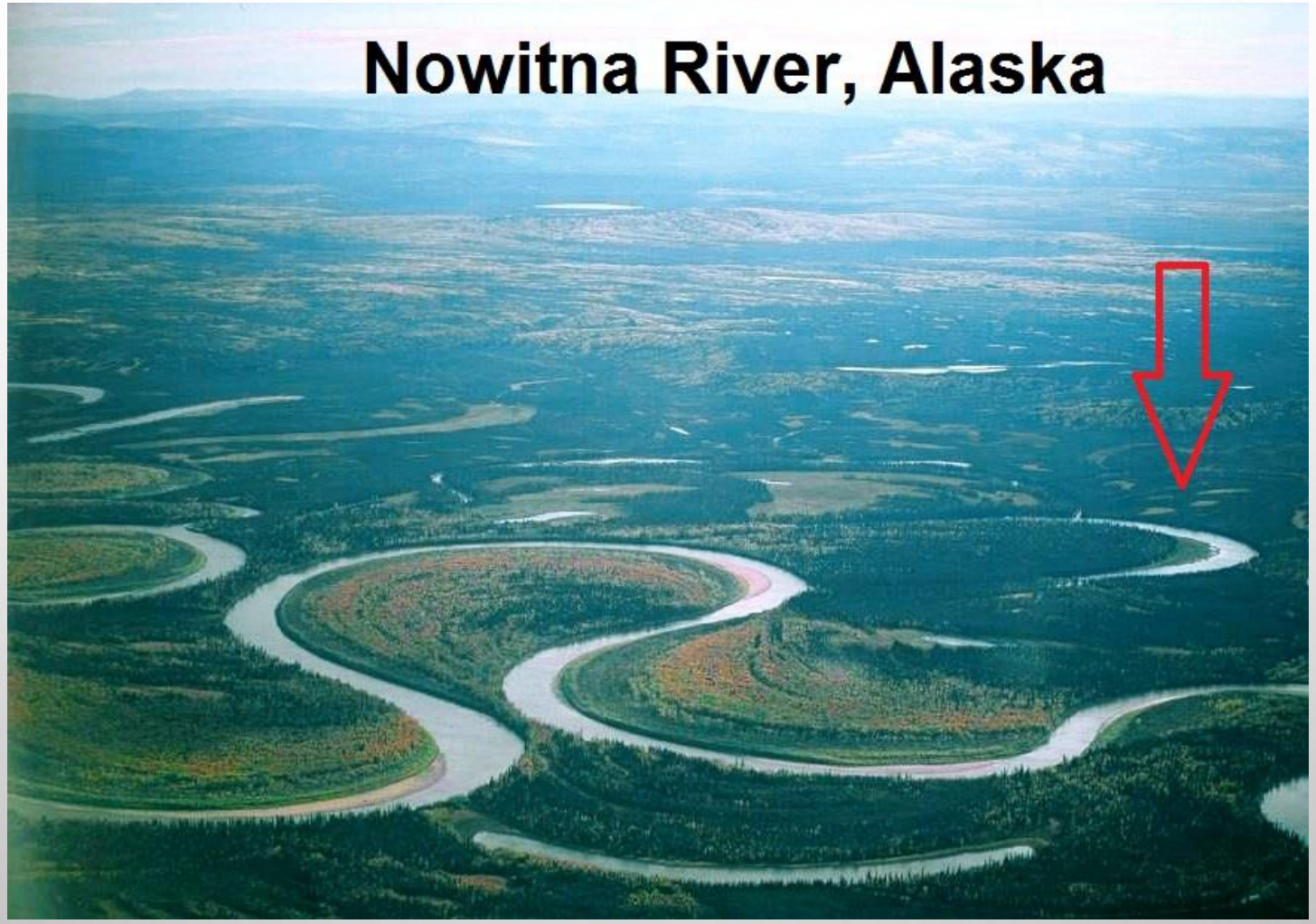
۵- دریاچه های حاصل از حل شدن قسمتی از پوسته زمین:
حل شدن رسوبات آهکی (ترکیبات کربنات کلسیم) فرورفتگی هایی در سطح زمین بوجود می آید که در صورت مناسب بودن شرایط اقلیمی می تواند دریاچه تشکیل شود. مانند دریاچه غار علیصدر همدان.

دریاچه غار علیصدر همدان.

۶- دریاچه های حاصل از فعالیت رودخانه ها(Oxbow lakes):

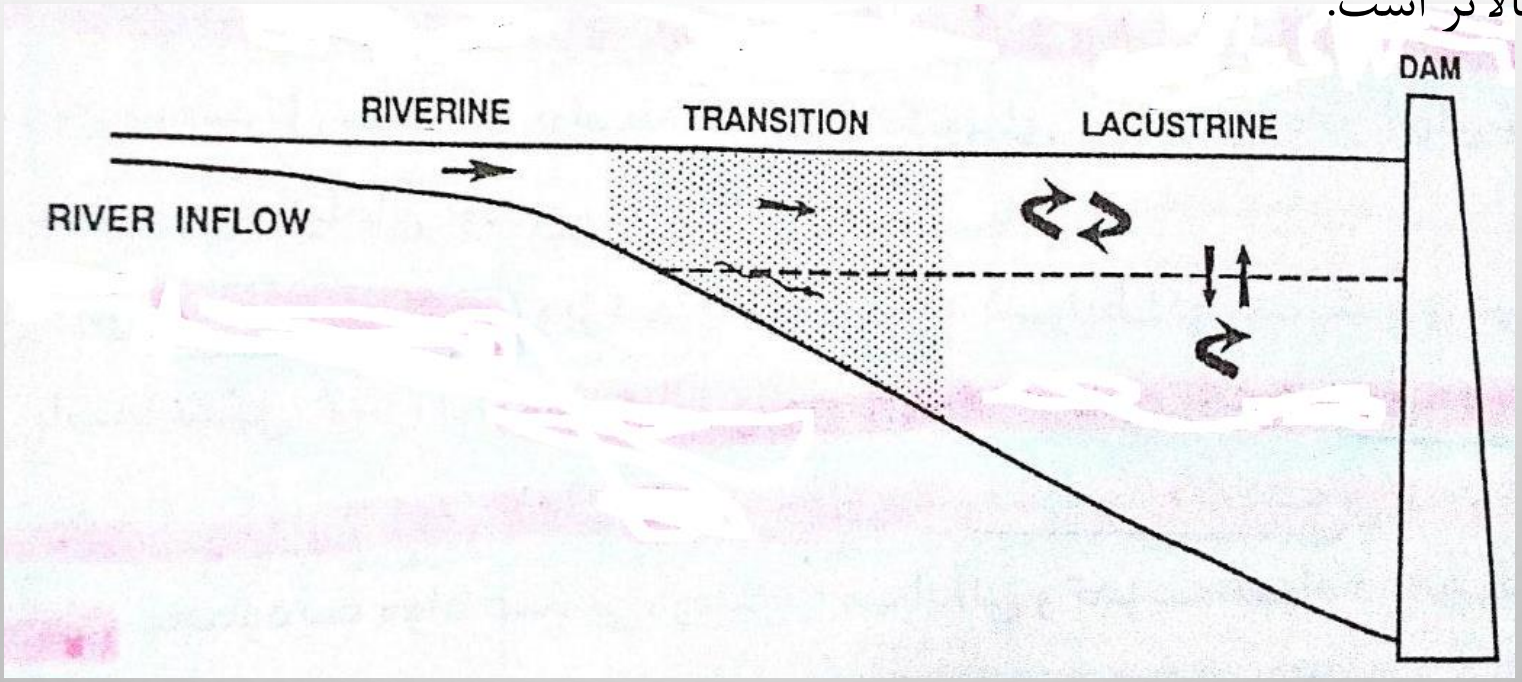
دریاچه های U شکلی هستند که بر اثر قطع شدن ارتباط مسیر انحرافی و پرپیچ و خم رودخانه از مسیر اصلی آن بوجود می آید. وقوع همزمان فرآیندهای فرسایش و رسوبگذاری موانعی در مسیر رودخانه ها ایجاد می کند که منجر به تشکیل این نوع دریاچه ها می شود. عموماً این دریاچه ها کم عمق و پرتولید هستند.




Nowitna River, Alaska

۷- دریاچه های پشت سدها(Artificial lakes):

این دریاچه ها ساخته دست انسان هستند و به سه منطقه **رودخانه ای (Riverine)، انتقالی (Transition)، دریاچه ای (Lacustrine)** تقسیم می شوند که در منطقه رودخانه ای رسوبگذاری بیشتر است و در منطقه دریاچه ای به دلیل کاهش کدورت و افزایش نفوذ نور، تولید بالاتر است.



شرایط گرمایی در آبهای جاری

مانند آبهای ساکن تحت تأثیر جذب، پخش و دفع گرما قرار دارند. نوسانات درجه حرارت روزانه در آبهای جاری در فصل تابستان بیشتر است. در فصل تابستان درجه حرارت در آبهای جاری یک نوسان افزاینده ای در شبانه روز دارد که حداکثر آن در ساعت ۴ بعد از ظهر و حداقل آن در ۶ صبح است.

مقدار گرمایی که در طول ساعات روز دریافت می شود به طور کامل پس داده نمی شود و مقدار آن به **حجم آب، عمق آب** و **وسعت آب** بستگی دارد.

در رودخانه در تابستان هر چه از طرف سرچشمه به قسمت های پایین دست رودخانه پیش می رویم، دمای آب افزایش می یابد (چون دمای محیط بیشتر از دمای چشمه یا آب زیرزمینی است) و در زمستان ها عکس این حالت رخ می دهد.

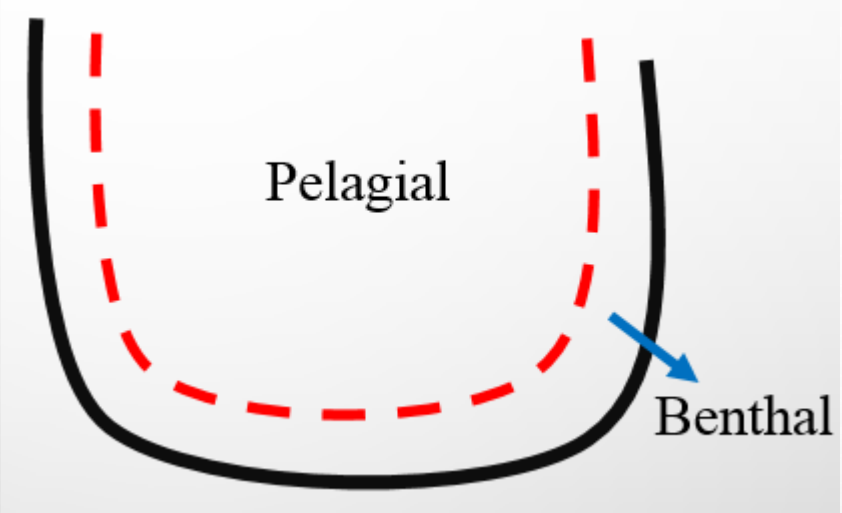
متوسط دمای چشمه تقریباً برابر میانگین دمای سالانه محیط ± ۲ درجه سانتیگراد است.

مطالب گفته شده برای اقلیم های معتدل صدق می کند، در مناطق استوایی نوسانات درجه حرارت رودخانه ها بسیار پایین و حدود ۱ درجه سانتیگراد است.
بنابراین، عوامل موثر بر نوسانات سالانه دمای آبهای جاری:

۱- عرض جغرافیایی

۲- ارتفاع: با افزایش ارتفاع، نوسانات سالانه نیز افزایش می یابد.

منطقه بندی دریاچه ها از نظر محیط زندگی



۱- ناحیه آبهای آزاد (Pelagial)
۲- ناحیه بستر (Benthal)

موجودات منطقه Pelagial در ستون آب قرار دارند و ارتباطی با بستر ندارند (پلانکتونها). اما موجودات منطقه Benthal اکثراً روی و یا داخل رسوبات و یا روی گیاهان زندگی می کنند.

در این میان برخی موجودات دارای مهاجرت هایی از منطقه Pelagial به Benthal و برعکس هستند. برای مثال لارو گونه *Chaborus* (متعلق به دوبالان یا Diptera) که یک موجود بنتیک است هنگامی که میزان اکسیژن منطقه بنتیک کاهش پیدا می کند از بستر جدا شده و به آبهای Pelagial می رود.

در مقابل، برخی از پاروپایان (Copepods) پلاژیک هستند ولی مرحله تخم و کپه پـودی را روی سطح و یا داخل رسوبات بستر سپری می کننـد. مـاهی White fish (از خـانواده آزاد ماهیان) غذای خود را از جانوران کفزی تأمین می کند.

