توالی فصلی زئوپلانکتون‌ها

بیوماس و توالی تغییرات جمعیت‌های زئوپلانکتون‌ها در اکوسیستم‌های مناطق معتدله بسیار به یکدیگر شبیه است. در مناطق پرنور، زئوپلانکتون‌ها می‌توانند کل لایه تولیدی دریاچه را در عرض چند هفته فیلتر نموده و کلیه فیتوپلانکتون‌ها را مصرف کنند. در مرحله بعدی، زئوپلانکتون‌ها تشکیل مرحله سکون (نهفتگی) به‌صورت (Resting eggs) را می‌دهند. جمعیت‌های باقی مانده که فصل زمستان را سپری می‌کنند اعضای کمی از جانوران بالغ و همچنین کوپه‌پودهای نابالغی هستند که دارای رشد کمی بوده (بدلیل کمبود تولیدات جلبکی و کاهش دمای آب)، در حالی که کلادوسرهایی مانند دافنی در درون رسوبات به‌صورت مرحله سکون فصل زمستان را سپری نموده که این حالت را اصطلاحاً دیاپوز (Diapause) گویند. روتیفرها در فصل زمستان غیر معمول بوده ولی سیست آنها در رسوبات قرار دارد تا در شرایط مساعد مجدداً شکفته شود. روتیفرها و کلادوسرها خیلی سریعتر از کوپه‌پودها ازدیاد یافته زیرا مراحل رشدی دوره Juvenile در آنها بسیار کوتاه‌تر می‌باشد. تخم‌های کوپه‌پودها در فصل بهار نیز شکفته شده ولی مدت زمان رسیدن آنها به مرحله بلوغ خیلی آهسته‌تر می‌باشد. لذا در دریاهای مناطق معتدله، کلادوسرها و روتیفرها دراواخر فصل بهار بیوماس آنها به مقدار چند درصد در روز افزوده می‌شود. همچنین میانگین اندازه سخت‌پوستان زئوپلانکتونی در این زمان افزایش پیدا کرده و در نتیجه با افزایش اندازه بدن زئوپلانکتون حجم آب فیلتر شده بسیار بیشتر بوده و قادرند فیتوپلانکتون‌های بیشتری را فیلتر نمایند.

منطقه پلاژیک:

پلانکتون‌ها معرف جوامع منطقه پلاژیال در تمام اکوسیستم‌های آبی هستند. مهمترین خصوصیت این مجامع شناوری آنهاست. این موجودات مجموعه عظیمی از باکتری‌ها، جلبک‌های تک سلولی و پرسلولی، پروتوزوآها و بی‌مهرگان بوده که این موجودات ازنظرمعلق بودن، موجودات ایده‌آلی هستند. پاروپایان در آب‌های شور دریایی نقش مهمتری از دو گروه روتیفرها و کلادوسرها داشته ولی دو گروه روتیفرها و کلادوسرها بیشتر متعلق به آب‌های شیرین هستند. معلق بودن خصوصیت مشترک این جوامع زنده بوده که این موضوع بسته به توانایی‌های موجودات، گاهاً با یک شنای فعالی آمیخته می‌شود. این مسئله به‌خصوص در مورد زئوپلانکتون‌ها صادق است. در دریاچه‌ها و خصوصاً رودخانه‌ها حرکات و جابجایی موجودات پلانکتونی معمولاً ناشی از حرکات وجابجایی‌های آب بوده و حالت شناگری که در بسیاری از آنها دیده می‌شود در مقایسه با جابجایی‌های انجام شده در محیط آب بسیار ناچیز می‌باشد. لذا حرکات و جابجایی موجودات پلانکتونی در مقایسه با حرکات آب در دریاچه‌ها و به‌خصوص رودخانه‌ها، قابل اغماض می‌باشد. در واقع تمام پلانکتون‌ها به طور دائمی در حال نقل‌وانتقال می‌باشند. وزن مخصوص بالای آب و همچنین میزان لزوجت، مهمترین فرض تشکیل و تکامل این گونه جوامع معلق می‌باشد. اختلاف ناچیز وزن مخصوص موجودات و محیط آب سبب توسعه و پراکندگی آنها در لایه‌های آبی گشته، لیکن بزرگتر بودن جزئی وزن مخصوص موجود نسبت به آب باعث شده که سقوط دائمی و آرام از موجودات پلانکتونی در ستون آب مشاهده گردد. این وضعیت در آبهای شیرین و شور دریای دیده می‌شود؛ این حالت برعکس هواست که فقط پروازکننده‌های بسیار قوی قادر به ادامه حرکت خود در آن هستند. وزن مخصوص موجود زنده در آب به طور دائمی بزرگتر از عدد ۱ است (۱/۰۵) لذا همواره پدیده سقوط ارگانیسمها به طرف کف (بستر) آبها وجود خواهد داشت. سرعت ته‌نشینی (سقوط) موجودات معلق از طریق فرمول استوک قابل محاسبه‌است. در این فرمول:

