کلیمای تابش یا فضای نفوذ نور در آبها (Radiation climate)

عامل اصلی و مهم بسیاری از پدیده های لیمنولوژیک در منابع آبی تحت تأثیر تشعشعات خورشیدی بوده که این تشعشعات به سطح زمین می‌رسد. تقریباً تمام انرژی که فعالیت‌های حیاتی دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را تنظیم می‌کند مستقیماً از انرژی خورشیدی مورد استفاده در عمل فتوسنتز مشتق می‌شود. لذا بهره‌گیری از انرژی تولید شده در محیط آب از عوامل اساسی تولید دریاچه‌ها و رودخانه‌ها بشمار می‌رود. نور خورشید که به سطح دریاچه برخورد می‌کند به دو فاکتور مهم تبدیل می‌گردد:

۱- گرما: که درجه حرارت مورد نیاز برای عمل فتوسنتز تولیدکنندگان اولیه را فراهم کرده و این گرما می‌تواند در منابع آبی توسط تولیدکنندگان اولیه و ثانویه مورد استفاده قرار گیرد. گرمای خورشید در آب، دمای مورد نیاز را برای متابولیسم و سایر فعالیت‌های حیاتی بدن موجودات آبزی فراهم کرده زیرا اکثر موجودات آبزی خونسرد (Poikilotherm) هستند. ایجاد گرما سبب ایجاد لایه بندی حرارتی و گردش آب در دریاچه ها می گردد. در یک سیستم آبی مانند دریاچه، قسمت اعظم انرژی نورانی بصورت تبادلات حرارتی تلف می شود.

۲- نور: که از نظر بیولوژیکی فرآیندهای زیادی را در منابع آبی بوجود می آورد. خواص نوری دریاچه ها شاخص مهمی در فیزیولوژی و رفتار موجودات زنده آبزی می باشد. مثلا زئوپلانکتونها از تغییرات نور استفاده می کنند. بسیاری از زئوپلانکتونها در طول شبانه روز مهاجرتهای عمودی شبانه روزی (Diel vertical migration) دارند. این مهاجرتها کاملا وابسته به نور است. حتی ماهیانی که از زئوپلانکتونها تغذیه می کنند از این تغییرات استفاده می کنند. زئوپلانکتونها در ساعات روز در قسمتهای عمیق تر قرار داشته (بعبارتی نور گریز هستند) ولی با شروع تاریکی مهاجرتهای عمودی را انجام داده و برای تغذیه به نواحی کم عمق و سطحی مهاجرت کرده و به تغذیه از فیتوپلانکتونها می پردازند. برعکس این وضعیت در فیتوپلانکتونها دیده می شود بطوریکه فیتوپلانکتونها نور دوست بوده (بخصوص گروههای دارای حرکت) و در لایه های سطحی آب (لایه های نورانی) بسر می برند.

در منابع آبی پراکندگی و توزیع بسیاری از موجودات وابستگی شدید به نور خورشید دارد. نور ماه و ستارگان به اندازه ۱/۳۰۰۰۰ تا ۱/۵۰۰۰۰ نور خورشید بوده و در مهاجرتهای عمودی زئوپلانکتونها و ماهیان پلاژیکی مانند کلیکا تأثیر داشته ولی از نظر منابع حرارتی در دریاچه ها اهمیتی ندارد. همچنین بسیاری از آبزیان قادر به تشخیص جهت نور نیز بوده و قادرند منبع نور را تشخیص دهند؛ این ویژگی در انسان وجود ندارد. مثلاً ماهی آزاد (Salmon) در زمان مهاجرت از اقیانوس به رودخانه های مناطق مادری خود علاوه بر بهره گرفتن از خواص شیمیایی آب، از حواس بویایی، چشایی و نور هم استفاده می کنند.

در آبهای جاری وضعیت به گونه ای دیگر است. بسیاری از حشرات آبزی در طول ساعات روز در زیر سنگها و مناطق تاریک رودخانه ها بسر برده تا از دست صیادان خود در امان بوده ولی در شبها جهت تغذیه از جلبکهای سطح سنگها (که این جلبکها در طول روز عمل فتوسنتز را انجام داده و غنی از انرژی هستند) بسمت نواحی بالای سنگها حرکت کرده و عمل تغذیه را انجام می دهند.

در خرچنگ (Caryfish) پارامتر نور اهمیت ویژه ای داشته بطوریکه در ساعات روز در مناطق تاریک و در ساعات شب برای تغذیه از پناه گاههای خود بیرون می آیند. لذا برای پرورش Caryfish ها در شرایط مصنوعی پارامتر نور نقش مهمی دارد. در تانکهای پرورشی مخفیگاه ها یا پناهگاه هایی مثل لوله های پولیکا ایجاد کرده تا خرچنگها بتوانند در آنجا زندگی کنند.

وضعیت نور از لحاظ فیزیکی:

بطور کلی نوری که به سطح زمین می رسد یک جریان دائمی از امواج الکترومغناطیس است که از تجزیه بسته های کوچک انرژی به نام فوتون (Photon) بوجود می آیند. از نظر فیزیکی فوتون بیانگر انرژی نور بوده و تعداد فوتونهای عبور کرده از یک واحد سطح مشخص را اصطلاحاً شدت نور (Light intensity) گویند. در صورتی که طول موج بعنوان یک پارامتر مناسب از رنگ نور به حساب می آید.

نور صورتی از انرژی است که غالباً قادر به انجام کار بوده و از صورتی به صورتی دیگر تبدیل می‌شود، اما نه خلق شده و نه از بین می‌رود. انرژی تابشی طی فرآیندهای بیوشیمیایی مانند فتوسنتز قابل تبدیل به انرژی پتانسیل می‌باشد و یا به صورت حرارت درمی‌آید. بازدهی تبدیل انرژی خیلی کمتر از ۱۰٪ درصد بوده و در یک سیستم مانند دریاچه قسمت اعظم انرژی به صورت تبادلات حرارتی تلف می‌شود. امروزه واحد متداول برای اندازه گیری نور میکرواینشتین (Micro-einstein) است که تعداد مشخصی از فوتون نوری (کوانتا) است. میکرواینشتین برابر با $۶/۰۲۳\times۱۰^{۱۷}$ فوتون است. میزان نور دریافتی در یک روز آفتابی در فصل تابستان و در سطح یک دریاچه منطقه معتدله برابر ۲۰۰۰ میکرواینشتین بر متر مربع بر ثانیه است. حداقل نوری که جلبکها جهت انرژی مورد نیاز برای عمل فتوسنتز به آن نیاز دارند برابر۲۰ میکرواینشتین بر متر مربع بر ثانیه بوده و حداکثر رشد آنها در ۲۰۰۰ میکرواینشتین بر متر مربع بر ثانیه (البته بسته به نوع جلبک و شرایط محیطی متفاوت است) اتفاق می‌افتد.

دامنه امواج الکترومغناطیس می‌تواند از طول موج‌های کوتاه تا امواج رادیویی که طول موج آنها بزرگتر از یک کیلومتر است گسترده شود. در این میان نوری که قابلیت رویت دارد، نور مرئی (Visible light) است که بخش کوچکی از دامنه امواج الکترومغناطیس را بخود اختصاص می‌دهد.

در طیف امواج الکترومغناطیس طول موج‌های مختلف وجود دارد.

نمودار طیف امواج الکترومغناطیسی (بر اساس طول موج)

Gamma Rays	X- rays	Ultra violet wave	Visible wave	In fra-red wave	Radar Wave	Radio and TV Waves
-	۱nm	-	۱mm	-	۱m	۱km

واحدهای مختلفی برای نور معرفی شده که شامل:

۱- Angstrom (10^{-10} m)

۲- Nanometer (10^{-9} m) یا میلی میکرون.