تقسیم بندی عمودی مناطق Pelagial و Benthal

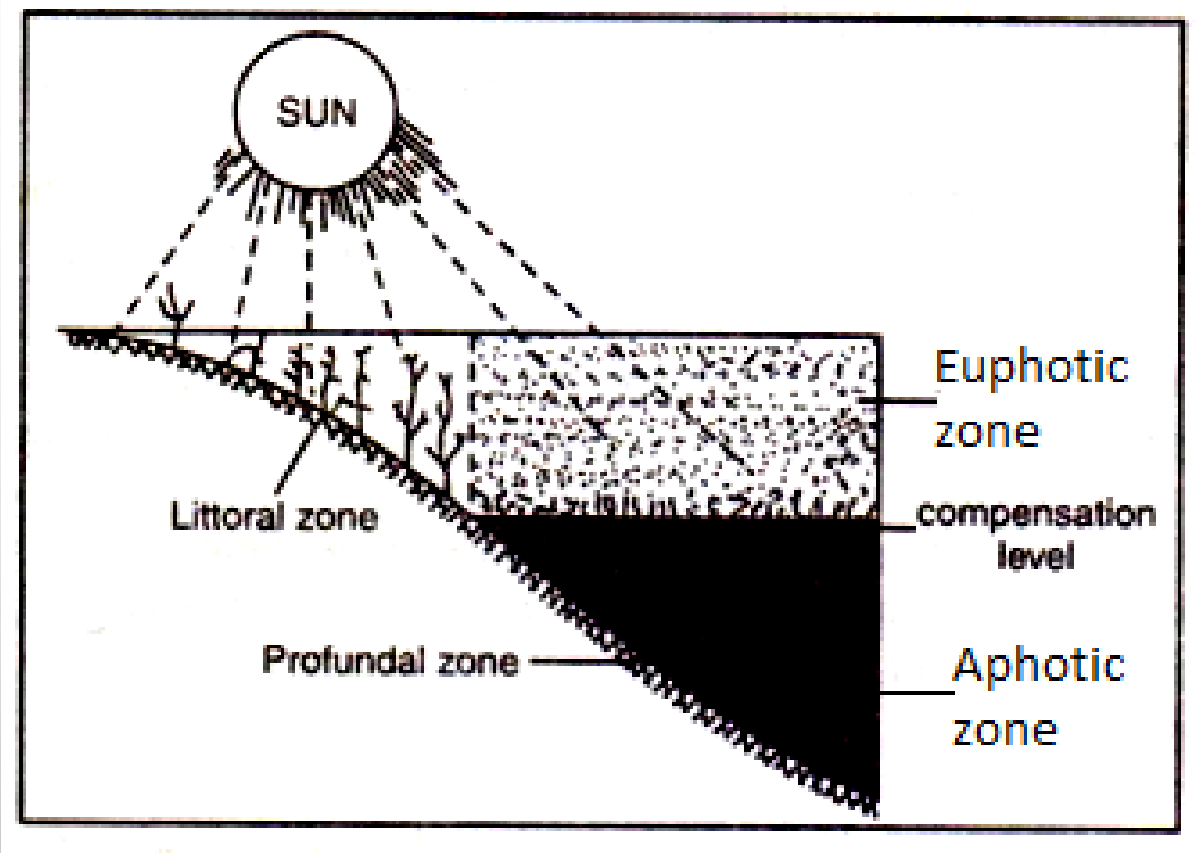
منطقه Benthal:

- Littoral: بخش ساحلی رسوبات کف دریاچه
- Profundal: قسمت های عمیق بستر دریاچه

منطقه Pelagial:

- Epipelagial
- Bathypelagial

- مرز بین این ناحیه بندی ها را عمق نفوذ نور تعیین می کند، یعنی تا جایی که نور نفوذ می کند در بخش آبهای ساکن، منطقه Epipelagic نامیده می شود و همین عمق در بستر دریاچه منطقه Littoral گفته می شود.
- مرزی که این نواحی را از یکدیگر جدا می کند **افق جبران یا سطح تعادل (Compensation level)** نامیده می شود. در واقع در منطقه بالای سطح جبران فعالیت فتوسنتزی مثبت است (به دلیل وجود نور کافی) و اغلب موجودات فوتواتوتروف در آن قرار دارند، بنابراین به این لایه، **منطقه تولید کننده (Trophogen zone)** نیز گفته می شود.
- بر این اساس تقسیم بندی دیگری نیز در ناحیه Pelagial دریاچه ها صورت می گیرد که بر آن اساس ناحیه بالای افق جبران را **ناحیه نورگیر (Euphotic zone)** و ناحیه پایین آن را **ناحیه فاقد نور (Aphotic zone)** می گویند.


SUN
Euphotic zone
Littoral zone
compensation level
Profundal zone
Aphotic zone

به دلیل **نبود تولیدات فوتواتوتروفی** در Aphotic zone به آن Tropholytic zone نیز می گویند. بنابراین Trophogenic zone شامل مناطق Littoral و Epipelagial می شود و Tropholytic zone شامل مناطق Profundal و Bathypelagial است.

عمق افق جبران (Compensation level) نیز در واقع جایی است حداقل ۱٪ نور سطحی به آن می رسد و به نوع آب و خصوصیات دریاچه بستگی دارد. برای مثال در دریاچه های با آب کدر این عمق کمتر از آب های شفاف است (به طور کلی حداکثر عمق آن بین ۴۰-۳۰ متر است).

جوامع Pelagial

۱- پلانکتون ها (Planktons)　　۲- نکتون ها (Nektons)

❖ پلانکتون ها (Planktons):

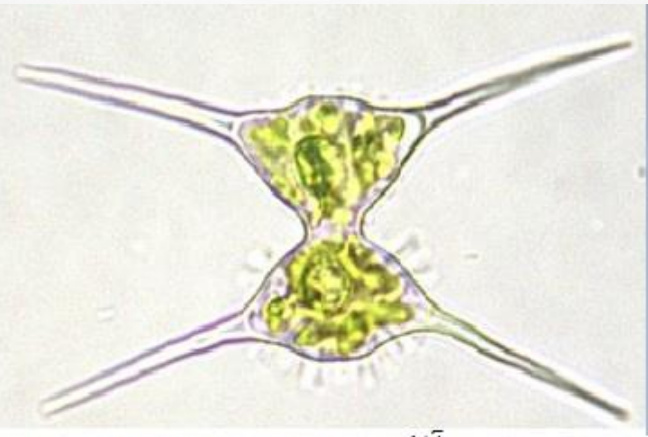
پلانکتون ها فاقد شنای اختیاری هستند که عمر کوتاهی دارند (تلفات ناشی از سقوط آنها بالا است) و به وسیله امواج جا به جا می شوند. در داخل آب دریاچه به طور یکنواخت پراکنده نشده اند.

مهمترین عاملی که باعث شناوری پلانکتون ها در آب می شود، **اختلاف کم بین وزن مخصوص آنها با محیط آب** و **لزوجت آب** است. اما بزرگتر بودن جزئی وزن مخصوص این موجودات نسبت به آب باعث یک سقوط آرام و دائمی در ستون آب می شود. سرعت سقوط یک موجود پلانکتونی با افزایش شعاع آن، کاهش مقاومت فرم بدنی، کاهش لزوجت آب و افزایش اختلاف بین وزن مخصوص آن و محیط آب **افزایش** می یابد.

سازگاری پلانکتون ها برای کاهش اختلاف وزن مخصوص با محیط آبی

- موجـوداتی ماننـد روتیفرهـا (*Conochilus*) و کلادوسـرها (*Holopedium gibberum*) و آلگهای *Staurastrum* از طریـق **کوچک کردن اسکلت ساختمانی به واسـطه پوشـش ژلاتینی بدن**

روتیفر *Conochilus*

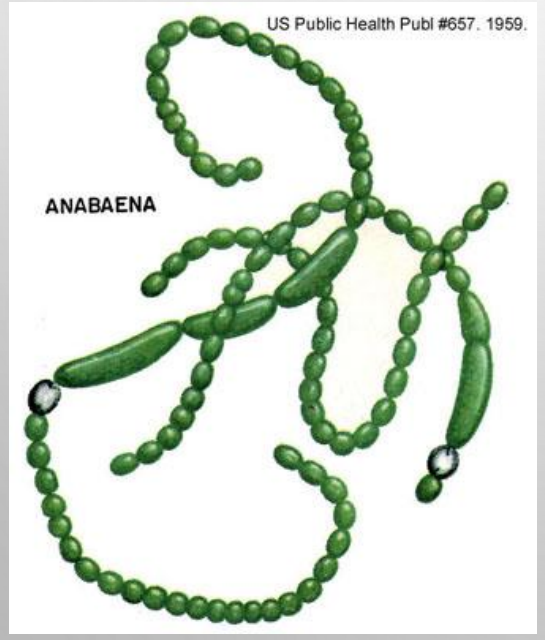


آلگ *Staurastrum*

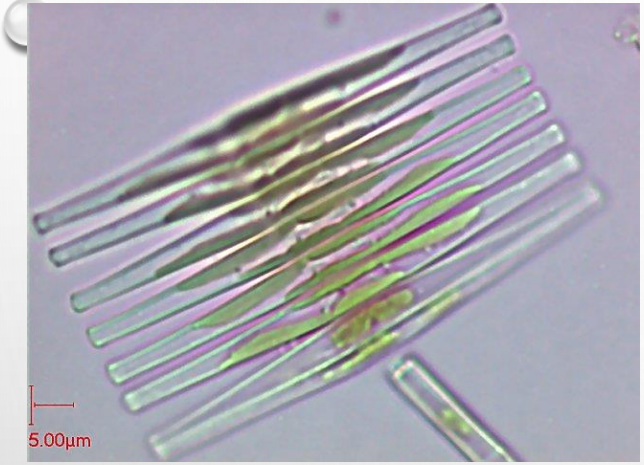
Holopedium gibberum

- دیاتومه ها از طریق **ایجاد قطرات چربی**

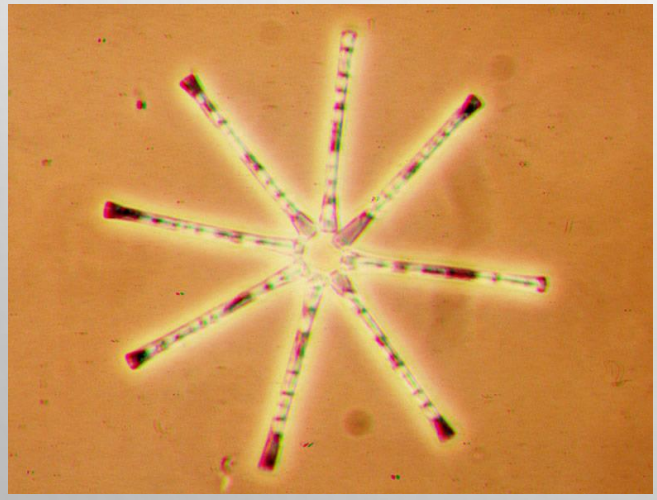
- موجوداتی مانند جلبکهای *Nostoc* و *Anabaena* از طریق **ایجاد واکوئل های گازی**



سازگاری پلانکتون ها برای افزایش مقاومت فرم بدنی



- پلانکتونهای جنس *Fragilaria* به تعداد ۴۰-۳۰ عدد در کنار همدیگر قرار می گیرند و به **شکل بادبزن** در می آیند.



- پلانکتون های جنس *Asterionella* **کلنی های ستاره مانندی** را تشکیل می دهند.

زئوپلانکتون ها بزرگتر از فیتوپلانکتون ها هستند و زوائدی دارند که به شناوری آن ها کمک می کند اما در مقابل امواج آبی بی تأثیر است. در توزیع عمودی آب دریاچه ها گسترش فیتوپلانکتون ها محدود به منطقه Trophogen است. در حالی که تفاوت در توزیع افقی پلانکتون ها (بیشتر در دریاچه های بزرگ دیده می شود) به دلیل اختلاف جریانات آبی است که توسط باد در منطقه اپی لیمنیون ایجاد می شود.

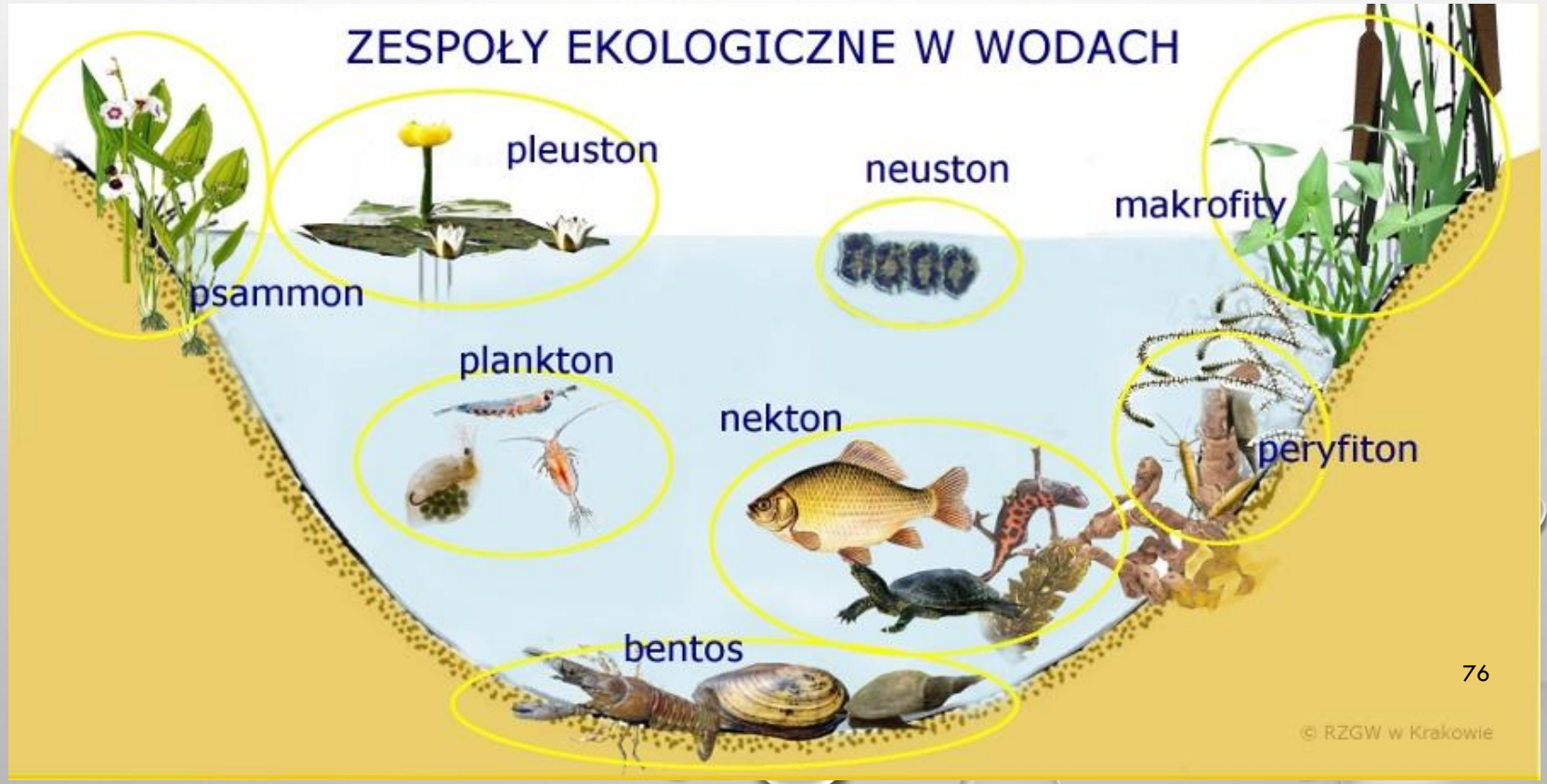
مهاجرت عمودی در پلانکتون ها عمدتاً به دلیل **نور** و **تغذیه** است اما برخی از موجودات برای تخمریزی نیز مهاجرت عمودی و افقی دارند.