S: سرعت سقوط، r: شعاع جسم شناور، g: شتاب ثقل، φ:وزن مخصوص موجود، .φ وزن مخصوص محیط، μ لزوجت آب و F مقاومت فرم بدنی

$$S = \frac{۲}{۹} gr^{۲} \frac{\varphi - \varphi_{.}}{\mu.F}$$

برای موجودات پلانکتونی فرمول استوک (Stock) می‌تواند به‌صورت زیر خلاصه گردد:

$$S = \frac{\varphi - \varphi_{.}}{\mu.F}$$

S = تفاوت وزن مخصوص / (لزوجت * مقاومت فرم بدنی) علاوه بر فرمول استوک که بیانگر سرعت ته‌نشینی است. عاملی که در سرعت سقوط یک جسم کروی در آب اثر دارد شعاع جسم است که رابطه مستقیمی با سرعت سقوط دارد. پس سرعت سقوط یک جسم با شعاع کوچک کمتر از سرعت سقوط جسمی با شعاع بزرگ است. پلانکتون های کوچک نیازی به سازگاری برای معلق بودن در آب ندارند. در عوض در طول زمان و سیرتکاملی پلانکتون با اندازه‌ی بزرگ تحت فشار قرار می‌گیرند تا به‌نحوی در خود سازگاری‌هایی جهت معلق ماندن ایجاد کنند. از دیگر عوامل مؤثر در سرعت سقوط جسم کروی طبق قانون استوک لزوجت آب است. طبق تعریف لزوجت مقاومتی است که آب در برابر جاری شدن از خود نشان می‌دهد و برابر است با نیرویی که ۱ سی سی آب را در مدت ۱ ثانیه به اندازه ۱ سانتی‌متر جلو می‌برد. از عوامل مؤثر در لزوجت درجه حرارت آب است. با افزایش درجه حرارت میزان لزوجت کاهش پیدا می‌کند. مثلاً میزان لزوجت در آب ۲۵ c° نصف آب صفر درجه است. پس با افزایش درجه حرارت میزان لزوجت آب کاسته و متعاقباً سرعت سقوط جسم افزایش پیدا می‌کند. عامل بعدی اختلاف وزن مخصوص آب و جسم است. بنابراین هر چه جرم حجمی جسم کاهش پیدا کند و به جرم حجمی آب نزدیک شود سرعت سقوط کاهش پیدا می‌کند. قانون استوک در مورد اجسام کروی صادق اما شکل فیتوپلانکتون‌ها را در نظر نگرفته‌است.

فرمول‌های دیگری تحت عنوان Ostorald (فرمول تعلیق) و Volterek در بیان سرعت شناوری به شرح زیر وجود دارد:

سرعت غوطه‌وری (Ostorald) = وزن باقیمانده / (مقاومت ظاهری * اصطکاک داخلی)

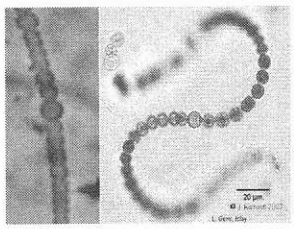
سرعت غوطه‌وری (Volterek) = حرکت پلانکتون به پائین / (حرکت پلانکتون به بالا * اصطکاک (ویسکوزیته)

با توجه به فرمول استوک، موجودات با بدن کوچکتر نسبت به اجسام بزرگتر هم‌شکل خود با سرعت کمتری سقوط نموده و از نظر معلق بودن موجودات ایده‌آل‌تری هستند ($r^{۲}$ در فرمول). بنابراین، باکتری‌ها و اشکال کوچک جلبک‌ها (نانوپلانکتون‌ها) که بین ۲۰-۲ میکرون قطر دارند موجوداتی ایده‌آل برای شناوری هستند. پلانکتون برای حفظ بقا باید خود را در یک منطقه زیستی مطلوب قرار دهد. این موضوع بیشتر برای فیتوپلانکتون‌ها و در درجه‌ی بعدی برای زئوپلانکتون‌ها اهمیت فراوانی دارد. لذا مجامع پلاژیال بیشتر تحت تأثیر سقوط قرار دارند. نکته‌ی دیگر این‌که در حرکت‌های آرام موجودات پلانکتونی لزوجت آب نقش مهمی را ایفا می‌کند (Viscosity effect)، اما برای موجودات بزرگتر که قدرت شناگری فعالی دارند (مثل حشرات و ماهیان)، نیروی درونی (Internal effect) نقش مهمی را در حرکت موجود ایفا می‌کند. در موجودات مختلف مکانیسم های گوناگونی جهت کاهش تفاوت وزن مخصوص خود با محیط و در نهایت کاهش سرعت سقوط وجود دارد. این مکانیسم‌ها عبارتند از:

۱- جذب آب: در این روش غلظت بدن موجود به وزن مخصوص محیط نزدیک می‌گردد. در روتیفرها این حالت دیده می‌شود.