۳- Micrometer (10^{-6} m) یا میکرون.

مثلاً ۴۹۰۰ آنگستروم معادل ۴۹۰ نانومتر و ۰/۴۹ میکرومتر است.

نوری که از خورشید می‌آید مخلوطی از طول موجهای مختلف نور بوده که در حین عبور از اتمسفر زمین دچار تغییرات شدید (مثلاً در شدت، جهت و یا طیف نور) می شود. نور خورشید دارای طیف وسیعی از امواج ماورای بنفش (با طول موج کوتاه) تا امواج مادون قرمز (با طول موج بلند) است و در زمان نفوذ خود از اتمسفر زمین بصورت انتخابی (Selective) جذب یا پخش می شود. همچنین نور خورشید بوسیله پوششهای ابری (Cloud)، و یا ذرات معلق گرد و غبار گرفته شده و از شدت آن کاسته می شود. بطوریکه ابرها و ذرات گرد و غبار قادرند بخشی از طیف نور را جذب کنند. حتی Co_2 و ازن (که در اتمسفر زمین وجود دارند) میتوانند برخی از طیفهای نور را جذب کنند. مثلاً، ازن اشعه ماورای بنفش را جذب کرده و امروزه مشاهده میشود که با کاهش لایه ازن در بالای اتمسفر توسط برخی از آلاینده ها مثل فلوئوروکربنها میزان نفوذ اشعه ماورای بنفش بیشتر شده و سبب ایجاد انواع سرطانها می گردد. حتی این اشعه میتواند بر روی فیتوپلانکتونها هم تأثیر گذاشته و در ساختار آنها اختلال ایجاد کند و سبب پدیده ممانعت نوری (Photoinhabition) شود. اثرات مخرب اشعه ماورای بنفش بر طول عمر و میزان تولید تخم (هماوری) زئوپلانکتونها نیز به اثبات رسیده است. نور مادون قرمز نیز توسط بخار آب و گاز کربنیک (Co_2) جذب میگردد.

مقدار انرژی خورشیدی که به سطح آب دریاچه یا سایر منابع آبی می‌رسد وابسته به عوامل متعددی می‌باشد. به مقدار انرژی خورشیدی که در واحد زمان از خورشید عمود بر سطح خارجی اتمسفر و در فاصله متوسط زمین از خورشید می‌رسد ثابت خورشیدی گویند. اندازه‌گیری میزان ثابت خورشیدی بسیار مشکل است ولی بررسی‌هایی که به وسیله تجهیزات ماهواره‌ای صورت گرفته نشان می‌دهد که حدوداً برابر ۱/۹۴ کالری بر سانتی‌متر مربع در دقیقه می‌باشد.

میزان انرژی دریافتی بستگی به زاویه تابش خورشید نسبت به زمین داشته و به میزان زیادی تحت‌تأثیر عرض جغرافیایی وفصول مختلف سال می‌باشد. زاویه تابش نور بر سطح آب اثرات قابل ملاحظه‌ای بر تولید داخل محیط آب می‌گذارد و این مطلب در بخش نتیجه‌گیری تکرار و تأئید خواهد شد. در نواحی حاره، تابش خورشید عمودی بوده که منجر به دریافت یک میزان انرژی ورودی می‌شود ولی در نواحی معتدله و قطبین زاویه خورشید در خلال فصول مختلف سال تغییر می‌کند. ساعات مختلف روز نیز عامل مهم دیگری است که شدیداً بر میزان نوری که به سطح منابع آبی می‌رسد تأثیرگذار است. در طی ساعات روز موقعیت‌های مختلف خورشید و فاصله آن از زمین که تعیین کننده فاصله‌ای است که نور باید طی کند، تغییر کرده و بر میزان جذب اتمسفری مؤثر است. برای مثال در مناطق قطبی میزان انرژی خورشیدی به حدی کاهش می‌یابد که در یک سوم طول سال به حدود صفر می‌رسد و در این مدت آبهای قطبی

تابش‌های حرارتی را فقط از منابع غیر مستقیم دریافت می‌کنند. همانطور که قبلاً گفتیم ظرفیت جذب اتمسفر برای تشعشعات خورشیدی به طور عمده وابسته به اکسیژن، ازن، دی‌اکسیدکربن و بخار آب می‌باشد. علاوه بر این شفافیت اتمسفر در نواحی مختلف بسته به دو دسته عوامل متغیر ومتفاوت می‌باشد، این عوامل عبارتنداز: صنایع و آلودگی‌های شهری.

پدیده‌های پخش و جذب در هوای مرطوب افزایش می‌یابد به طوری که در زیر سطح باد در مناطقی که پیکره‌های آبی وسیع وجود دارد این افزایش چشمگیر است. ارتفاع از سطح دریا برای یک دریاچه و زاویه تابش خورشید دو عاملی هستند که طول مسیری را که باید تابش‌ها در خلال اتمسفر طی نمایند مشخص می‌کند. به طور خلاصه میزان و ترکیب طیف تابش‌های مستقیم خورشیدی از آسمان عمدتاً ناشی از پخش نور در خلال حرکت در اتمسفر می‌باشد. دامنه پخش برابر توان چهارم فرکانس می‌باشد. بنابراین اشعه ماورای‌بنفش و تابش‌های با طول موج‌های کوتاه‌تر از مجموعه‌های با فرکانس بالا تا حدود یک چهارم مقدار اولیه‌شان به واسطه پدیده پخش کاهش می‌یابند.

نتیجه این امر آسمان آبی است که ما در روزهای صاف بالای سر خود می‌بینیم عواملی که تابش های خورشیدی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند بر پدیده پخش نیز مؤثرند اما از عوامل مهم این مورد ارتفاع خورشید و فاصله‌ای است که نور باید آن را طی کند. میزان تابش‌های غیر مستقیم به طور مشخص با انحراف اشعه‌ها از حالت عمودی افزایش می‌یابد. برای مثال وقتی زاویه خورشید از سطح افق ۱۰ درجه باشد این میزان ۲۰-۴۰ درصد است که در مقایسه برای حالتی که زاویه خورشید حدود ۴۰ درجه از سطح افق می‌باشد، این میزان به حدود ۲۰-۸ درصد کاهش می‌یابد.

در جمع‌بندی نهایی می توان اشاره کرد که مجموعه تابش‌هایی که به سطح آبها می‌رسند شامل تابش‌هایی با طول موج ۳۰۰۰-۳۰۰ نانومتر بوده که اصطلاحاً با آن Global Radiation می گویند.

این اشعه ها به ۳ صورت به سطح آب می‌رسند:

۱) اشعه ماورای بنفش با طول موج ۳۸۰-۳۰۰ نانومتر

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

۳) امواج مادون قرمز با طول موج ۳۰۰۰-۷۵۰ نانومتر

پس تابش نهایی (کلی) یا اشعه گلوبال Global Radiation می‌تواند به دو صورت به سطح دریاچه برسد.