برخی از فیتوپلانکتون ها (بخصوص آنهایی که تاژک دارند) در ساعات نیمه دوم روز به قسمت های پایین تر لایه تروفوژن مهاجرت می کنند که به نظر می رسد این مهاجرت به منظور **دست یابی به منبع غذایی بیشتر** است.

تغذیه زئوها در ساعات اولیه شب به دلیل گرسنگی به صورت فعال شروع می شود و در حوالی نیمه های شب به تدریج متوقف شده و به صورت تدریجی و پراکنده به لایه های پایین تر بر می گردند (سقوط می کنند) که به این حالت **سقوط های نیمه شبانه (Midnight sinking)** می گویند.

❖ نکتون ها (Nektons):

ارگانیسم های بزرگ آبزی هستند که بر عکس پلانکتون ها دارای قدرت شـنای مناسـب بوده و جریانات آبی نمی تواند مانع حرکات آن ها شود (مانند ماهیان).



منطقه لیتورال (Littoral zone)

در جهت عمودی به بخش های زیر تقسیم می شود:

۱- Epilittoral:

بالاترین قسمت منطقه لیتورال است و به طور مستقیم در معرض آب دریاچه قرار ندارد. گیاهان آبدوست در این منطقه زندگی می کنند.

۲- Supralittoral:

تحت تأثیر قطرات آب ناشی از برخورد امواج به ساحل و یا قطراتی که بوسیله باد آورده می شوند، می باشد و به همین دلیل به آن منطقه Spray هم می گویند. این منطقه پوشیده از جلبکها و گلسنگ ها است.

۳- Eulittoral:

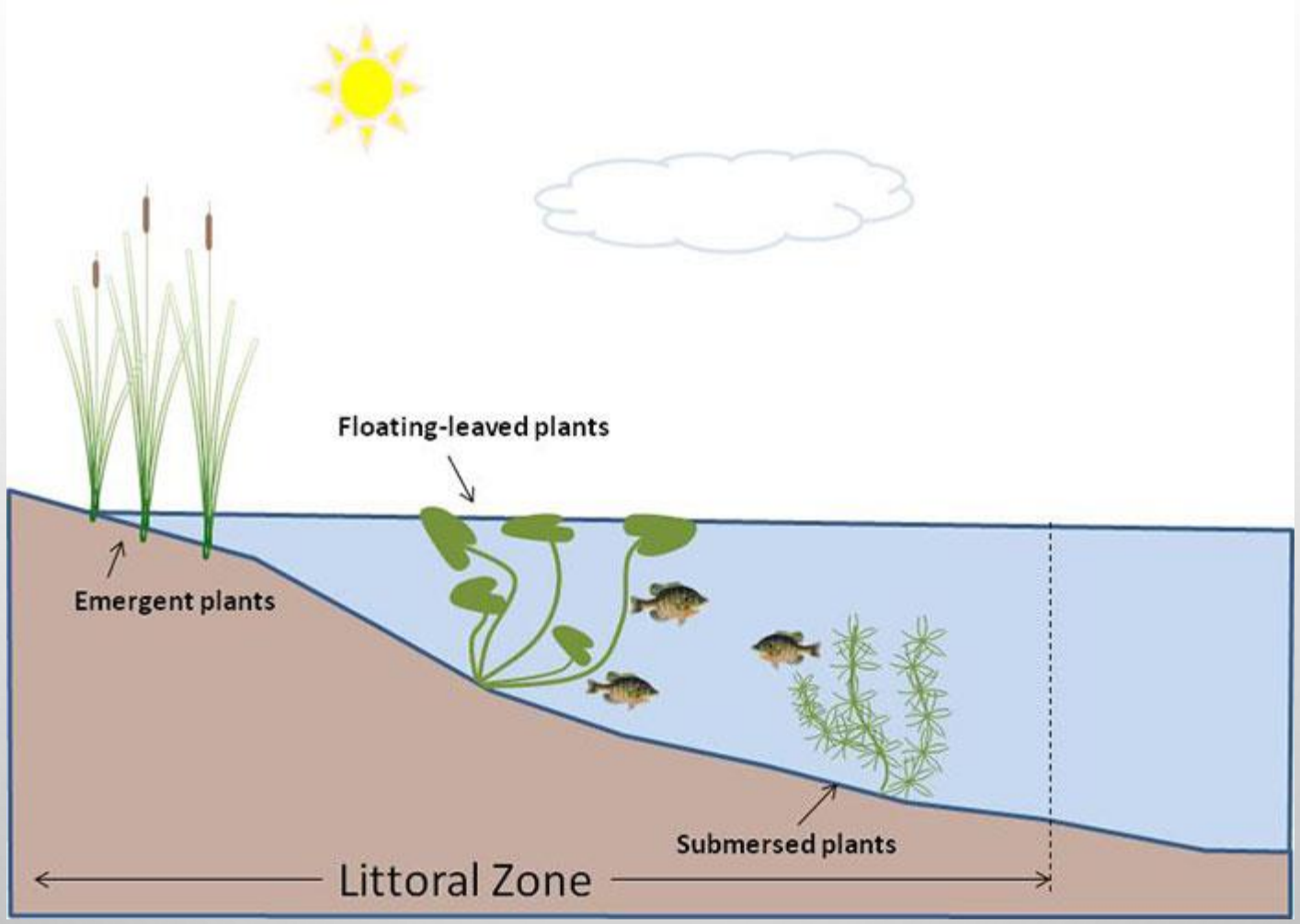
به آن منطقه جزر و مدی نیز گفته می شود. در زیر آب دریاچه و در معرض امواج قرار دارد. موجوداتی که در این منطقه زیست می کنند مانند آبهای جاری هستند (به دلیل عمل امواج شدید). پوشش گیاهی آن شامل جلبک ها و خزه هایی است که در سطح سنگ ها رشد می کنند.

همچنین در این منطقه موجودات جانوری عمدتاً **حفار** هستند (مانند خرچنگ ها) و همگی نسبت به نوسانات دمایی مقاوم می باشند (اصطلاحاً Eurythermal هستند).

۴- Infralittoral:

این منطقه که از باد و جریان های شدید در پناه است، پوشیده از **گیاهان بلند** می باشد. در این منطقه که **ابتدا گیاهان بن در آب مانند نی و جگن** رشد می کنند، سپس با افزایش عمق **گیاهان برگ شناور** (خانواده Nymphaeaceae) می رویند. در ادامه، با افزایش عمق به طرف دریاچه سپس **گیاهان غوطه ور** نمایان می شوند و در نهایت پایین ترین کمربند گیاهی در منطقه اینفرالیتورال **چمن زارهای دریایی** (خانواده Characeae) هستند.

در کنار گیاهان عالی منطقه لیتورال آلگ های جایگاه دار (Periphyton) وجود دارند که بر سطح گیاهان آبزی، سنگ و چوب رشد می کنند.


Floating-leaved plants
Emergent plants
Submersed plants
Littoral Zone

۵- Littori-profundal:

این منطقه در واقع گذر از Littoral به Profundal است و به آن **منطقه پوسته (Shell zone)** می گویند. زیرا در اثر حرکات و جا به جایی های آب، پوسته دوکفه ای های مرده در اینجا تجمع می یابد. در این ناحیه تنها آلگ هایی که به نور ضعیف نیاز دارند (مانند آلگهای قرمز از جنس های Chantransia، Hildenbrandia و ...) می توانند به طور فعال عمل فتوسنتز را انجام دهند.

منطقه Profundal

خصوصیات این منطقه شبیه منطقه Bathypelagial است که توسط نبود تولیدکنندگان فتواتوتروف (به دلیل عدم نور کافی) مشخص می شود. موجودات زنده ساکن در این منطقه صرفاً مصرف کننده هستند و وابستگی شدیدی به رسوبات کف دارند. غنای غذایی در این منطقه وابسته به تولیدات مناطق لیتورال و پلاژیال (که به تدریج به آنجا سقوط می کنند) و همچنین تولیدات ارگانیسم های کمواتوتروف (به مقدار کمتر) است.

رسوباتی که در منطقه پروفوندال ته نشین می شوند:

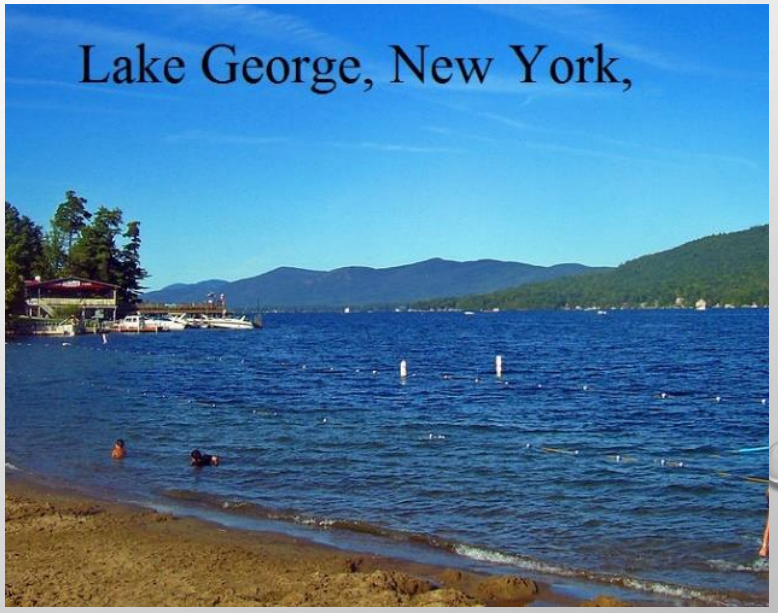
❖ رسوبات گلی

این رسوبات در دریاچه های با ورودی غنی از بقایای گیاهی محیط اطراف (مانند رودخانه هایی که از داخل یک جنگل پهن برگ عبور می کنند) دیده می شود. در آب این دریاچه ها که مواد هوموسی زیاد است، هوموس با جذب کلسیم تشکیل هومات کلسیم می دهد و رسوب می کند. در نتیجه به دلیل نبود کلسیم آزاد در آب، ذخیره کربنی کاهش می یابد و آب حاصلخیزی خود را از دست می دهد (آب شرایط اسیدی پیدا می کند). **رنگ آب در این نوع دریاچه ها قهوه ای رنگ است** که این رسوبات و این نوع رنگ آب شاخص **دریاچه های فاقد تولید (Dystrophic)** است.

Dystrophic lake in Bielawa nature reserve in Poland

❖ رسوبات گلی-ماسه ای

رنگ این رسوبات به مقدار مواد آلی موجود در آنها بستگی دارد، هر چقدر مواد آلی موجود در رسوبات بیشتر باشد، رنگ آنها قهوه ای تر است. رنگ رسوبات از خاکستری روشن تا قهوه ای تیره در نوسان است و این رسوبات دریاچه های کم تولید (Oligotrophic) تا دریاچه های پرتولید (Eutrophic) را شامل می شوند.



ترکیب فون (کمی و کیفی) منطقه پروفوندال دریاچه ها به **مقدار مواد غذایی** موجود و **مقدار اکسیژن** در این ناحیه بستگی دارد.

در **دریاچه های الیگوتروف** به دلیل تولیدات کم در ناحیه اپی پلاژیک، مواد غذایی در منطقه پروفوندال کم می باشد اما مقدار اکسیژن در این منطقه در طول سال بالاست (بالای ۵۰٪ حالت اشباعی در سطح). بنابراین در این ناحیه تنوع گونه ای زیاد است ولی تعداد افراد گونه ها کم است. حشرات جنس *Tanytarsus* (از خانواده Chironomidae) **گونه شاخص این نوع دریاچه ها** هستند.

در **دریاچه های یوتروف** مقدار اکسیژن ناحیه پروفوندال **کم** است (در طول سکون تابستانه به صفر می رسد). بنابراین تنوع گونه ای ضعیف اما تعداد افراد زیاد می باشد. لارو حشرات **جنس *Chironomus*** (از خانواده Chironomidae) و **کرمهای کم تار جنس *Tubifex*** (از خانواده Naididae) **گونه شاخص این دریاچه ها** هستند.

کرمهای کم تار *Tubifex* (شاخص آبهای آلوده به مواد آلی هستند) با تغذیه از رسوبات در واقع باعث یک **شخم بیولوژیک (Biological plowing)** در رسوبات می شوند که این عمل باعث بهتر شدن شرایط غذایی و بدتر شدن شرایط اکسیژنی در کف می شود.

مرداب ها (Bogs)

غالباً مرداب ها از خشک شدن دریاچه ها به وجود می آیند، در نتیجه افزایش دائمی رسوبات در یک دریاچه و عدم تجزیه کامل مواد آلی، به تدریج از عمق دریاچه کاسته شده به طوری که گیاهان مناطق ساحلی سرانجام تمام سطح دریاچه را می پوشانند. در این زمان رشد گیاهان تسریع شده و تجزیه بافت های گیاهی باعث افزایش تولید CO_2 و در نتیجه اسیدی شدن تدریجی آب دریاچه می شود.

❖ شرایط ایجاد مرداب ها:

۱- رطوبت بالای محیط

۲-میزان بارندگی زیاد باشد

۳- تولیدات گیاهی زیاد

در از بین رفتن دریاچه ها ۲ عامل دخالت دارند:

- رسوبات Allochthon: رسوباتی که از محیط اطراف و به وسیله جریان های ورودی به دریاچه وارد می شوند.
- رسوبات Autochthon: رسوباتی که به علت فعالیت های خود دریاچه تولید می شوند، مانند لاشه آبزیان، بقایای گیاهان آبزی و ...