۲- بوجود آمدن واکوئل‌های گازی: در بعضی از جلبک‌های سبز- آبی مثل نوستوک *Nostoc* و *Anabaena* سلول‌های جلبک به مانند دانه‌های نخود به یکدیگر متصل و سلول‌های گازی را تولید کرده که این گازها به سبک‌تر شدن موجود کمک کرده و نهایتاً قابلیت شناوری آنها را افزایش می‌دهند. در دوره‌های آرامش هوا، شکوفایی‌های سطحی در استخرهای کم عمق پرورش آبزیان (ماهی و میگو) و دریاچه‌ها کاملاً مشخص است. این شکوفایی‌ها عمدتاً مخصوص به گونه‌های خاصی بوده که

دارای واکوئل‌های گازی هستند. واکوئل‌های گازی فضایی در داخل پروتوپلاسم ژل مانند سلول بوده که محتوی گاز بوده و به‌وسیله‌ی پوشش سیتوپلاسم تقویت می‌شود. استحکام این غشا به واکوئل امکان می‌دهد که در مقابل تغییرات فشار ناشی از حرکت سلول در آب مقاومت کند. شکل‌گیری واکوئل‌ها فرایندی وابسته به نور است ولی گازهای موجود در آن ممکن است از نوع گازهای موجود در آب و یا گازهای محلول در سیتوپلاسم سلول باشند.



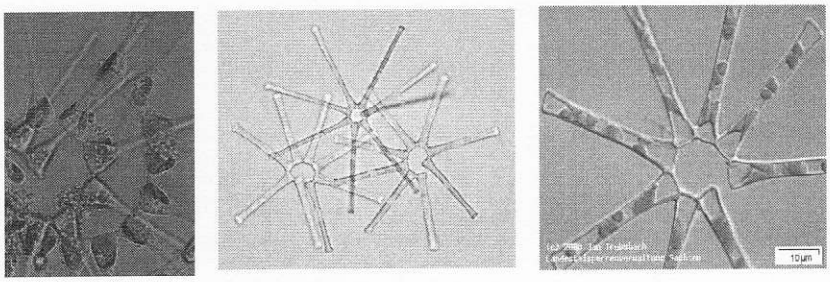
۳- روش دیگر تنظیم شناوری در جلبک‌های سبز –آبی از طریق تولیدات شدید فتوسنتزیک که منجر به تولید کربوهیدرات در طول روز می‌گردد، است. این قطعات کوچک کربوهیدرات (که به سنگریزه معروف می‌باشند) سبب سنگین‌تر شدن و سقوط جلبکی به نواحی پائین‌تر می‌گردند. در طول شب این سنگریزه‌های کربوهیدراتی مصرف شده و جلبک‌ها در اوائل صبح شناور و به نواحی سطحی آب آمده و مجدداً این چرخه ادامه می‌یابد.

۴- ایجاد غده‌های چربی: در دیاتومه‌ها غده‌های چربی به‌صورت حاشیه‌ای و در چندین ردیف ایجاد گردیده که سبب سبک‌تر بودن ذرات چربی، سبک‌تر شدن موجود جلبکی و افزایش قابلیت شناوری آن تسهیل می‌گردد. در اوائل فصل بهار غشاء پوسته سیلیسی دیاتومه‌ها (بدلیل داشتن Si بیشتر)،ضخیم‌تر از پوسته آن در اواخر بهار یا اوایل تابستان بوده که این عامل سبب افزایش سرعت سقوط آنها می‌گردد. دیاتومه‌ها به عنوان یکی از معتبرترین گروه‌های پلانکتونی از نظر ورود چربی به اکوسیستم‌های آبی می‌باشند. آنها حتی در بدترین شرایط زیستی قادرند که قابلیت شناوری بالایی از خود نشان دهند. این مسئله یکی از عجائب طبیعت محسوب می‌شود. در بعضی از دیاتومه‌ها ذخائر چربی به ۴۰-۳۰ درصد وزن بدن می‌رسد.

۵- کاهش غشای بدن (نازک کردن غشاء): در این حالت وزن مخصوص غشاء کم شده و در نتیجه در مقابل سقوط مقاومت بیشتری را از خود به خرج می‌دهد.

همچنین روش‌های دیگر کاهش اختلاف وزن مخصوص شامل کوچک کردن اسکلت ساختمانی به‌واسطه پوشش ژلاتینی بدن که در موجوداتی مثل جلبک *Staurastrum*، روتیفر *Conochilus* و کلادوسر *Holopedium gibberum* دیده می‌شود. مقاومت فرم ظاهری به طور عمودی در جهت سقوط موجود با ایجاد یک فشار معکوس که حرکت به سمت پائین را به تأخیر می اندازد، عمل می‌کند. به‌عبارت دیگر، فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها می‌توانند درجات مختلفی از تغییرات فرم بدنی را از خود نشان دهند که به این اثرات چتر نجات (Parachute effects) گفته می‌شود. در ساختار فیتوپلانکتون‌ها محتویات مختلفی شامل پروتئین، کربوهیدرات چربی و غیره دیده می‌شود که هر کدام از آن‌ها بر وزن مخصوص جلبک تأثیر می‌گذارند. مثلاً وزن مخصوص هیدرات‌کربن ۵/۱ و وزن مخصوص پروتئین‌ها و چربی‌ها به‌ترتیب ۳/۱ و ۰/۸۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. در حالیکه سیلیس موجود در دیواره دیاتومه‌ها ۶/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب وزن دارد. بنابراین برای دیاتومه‌های آب شیرین، مقادیر چگالی حدود ۱/۲۰- ۱/۲۵ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد.با این خصوصیات بیشتر فیتوپلانکتون‌ها تمایل به سقوط داشته و حرکت سریع به سمت ناحیه تاریک وبدون امکان بازگشت به مناطق پرنور می‌تواند سبب از بین رفتن تولیدات آنها و در نهایت مرگ گردد. در این حالت ورود به ناحیه‌ی تاریک، فقط یک راه‌حل برای فیتوپلانکتون‌ها در برابر این پدیده دیده