۱) تابشهای مستقیم (Direct radation)

۲) تابشهای غیرمستقیم (Indirect radation)

تابشهای غیرمستقیم حدود ۲۰ درصد از کل نورهای رسیده به منطقه را بخود اختصاص داده و شامل نورهای منعکس شده و یا پخش شده از سطح ابرها، کوهها، ذرات معلق در اتمسفر می باشد. نسبت تابشهای مستقیم به غیرمستقیم به ۳ عامل بستگی دارد:

۱) توپوگرافی منطقه

۲) مقدار نور عبور کرده از اتمسفر

۳) میزان پخش شدگی نور

نور در بعضی از دریاچه ها که در شیب‌های پوشیده از برف نواحی کوهستانی قرار دارند، ممکن است توسط لایه های برف و یخ اطراف به سطح دریاچه منعکس شده و شدت کلی نور خورشید را در سطح دریاچه بخوبی افزایش داده و در نهایت سبب نفوذ بیشتر نور خورشید گردند. در حالت دیگر ممکن است رویشها و پوششهای گیاهی روی دریاچه ها بر روی میزان تابشهای خورشیدی که به سطح دریاچه برخورد می کنند تأثیر داشته باشند. مثلاً سایه درختان و کوههای بلند اطراف دریاچه می تواند در ساعات اولیه و اواخر روز مانع از رسیدن نور مستقیم خورشید به سطح آب شود. این وضعیت بخصوص در دریاچه های واقع در میان کوه های بلند دیده میشود. همچنین زاویه تابش خورشید نیز اثر زیادی بر تولید موجودات زنده در دریاچه خواهد داشت. در مناطق استوایی، که خورشید بطور عمودی می تابد، انرژی ورودی بمراتب قویتر از مناطق قطبی و معتدله است که زاویه تابش خورشید با فصل تغییر می کند.

انتشار و توزیع اشعه های تابشی در سطح آبها:

همه نوری که به سطح آب منابع آبهای داخلی می رسد قادر به نفوذ در آب نیست. قسمت اعظم این تابشها از سطح آب منعکس شده و از سیستم خارج می شود و حتی گاها بعد از ورود به اتمسفر یا پستی و بلندیهای اطراف قادر برگشت به آب نمی باشد.

نوری که به سطح آب برخورد می کند، به چند شکل مختلف در می‌آید:

۱) بخشی از آن منعکس (Reflection) می‌شود

۲) بخشی از آن ممکن است جذب (Absorption) شود

۳) بخشی ممکن است پخش (Scattering) شود

مجموعه جذب و پخش را اصطلاحاً ناپدید شدگی نور (Extinction) گویند که با ضریب ناپدید شدگی نور (ضریب کلی جذب) قابل بررسی است.

۴) آن بخشی از نور که نه منعکس شده و نه جذب-پخش شده، از یک لایه آبی عبور کرده که اصطلاحاً به آن نور عبور کرده یا نفوذی (Transmission) گویند.

چگونه میتوان میزان انعکاس، ناپدید شدن (جذب و پخش) نور در منابع آبی مشخص کرد؟ چه وسایل و دستگاهی در این مورد استفاده می شود و اصطلاحاً میزان هر یک از این پارامترها به چه عواملی در آب وابسته است؟

همانطور که اشاره شد تنها بخشی از پرتو نوری که وارد یک لایه آبی می شود (مثلاًیک لایه) می‌تواند از آن خارج شود و بخشی از آن می تواند در حین عبور به صورت انتخابی ناپدید شود و بطور کلی در طیف نور تغییری رخ دهد.

انعکاس (بازتابش) نور:

میزان انعکاس (بازتابش) نور را از طریق فرمول Fresnel بدست می آورند.

$$R = \frac{1}{2}\left[\frac{\sin(i-r)}{\sin^2(i+r)} + \frac{\sin(i+r)}{tg^2(i+r)}\right]$$

بر اساس این فرمول، میزان انعکاس نور تابع وضعیت خورشید است. تلفات تابشی نور بر اثر انعکاس در تابستانها حدود ۳ درصد و در زمستانها حدود ۱۴ درصد است. زیرا در تابستانها خورشید عمودی تر بوده و انعکاس نور آن کمتر است. (در تابستانها فاصله خورشید از زمین بیشتر از زمستانها است اما در زمستانها چون نور خورشید حالت مایل دارد میزان انرژی آن کمتر است). تابشهای غیرمستقیمی هم که از آسمان به آب می‌رسند از سطح آب منعکس می‌شوند، اما این بازتابشها (انعکاس) نورهای غیرمستقیم به موقعیت خورشید بستگی ندارد. مثلاً وقتی آسمان ابری باشد میزان بازتابش نورهای غیرمستقیم بسیار کاهش می‌یابد. هر چقدر زاویه تابش خورشید نسبت به حالت عمودی بیشتر منحرف شود، میزان بازتابش و انعکاس نیز افزایش می‌یابد.

مسئله دیگر در رابطه به انعکاس نور، مواج بودن آب دریاچه است. در سطح آبهایی که در آن امواج وجود دارند، برگشت نور در امواج کم حدود ۲۰ درصد افزایش ولی در امواج زیاد در حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد. زمانی که امواج بسیار بزرگ در دریاچه وجود داشته باشد، برگشت نور به مقدار زیادی کاهش می یابد. لایه های یخ و برف موجود در سطح دریاچه تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در میزان انعکاس نور از سطح آبها دارند.

مقدار قابل ملاحظه‌ای از نور میتواند توسط رسوبات (چه در ناحیه لیتورال و کم عمق و چه از کف دریاچه) منعکس یا پراکنده شود. مقدار نور برگشتی به ترکیب رسوبات بستگی دارد. رسوباتی که دارای کربنات کلسیم بالایی باشند، مقدار زیادی از نور را منعکس می‌نمایند که این مقدار نور منعکس شده در رسوبات حاوی مواد آلی زیادتر است.

همچنین بین میزان درصد انعکاس نور و زاویه برخورد نور خورشید رابطه وجود دارد:

زاویه برخورد (فاصله از خط عمود)	۰	۴۵	۵۵	۶۵	۷۵	۸۵	۸۹
درصد انعکاس	۲	۸/۲	۳/۴	۷/۸	۲/۲	۳/۵۸	۶/۸۹

میزان تابشهای مستقیم و غیرمستقیم بر اساس وضعیت خورشید بر حسب درجه در جدول زیر آمده است:

وضعیت خورشید بر حسب درجه	۹۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۲

تابش مستقیم بر حسب درصد	۲	۱/۲	۴/۲	۴/۳	۹/۵	۱۳	۲۱	۳۵	۵۸	۸۰
تابش غیر مستقیم بر حسب درصد	-	۴/۷	۸	۳/۹	۱۱	۱۳	۱۴	۱۵	۱۷	-

ناپدیدشدگی نور:

انتقال وجذب نور توسط آب

مقداری از انرژی نورانی که وارد آب می‌شود طی فرآیندهایی که رخ می‌دهد پراکنده شده و یا جذب می‌شود، کاهش انرژی تابشی با افزایش عمق، به علت فرآیندهای جذب و پخش، تضعیف و افت نور خوانده می‌شود، میزان ناپدیدشدگی نور را اصطلاحاً Light attenuation گفته و آنرا با ضریب ناپدیدشدگی نور (Extinction coefficient) نشان می دهند. میزان ناپدیدشدگی نور مجموعه ای از جذب (Absorption) و پخش (Scattering) نور است. این مقدار وابستگی زیادی به عمق لایه آبی دارد. پدیده جذب، میزان نور را در اعماق کم کرده و این انرژی را به فرم حرارتی تبدیل می‌نماید. شناخت خاصیت‌های جذب انتخابی در ابتدا در آبهای خالص و سپس در آبهایی با ویژگی‌های اپتیکی (نوری) متمایز، مسأله بسیار مهمی می‌باشد. انتقال و جذب نور در آب به شیوه‌های مختلفی شرح داده می شود شاید مستقیم‌ترین شیوه این است که میزان انتقال یا جذب نور تک رنگ (مونوکروماتیک) در خلال افزایش عمق در آب خالص بررسی شود.

در آب مقطر درصد جذب در محدوده مادون قرمز طیف بسیار بالا بوده و به سمت طول موج‌های پائین‌تر این میزان به سرعت کاهش می‌یابد به طوری که در محدوده طیف آبی حداقل میزان جذب دیده می‌شود، سپس مجدداً در محدوده طول موج‌های ماورای بنفش این خاصیت افزایش می‌یابد. میزان جذب نور قرمز بالاست. معمولاً در حدود ۵۳ درصد از کل نور در همان لایه یک متری اول جذب شده و عامل اصلی تولید گرما برای تولیدات اولیه محسوب می شود. در حالی که تقریباً ۷۰ درصد از نور آبی همچنان در عمق ۷۰ متری دریاچه دیده می‌شود. بعبارت دیگر میزان جذب نور آبی کم است.