آب مرداب ها به دلیل وجود ترکیبات هومینی به رنگ قهوه ای تیره در می آید. آب مرداب های نسبتاً پیشرفته به دلیل نبود الکترولیت ها (کلسیم) حالت اسیدی شدید دارد (pH پایین از ۶-۵) که این امر باعث کاهش تنوع فون و فلور این محیط ها می شود. بنابراین موجوداتی می توانند در این محیط ها زندگی کنند که اسید دوست (Acidophilic) باشند، مانند جلبک های سبز خانواده Desmidiaceae.

در محیط مرداب ها فاکتورهای نور و رطوبت به ترتیب مانع توسعه گیاهان و جانوران در جهت های عمودی و افقی می شوند.

آب های جاری (Flowing waters)

در مقایسه با دریاچه ها، در آب های جاری وسعت ناحیه ساحلی بیشتر است و همچنین توقف آب در بستر بسیار کوتاه تر است. تولید پلانکتونها در رودخانه ها صرفاً زمانی صورت می گیرد که زمان حمل شدن آن بیشتر از زمان تولید مثل آنها باشد، که این حالت برای رودخانه های بزرگ با جریان آرام امکانپذیر است.

منطقه بندی رودخانه ها بر اساس **وجود و یا فقدان پلانکتون ها**:

- ناحیه بدون پلانکتون (Aplanktonic zone):

شامل بخش هایی از رودخانه می شود که دارای ارتفاع و شیب زیاد و جریان آب سریع و بستر سنگلاخی هستند. مانند نهرهای کوهستانی

- ناحیه حمل پلانکتونها (Tychoplanktonic zone):

در این ناحیه سرعت جریان آب کمتر است اما زمان ماندگاری پلانکتونها به اندازه زمان تکثیرشان نیست.

- ناحیه تولید پلانکتونی (Euplanktonic zone):

به این منطقه، **ناحیه استخری** نیز گفته می شود و جایی است که سرعت جریان آب کم، عرض و عمق آب زیاد است و آب بیشتر شرایط آب ساکن را دارد.

منطقه بندی آبهای جاری

ماهیان بسته به عادت تخمریزی، درجه حرارت ترجیحی و ساختمان بستر در قسمت های مختلف رودخانه تخمریزی می کنند. بنابراین بر اساس **ساختمان و بافت بستر و نوسانات سالیانه درجه حرارت** رودخانه ها به بخش های مختلفی تقسیم بندی می شوند:

۱-منطقه سرچشمه (Kernal zone)

۲- منطقه نهرهای کوهستانی (Rithral zone): در این منطقه سرعت جریان زیاد، عمق آب کم و بستر سنگلاخی است. تمام گونه های **آزاد ماهیان** (Salmonidae) برای تخمریزی بسترهای شنی با آب شفاف، خنک و پُر اکسیژن را می پسندند.

این منطقه خود به ۳ زیر منطقه تقسیم بندی می شود:

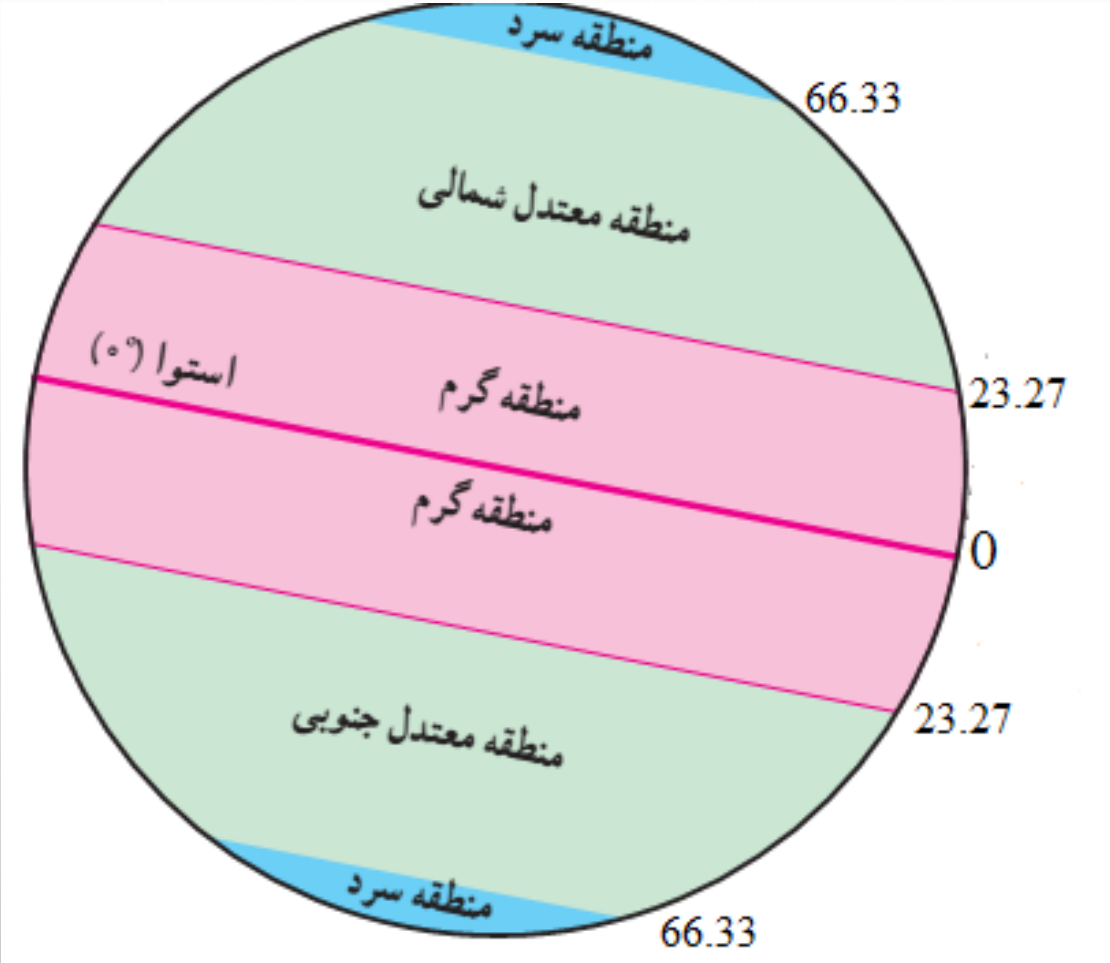
- ✓ Epirithral: ناحیه قزل آلای خال قرمز (*Salmo trutta fario*)
- ✓ Metarithral: ناحیه قزل آلای رنگین کمان
- ✓ Hyporithral: ناحیه ماهیان آزاد بلند باله (تیمالوس ها)

جانوران منطقه Rithral از نظر فرم بدنی و نحوه زندگی بسیار به هم شبیه هستند که اصطلاحاً به آنها Isocenose (جوامع یکنواخت) می گویند.

۳- منطقه جلگه ای (Potamal zone): در این منطقه سرعت جریان کم، عمق آب نسبتاً زیاد و بستر گلی است. این منطقه خود به ۳ زیر منطقه تقسیم بندی می شود:

- ✓ Epipotamal: ناحیه ماهی زرده پر (*Barbus capito*)
- ✓ Metapotamal: ناحیه ماهی سیم (*A. Brama*)
- ✓ Hypopotamal: ناحیه ماهیان پهن (Flounder)

دامنه گسترش و بزرگی مناطق Rithral و Potamal تابع **عرض جغرافیایی** و **ارتفاع منطقه از سطح دریا** است. بنابراین در ارتفاع یکسان، اگر از قطب به طرف استوا حرکت کنیم دامنه گسترش ناحیه Rithral کاهش یافته و به وسعت ناحیه Potamal افزوده می شود.

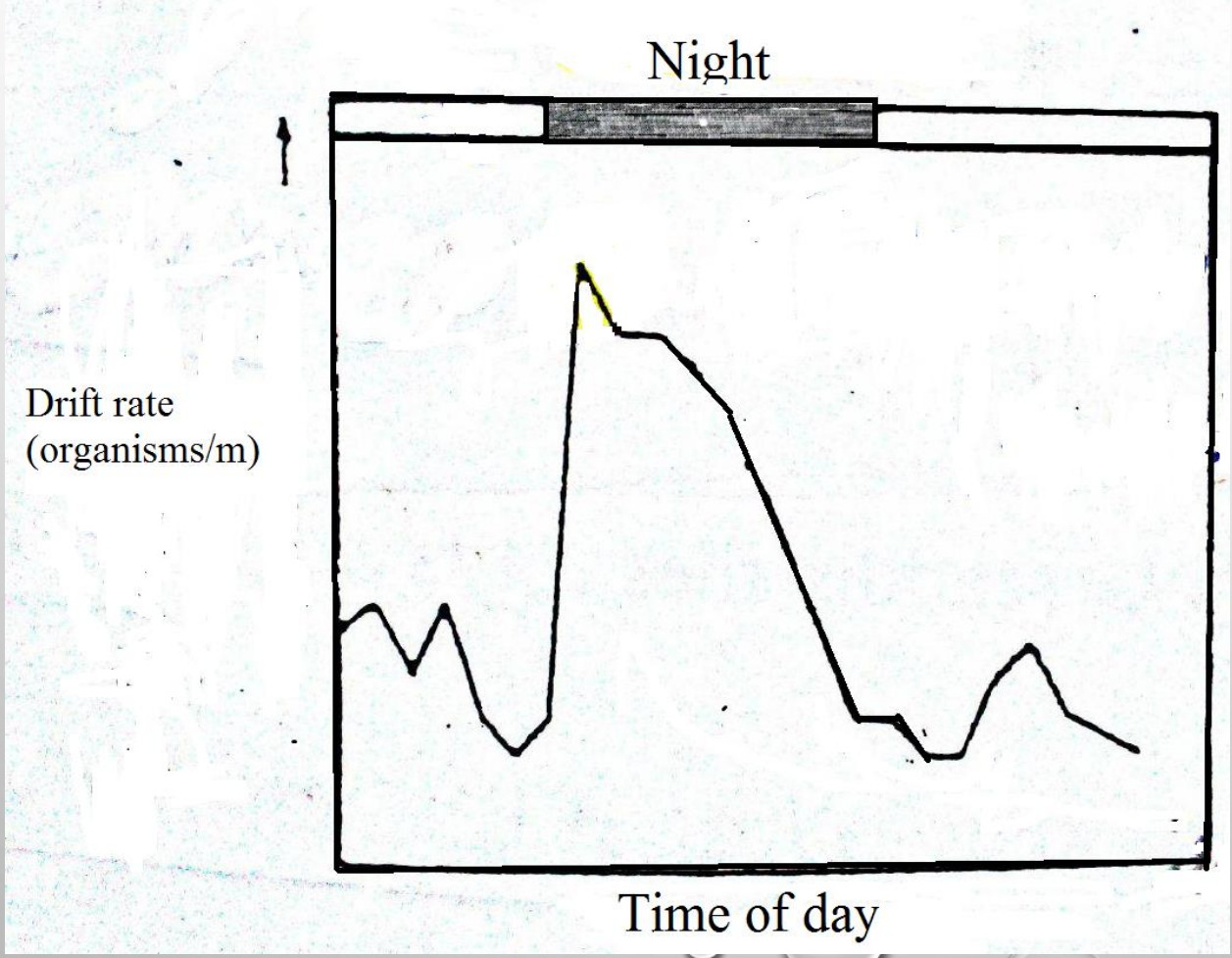

منطقه سرد
66.33
منطقه معتدل شمالی
استوا (۰°)
منطقه گرم
23.27
منطقه گرم
0
منطقه معتدل جنوبی
23.27
منطقه سرد
66.33

بنتوزهای آبهای جاری

غالباً شامل لارو حشرات می شوند. این موجودات از آنجا که شنای فعال ندارند در مقابل جریان آب قادر به حفظ موقعیت خود نیستند و به همین خاطر در محیط های آب مُرده بین سنگهای کف رودخانه (Hyporheistic interstitial) زیست می کنند (با کاهش ارتفاع بدن خود به سنگ ها می چسبند).
این موجودات با شروع غروب آفتاب و هنگامی که شدت روشنایی به ۲-۱ لوکس می رسد پناهگاه های خود را ترک می کنند و جهت تغذیه خود را به سطح سنگ ها می رسانند.

این موجودات دارای Phototaxis **منفی** و Reotaxis **مثبت** هستند، یعنی در جهت مخالف جریان طوری قرار می گیرند که آب آنها را نتواند شسته و با خود ببرد.
البته حمل ارگانیسم ها همیشه برای آنها مضر نیست، بلکه در **مراحل اولیه لاروی** باعث می شود که بدون صرف انرژی در مسیر حرکت رودخانه گسترش یابند.

حمل (شست وشوی) این موجودات در آب های جاری به **شدت نور** بستگی دارد و زمانی آغاز می شود که از شدت نور به حد معینی کاسته شود، به طوری که **حمل جانوران در شب به حداکثر خود می رسد** و در نیمه های شب به آرامی کاهش می یابد.



گازهای محلول در آب (Dissolved gases in natural waters)

به طور کلی حلالیت گازها تحت تأثیر **دما** و **فشار** است.

با **افزایش دما** و **کاهش فشار** میزان حلالیت گازها در آب **کاهش** پیدا می کند.

مهمترین گازهای محلول در اکوسیستم های آبی:

- گازهایی مانند اکسیژن و دی اکسید کربن که مستقیماً بعنوان شاخص فعالیتهای بیولوژیک در ذخیره غذایی آبها محسوب می شوند. در حالت طبیعی، اکسیژن و دی اکسید کربن فراوانترین گازها در آب هستند.
- گازهایی مانند ازت (N_2) که در سیکل متابولیک میکروارگانیسم هایی مانند جلبک های سبز-آبی وجود دارند.
- گازهایی مانند متان (CH_4) و سولفید هیدروژن (H_2S) بر اثر فعالیت باکتری ها در شرایط بی هوازی به وجود می آیند.