می‌شود و آن این‌که بتوانند مدت زمان طولانی در رسوبات فاقد نور و دارای فشار زیاد مقاومت نمایند. در این حالت بسیاری از جلبک‌های پلانکتونی، به‌صورت هاگ‌های پنهان یا کیست دیده شده که قابلیت مقاومت بالایی را دارد. موجودات پلانکتونی کم و بیش حاوی زوائد شناور و معلقی هستند که تمام آنها قادرند مقاومت فرم بدنی را افزایش دهند. این زوائد به‌صورت چشم‌گیرتری در بین فیتوپلانکتون‌های دریایی وجود دارد (اگرچه آب دریا نسبت به آب شیرین قابلیت نگهدارندگی بیشتری دارد) ولی از آنجایی که تمام ارگانسیم‌ها با زوائد شناور خود نیز دارای حرکاتی می‌باشند (که تقریباً در همه زئوپلانکتون‌ها و در پاره‌ای از فیتوپلانکتون‌ها دیده می‌شود) از این‌رو احتمالاً زوائد فوق خصوصیات شناگر ارگانسیم را تغییر می‌دهند. در هر صورت برای حفظ شناوری، شکل فیتوپلانکتون‌ها باید ثابت باقی بماند. در بعضی فیتوپلانکتون‌ها مثل Ceratium مقاومت فرم بدنی بدلیل تشکیل توده‌های سلولی صفحه‌ای شکل افزایش می‌یابد. در فیتوپلانکتون دیاتومه‌ای *Fragilaria*، بسته به شرایط آب، کلنی‌های چندین سلول شکل گرفته ومثلاً تعداد ۴۰-۳۰ عدد از آنها کنار هم قرار می‌گیرند و به شکل بادبزنی درآمده و به این شکل با سقوط مقابله می‌نمایند. هر چقدر که سرعت جریان آب افزایش یابد، تعداد سلولها در کلنی، کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر افزایش تعداد سلولها در یک کلنی نشان‌دهنده آرامش یا تعادل بیشتر آب در طی مسیر می‌باشد. بعضی از سلول‌های فیتوپلانکتونی مانند *Asterionella* ایجاد کلنی‌های ستاره مانند کرده که با این عمل مقاومت فرم بدنی را افزایش داده و با سقوط مقابله می‌کنند.



وضعیت و تعداد سلول‌های کلنی، شاخص وضعیت آب از نظر نوع حرکت است. همچنین اگر این کلنی‌ها در برابر جریان‌های متلاطم و شدیدی قرار گیرند، از هم باز می شوند. در کلنی‌ها اگر جریان آب به یکی از بازوها برخورد کند، قادر است که موجود را مجدداً به‌صورت معلق درآورد. خلاصه این‌که، مقاومت فرم بدنی عملاً همانند چتر نجات (Parachute) عمل کرده و سبب شده که موجود با یک عمل بازدارنده در مقابل سقوط روبرو گردد که این وضعیت در موجودات مختلف متفاوت می‌باشد.

سیکلومورفوز (Cyclomorphosis)

در بسیاری از موجودات منطقه پلاژیال آبهای ساکن پدیده‌ای به نام Cyclomorphosis وجود دارد، که عبارت است از تغییرات متناوب چرخشی در فرم ظاهری بدن که به‌صورت دوره‌ای و در طول سال اتفاق می‌افتد. بعضی از فیتوپلانکتون‌ها مثل سراتیوم (Ceratium) و بسیاری از انواع زئوپلانکتون‌های منطقه پلاژیک مثل روتیفرها، کلادوسرها و پاروپایان دچار این تغییرات می‌گردند. البته انواع پاروپایان (Copepoda) نسبت به گروه‌های دیگر کمتر دچار تغییرات فرم بدنی می‌شوند. مثلاً بعضی از جنس‌های دافنی، مانند دافنی کلاه‌خودی (Helmeted daphnia) اشکال مختلفی از خود نشان می دهند که این تغییرات تابعی از شرایط محیطی در زمان‌های مختلف است. مثلاً جاندار در تابستان‌ها درازتر و تیزتر بوده تا در مقابل طعمه‌گر فرار سریعتری را داشته باشد. از سوی دیگر این طویل شدن بدن به منظور مقابله با سقوط جانور در تابستان که به‌علت گرمای بیشتر لزوجت محیط کاهش یافته‌است، نیز صورت می‌گیرد. برعکس، در زمستان‌ها موجود در حداقل اندازه خود قرار داشته و به‌صورت گرد و مدور در می‌آید. در ابتدا تصور می‌شد که این تغییرات فرم بدنی به عنوان یک عمل تطابقی جهت معلق ماندن

است، به‌طوری‌که این عمل در تابستان‌ها و با کاهش لزوجت آب (عمل معلق بودن را تسهیل می‌نماید. مطالعات اخیر نشان دادند که دافنی‌های دراز اشکال تابستانه علاوه بر درجه حرارت بالا به‌علت تلاطم آب، غذا، فرار از دست شکارگر و نور نیز به‌وجود می‌آید. لذا می‌توان گفت که هنوز بسیاری از دلایل تغییرات سیکلومورفوز به طور واضح شناخته نشده‌است.