قانون Reiylagh در ناحیه نوری بین طیفهای ۶۴۰-۳۹۰ میلی‌میکرون عنوان می کند که میزان پخش نور برابر است با عکس توان چهارم طول موج. بدین ترتیب، نورهای با طول موج کوتاه، دارای پخش شدگی زیاد بوده ولی میزان جذب آنها کاهش می یابد. این روابط و خصوصیات معمولاً در نمودارهای خطی و یا به صورت بهتر در نمودارهای لگاریتمی نشان داده می‌شود. معمولاً حدود ۵۳٪ از کل انرژی نورانی در یک متر اول دریاچه‌ها تبدیل به حرارت می گردد.

در غلظت‌های پائین، مواد معلق اثر بسیار کمی بر روی پدیده جذب دارند. در کدورت‌های بالا به خصوص در قسمت طول موج‌های کوتاه طیف مرئی این اثر بیشتر مشهود می‌شود، در تجزیه و تحلیل‌های جزئیات جذب در آب دریاچه‌ها و مواد و ترکیبات محلولشان، معمولاً قسمت‌های ویژه‌ای توسط فیلتراسیون و سانتریفیوژ کردن حذف می‌شوند.

در هر لایه آبی (مثلاً عمق m ۱) بخشی از نور بسته به شرایط آن لایه ناپدید می‌شود. بنابراین برای محاسبه شدت تابش در عمق مشخص (Z) حتماً باید شدت تابش در ناحیه سطحی را دانست. بنابراین:

$$I_Z = I.\ e^{-kz}$$

در این فرمول، I_Z شدت تابش در عمق Z – I. شدت تابش در سطح آب – e لگاریتم نپرین – K میزان ضریب ناپدیدشدگی و Z عمق لایه آبی است.

این وضعیت در شرایط تئوری صحیح می‌باشد. در حالی که در شرایط طبیعی میزان ضریب ناپدیدشدگی نور به چند عامل دیگر نیز بستگی دارد. زیرا در طبیعت آب کاملاً خالص وجود نداشته و همواره ناخالصی‌های مختلفی در آن یافت می‌شوند. این رابطه در شرایط طبیعی تحت تأثیر عوامل زیر است:

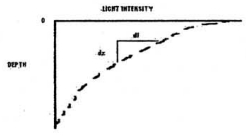
۴) ناپدیدشدگی بواسطه عملکرد مولکولهای آب (Kw)

۵) ناپدیدشدگی بواسطه مواد محلول موجود در آب (Kd)

۳) ناپدیدشدگی بواسطه ذرات و مواد معلق موجود در آب (Kp)

بنابراین ضریب ناپدیدشدگی در شرایط طبیعی از رابطه زیر به دست می‌آید: $K = K_w + K_d + K_p$

از آنجایی که در طبیعت آب خالص وجود ندارد بایست کلیه این پارامترها بدقت بررسی شوند، ولی بصورت فرضی مواد محلول و معلق در آب خالص وجود نداشته و مقدار ضریب ناپدیدشدگی در آب خالص بصورت K=Kw بوده که این مقدار فقط ناشی از عملکرد مولکولهای آب است.



در بررسیهای اکولوژیک میزان ضریب ناپدیدشدگی (که آن را با K نمایش می‌دهند) اهمیت زیادی دارد. مقدار ضریب ناپدیدشدگی (ضریب K) می تواند وضعیت یک منبع آبی را از نظر تروفی (Trophy) (شدت حاصلخیزی تولیدات اولیه در منابع آبی) را نشان دهد.

هر چقدر مقدار ضریب ناپدیدشدگی (K) بیشتر باشد، آن آب کدرتر بوده و نور به میزان کمتری در داخل آب نفوذ کرده و احتمالاً حاصلخیزی آب بالاتر است. برعکس، در آبهای شفاف مقدار ضریب K کم و در نتیجه مقدار نور نفوذی در اعماق بالاتر بیشتر است. لذا مقدار K در آبهای عمیق کمتر از آبهای نواحی ساحلی است.

عمق آب (متر)	K=۰/۰۲	K=۰/۲	K=۲
۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰
۱	٪۹۸	٪۸۲	٪۱۴
۲	٪۹۶	٪۶۷	٪۲
۱۰	٪۸۲	٪۱۴	٪۰
۵۰	٪۳۷	٪۰	٪۰
۱۰۰	٪۱۴	٪۰	٪۰

با توجه اعداد دیده می شود که با افزایش میزان K آب کدرتر و مقدار نفوذ نور در آب کمتر و احتمالاً حاصلخیزی آب بیشتر است. وقتی غلظت ذرات معلق در آب کم باشد تأثیر کمی بر روی جذب نور می گذارد.

جذب و پخش نور:

بطور کلی مقدار نور پخش شده در داخل آبها نسبتا کم است. در منابع آبی نور قرمز تقریبا در همان چند متری لایه بالایی آب بلافاصله جذب می شود. پس پخش و انعکاس نور بدلیل برخورد آن با جسمی و در نتیجه تغییر جهت آن در آب اتفاق می افتد. نور بر اثر برخورد با مولکولها و ذرات کوچک (گرد و غبار) رسوبی و همچنین جلبکها پخش شده و میتواند از سطح آب منعکس می گردد. بعلاوه باید توجه داشت که بخشی از نور منعکس شده بدلیل برخورد با ذرات و مولکول آب در هوا دوباره بطرف سطح آب برمیگردد. نور آبی در مقایسه با نور قرمز بیشتر پخش شده و بهمین دلیل آسمان و دریاچه ها برنگ آبی دیده می‌شوند.

پخش نور بسته به عمق آب، فصول مختلف، موقعیت دریاچه و نحوه و مقدار اختلاط با مواد معلق می‌تواند متغیر باشد. هنگامی که مواد در لایه میانی از لایه‌بندی حرارتی دریاچه‌ها یعنی جایی که بیشترین تغییرات چگالی دیده می‌شود (متالیمنیون) تجمع می‌یابند عاملی بازدارنده در مقابل سقوط مواد به قسمت‌های پائین ایجاد شده، در نتیجه چگالی آب افزایش یافته و باعث افزایش جمعیت پلانکتون در لایه های خاصی شده و پخش نور افزایش می‌یابد. همچنین پدیده پخش می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در قسمت‌هایی از دریاچه که باد جریان دارد و عمل امواج آبها را متلاطم کرده و دائماً رسوبات ساحلی با آبها مخلوط می‌شوند افزایش یابد هنگامی که دریاچه‌های دو گردشی (Dimictic) یا دریاچه‌های فاقد چرخه (amictic) دستخوش چرخه‌های کامل می‌شوند قسمت اعظم رسوبات ته‌نشین شده در حوضه دریاچه مجدداً به حالت سوسپانسیون (معلق) در می‌آیند و این مسأله قادر است تأثیرات شگرفی بر میزان پخش نور در آب برای مدت‌های زیادی تا چندین هفته داشته‌باشد به طور مشابه مواد آلی و غیرآلی که توسط رودخانه‌های همجوار به پیکره آبی وارد می‌شوند نیز قادرند که میزان پخش نور را به صورت غیر همگن در دریاچه افزایش دهند.