در جدول زیر میزان حلالیت گازها (برحسب mg/l) در آب شیرین با دماهای متفاوت در شرایط آزمایشگاهی و در فشار ۷۶۰ میلی متر جیوه ارائه شده است:

گازها بر حسب میلی گرم بر لیتر	دمای آب			
	۰ °C	۱۰ °C	۲۰ °C	۳۰ °C
O_2	۶۹/۵	۵۳/۷	۴۳/۳	۳۵/۹
N_2	۲۸/۸	۲۲/۶	۱۸/۶	۱۵/۹
CO_2	۳۳۵۰	۲۳۲۰	۱۶۹۰	۱۲۶۰

بنابراین گاز CO_2 بیشترین پتانسیل حلالیت در آب را دارد، زیرا این گاز با مولکولهای آب واکنش داده و اسید کربنیک (H_2CO_3) ایجاد می شود، که خود اسید کربنیک با کاتیون های موجود در محیط آبی واکنش می دهد و **ترکیباتی مضاعفی** مانند کربنات ها (CO^{-2}_3) و بی کربنات (HCO^{-}_3) تشکیل می گردند.

اما در **شرایط طبیعی**، حلالیت گازها به نسبت سهم فشار جزئی هر یک از آن ها در اتمسفر می باشد. در جدول زیر غلظت گازهای محلول (mg/l) در محیط طبیعی آب شیرین آورده شده است.

گازها بر حسب میلی گرم بر لیتر	سهم در فشار هوای اتمسفر (٪)	دمای آب			
		۰ °C	۱۰ °C	۲۰ °C	۳۰ °C
O_2	۲۰/۹۹	۱٤/٥	۱۱/۱	۸/۹	۷/۲
N_2	۷۸/۰	۲۲/٤	۱۷/٥	۱٤/۲	۱۱/۹
CO_2	۰/۰۳	۱/۰۰٥	۰/۷	۰/٥۱	۰/۳۸

آبی که در فشار یک اتمسفر این مقادیر از گازهای محلول را در خود داشته باشد، **اشباع** تلقی می شود. اما آبهای طبیعی به ندرت در حالت تعادل با اتمسفر هستند. معمولاً غلظت گازهای اکسیژن و دی اکسید کربن که در فرآیند سوخت و ساز موجودات زنده مصرف یا تولید می شوند با این مقادیر انحراف دارد.

با افزایش دما، ذخیره اکسیژنی آب کاهش می یابد در حالی که نیاز اکسیژنی موجودات افزایش پیدا می کند.

در آبهای جاری **کمبود اکسیژن فیزیولوژیک** تا حدودی توسط جا به جایی ها و حرکات آب جبران می شود و تقریباً حداکثر اکسیژن قابل دسترس در اختیار جانور است. اما در آب های ساکن این تحرکات آبی وجود ندارد. به همین خاطر در **بسترهای دریاچه های یوتروف**، خود جانوران با تولید **حرکات حلزونی (جهت به حرکت درآوردن آب)** تا حدودی نیاز اکسیژنی خود را تأمین می کنند.

اکسیژن محلول

عوامل افزایش دهنده اکسیژن در محیط های آبی:

- ✓ ورود از طریق اتمسفر
- ✓ فتوسنتز

عوامل کاهشی:

- ✓ تنفس
- ✓ تجزیه و معدنی شدن مواد آلی
- ✓ پس دادن به اتمسفر

بنابراین موازنه اکسیژنی در محیط های آبی با **کاهش اکسیژن ورودی از اتمسفر** و **کاهش فتوسنتز** و یا **افزایش فعالیت موجودات هتروترف** بدتر می شود. به طور کلی در آبهای جاری به دلیل حرکت و جا به جایی سریع و عمق کم آب، موازنه اکسیژنی مساعدتر از آبهای ساکن است.

شرایط اکسیژنی دریاچه ها

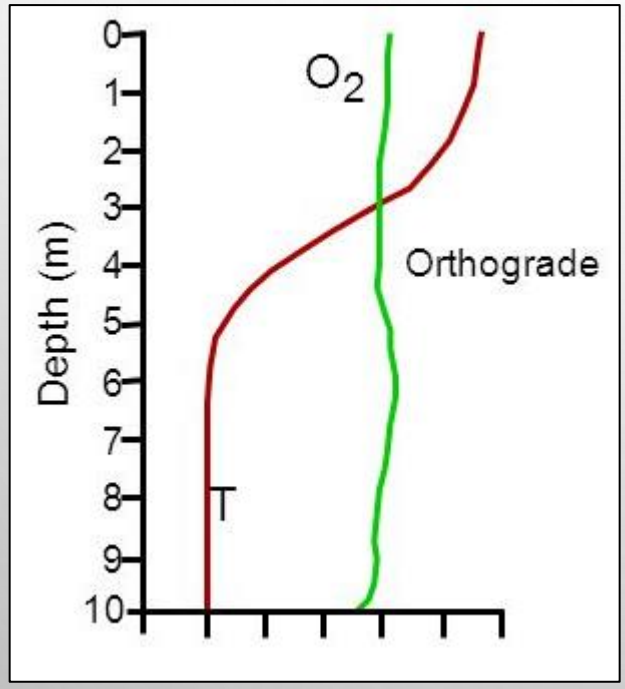
طی سکون تابستانه همواره اکسیژن از طریق اتمسفر و فتوسنتز به لایه های فوقانی افزوده می شود. بنابراین بین فرآیندهای تولید و مصرف اکسیژن در این لایه تعادل وجود دارد. در مقابل، در لایه تحتانی صرفاً فعل و انفعالات مصرف اکسیژنی حاکم می شود.
بیشترین میزان مصرف اکسیژن در لایه هیپولیمنیون مربوط به فعالیتهای میکروبی معدنی شدن مواد آلی حاصل از بقایای گیاهی و جانوری است.

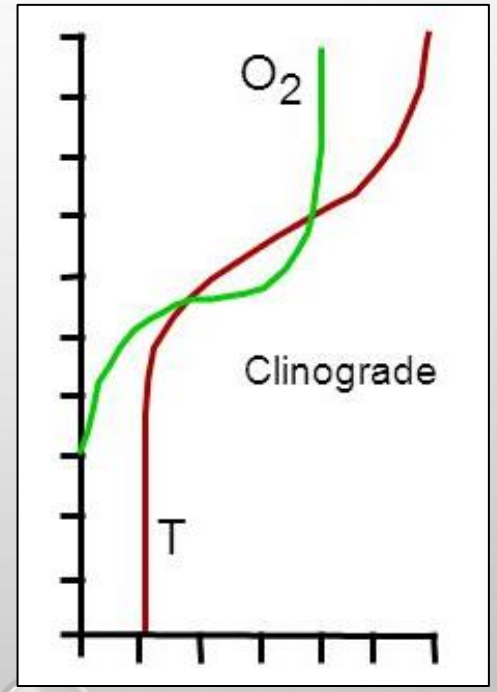
عوامل موثر بر انباشته شدن مواد آلی در کف دریاچه ها:

- وضعیت تولید در لایه اپی لیمنیون
- میزان سقوط و سرعت تجزیه مواد آلی
- عمق آب

در **دریاچه های الیگوتروف** میزان مصرف اکسیژن **لایه هیپولیمنیون** در هر یک از سکون ها کم است و **بالاتر از ۵۰ درصد حد اشباعی در سطح** می باشد. اما در **دریاچه های یوتروف** مقدار اکسیژن موجود در این لایه **به طور کامل مصرف** می شود.

برای **دریاچه های الیگوتروف** منحنی Orthograd و برای **دریاچه های یوتروف** منحنی Clinograd نشان دهنده وضعیت اکسیژنی دریاچه می باشد.

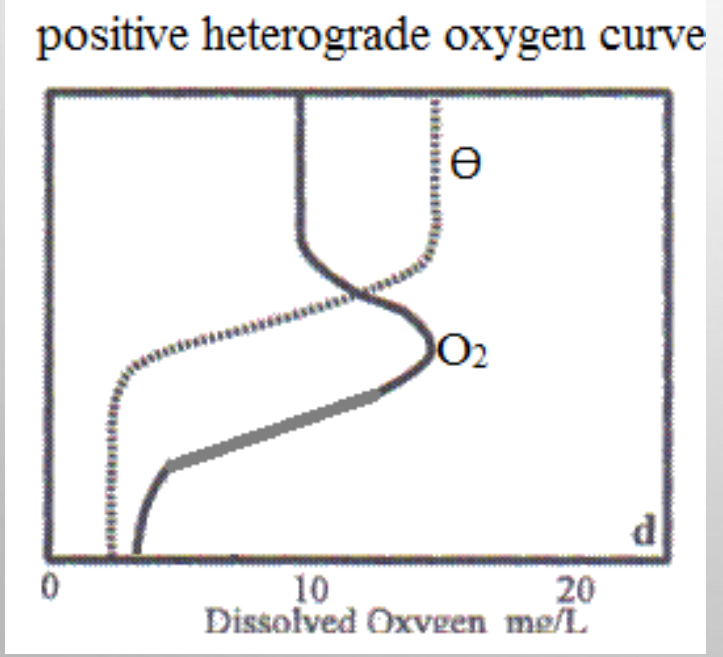


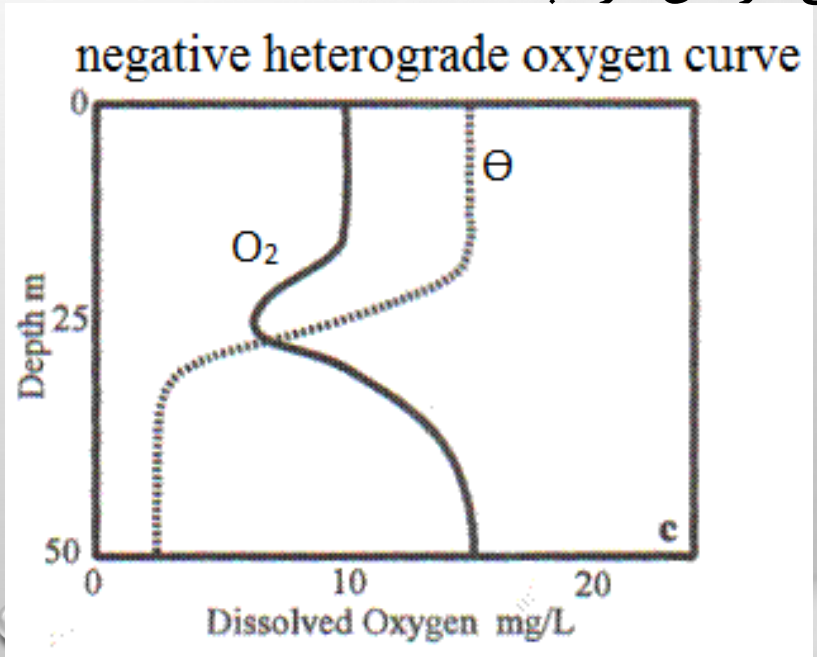


- در اینجا حد نهایی دریاچه های یوتروف و الیگوتروف نمایش داده شده است ، بسیاری از دریاچه ها در حد واسط این دو قرار دارند و تغییرات تدریجی را در حین تبدیل شدن از کم تولیدی به پرتولیدی از خود نشان می دهند.

گاهی در برخی دریاچه ها، اثر **تجمع ارگانیزم های فتوسنتز کننده** در طبقات میانی آب (لایه متالیمنیون) ممکن است در پروفیل عمودی اکسیژن یک افزایش شدیدی مشاهده شود و پس آن مجدداً به سیر طبیعی خود را باز گردد، **منحنی هتروگراد مثبت** نشان دهنده وضعیت اکسیژنی در این دریاچه ها است.

بر عکس این حالت نیز ممکن است بر اثر **تجمع ارگانیزم های مصرف کننده اکسیژن (تجزیه شدید مواد آلی)** منحنی اکسیژن در طبقات میانی دچار کاهش شدیدی شده و سپس به حالت طبیعی باز گردد که **منحنی هتروگراد منفی** نشان دهنده وضعیت اکسیژنی در این دریاچه ها است.