موجودات پلانکتونی برای زندگی در ناحیه پلاژیک دریاچه‌ها به اشکال متفاوتی سازش یافته‌اند، ولی با این وجود تلفات روزانه سقوطی آنها بالاست و در این ارتباط از روی بررسی جلبک‌هایی که به کف بستر دریاچه سقوط نموده‌اند ارقام متفاوتی در طول سال به‌دست می‌آید که می‌تواند در ارزش‌یابی شرایط فتوتروفی در یک اکوسیستم مورد استفاده قرار گیرد. مثلاً تلفات سقوطی زئوپلانکتون‌ها در پائیز به خصوص پس از تغییرشرایط آب‌وهوایی به‌شدت افزایش یافته، به گونه‌ای که در سطح بستر این گونه دریاچه‌ها لاشه‌های بسیار متراکم در اواسط پائیز قابل تشخیص و برداشت بوده در صورتی‌که در سایر مواقع سال چنین انباشتگی جود نخواهد داشت. بهر حال این پلانکتون‌های سقوط کرده نیز در غنای رسوبات کف دریاچه ازاهمیت ویژه برخوردارند.

توالی

یکی از خصوصیات بارز و آشکار دریاچه‌ها و آبگیرها، توالی‌های فصلی‌ای هستند که در بین موجودات زنده‌ی ساکن این محیط‌ها بروز می‌یابند. تعدادی از موجودات زنده را فقط می‌توان در فصل بهار مشاهده نمود در حالی‌که تعدادی دیگر فقط در فصل تابستان یا اواخر پائیز دیده می‌شوند؛ بدین ترتیب این موجودات یک توالی را ایجاد می‌کنند که معمولاً هر سال تکرار می‌شوند. بعضی از موجودات زنده فقط در بخشی از چرخه‌ی زندگی خود در محیط غالب شده و سپس ناپدید می‌شوند؛ به عنوان مثال، تراکم لاروهای کرم قرمز در سطح رسوبات ممکن است به چندین هزار عدد در هر متر مربع برسد در حالی‌که این موجودات با خارج شدن از مرحله‌ی لاروی، از محیط آب خارج شده و جمعیت گروهی از پشه‌های خشکی‌زی را به‌وجود می‌آورند. عوامل متعددی در ایجاد توالی نقش دارند. یک‌سری از این عوامل، احتیاجات متفاوت موجودات زنده‌ی مختلف به عوامل فیزیکی و شیمیایی (مانند درجه حرارت، میزان مواد مغذی یا میزان دسترسی به غذا) می‌باشند در حالی‌که فشارهای حاصل از تداخلات بین موجودات زنده (مانند شکار، علفخواری و رقابت) نیز در ایجاد توالی با اهمیت تلقی می‌شوند. بنابراین اگر وضعیت یک دریاچه را در طول سال دنبال کنیم، خواهیم دید که علاوه بر عوامل غیرزنده، عوامل زنده نیز در ایجاد الگوی یک توالی در بین موجودات زنده نقش دارند. بدین‌ترتیب توالی‌ها، نمودارهای خارق‌العاده‌ای هستند که نشان می دهند به چه ترتیبی عوامل زنده در طول زمان دست به دست هم می‌دهند تا وضعیتی که در یک دریاچه مشاهده می‌شود را به وجود آورند. بر اساس نتایج تحقیقات مشخص شد که تنها یک عامل یا فرآیند در ایجاد یک توالی نقش نداشته بلکه متغیرهای متعددی در شکل دهی به الگوی یک توالی در اکوسیستم‌های آبی دخیل هستند.

مدل PEG(Plankton, Ecology and Group) یکی از مدل‌هایی است که مراحل توالی فصلی در جامعه‌ی پلانکتونی دریاچه را به صورت کاملتری نشان می دهد. این مدل از ۲۴ بند تشکیل شده که بیانگر الگوهای کلی در دریاچه‌ها و آبگیرها می‌باشند.

مدل PEG:

زمستان

در اواخر زمستان دسترسی بالا به موا غذایی و افزایش شدت نور، شرایط رشد را برای فیتوپلانکتون‌ها فراهم نموده و در ابتدا جمعیت جلبک‌های کوچک سریع‌الرشد مانند دیاتومه‌ها در محیط غلبه می‌یابد. جلبک‌های کوچک، شرایط رشد را برای زئوپلانکتون‌های علف‌خوار فراهم نموده و باعث شکوفایی جمعیت آنها می‌شوند.

بهار

Hydrobiology by Hekmatpour

سرعت تغذیه از فیتوپلانکتون‌ها از سرعت تولیدشان پیشی گرفته که این وضعیت به کاهش زی‌توده‌ی جلبکی منجر می‌شود. کاهش تولیدات اولیه باعث شفافیت نسبی آب می‌شود؛ به‌همین دلیل به این مرحله، مرحله‌ی آب صاف نیز گفته می‌شود. تراکم مواد مغذی نیز در این مرحله در اثر فعل‌وانفعالات زیاد شده و این مواد در آب تجمع می‌یابند.