برای مثال جریان‌های سرد یا دارای بار زیاد گل و لای و یا آبهای یخچالی و نیمه ذوب می‌توانند به علت چگالی بالا در زیر لایه سطحی آب تا مسافت زیادی در دل دریاچه یا مخازن آبی پیش روند. این تغییرات کوتاه مدت یا دراز مدت در ویژگی‌های اپتیکی (نوری) وابسته به ترکیب و چگالی مواد و همچنین ویژگی‌ها و چگالی آب دریافت‌کننده در آن زمان خاص می‌باشد. قسمت اعظمی از نور توسط رسوبات منطقه لیتورال و نیز رسوبات نواحی کم عمق‌تر و یا رسوبات قسمت‌های نیمه عمیق دریاچه‌های شفاف و تمیز منعکس و یا پخش می‌شود.

میزان پخش نور نیز بسته به طول موج‌های متفاوت تغییر می‌کند. در آب‌های خیلی تمیز و شفاف پخش نور عمدتاً در باند آبی از طیف مرئی رخ می‌دهد. هنگامی که مقدار و اندازه مواد معلق افزایش یابد، تابش‌های با طول موج بلند به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابند. دریاچه‌هایی با آب سخت حاوی مقادیر فراوان کربنات کلسیم ($CaCO_3$) به طور کاملاً مشخصی عمدتاً سبزآبی به نظر رسیده و همچنین دریاچه‌های غنی از اجزاء معلق مواد آلی بیشتر سبز یا زرد دیده می‌شوند.

پدیده‌های پخش و انعکاس برای موجودات زنده‌ای که مستقیماً نور را در فتوسنتز به کار می‌برند و یا به طور غیر مستقیم به آن پاسخ‌های رفتاری می‌دهند از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. در اکوسیستم دریاچه‌ها جایی که نور از بالا با یک جهت خاص وارد محیط می‌شود پخش نور می‌تواند مولد ذخایر انرژی باشد. مقدار نور پخش شده غالباً حدود یک چهارم نور جذب شده توسط آب است، حتی مقادیر واقعی شاید بیشتر از این اندازه باشد.

قسمتی از نور پخش شده به سطح آب می‌رسد که بیش از ۸۰ تا ۹۰ درصد این نور بازگشتی به اتمسفر وارد می‌شود. غالباً مقدار کمی از نور قرمز پخش شده نسبت به پرتوهای آبی به سطح آب می‌رسند.

واژه‌ها و اصطلاحات زیادی در رابطه با نور مصرفی توسط موجودات فتوسنتز کننده معمول می‌باشد. تابش‌های فعال فتوسنتزی (PAR) تابش‌هایی منحصر به باندهای با طول موج ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر می‌باشند. محدوده تابش‌های فتوسنتزی ممکن است با طول موج کمتر از ۴۰۰ نانومتر یعنی تا حدود ۲۹۰ نانومتر را نیز دربر بگیرد اما این مقدار تابش‌ها بسیار اندک می‌باشند به خصوص اگر آب دارای ذرات آلی محلول نیز باشد (همانطور که در مورد آبهای داخلی چنین است). PAR واژه‌ای عمومی است که در بردارنده مفاهیم انرژی و فوتون (کوانتوم) می‌باشد. تشعشعات فتوسنتزی انرژی‌های تابشی (۷۰۰- ۴۰۰ نانومتر) هستند که در واحد زمان بر واحد سطح برخورد می‌کنند (یعنی دانسیته شار انرژی تابشی PAR در واحدها می‌باشد). نوری که در زیر آب توسط تولید کنندگان اولیه قابلیت استفاده برای فتوسنتز را دارد اصطلاحاً اشعه نوری فعال از نظر فتوسنتزی (تابش‌های فعال فتوسنتزی) Photosynthetically Active Radiation (PAR) می‌گویند.

فیتوپلانکتون‌های محیط‌های دریاچه‌ای از گروه‌های مختلفی تشکیل شده که می‌توانند طول موج‌های مختلفی را جذب کنند. مثلاً گروه کلروفیل‌ها (a,b,c,..) طیف‌های نواحی آبی و قرمز نور را جذب کرده و کارتنوییدها (Carotenoids) نواحی آبی و سبز طیف پیگمان‌های گروه بیلی پروتئین (مجموعه‌های Phycoerythrin، Phycocyanin، Allophycocyanin) نواحی سبز و زرد طیف نور را جذب می‌کنند. در یک مجموعه کاملاً مخلوط از جوامع مختلف فیتوپلانکتونی نورهای سبز و زرد معمولاً کمتر جذب می‌شوند.

جدول زیر رابطه بین طول موج نور، مقدار نور جذب شده و میزان ضریب ناپدید شدگی نور برای طیف‌های مختلف نور را در آب خالص ارائه کرده است:

رنگ	طول موج (میلی میکرون)	ضریب Extinction	درصد نور جذب شده در هر متر
مادون قرمز	۸۰۰	۱/۸۷	۸۴/۶
قرمز	۷۲۰	۱/۰۵	۶۵
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
ماورای بنفش	۳۶۵	۰/۰۳۶	۳/۶

با توجه به جدول دیده می شود:

۱ـ ضریب جذب نورهای سبز و بنفش با هم برابر است.

۲ـ میزان ضریب ناپدیدشدگی نور آبی کمترین مقدار را دارد ولی میزان ضریب ناپدیدشدگی نورهای مادون قرمز و قرمز بالاترین ارقام را به خود اختصاص می دهد.

۳ـ میزان ضریب Extinction نور از طیفهای مادون قرمز تا آبی کاهش یافته ولی از آبی تا ماورای بنفش مجددا افزایش می یابد. لذا نور مادون قرمز بیشترین میزان جذب و کمترین پخش را داشته، ولی نور آبی کمترین میزان جذب و بیشترین میزان پخش را بخود اختصاص می دهد. نتایج با قانون Reiylagh مطابقت می کند.

۴ـ رنگ آب در آبهای ساکن عمیق (با دید از ناحیه بالا) آبی رنگ است. بنابراین رنگ آب در آبهای تمیز و در یک لایه ضخیم، آبی دیده می‌شود زیرا نور آبی بیشترین میزان پخش را بخود اختصاص می‌دهد. اگر عمق لایه آبی کم باشد، در نواحی ساحلی رنگ آبی آب عموماً دیده نمی‌شود، چون عمق آب کم و ورودی رودخانه‌ها بداخل دریاچه بهمراه خود مواد معلق زیادی داشته و بنابراین نور آبی قدرت مانور ندارد.

۵- تفکیک شدن طول موجهای مرئی نور در آبها بدلیل نفوذهای انتخابی نور صورت می گیرد.

در آبهای طبیعی، رنگ آب به دو فرم حقیقی (True color) و ظاهری (Apparent color) تعریف می‌شود. رنگ واقعی آب بدلیل وجود مواد محلول و سوسپاسیون کلوئیدی موجود در داخل آن است در حالی که رنگ ظاهری آب معمولاً نتیجه عمل متقابل نور بر روی ذرات معلق و یا نور برگشتی از کف یا هوا است. برای تعیین رنگ حقیقی باید نمونه آب را صاف یا سانتریفیوژ نمود. لذا آب حاصله عاری از مواد معلقی (بوجود آورنده رنگ ظاهری) است. رنگ ظاهری آب در نمونه ای که سانتریفیوژ نشده مشاهده می شود. ذرات معلق در داخل آب را می‌توان از طریق سانتریفیوژ جدا کرد.

بنابراین در بررسی رنگ آب باید به چند پارامتر زیر نیز توجه داشت:

۱ـ رنگ آسمان.

۲ـ بعضی از منابع آبی بدلیل وجود شرایط یا مواد خاص در داخل آن اسامی خاصی برای آنها انتخاب شده است، مثلاً دریای سیاه بدلیل وجود H_2S در اعماق بیشتر از ۲۰۰ متر (که فاقد حیات در این اعماق می باشد) برنگ سیاه دیده می‌شود. سطح دریای سفید در حدود ۲۰۰ روز از سال از یخ پوشیده شده است. دریای سرخ بدلیل وجود جلبک‌های زیاد که به رنگهای قرمز و سبزاند، به این نامها معروفند.