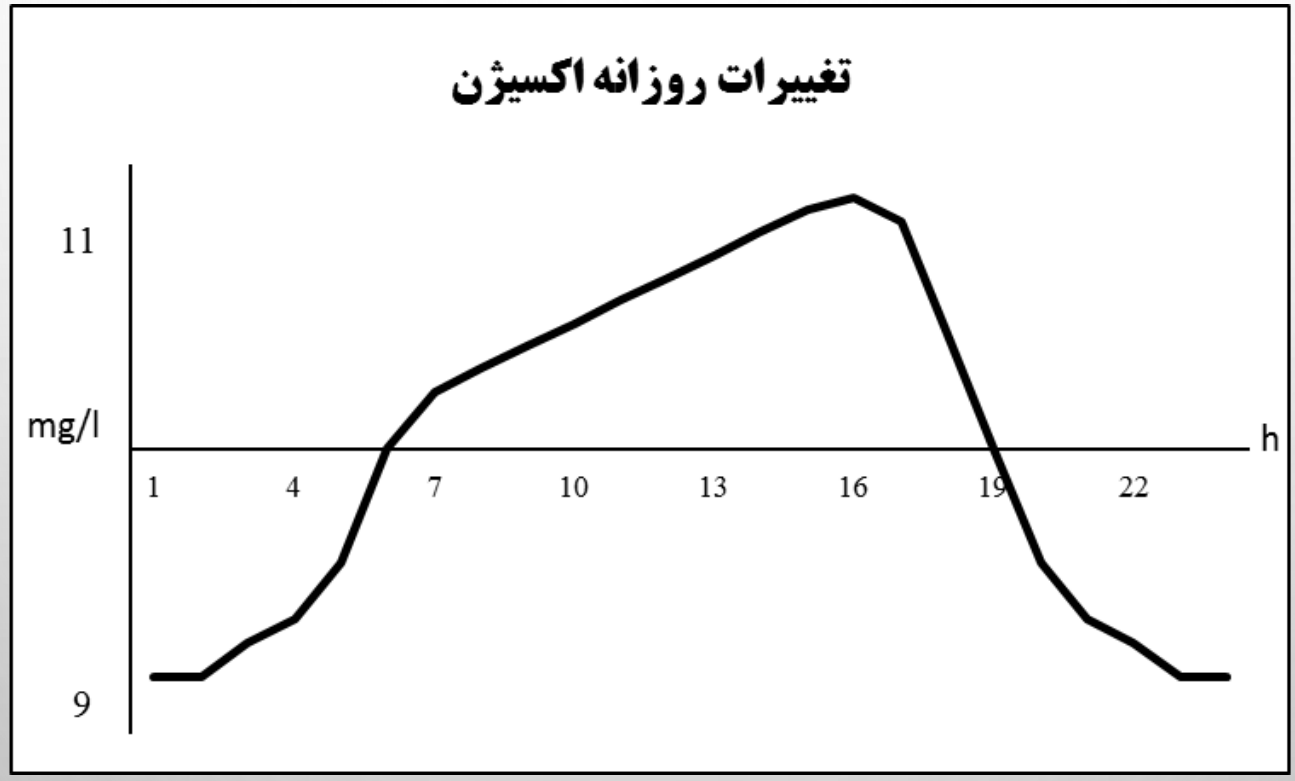




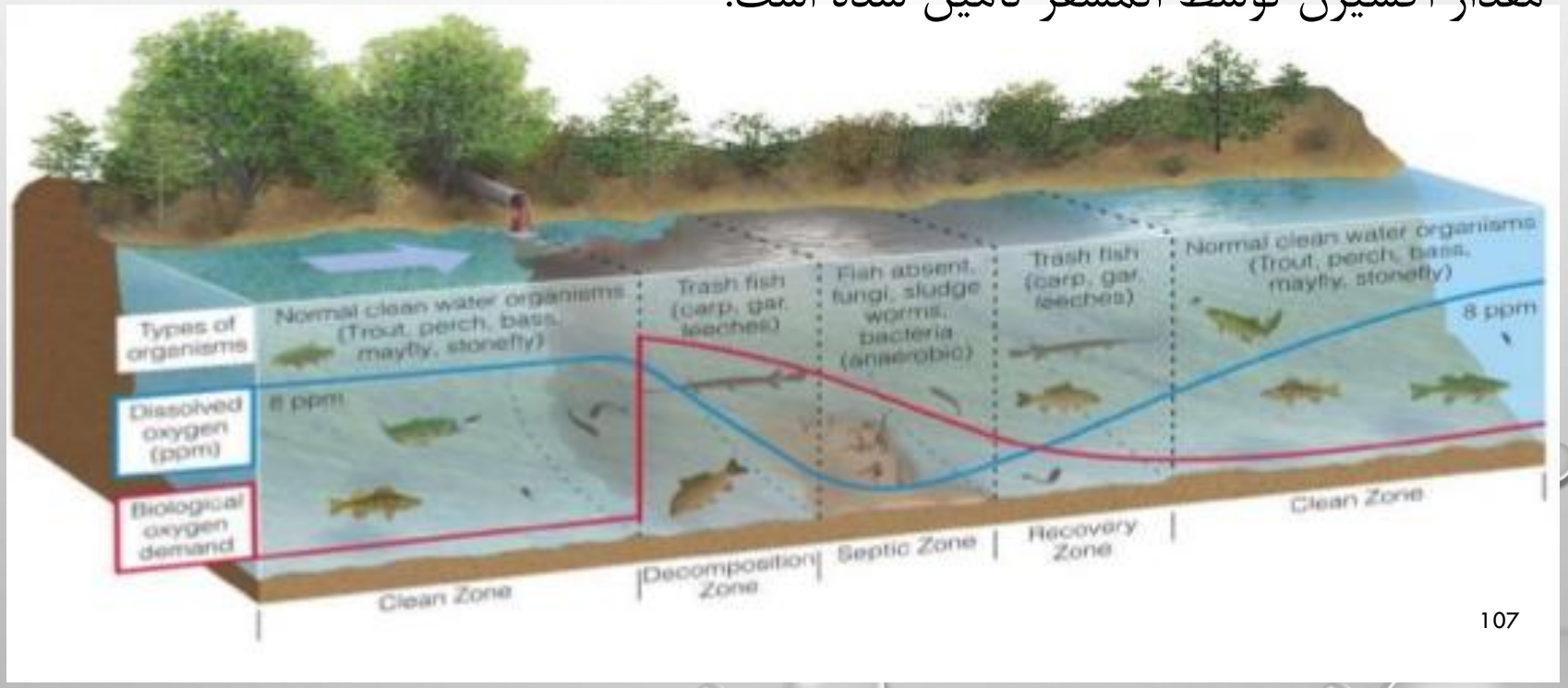
باید توجه داشت که در **دریاچه های مناطق معتدله** منحنی عمودی اکسیژن بیانگر چگونگی فعالیت های حیاتی در آن ها است. در دریاچه های مناطق گرمسیری که درجه حرارت لایه تحتانی در آنها همواره بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد است به دلیل فعالیت های شدید تجزیه مواد آلی، اکسیژن لایه هیپولیمنیون به سرعت مصرف می شود، در نتیجه پروفیل عمودی اکسیژن محلول معرف وضعیت تولید و فعالیت های حیاتی این دریاچه ها نیست.

شرایط اکسیژنی آبهای جاری

- در آبهای جاری جذب اکسیژن اتمسفری از سطح آب به خصوص در مواقعی که محیط آب با کمبود شدید اکسیژن مواجه می شود (مانند رودخانه های با آلودگی شدید مواد آلی و یا در هنگام شب) بسیار بالاتر است.
در این محیط های آبی (حتی رودخانه های بزرگ) طبقات اکسیژنی پایدار به گونه ای که در دریاچه ها تشکیل می گردد، دیده نمی شود. نیاز اکسیژنی آبهای جاری نیز تابع مقدار مواد آلی قابل تجزیه ای است که بوسیله جریان آب حمل شده یا در محل های آرام مسیر رودخانه جمع می شوند.
همان گونه که تشکیل طبقات عمودی اکسیژنی در دریاچه نشان دهنده وضعیت اکسیژنی و شرایط غذایی آن ها است، در آب های جاری منحنی روزانه اکسیژن گویای این مطلب است.


تغییرات روزانه اکسیژن
11
mg/l
9
h
1
4
7
10
13
16
19
22

همچنین ورود فاضلاب های حاوی مواد آلی بار مضاعفی بر دوش موازنه اکسیژنی در آبهای جاری قرار می دهد. به طوری که اگر یک بار آلودگی شدید در محل مشخصی وارد رودخانه شود مقدار اکسیژن در آن ناحیه به صفر می رسد و در ادامه در پایین دست رودخانه بسته به شدت آلودگی و خصوصیات فیزیکی رودخانه (حجم آب، تلاطم، شیب و جنس بستر) میزان اکسیژن به حالت طبیعی باز می گردد که این مقدار اکسیژن توسط اتمسفر تأمین شده است.



در آبهای جاری بدون فعالیتهای حیاتی (Abiotic flowing waters) مانند رودخانه های فصلی و یا محل ورود مواد سمی، منحنی روزانه اکسیژن تابع درجه حرارت است.

در آبهای جاری کم تولید و پر تولید آلوده نشده منحنی اکسیژنی تحت تأثیر فعالیت های فتوسنتزی است، به طوری که در زمان روز میزان اکسیژن محلول به بالای حد اشباعی خود می رسد و در شب ها به دلیل مصرف اکسیژن کمبود اکسیژن پیش می آید.

در حالی که در رودخانه های با آلودگی ضعیف در زمان روز میزان اکسیژن محلول به بالای حد اشباع نمی رسد.

دی اکسید کربن، اسید کربنیک و کربنات ها

غالباً ورود دی اکسید کربن به محیط های آبی از طریق آبهای زیر زمینی، اتمسفر، فرآیندهای سوخت و ساز موجودات آبزی صورت می پذیرد. هنگام **تجزیه هوازی** بقایای مواد آلی، کربن به صورت **دی اکسید کربن (CO_2)** معدنی می شود. همچنین از **تجزیه بی هوازی** مواد آلی به مقدار برابر **دی اکسید کربن و متان (CH_4)** تولید می شود.

شکل های مختلف CO_2 در محیط های آبی:

محیط آبی با pH اسیدی: $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$ اسید کربنیک

محیط آبی با pH خنثی: $H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$ بی کربنات

محیط آبی با pH قلیایی: $HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$ کربنات

بنابراین، اینکه در چه شرایطی ترکیبات مختلف کربن در آب وجود داشته باشد تابع PH است.

در آبهای حاوی میزان بالای CO_2 (شرایط اسیدی)، دی اکسید کربن با کربنات کلسیم ($CaCo_3$) غیر محلول واکنش می دهد و بی کربنات کلسیم ($Ca(HCO_3)_2$) که محلول است، تولید می شود (در شرایط قلیایی عکس واکنش صورت می گیرد).

$$CO_2 + CaCO_3 + H_2O \leftrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

در طی عمل فتوسنتز (ساعات روز) دائماً CO_2 مصرف می شود. بنابراین در استخرهای پرورش میگو، ماهیان گرمابی و دریاچه های یوتروف طی روز با کاهش CO_2 و افزایش O_2 مواجه هستند. اما عدم حضور CO_2 می تواند فتوسنتز را متوقف کند، بنابراین در آبهایی که ذخایر کربناته دارند $Ca(HCO_3)_2$ تجزیه شده و CO_2 حاصل می شود. همچنین در طول شب CO_2 حاصل از پدیده تنفس باعث اسیدی شدن محیط می شود که با حل شدن کربنات کلسیم مانع از اسیدی شدن بیش از حد محیط می شود و بیکربنات کلسیم تولید می گردد.

بنابراین ذخایر کربناته نقش مهمی در تنظیم pH دارند و در آبهایی که ذخایر کربنات کلسیم کم است (آبهای اسیدی)، CO_2 می تواند به عنوان عامل محدود کننده تولیدات اولیه به حساب آید.

در برخی از دریاچه های پرتولید با شدت زیاد فتوسنتز، بی کربنات کلسیم محلول به کربنات کلسیم نامحلول تبدیل می شود و رسوبات آهکی سفید رنگی در منطقه لیتورال آنها دیده می شود که به این دریاچه ها دریاچه های آهکی گفته می شود. تولید کربنات کلسیم به این روش را تولید بیوژنی آهک می گویند.

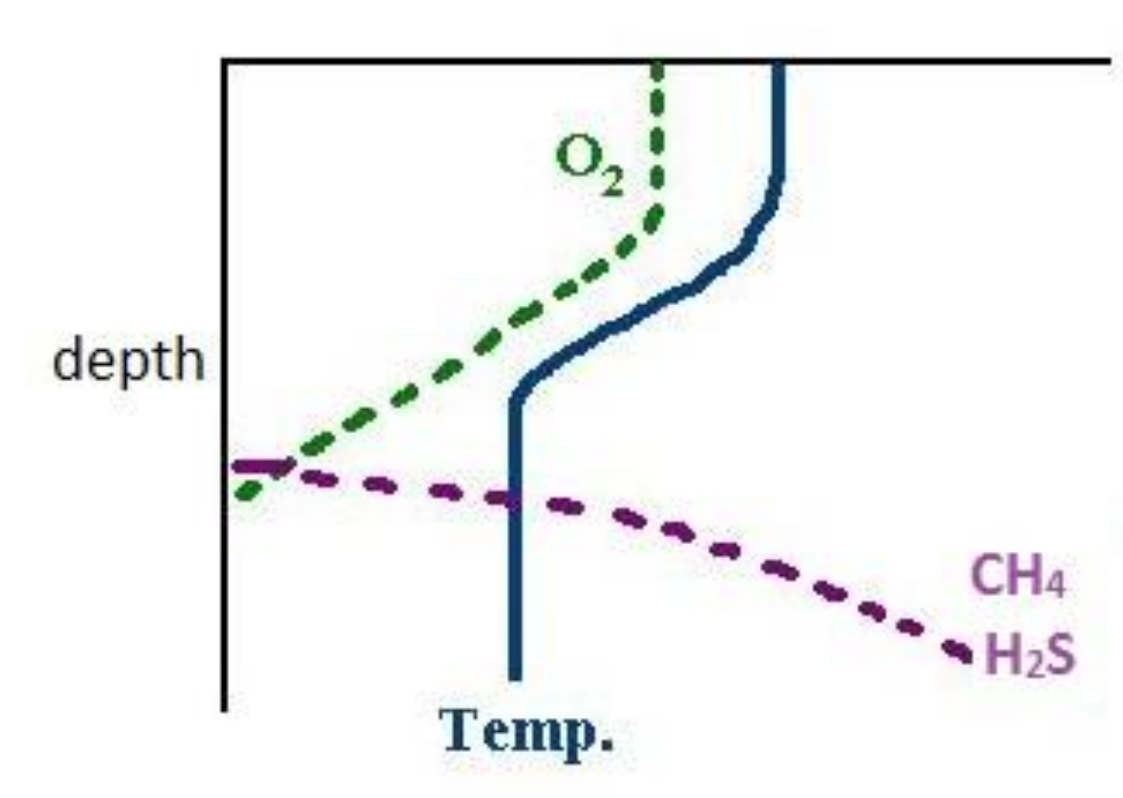
در لایه اپی لیمنیون دریاچه ها در طول روز فقر CO_2 داریم (به وسیله فیتوها دائماً مصرف می شود) و در طول شب میزان CO_2 زیاد است. همچنین در نواحی متالیمنیون و هیپو لیمنیون نیز به دلیل نبود تولیدکنندگان و تجزیه همواره افزایش CO_2 را داریم به طوریکه بیشترین مقدار آن را می توان در فاصله کمی از بستر (چون بیشترین فعالیت های تجزیه ای در لایه بین آب و رسوبات انجام می شود) مشاهد نمود.

کربنات کلسیم خود معیاری برای سنجش سختی آب است و سختی آب را در کشورهای مختلف بر اساس غلظت ترکیبات آهکی (ترکیبات کلسیم دار) می سنجند. برای مثال معیار سنجش سختی در کشور ایران مانند کشور آمریکا بر اساس میلی گرم در لیتر (ppm) کربنات کلسیم است. آبهایی که از مناطق یا بسترهای سنگ های آذرین سرچشمه می گیرند سبک و آبهایی که از مناطق آهکی سرچشمه می گیرند سنگین هستند.