تابستان

زئوپلانکتون‌های علفخوار از یک طرف با کمبود غذا مواجه شده و از طرف دیگر به علت افزایش میزان تولیدمثل در ماهیان در اثر افزایش دمای آب، میزان شکار از زئوپلانکتون‌ها توسط نسل جدید ماهیان افزایش می‌یابد که هر دوی این موارد باعث کاهش اندازه‌ی نسبی و فراوانی زئوپلانکتون‌ها می‌شوند. در اثر افزایش تراکم مواد مغذی و کاهش فشار چرا، فیتوپلانکتون‌ها یک‌بار دیگر فرصت شکوفایی یافته و این بار جمعیت پرگنه‌ی جلبک های سبز بزرگ جثه‌ی غیرقابل مصرف و جلبک‌های کوچک قابل مصرف *Cryptomonas* sp. ازدیاد می‌یابد. کاهش فسفر محیط رشد این جلبک‌ها را محدود کرده و باعث می‌شود تا دیاتومه‌های بزرگ جثه، جای‌گزین پرگنه ی جلبک‌های سبز شوند. کاهش سیلیسیم به جایگزینی دینوفلاژله‌های بزرگ جثه و یا جلبک های سبز-آبی به جای دیاتومه‌های بزرگ جثه منجر می‌شود. کاهش نیتروژن محیط باعث می‌شود تا گونه‌های تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن از جلبک‌های سبز-آبی رشته‌ای غالب شوند. آسیب‌پذیری کمتر سخت‌پوستان کوچک پلانکتونی و روتیفرها در برابر شکارشدن توسط ماهی‌ها باعث می شود تا جمعیت آنها در محیط غلبه یابد.

پائیز

تغییرات فیزیکی و شیمیایی ایجاد شده در این فصل (مانند وقوع گردش‌ها و فراوانی ماده مغذای حاصل از آنها) باعث می‌شوند تا در ابتدا جمعیت جلبک های تک‌سلولی بزرگ جثه (یا جلبک‌های رشته‌ای) و در ادامه، جمعیت دیاتومه‌ها غلبه یابند. شکوفایی در جمعیت این جلبک‌ها باعث شکوفایی جلبک‌های کوچک قابل مصرف همراه بوده و افزایش جمعیت این جلبک‌ها به همراه کاهش فشار شکار ماهیان در اثر کاهش درجه حرارت باعث می‌شوند تا جمعیت زئوپلانکتون‌ها (شامل انواع بزرگ جثه) در این فصل به حداکثر برسد.

زمستان

کاهش درجه حرارت و شدت نور به کاهش تولیدات اولیه و زی‌توده‌ی جلبکی منجر می شود. توان تولیدمثل در بسیاری ازئوپلانکتون‌ها کاهش یافته و بعضی از آنها تخم‌های مقاوم تولید می‌کنند. با این‌حال تعدادی از گونه‌های سیکلوپوئید می‌توانند شرایط سخت زمستان را تحمل کنند.

در نوسانات زی‌توده‌ی فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها عوامل فیزیکی بیشترین تأثیر خود را در فصول پائیز و زمستان وارد می‌کنند در حالی‌که تداخلات شکار و چرا عمدتاً در فصول بهار تا پائیز بیشترین اهمیت را دارند. شکوفایی در جمعیت زئوپلانکتون‌ها در فصل بهار در فاصله‌ی زمانی کوتاهی بعد از شکوفایی جلبکی در دریاچه‌های یوتروف اتفاق می‌افتد (مرحله‌ی آب صاف). با این‌که مراحل توالی در بیشتر دریاچه‌های مناطق معتدله بر اساس مدل PEG می باشد، اما استثناعات فراوانی نیز در این زمینه دیده می‌شود.

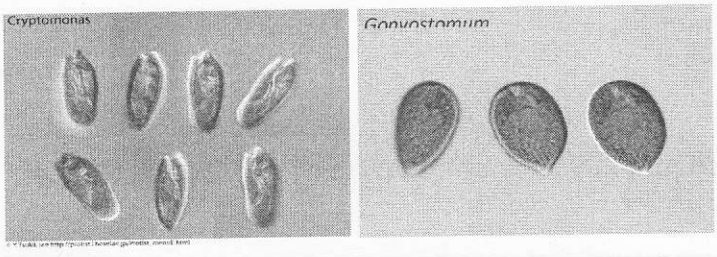
پراکندگی پلانکتون‌ها در آب

پلانکتون‌ها در لایه‌های افقی و عمودی اکوسیستم‌های آبی به‌طور غیریکنواخت و ناهمگن توزیع گشته‌اند. این وضعیت به‌خصوص برای زئوپلانکتون‌ها وجود دارد علت آن بدلیل جریانها و حرکات آب صورت گرفته که خود توسط باد در لایه Epilimnion ایجاد می‌شوند؛ همچنین تفاوت در دوره‌های رشدی پلانکتون‌ها در قسمت‌های مختلف آب نیز تأثیرگذار می‌باشد. آگاهی از این نوع حرکات می‌تواند نتایج کابردی زیادی از نظر شیلاتی داشته باشد. زیرا با توجه به مطالعات پلانکتونی