۳ـ میزان مواد و املاح معلق داخل آب چه از نظر کمی و چه از نظر کیفی بر روی رنگ آب تأثیر دارد.

قبلاً گفته شد که آب خالص زمانی که از بالا به آن نگاه شود و در صورتیکه عمق لایه آبی زیاد باشد بر اساس قانون Reiylagh برنگ آبی دیده می شود. بعبارت دیگر نور آبی بیشترین نفوذ را در بین سایر گروهها دارد. از طرف دیگر ذرات معلق حل شده در آب بشدت رنگ آب را تغییر می دهند. انحلال ذرات معلق میتواند بشدت رنگ آب را متأثر کند. مثلاً از گروه دینوفلاژلاتا (Dinoflagellata) که در دریا کشندهای سرخ (Red tide) را ایجاد می کنند (و در سواحل چابهار نیز این پدیده دیده شده) که این جلبکها بعضی شان سمی‌اند و باعث تلفات زیاد ماهی می‌شوند. فیتوپلانکتونها و سایر مواد آلی میتوانند رنگ سبز متمایل به زرد را بوجود آورند. اثر مواد آلی محلول در جذب انرژی نورانی بسیار حائز اهمیت است بطوریکه در دریاچه هایی که میزان مواد آلی زیاد باشد، جذب اشعه های ماورای بنفش، آبی و تا حدودی سبز در لایه های بالایی آب صورت گرفته و در این موارد رنگ آب بصورت زرد رنگ و یا سبز متمایل به زرد دیده می شود. رنگ آب در بعضی از آبها که مواد هوموسی فراوانی دارند، بشکل قهوه ای تیره بوده که این دسته از منابع آبی بیشتر در مناطق جنگلی دیده می شوند.

کریستالها و ذرات آهکی در منابع آبی از یک طرف پخش شدگی نور را نیز افزایش داده و از طرف دیگر می‌توانند این نور را به بیرون از آب منعکس کنند. این وضعیت بستگی به زاویه برخورد خورشید و طرز قرارگیری کریستالهای آهکی دارد. پس ذرات و مواد معدنی موجود در آب میتواند پخش شدگی نور را تحت تأثیر قرار دهند. کریستالها و ذرات آهکی در نهایت می‌توانند میزان انعکاس نور را افزایش دهند. کریستالهای آهکی در منابع آبهای داخلی بفور دیده می‌شوند بطوری که این مقدار در دریاچه‌های با آب سخت رقم بالایی را بخود اختصاص می‌دهد.

در نتیجه گیری کلی و در یک سطح کلان می‌توان اشاره کرد که رنگ یک منبع آبی بستگی به ۳ پارامتر زیر دارد:

۱- مشخص کردن آن دسته از طیف های نوری که راحت تر نفوذ می کند (بررسی ویژگیهای نوری)

۲- میزان مواد معلق و رنگ آنها

۳- انعکاس نور از سطح آب

شدت تابش در هر عمق از آب را بر حسب واحدهای انرژی بیان کننده آن را برحسب لانگلی (Langley) به دقیقه محاسبه می کنند.

$$1\ longley = \frac{1\ cal}{cm^2} = \frac{10\ kcal}{m^2} = 4/187\ \frac{j}{cm^2} = 0/49\ \frac{wah}{m^2}$$

پس شدت اشعه‌های نور در طبقات مختلف آب بر حسب دو واحد $\frac{j}{cm^2}, min$ و $\frac{longley}{min}$ می باشد.

رنگ و کدورت آب در رودخانه ها:

در آبهای جاری (نهرها و رودخانه ها) رنگ آبی دیده نمی شود زیرا نور آبی بلافاصله جذب بستر شده و سبب می‌شود رودخانه برنگ شفاف و روشن دیده شوند. در آبهای جاری میزان انعکاس نور خیلی زیاد است (بدلیل مواج بودن این آبها). بنابراین میزان انعکاس آنها از آبهای ساکن بیشتر است. در جایی که رودخانه وارد دریا می گردد (مثلاً مناطق مصبی) میزان ذرات معلق بشدت افزایش می‌یابد. رنگ آب در نواحی ساحلی دریاچه، به رنگ نوع ماده معلق حل شده بستگی داشته ولی رنگ آب با فاصله گرفتن از ساحل و حرکت به سمت نواحی عمیق دریاچه (آب ساکن) آبی‌تر می‌شود. اصولاً میزان جذب و پخش نور تابع طول موج تابیده شده است ولی در آبهای جاری شفاف مثل نهرهای کوهستانی نور منتشر شده قابلیت نفوذ و رسیدن به کف بستر را دارد (بدلیل عمق کم آب و نیز شفاف بودن آن). در حالی‌که در رودخانه های بزرگ مواد جامد معلقی که بهمراه آب حل می شوند ممکنست کل نور رسیده شده به آب را در یک لایه خیلی نازک حتی کمتر از چند دسی متر جذب و پخش کنند. بنابراین ورود مواد هوموسی می‌تواند بشدت سبب کاهش انتقال نور گردد. عین همین وضعیت برای مواد آلی وجود دارد.

در آبهای جاری هدررفت (Pert) انرژی نورانی خیلی بیشتر از آبهای ساکن است. همچنین هر چقدر مقدار مواد آلی داخل آب افزایش یابد، ماکزیمم جذب اشعه ها بطرف اشعه های با طول موج بالاتر حرکت خواهد کرد. آب در برخی از رودخانه ها بدلیل وجود مقداری زیادی برگ، گیاهان و یا مواد دیگر رنگی بنظر می رسد. رشد زیاد دیاتومه ها بر روی سنگهای بستر رودخانه ها باعث می شود تا بستر برنگ قهوه ای دیده شده و جلبکهای سبز، رنگ سبز و باکتریهای سولفوره نیز رنگ زرد را در رودخانه ها ایجاد می کنند. آلودگی از منابع مختلف می‌تواند بر روی این تغییرات رنگ تاثیر گذاشته و باید در مطالعات صحرایی بررسی گردد.

کدورت آب (Turbidity):

کدورت عملاً میزان و درجه تیرگی آب را که توسط مواد معلق ایجاد می شوند را بیان می کند. موادی که سبب ایجاد کدورت می شوند همان موادی‌اند که سبب ایجاد رنگ در آب می‌شوند. موادی که باعث کدورت آب دریاچه‌ها می‌شوند شامل موجودات زنده و غیر زنده‌ای است که توسط رودخانه‌ها به دریاچه‌ها وارد شده یا در خود دریاچه تولید می‌شوند. در هر حال نوع و میزان کدورت تولید شده در آبهای ساکن از نظر کمی و کیفی اهمیت دارد. برای اندازه گیری کدورت از کدورت سنج (Turbidometer) استفاده می‌شود. کدورت آب یکنواخت نبوده و با فصل تغییر می کند. افزایش آب رودخانه‌های ورودی به دریاچه باعث افزایش ذرات (در اندازه ماسه) و سایر رسوبات و مواد به دریاچه شده و لذا رنگ و کدورت را در دریاچه افزایش می‌دهند. همچنین بخشی از آنها در دریاچه رسوب می‌نمایند. بایست توجه داشت که مواد مختلف با سرعت یکسانی رسوب نمی کنند. دانه‌های در اندازه ماسه بدلیل سنگینی سریعتر از مواد کلوئیدی رسوب می کنند. کدورت در اکوسیستم‌های آبی نقش زیادی در انتقال نور داشته و سبب کاهش شفافیت در آب می گردد. این مسئله در رابطه با تولید و جریان انرژی در اکوسیستم اهمیت بالایی دارد.