متان (CH_4) و هیدروژن سولفوره (H_2S)

این گازها بر اثر تجزیه میکروبی مواد آلی در **شرایط بی هوازی** تولید می شوند. بخشی از متان تولید شده وارد اتمسفر می شود و بخشی نیز در آب توسط باکتری های اکسید کننده متان (از نوع کمواتوتروف هستند) مورد مصرف قرار می گیرد.

بر خلاف متان، H_2S به راحتی در آب حل نمی شود و مانند متان نیز از سطح آب به اتمسفر منتقل نمی شود (در ادامه و در قسمت ترکیبات گوگردی به تفصیل به نقش آن در محیط های آبی می پردازیم).


O_2
depth
CH_4
H_2S
Temp.

نیتروژن (N_2)

گاز ازت (N_2) اهمیت کمی در ذخیره غذایی آبها دارد. این گاز با آب واکنشی ندارد و تنها به وسیله تعداد کمی از میکروارگانیسم ها به طور مستقیم مورد استفاده قرار بگیرد. باکتری های اتوتروف (سیانوباکترها و ازتوباکترها) و باکتری های هتروتروف ازت گازی را جذب و در چرخه بیوژنی مواد وارد می کنند. به این پدیده که طی آن نیتروژن (N_2) موجود در آب به آمونیوم (NH_4^+) تبدیل می‌گردد، پدیده تثبیت نیتروژن می گویند.

شرایط تثبیت نیتروژن توسط باکتری ها فتواتوتروف:

۱- انرژی: تثبیت نیتروژن در ابتدا به مقداری انرژی (ATP) نیاز دارد که از طریق فتوسنتز فراهم می شود. تقریباً برای تبدیل هر مولکول N_2 به ۱۵-۱۲ مول ATP نیاز است.

۲- نور: تثبیت N_2 در منطقه تروفوژن دریاچه انجام می گیرد و در تاریکی تثبیت N_2 توسط باکتریهای فتواتوتروف به میزان کمتر از ۱۰ ٪ در منطقه تروفوژن می رسد.

بنابراین، تثبیت ازت (N_2) در کل ستون دریاچه انجام می گیرد و مانند فتوسنتز با افزایش عمق کاهش می یابد و در ناحیه مرزی بین آب و رسوبات به علت فعالیت شدید باکتریهای هتروتروف به شدت کاهش می یابد.
میزان نثبیت نیتروژن در دریاچه های الیگوتروف و مزوتروف کم است (کمتر از ۰/۱ گرم نیتروژن در متر مربع در سال) اما در دریاچه های یوتروف زیاد است (۰/۲ تا ۹/۲ گرم نیتروژن در متر مربع در سال).

مواد جامد محلول در آب (Dissolved solids)

حلالیت مواد جامد موجود در رسوبات کف دریاچه ها تابع **pH** و **پتانسیل اکسید شدن آنها در آب (Eh)** است.

حلالیت مواد جامد در آب با افزایش دما **افزایش** می یابد (کربنات ها استثنا هستند) ولی ارتباط چندانی با فشار ندارد.

ترکیبات معدنی نیتروژن (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-)

نیتروژن به اشکال متفاوتی در محیط های آبی وجود دارد که ترکیبات معدنی آن شامل نیترات (NO_3^-)، نیتریت (NO_2^-) و آمونیوم (NH_4^+) می شود و ترکیبات آلی آن نیز در مواد دفعی حیوانات، آمینواسیدها و آنزیم ها وجود دارد.
آمونیاک (ترکیب آلی نیتروژن) به عنوان محصول نهایی پروتئین ها در آبزیان به محیط دفع می شود.

$$NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4OH \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

سپس آمونیوم (NH_4^+) توسط باکتری هوازی کمواتوتروف به نام Nitrosomonas به نیتریت (NO_2^-) تبدیل می شود. نیتریت سمی و خطرناک است (به علت تأثیر منفی بر انتقال اکسیژن در آبزیان و نهایتاً آسیبهای بافتی). سپس نیتریت نیز به وسیله باکتری هوازی کمواتوتروف به نام Nitrobacteria به نیترات تبدیل (NO_3^-) می شود. نیترات کم ضررترین ترکیب معدنی نیتروژن است و فقط در غلظت های بالا می تواند برای ماهی ها کشنده باشد.

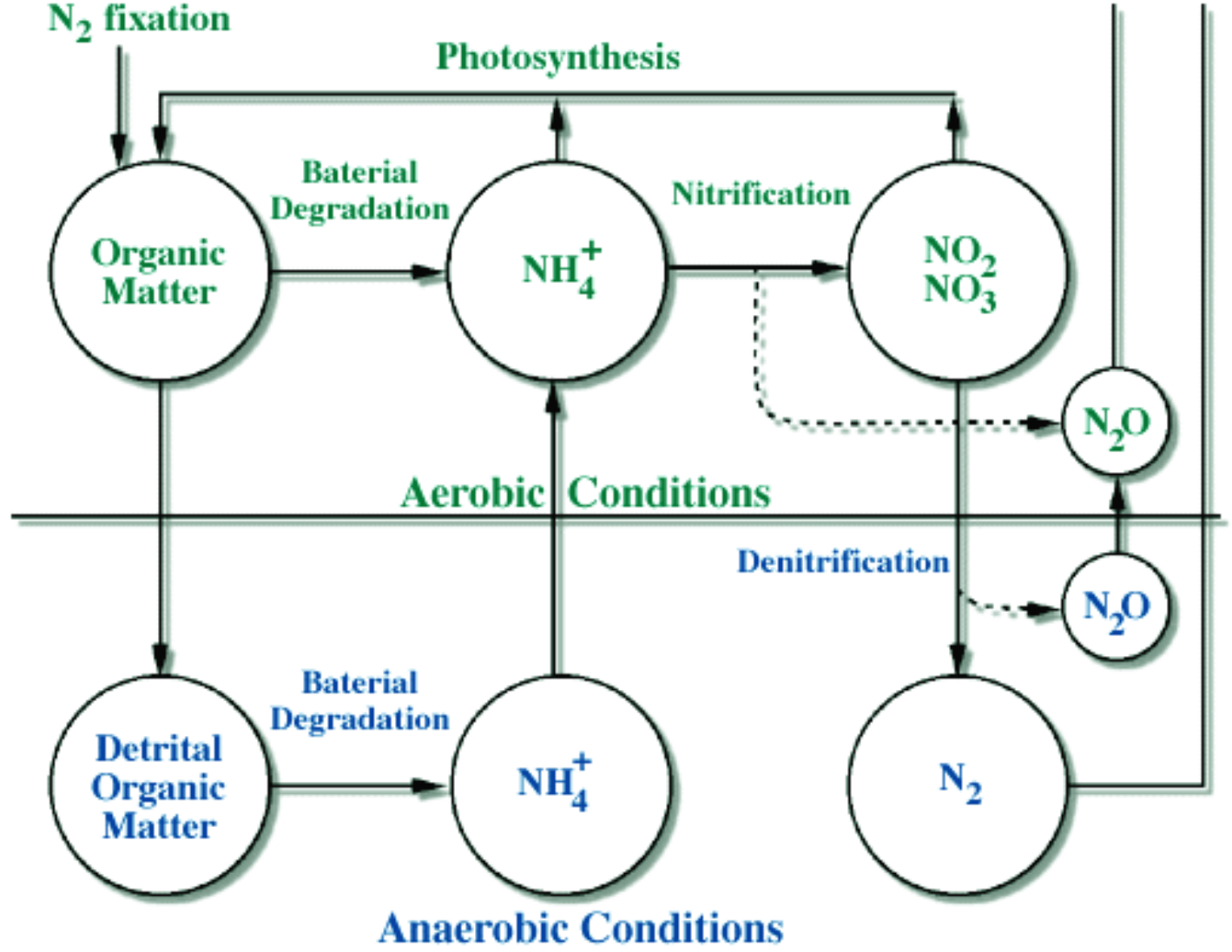
شرایط هوازی

$$2\,NH_3 + 3\,O_2 \leftrightarrow 2\,NO_2^- + 2\,H^+ + 2\,H_2O$$

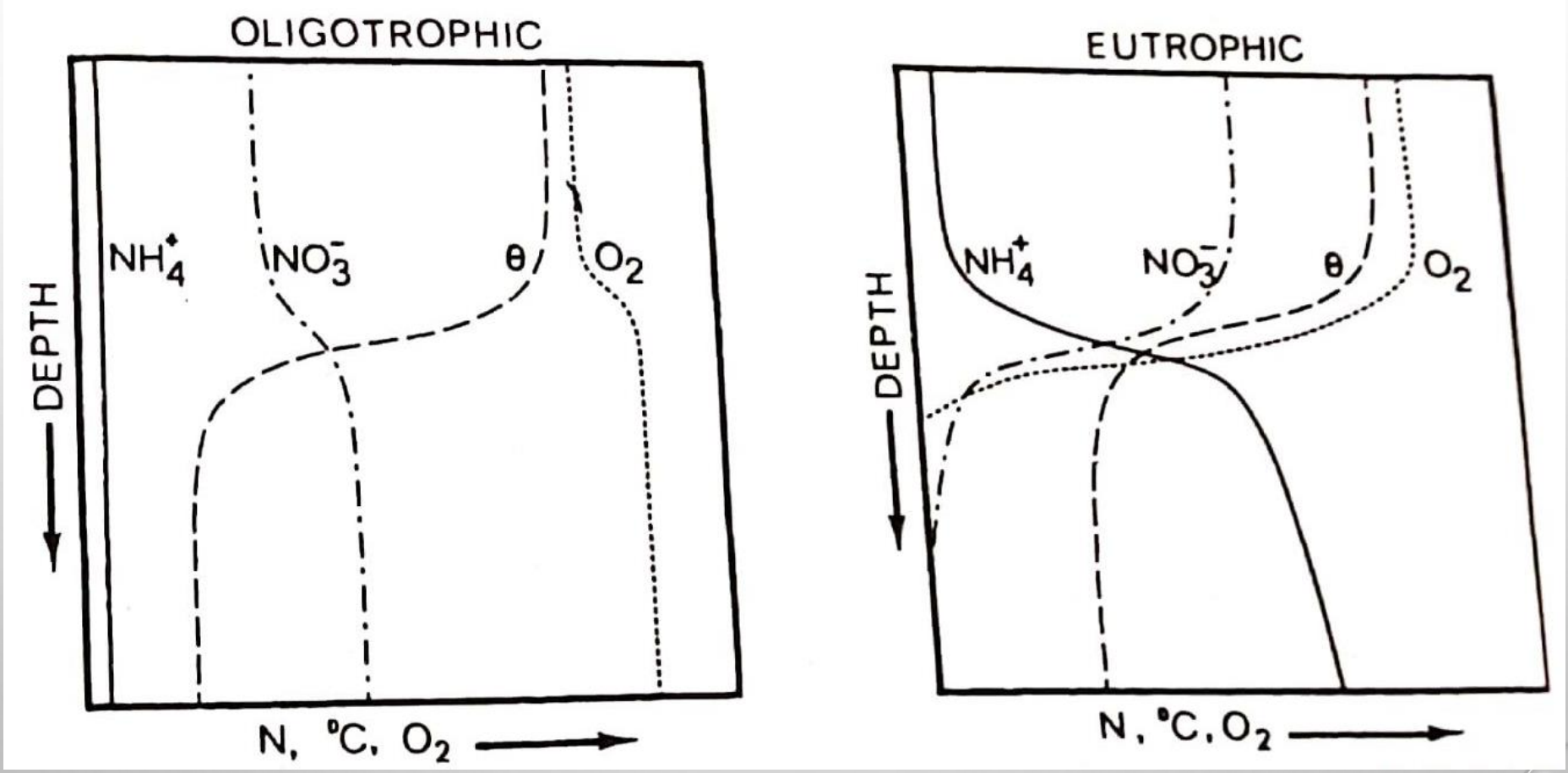
$$2\,NO_2^- + O_2 \leftrightarrow 2\,NO_3^-$$

بنابراین در دریاچه های پرتولید به هنگام سکون تابستانه، به دلیل نبود اکسیژن در لایه هیپولیمنیون پدیده نیتریفیکاسیون (Nitrification cycle) انجام نمی شود و در نتیجه یون های آمونیوم در زیر لایه ترموکلاین تجمع یافته در حالی که نیترات وجود ندارد.

همچنین دلیل این توزیع نامتعادل در لایه هیپولیمنیون، انجام دنیتریفیکاسیون (Denitrification) در شرایط بی هوازی نیز می باشد. در این عمل که توسط باکتریهای *Psudomonas* (مانند *Thiobacillus denitrificans*, *Nitrococcus denitrificans*) نیترات (NO_3^-) به ازت گازی (N_2) تبدیل می شود.


N_2 fixation
Photosynthesis
Baterial Degradation
Nitrification
Organic Matter
NH_4^+
NO_2 NO_3
N_2O
Aerobic Conditions
Denitrification
N_2O
Baterial Degradation
Detrital Organic Matter
NH_4^+
N_2
Anaerobic Conditions

غالباً در دریاچه های **الیگوتروف** نیترات (NO_3^-) به مقدار فراوان وجود دارد، اما در دریاچه های **یوتروف** معمولاً تمام آن در لایه Epilimnion مصرف می شود که در این حالت می تواند به عنوان یک عنصر محدود کننده تولید در این لایه محسوب شود.


OLIGOTROPHIC
DEPTH
NH_4^+
NO_3^-
θ
O_2
N, °C, O_2
EUTROPHIC
DEPTH
NH_4^+
NO_3^-
θ
O_2
N, °C, O_2

ترکیبات فسفر

فسفر اولین عامل محدودکننده تولید در منابع آبی است و هر منبع آبی که میزان فسفر در آن بیشتر باشد وضعیت تروفی بهتری دارد.