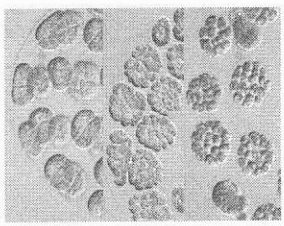
Hydrobiology by Hekmatpour

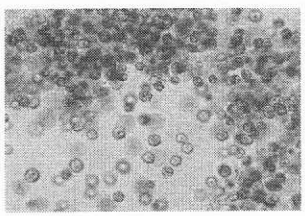
می‌توان کاربری اکوسیستم را مشخص کرد. همچنین با آگاهی از نحوه حرکت و مهاجرت پلانکتون‌ها می‌توان نتایج بهتری را در امر صید ماهیان بدست‌آورد. توزیع پلانکتون‌ها در محیط‌های دریاچه‌ای در درجه اول به باد و سپس به دوره‌های رشد و نموی آنها بستگی دارد. این عوامل در پراکنش و توزیع افقی پلانکتون‌ها نقش داشته در حالی‌که در پراکنش عمودی آنها نور خورشید و غذا تأثیر گذارند.

پلانکتون‌ها در طی شبانه روز دارای مهاجرت‌های ویژه‌ای هستند این پدیده در برخی از گونه‌ها همانند Rotatoria، Cladocera و Copepoda به وضوح دیده شده، در حالی‌که کلادوسرها بهتر از بقیه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. معمولاً مهاجرت‌های عمودی منظم در روتیفرها و زئوپلانکتون‌ها در مراحل اولیه زندگی (مثل ناپلیوس کوپه‌پودها) در مقایسه با زئوپلانکتون‌های بزرگتر کمتر دیده می‌شود. زئوپلانکتون‌ها بدلیل نور گریز بودن خود در اعماق آب زندگی می‌کنند. این موجودات در طول روز در قسمت‌های پائین قرار داشته ولی با شروع تاریکی، شروع به مهاجرت به قسمت‌های سطحی آب می‌نمایند. مهاجرت‌ها به طرف بالا غالباً به‌صورت توده‌ای و فشرده انجام گرفته و شکل آن بستگی به نوع زئوپلانکتون دارد. زئوپلانکتون‌ها در لایه‌های سطحی آب به چرا و تغذیه از فیتوپلانکتون‌ها می‌پردازند. عمل تغذیه در ساعات اولیه شب به دلیل گرسنگی روزانه زئوپلانکتون‌ها به صورت فعالی شروع شده و در حوالی نیمه‌های شب به‌تدریج متوقف می‌شود. در مرحله بعد، زئوپلانکتون‌ها به‌صورت پراکنده و تدریجی شروع به برگشت (سقوط) به لایه‌های پائین‌تر نموده که به این پدیده اصطلاحاً سقوط‌های نیمه شبانه (Midnight sinking) گویند. در طول ساعات اولیه بامداد و با افزایش میزان روشنایی، آنها به لایه‌هایی که ساعات روز را در آن می‌گذرانند مهاجرت می‌نمایند. معمولاً زیر منطقه Metalimnion جایی است که در آن توقف‌های روزانه زئوپلانکتون ها متمرکز خواهد بود. این مهاجرت‌ها تابعی از شرایط نوری و تغذیه‌ای موجود خواهد بود. اگر به هر دلیل تغییراتی در شدت نور به‌وجود آید، موجود مجدداً عمق دلخواه خود را جستجو نموده و در واقع به طور دائم نسبت به تغییرات نوری سطح آب از خود حساسیت نشان می‌دهد. در شرایط آزمایشگاه مطالعات زیادی روی دافنی ماگنا (*Daphnia magna*) صورت گرفته و نتایج فوق دیده شد. بنابراین زئوپلانکتون‌ها در طول مدت روز در منطقه تروفوژن که خود تحت تأثیر نور خورشید قرار دارد یافت نمی‌شوند. با توجه به مطالعات عنوان شده می‌توان گفت که زئوپلانکتون‌ها موجوداتی نور گریز بوده و بر اثر عامل خارجی تغییرات نور، در طول روز مهاجرت‌های عمودی انجام داده که این مهاجرت‌ها تابع دوره‌های نوری است. در دریاها و اقیانوس‌ها عمق مناسب و مطلوب برای مهاجرت زئوپلانکتون‌ها در طول فصل و همچنین در ساعات مختلف شبانه‌روز و بسته به نوع گونه، مراحل مختلف زندگی حیوان و وضعیت تروفیک اکوسیستم تغییر می‌کند. سرعت حرکت زئوپلانکتون‌ها در زمان مهاجرت‌های عمودی در گونه‌های بزرگتری مانند *Mysis relicta* تقریباً ۷/۱ سانتی‌متر بر ثانیه و در کوپه‌پودها و کلادوسرهای آب شیرین نصف این مقدار می‌باشد. در بین بعضی از فیتوپلانکتون‌ها نیز مهاجرت‌های عمودی دیده می‌شود. به‌خصوص گونه‌هایی که دارای تاژک هستند، قدرت مهاجرت بیشتری دارند. به عنوان مثال فیتوپلانکتون‌ها *Cryptomonas euglena* و *Gonyostomum semen* قادرند به کمک تاژک حرکت نمایند.