ورود و عبور نور در یک ستون آب خالص همراه با کاهش شدت نور و تغییرات در ترکیب طول موجی آن می‌باشد. فرآیند کاهش و تغییر طول موجی نور در نتیجه پراکنده شدن نور و جذب نور در آب است که برای توجیه این فرآیند می‌توان از قانون لامبرت (Lambert) استفاده کرد.

ویژگیهای نوری آب، یخ و برف:

مطالعات نشان می‌دهد که یخ از نظر ویژگی‌های نوری می‌تواند شبیه به آب عمل می‌کند. بنابراین تولید در آبهای پوشیده از یخ براحتی ادامه یافته و وجود یخ نمی‌تواند مانع تولیدات گردد. اعداد مربوط به خصوصیات و ویژگی‌های نوری آب و یخ در طول موج‌های مختلف در یک دریاچه Oligotroph بنام Lunz می‌باشد. این اعداد میزان انتقال نور برحسب درصد را نشان می‌دهند.

طول موج (nm)	۳۱۳	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰
یخ دریاچه	۹۰	۹۶	۹۲	۸۱/۵	۵۵	۱۷
آب دریاچه	۲	۳۳	۶۸	۶۳	۳۱	۱۰
آب مقطر	-	۹۸/۴	۹۹/۲	۸۱	۵۵	۱۱/۱

اعداد نشان می‌دهد که صفات اپتیک (نوری) یک طبقه یخ به ضخامت یک متر تقریباً نزدیک به صفات اپتیک آب مقطر است. لذا یک لایه یک متری یخ بر روی سطح دریاچه هیچگونه مانعی برای نفوذ نور نبوده و مانند آب مقطر عمل می‌کند.

علت این پدیده این است که یخ بدلیل ساختار هگزاگونال و بلوری خود دارای فضاهای خالی زیادی بوده که نور از میان آنها براحتی عبور می‌کند. این مساله از نظر حیات جوامع آبزی، پلانکتونها، ماهیان و گیاهان آبزی اهمیت ویژه ای دارد. حتی در فصل زمستان هم عمل فتوسنتز علیرغم شدت کم ادامه می‌یابد.

برعکس این وضعیت در ساختار برف دیده می‌شود. بطوری‌که، برف بشدت مانع عبور نور خورشید بوده لذا برف منعکس کننده نور محسوب می‌شود. بطوری‌که یک لایه برف به ضخامت ۲۰ cm حدود ۹۹ درصد از تابش‌های خورشیدی را منعکس می‌کند. یک لایه نازک برف بدلیل انعکاس شدید نور اثر منفی را از نظر میزان تولید اکسیژن در سطح دریاچه ها و یا استخرهای پرورش ماهی که سطحشان توسط برف مسدود شده بوجود می‌آورد. زمانیکه پوشش برفی روی سطح دریاچه را گرفته باشد، انعکاس شدید نور از آن از اهمیت زیادی برخورداراست که به آن اصطلاحاً آلبدو (Albedo) گویند. اگر Albedo مساوی یک باشد یعنی ۱۰۰ درصد نور منعکس شده و اگر مساوی صفر باشد یعنی هیچ نوری منعکس نمی‌گردد. برای برفی که تازه باریده شده باشد میزان Albedo بین ۷۰ تا ۹۰ درصد می‌باشد. علاوه بر این ضخامت برف هم از اهمیت بالایی برخوردار است.

در نتیجه گیری کلی بایست عنوان کرد که یخ شفاف بخوبی نور را عبور داده ولی برف نور را منعکس می کند. اگر یخ با مواد آلی همراه بوده و یا در آن حبابهای هوا وجود داشته باشد جذب نور بیشتر بوده و میزان نفوذ نور کاهش یافته و این مسئله اثرات زیادی بر متابولیسم دریاچه‌ها (بخصوص در مناطق سردسیر) خواهند داشت.

در دریاچه های پرتولید (یوتروف)، اکسیژن محلول مورد نیاز برای فرایندهای کاتابولیکی (مصرف اکسیژن) بیشتر از اکسیژنی است که بر اثر عمل فتوسنتز تولید می شود. این مصرف بالای اکسیژن باعث کاهش شدید آن در دریاچه شده و بطور کامل شرایط غیر هوازی را بوجود می‌آورد. این شرایط به عنوان مرگ زمستانی (Winter kill) نامیده شده که در دریاچه های کم عمق پرتولید در نواحی معتدله بیشتر دیده می شود.

روشهای اندازه گیری و سنجش نور:

برای اندازه گیری میزان نور در داخل آب از چند وسیله استفاده می کنند که یکسری پیشرفته و یکسری معمولی‌اند.

۱- صفحه سکشی (Secchi disk): وسیله دایره‌ای شکل به قطر ۲۵-۲۰ cm که می‌تواند کاملاً سفید و یا سیاه-سفید باشد. این صفحه را بوسیله وزنه به پایین می‌فرستند که در یک عمقی صفحه ممکن است کاملاً قابل رویت بوده و در عمقی دیگر ممکن است کاملاً غیر قابل رویت باشد. دو عمق مورد نظر (d_1, d_2) را ثبت می کنند و از روی آن عمق شفافیت آب (Transparency depth) را بدست می‌آورند. این رقم در منابع دریایی و دریاچه‌ای بر $T = \frac{d_1 + d_2}{2}$ حسب متر و در استخرهای پرورش ماهی بر حسب سانتیمتر می‌باشد. این وسیله برای اندازه گیری شفافیت آب یک وسیله نسبتاً خوب می‌باشد (نه خیلی خوب) ولی اصولاً برای اطلاعات کاربردی کارآیی بالایی ندارد. زیرا معمولاً با خطا همراه بوده بخصوص زمانی که افراد مختلف عمل نمونه برداری را انجام می دهند. لذا برای کاهش میزان خطا اندازه گیری بهتر است توسط یک فرد انجام گیرد. زمان اندازه گیری نیز اهمیت دارد مثلاً حوالی ساعات ظهر برای اندازه گیری مناسب است چون خورشید عمودی می‌تابد. از روی این پارامتر میزان شفافیت آب بدست می‌آید.

محاسن این وسیله کاربرد ساده آن است. عمق رویت صفحه سکشی بیانگر انعکاس نور از سطح آن به طرف چشم محقق بوده که این مقدار تحت تأثیر مواد محلول و معلق موجود در آب قرار می گیرد. لذا در استفاده از این وسیله میزان روشنایی روز، موقعیت آفتاب، مواج بودن آب، چشم شخص مشاهده کننده اثرات قابل توجه بر روی اطلاعات بدست آمده دارند. همچنین صفحه را باید همیشه ایستاده و یا همیشه با عینک و یا بدون عینک خواند. طرز قرار گرفتن فرد محقق در قایق اهمیت داشته بطوریکه آفتاب باید پشت سرش باشد.