منابع ورود فسفر به محیط های آبی:

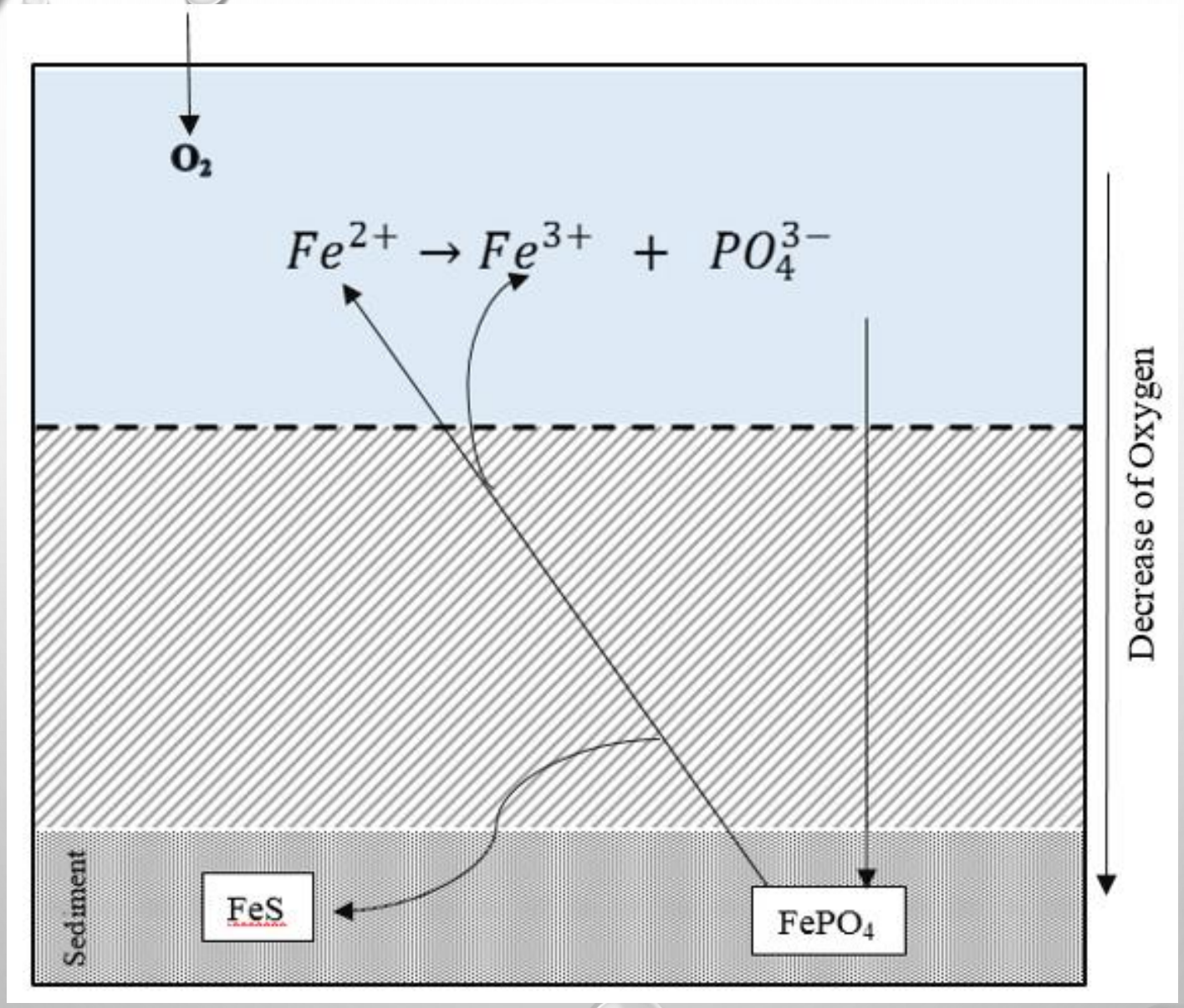
- حوزه آبریز و رودخانه ها
- رواناب حاصل از زمین های کشاورزی (به خصوص زمین های کوددهی شده)
- عبور آب از زمین با بستر سنگ های آپاتیت (سنگ مادر فسفر)
- فاضلاب های شهری، خانگی، کشاورزی و صنعتی

اشکال فسفر موجود در منابع آبی:

- **ارتوفسفات (PO_4^{3-}) یا فسفات معدنی محلول:** در منطقه تروفوژن توسط گیاهان جذب می شود، عامل تولید است و به همین دلیل چون فعال کننده زنجیره تولید است به آن فسفات فعال نیز گفته می شود. بخشی از آن نیز با آهن ترکیب می شود و به شکل فسفات آهن ($FePO_4$) به رسوبات کف سقوط می کند.

- **فسفات آلی محلول و پلی فسفات:** توسط ارگانیسم های زنده (به خصوص زئوپلانکتونها) به محیط های آبی وارد می شود.
- **فسفات آلی معلق (ذرات گیاهی و جانوری در حال تجزیه):** بخشی از آن طی مراحل تجزیه به صورت محلول در می آید و قسمتی از آن معدنی می شود و همراه با ترکیبات آهن به کف سقوط می کند.

در منطقه تروفوژن دریاچه ها، همواره بخشی از فسفات معدنی محلول توسط موجودات فتواتوتروف جذب و به صورت ترکیبات آلی وارد زنجیره غذایی می شود. اما سرنوشت فسفاتی که به کف دریاچه سقوط می کند به طور مؤثری با عنصر آهن در ارتباط است.


O_2
$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + PO_4^{3-}$
Decrease of Oxygen
Sediment
FeS
$FePO_4$

ترکیب سه ظرفیتی آهن (Ferric) در آب **غیر محلول** است و فقط تحت شرایط احیایی (نبود اکسیژن) به صورت محلول (Fe^{2+}) در می آید. فسفر با این ترکیب از آهن واکنش می دهد و به صورت فسفات آهن ($FePO_4$) از منطقه تروفوژن خارج می شود و در بستر رسوب می کند. $FePO_4$ تا زمانی که پتانسیل احیایی در رسوبات کف بزرگتر از ۰/۲ ولت است (شرایط وجود اکسیژن) به صورت غیر محلول باقی می ماند. اما در وقتی که میزان اکسیژن محلول در بستر به ۰/۵ mg/l برسد به صورت محلول آزاد می شود. حین انتقال $PO4^{3-}$ و Fe^{2+} (شکل محلول آهن) به لایه های بالایی توسط جا به جایی و حرکاتی آبی، بخشی از Fe^{2+} با هیدروژن سولفید (H_2S) واکنش می دهد و سولفید آهن (FeS) به وجود می آید که رنگ سیاه رسوبات دریاچه های یوتروف ناشی از آن است.

فسفر تجمع یافته در رسوبات پس آزاد شدن می تواند توسط گردش های آب دریاچه به لایه های سطحی منتقل شود و در دسترس تولیدکنندگان اولیه قرار گیرد (به همین دلیل است که بعد از گردش ها bloom پلانکتونی را داریم). اما ورود یکباره فسفر معدنی باعث تروفی پایدار در لایه اپی لیمنیون نمی شود زیرا بخشی از آن دوباره با آهن ترکیب می شود و از دسترس خارج می شود (به همین دلیل در استخرهای پرورش ماهی باید کودهای فسفاته را به مقدار کم و دفعات زیادتر به آب افزود تا از رسوب فسفر و از دسترس خارج شدن آن جلوگیری کرد).

ترکیبات آهن و منگنز

اگر چه آهن به وفور در سطح زمین یافت می شود، اما به دلیل شرایط حلالیت خاص آن در محیط های آبی به مقدار کم وجود دارد (به استثنای آبهای زیرزمینی که مقدار زیادی آهن و منگنز را به صورت محلول در خود دارند).
در محیط های آبی صرفاً **ترکیب دو ظرفیتی آهن (Fe^{2+})** به **صورت محلول** در می آید و غالباً به شکل ترکیب بی کربنات آهن ($Fe(HCO_3)_2$) می باشد.

شرایط حلالیت آهن در محیط های آبی:

- مقدار اکسیژن محلول کمتر از ۵۰٪ حد اشباعی باشد.
- وجود مواد آلی قابل تجزیه در آب (شرایط احیایی و تجزیه ای)
- بالا بودن میزان CO_2 آب
- pH اسیدی (کمتر از ۷/۵)

زمانی که بی کربنات آهن ($Fe(HCO_3)_2$) در ارتباط با اکسیژن قرار می گیرد، به هیدرواکسید آهن ($Fe(OH)_3$) تبدیل و رسوب می کند.

$$4\ Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2\ H_2O = 4\ Fe(OH)_3 + 8\ CO_2$$

رسوب آهن در خلال گردش های کامل و همچنین دهانه چشمه هایی که آب آن ها اشباع از CO_2 است به وقوع می پیوندد. بنابراین در دهانه چشمه هایی که آب آنها حاوی آهن است، رسوبات نارنجی رنگ آهن قابل مشاهده است.

در سکون تابستانه دریاچه های یوتروف و در ناحیه مرزی بین آب و رسوبات (شرایط احیایی به شدت بالا) آهن محلول بیشترین مقدار را دارد و یکی از دلایل شکوفایی بعد از سکون تابستانه بالا آمدن آهن به لایه تروفوژن است که برای فتوسنتز مورد نیاز فیتوها و گیاهان است.

باکتری های کمواتوتروف جنس *Thiobacillus* در رسوب آهن نقش دارند. برای مثال باکتری اکسید کننده *T. ferrooxidans* آهن دو ظرفیتی (Ferrus) را در مجاورت O_2 به آهن سه ظرفیتی کاتالیز می کند.

$$4\,Fe^{2+} + 4\,H^{+} + O_2 \rightarrow 4\,Fe^{3+} + 2\,H_2O$$

بر عکس آهن، منگنز (Mn^{2+}) در لایه آبی بالاتر از رسوبات که مقدار اکسیژن محلول بین ۴/۵ – ۳/۵ میلی گرم در لیتر است آزاد می شود و باکتری های جنس *Metalogenium* در چرخه آن نقش دارند.

ترکیبات گوگرد

سولفات ها (SO_4^{2-}) ترکیبات معدنی گوگردی غالب در محیط های آبی هستند (مانند سولفات کلسیم).

سولفید هیدروژن (H_2S) در تجزیه میکروبی بقایای مواد آلی تولید می گردد. این ترکیب در لایه هیپولیمنیون دریاچه های یوتروف و لایه مونیمولیمنیون دریاچه های Meromictic یک ذخیره دائمی انرژی است.

باکتری های بدون رنگ گوگردی مانند خانواده Thiobacteria که کمواتوتروف هوازی هستند، در محدود مرزی H_2S و O_2، هیدروژن سولفوره را به گوگرد اکسید می کنند. به این باکتریها، باکتری های سولفوریکانت (Sulphuricans) گفته می شود.

در مقابل باکتری های دِسولفوریکانت (Desulphuricans) نیز سولفات را به H_2S تبدیل می کنند. به عنوان مثال، باکتری *Desulfovibrio desulfuricans* (یک باکتری کمواتوتروف اختیاری) از اکسیژنِ سولفات برای اکسیداسیون مواد آلی استفاده کند.

بنابراین H_2S منحصراً در محیطی که اکسیژن وجود ندارد دیده می شود (پس هیچگاه در لایه اپی لیمنیون یک دریاچه وجود ندارد).

سیلیس (SiO_2)

به صورت اسید سیلیسیک (H_4O_4Si) در آب محلول است و مورد استفاده گیاهان قرار می گیرد. برای مثال، به عنوان ماده ساختمانی در پوسته دیاتومه ها وجود دارد (دیاتومه ها دارای ۶۰-۲۵ درصد سیلیس بر اساس وزن خشک هستند).

طی سکون تابستانه سیلیس می تواند به عنوان یک عنصر محدود کننده رشد برای دیاتومه ها محسوب شود (البته گاهی نیز ممکن است در اثر افزایش جلبک های سبز-آبی محیط برای رشد دیاتومه ها مناسب نباشد).

به واسطه دیاتومه ها و رسوبات آنها در بستر، مقداری SiO_2 به منطقه هیپولیمنیون وارد می شود و پس از معدنی شدن در گردش های بهاره و پاییزه مجدداً وارد ستون آبی شده و افزایش تروفی را در پی خواهد داشت. حل شدن سیلیس از رسوبات متأثر از شرایط دمایی، سن رسوب از نظر منشأ بیوژنی و pH کمتر از ۷/۴ (محیط اسیدی) می باشد. همچنین پدیده شخم بیولوژیک نیز برگشت سیلیس از رسوبات کف را تسهیل می کند.

ذخیره غذایی رسوبات

مواد ته نشین شده در منابع آبی در نهایت به رسوبات کف منتقل می شوند. مواد غذایی رسوب یافته در عمق دریاچه ها، تحت تأثیر گردش ها (گردش های کامل) و همچنین پتانسیل اکسیداسیون و احیا به حالت محلول در آمده و به ستون آب مجدداً باز می گردند. پتانسیل احیا (Eh) در رسوبات از ۰/۶- تا ۰/۶+ ولت متغیر است (پتانسیل مثبت تر و بیشتر بیانگر حضور بیشتر اکسیژن و شرایط اکسیداسیون و پتانسیل منفی نشان دهنده شرایط احیایی است).

زمانی پتانسیل احیایی به ۰/۲ ولت کاهش می یابد، آهن و فسفات به صورت محلول در می آیند و در پتانسیل احیایی ۰ تا ۰/۱- عمل احیا سولفات به H_2S و گوگرد شروع می شود. در این هنگام یک میکرو طبقه نازک در لایه مرزی آب و لجن شکل می گیرد. در دریاچه های Meromictic که همواره با نقصان اکسیژن در لایه مونیمولیمنیون مواجه هستند، این لایه غنی از مواد محلول است اما در دریاچه های Holomictic پس از هر چرخش این لایه تخریب شده و مواد محلول به لایه های بالای می آیند.

ذخیره غذایی آب های جاری

ذخیره غذایی آبهای جاری نسبت به آبهای ساکن، بیشتر وابسته به ساختمان اکولوژیکی بستر آنها دارد و با نسبت کمتری وابسته به فرآیندهای زیستی دارد. به عنوان مثل رودخانه هایی که از روی بسترهای با سنگهای گچی و دولومیتی می گذرند دارای مقادیر زیادی بیکربنات کلسیم و بیکربنات منیزیم هستند و خاصیت قلیایی دارند.

© Bhaskar Peddhapati | Phot