اوگلنا در ساعت بین ۵ صبح تا ۱ بعد از ظهر، به‌صورت متراکمی در زیر سطح آب دیده شده و در ساعت ۱۷ در عمق ۳-۲ متری و در ساعت ۲۱ حوالی ۱۵ متری و سپس به هنگام شروع روشنایی به‌طور مشخصی در یک منطقه مطلوب قرار می‌گیرد. بنابراین فیتوپلانکتون‌ها عموماً در ساعات روز برای بدست آوردن غذا و انجام عمل فتوسنتز در لایه‌های سطحی قرار گرفته، ولی بعضی از آنها (به‌خصوص آنهایی که تاژک دارند) در ساعات نیمه‌های دوم روز مهاجرت‌هایی را به طرف قسمت‌های پائین انجام می‌دهند. عقیده بر این است که این عمل نوعی مبارزه در مقابل صید شدن توسط زئوپلانکتون‌ها می‌باشد (زئوپلانکتون‌هایی که برای تغذیه عمل مهاجرت را انجام می‌دهند) در حالی‌که دلیلی که به نظر صحیح‌تر باشد این است که فیتوپلانکتون‌ها برای دست‌یابی به منابع غذایی بیشتر به لایه‌های پائین‌تر مهاجرت می‌کنند. زیرا لایه‌های سطحی آب پس از چند ساعت که توسط توده عظیمی از فیتوپلانکتون‌ها اشغال شده (فتوسنتز در آن انجام گرفته) از نظر مواد غذایی فقیر می‌گردد. مشاهده شده‌است که فیتوپلانکتون‌هایی که نیاز غذایی بیشتری دارند به لایه‌های عمیق تر در لایه تروفوژن مهاجرت نموده و برعکس، فیتوپلانکتون‌هایی که توقع زیادی از مواد غذایی ندارند عمق مهاجرت آنها خیلی وسیع نیست. مثلاً *Eudorina* یک توده پلانکتونی متشکل از پلانکتون‌های تاژک‌دار بوده و قادر است به اعماق پائین‌تر مهاجرت نماید. این موجود حدود ساعت ۳ بعد از ظهر شروع به مهاجرت به قسمت‌های پائین‌تر کرده و حدود ساعت ۱۰-۹ شب مجدداً بر می‌گردد. در این موجود بدن با مکانیسم ذخیره‌سازی، قادر است که در هنگام مهاجرت از مواد غذایی موجود در سر راه خود استفاده نموده و آنها را نیز جذب نماید (بدون این‌که آنها را مصرف کند، علت آن بدلیل عدم نور کافی برای سنتز مواد است) لذا در روز بعد این مواد را در عمل فتوسنتز مورد استفاده قرار می‌دهد.





در دیاتومه‌ها که فاقد تاژک‌اند مهاجرت‌ها ی کوتاهی انجام می‌گیرد. این مهاجرت‌ها به کمک تغییرات فرم بدنی انجام می‌گیرد. مثلاً در بعضی مکانها، شکل بدن موجود باریک و استوانه‌ای شده و در مکان‌های دیگر ضخیم‌تر می‌گردد بعضی از جلبک‌های سبز آبی توقع غذایی خیلی کمی داشته و تقریباً از این نوع مهاجرت‌ها ندارند. علاوه بر عوامل ذکر شده یک‌سری پدیده‌های دیگر نیز در این مهاجرت ها نقش دارند مثل تلاطم آب و زمین‌گرایی مثبت فیتوپلانکتون‌ها یا Geotaxis. مهاجرت‌هایی که در توده آب صورت می‌گیرد به دو دسته مهاجرت‌های مورب و عمودی قابل تقسیم است. به‌عنوان مثال در یک شدت روشنایی مشخص، دافنی‌ها به صورت افقی در لایه‌های آبی شنا می‌کنند. حال اگر شدت روشنایی افزایش پیدا کند آنها به‌صورت مایل (مورب) به اعماق بیشتری می‌روند ولی با کاهش روشنایی، به شکل مورب به طرف بالا (مهاجرت‌های مورب) حرکت می‌کنند. این پدیده درداخل تانک‌های آزمایشی قابل رؤیت است.

دلایل مهاجرت‌های عمودی هنوز به طور کامل مشخص نشده‌است ولی به‌نظر می‌رسد که بیشتر مربوط به فرایند فتوسنتز و تغذیه باشد. به طوری که مثلاً دافنی در شب با فعالیت بیشتری نسبت به روز آب را فیلتر می‌کند، حتی قبل از شروع مهاجرت به طرف بالا (در غروب) میزان فیلتر کردن آب افزایش می‌یابد. دلایل دیگری که بتواند این نوع مهاجرت را توجیه کند کاملاً مشخص نشده‌است. بنابراین اهمیت بیولوژیکی مهاجرت‌های عمودی به طور کامل مشخص نمی‌باشد، ولی از آنجایی که این مهاجرت‌ها بیشتر به زئوپلانکتون‌ها مربوط می‌باشد (آنها در سطح رویی آب تغذیه می‌نمایند) لذا احتمال این مسأله بیشتر است که مهاجرت‌های عمودی به نحوی با تقسیم پریودهای فتوسنتزی گیاهان مورد تغذیه زئوپلانکتون‌ها در هم آمیخته می‌گردد.