عمق جبرانی (عمق تعادل) جایی است که یک درصد نور لایه سطحی به آن برسد. ناحیه نورگیر و ناحیه ای که یک درصد نور سطح به آن میرسد، در دریاچه ها از اهمیت زیادی برخوردار است. اندازه گیری دقیق عمق جبرانی نور یا عمقی که یک درصد نور را دریافت می کند میتواند با استفاده از دیسک سکشی و بصورت دقیقتر با انواع فتومترهای زیرآبی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- **سلولهای فتوالکتریک** (Photoelectric cells): مبنای کار در این سلولها بر اساس شدت تابش نور است. این سلول در نهایت به یک گالوانومتر متصل شده که دارای درجه بندی از ۱۰۰-۰ است. هر چقدر میزان عدد خوانده شده بیشتر باشد میزان شفافیت نور بیشتراست. در این روش می‌توان از انواع فیلترهای مختلف (مثلاً سبز، زرد و یا آبی) استفاده نمود که از این طریق میزان نور رسیده شده مورد نظر را بر حسب عمق بدست می‌آید. مثلاً بر روی صفحه حساس سلول از فیلتر آبی استفاده نموده و این نور را در اعماق مختلف تعقیب کرده تا حداکثر میزان نفوذ آن بدست آید. از روی این وسیله میتوان طیفهای مختلف نور را مشخص کرد که تا چه عمقی قابلیت نفوذ دارند. در این وسیله بایست به زمان اندازه گیری توجه داشت. ساعات اندازه گیری بهتر است حوالی ظهر باشد چون خورشید عمودی بوده و احتمال خطا کاهش می‌یابد. همچنین شرایط هوایی نیز بایست ثبت شود (هوای آفتابی یا ابری). در استفاده از این وسیله هوا باید کاملا صاف (آفتابی) و یا کاملا ابری باشد تا داده ها ارزش مطالعه داشته باشند.

فتومترهای قدیمی دارای سلولهای از جنس سلنیوم بوده ولی امروزه سلولهای نوری از جنس سیلیکون را بکار می برند که دامنه حساسیت آن بیشتر بوده و میتواند امواج نوری با دامنه ۷۵۰-۳۰۰ nm را بخوبی اندازه گیری کنند ولی در دامنه بین ۶۰۰ nm– ۵۰۰ بیشترین حساسیت را دارند.

فواید و اثرات تابش‌های خورشیدی

تابش‌های خورشیدی منبع عمده انرژی در اکوسیستم‌های آبی هستند که یا توسط فرآیندهای بیوشیمیایی در گیاهان آبزی به انرژی پتانسیل تبدیل می‌شوند و یا این انرژی در اثر فعالیت گیاهان خشکی‌زی حوزه آبخیز به مواد عالی تبدیل می‌شود و نهایتاً مواد آلی تولید شده به دریاچه‌ها وارد می‌شوند. آلگ‌ها و گیاهان بزرگتر (ماکروفیت‌ها) بین ۴ تا ۹ کوانتا از انرژی نورانی را به ازای احیای هر مولکول CO_2 مصرف می‌نمایند. گیرنده‌های فتوسنتزی در کلروپلاست‌ها دارای ساختارهای تیغه‌ای به قطر ۱ تا ۱۰ میکرون و ضخامت حدود ۰/۲۵ میکرون می‌باشند. جذب انرژی نورانی در رنگدانه های مختلف مقادیر متفاوتی است.

حداکثر جذب در رنگدانه‌های کلروفیلی نوع a در طول موج‌های ۴۰۵ و ۶۴۰ نانومتر است و در کلروفیل نوع b در طول موج‌های ۶۲۰ و ۴۴۰ نانومتر صورت می گیرد. گیاهان خاصی مانند گندم یک محدوده پاسخ وسیع به کوانتاهای انرژی به خصوص با کارایی بالا در طول موج‌های سبز دارند که بیشتر توسط کلروفیل‌های نوع a آنها را جذب می کنند. گیاهان نسبت به محیط‌های نوری ویژه نیز قابلیت سازگاری دارند برای مثال در جلبک‌های سبز- آبی میکروسیستیس هنگامی که موجود در نور قرمز رشد کند و در نتیجه سلول‌های کلروفیل a خود را از دست می‌دهد. رنگدانه‌های فیکوسیانین در آن اهمیت قابل ملاحظه‌ای می‌یابند. سایر رنگدانه‌های کمکی نیز وقتی عملکرد کلروفیل a محدود شود غنی شده و به خصوص در طول موج‌های بلند در فرآیند فتوسنتز نقش مؤثری ایفا می کنند. فتوسنتز آلگ‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای توسط تابش‌های اشعه‌های ماورای بنفش A و B (UV-B, UV-A) که در اشعه‌های طبیعی خورشید وجود دارند آسیب می‌بینند. مواقعی که حالت پایداری ظاهری ناشی از تعادل بین فرآیندهای آسیب و بازسازی رخ داده باشد غالباً بهبود فیزیولوژیکی و ژنتیکی نیز دیده می‌شود. بسیاری از گونه‌ها قادر به ترمیم آسیب سیستم‌های نوری و DNAهای خود می‌باشند و غالباً این بهبودها و ترمیم‌ها در طی دوره‌ای روزانه که اشعه UV وجود ندارد رخ می‌دهد.

بسیاری از گونه‌ها رنگدانه‌های جاذب اشعه UV تولید می‌کنند، آمینواسیدهایی مانند میکوسپورین از مهمترین اعضای این ترکیبات هستند. بسیاری از گونه‌ها یک حالت تدافعی بیوشیمیایی در مقابل مواد سمی حاصل از فعالیت تابش‌های ماورای بنفش دارند و بعضی از گونه‌ها نیز برای اجتناب از اشعه ماورای بنفش به مناطق عمیق‌تر آب مهاجرت می‌کنند. متابولیسم فیتوپلانکتون‌های اپی‌لیمنیونی در لایه‌های سطحی آب محدود می‌شود. برای مثال ۸۰ درصد میزان کاهش فتوسنتزها ناشی از محدود شدن فتوسنتز به علت اشعه ماوراء بنفش است و ۶۰ درصد این کاهش ناشی از کلروفیل a است.

گیرنده‌های بینایی جانوران در حداکثر ممکن دارای بازده ۱ می‌باشند. در بی‌مهرگان و برای مثال در میگوی اپاسم (mysis) گیرنده‌های بینایی در طول موج ۵۱۵ نانومتر حداکثر راندمان را داشته و بنابراین این موجود فقط در قسمت‌های عمیق دریاچه‌های شفاف و تمیز در محیط‌های با نور آبی یافت می‌شود. دافنی‌ها در دوره‌های روزانه از عمق به سطح آب مهاجرت نموده و این سازگاری بینایی‌شان یعنی در طول موج‌های ۳۷۰، ۴۳۵، ۵۷۰ و ۶۸۵ نانومتر صورت گرفته است.

سنجافک قسمت بیشتر چرخه عمر خود را به صورت پوره نابالغ در محیط آبی سپری می‌کند و گیرنده‌های بینایی‌اش تنها در قسمت نور سبز (طول موج ۵۳۰ نانومتر) و بعضاً در محدوده نور آبی ۴۲۰(نانومتر) طیف نوری دارای اوج کارایی می‌باشد و هنگامی که حشره بالغ می‌شود حداکثر کارایی گیرنده‌ها در طول موج‌های بالاتر و دامنه بیشتر افزایش می‌یابد (۳۸۰، ۴۲۰، ۵۱۸، ۵۳۰ و ۵۵۰ نانومتر). چنین وضعیتی به طور مشابه در ماهی‌ها در اعماقی که محیط دارای نور آبی است حداکثر گیرندگی را در حدود طول موج‌های ۴۸۵ نانومتر نشان می‌دهند، در حالی که ماهی‌هایی که در آبهای کم‌عمق‌تر زندگی می‌کنند به طول موج‌های بلندتر حساسند. سازگارهای رفتاری برای کاربرد و بهره‌گیری از نور نیز رایجند.

برای مثال دافنی‌ها از نور به عنوان نشانه و علامتی برای جهت‌گیری بدنشان در هنگام شناکردن استفاده می‌کنند. محور طولی بدن آنها به سمت بردارهای حداکثر میزان انرژی نورانی جهت‌گیری می‌کند که نتیجه مستقیم این عملکرد شنای این سخت‌پوستان به صورت مهاجرت‌های قائم در ستون‌های آبی است. پس نحوه پراکنش و توزیع جمعیت‌های دافنی در دریاچه وابسته به نور است.