# اصول راهبری تصفیه‌خانه‌های آب

## « سلسه مقالات آموزشی »

### ( مدیریت ذخائر آب و سازه‌های ورودی )

### قسمت دوم

ترجمه: مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب

## عوامل مؤثر بر کیفیت آب

عوامل زیادی بر کیفیت آب دریاچه‌ها و ذخائر آب مؤثرند. مهم‌ترین امر در این خصوص این است که بسیاری از شرایطی که تأثیر نامطلوب بر کیفیت ذخائر آب شهری می‌گذارند ناشی از استفاده انسان از عوامل محیطی است. برای کنترل و حفظ کیفیت آب باید فعالیت‌های انسان در محیط تحت کنترل درآید. بارش باران‌های اسیدی در بسیاری از مناطق ایالات متحده و اروپا به یک مسئله جدی تبدیل شده است. آلودگی ناشی از وسایط نقلیه موتوری و کارخانه‌های صنعتی، میزان اسیدیته باران در بعضی مناطق را تا حدی افزایش داده است که با ورود رواناب این مناطق به دریاچه‌ها و ذخائر آب، تعادل زیستی درون آنها به شدت بر هم می‌خورد. مرگ ماهیان به چشم دیده می‌شود و آن را می‌توان به سادگی تشخیص داد ولی دیگر روندها و نابسامانی‌های زیستی چندان مشهود نیستند.

نکته مهم دیگر، اثرات فعالیت انسان در حوزه آبریز ذخائر آبی است. فاضلاب، رواناب کشاورزی، چرای دام، زهکشی معادن، رواناب مناطق شهری و فاضلاب‌های صنعتی همگی می‌توانند منجر به نقصان فیزیکی، شیمیایی، یا زیستی کیفیت آب در ذخائر آبی شوند. عملیات کشاورزی، آتش‌سوزی و قطع درختان سبب افزایش کدورت آب و ورود ماسه و خاک در آن می‌شود. استفاده عمومی از ذخائر آب نیز، اگر کنترل شده نباشد می‌تواند سبب نقصان کیفیت آب شود.

عوامل طبیعی که می‌توانند بر کیفیت آب در دریاچه یا مخزن آبی مؤثر باشند عبارتنداز:

۱- شرایط اقلیمی : دما، شدت و جهت باد، نوع، الگو، شدت و مدت نزولات جوی؛

۲- حوزه‌های آبریز و رهکشی: زمین‌شناسی، توپوگرافی، نوع و وسعت پوشش گیاهی و استفاده حیوانات بومی از ذخائر آب؛

۳- آتش‌سوزی‌های طبیعی ( ناشی از صاعقه )؛

۴- حوزه ذخیره آب : زمین‌شناسی، شکل زمین شامل عمق، وسعت و عمق توپوگرافی و کشت گیاهی در زمانی که منبع آب پر است.

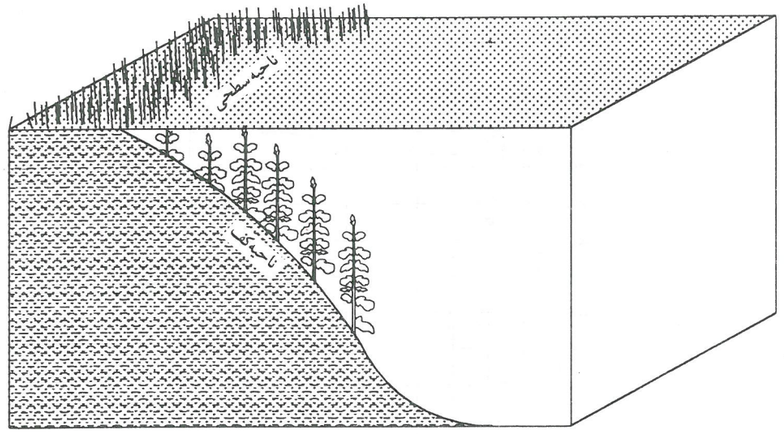
## ریشه‌های مسائل کیفی آب

### مواد مغذی[1]

بیشتر مسائل کیفی آب در منابع آب شهری در ذخائری به

۱- مواد مغذی. هر ماده‌ای که در موجود زنده جذب شود و سبب رشد آن گردد. نیتروژن و فسفر سبب رشد جلبک می‌شوند. عناصر اصلی و کمیاب دیگری نیز هستند که ماده مغذی شمرده می‌شوند.






شکل ۱- ناحیه سطحی[1]

وجود می‌آیند که دارای مقادیر متوسط یا زیادی از مواد مغذی مثل فسفات، نیترات و ترکیبات آلی نیتروژن‌دار هستند. این مواد مغذی می‌توانند برای جلبک‌ها نقش مواد حاصلخیز کننده را پیدا کنند و سبب رشد آنها شوند آنگونه که در چمن‌کاری، باغچه‌ها و باغ‌های میوه سبب رشد گیاهان می‌شوند. ذخائر و دریاچه‌هایی راکه از نظر مواد مغذی غنی هستند و به این دلیل از نظر حیات جانوری و گیاهی زایا هستند یوتروفیک می‌نامند. ذخائری راکه مواد مغذی چندانی ندارند و حیات گیاهی و جانوری اندکی دارند اُلیگو تروفیک می‌خوانند و در بین این دو نوع ذخائر آبی، ذخائر مزوتروفیک قرار دارند که دارای مقادیر متوسط مواد مغذی هستند و توان آنها برای تأمین حیات گیاهی و جانوری در حد متوسط است.

در ذخائر آبی حاصلخیز، گیاهان آبزی مثل علف‌های حوضچه‌ای، سنبل آبی، تیول‌ها[2] و انواع دیگر چمن آب‌های کم عمق یا ناحیه ساحلی[3] به وفور می‌رویند ( شکل ۱ ). دریاچه‌های حاصلخیز در فواصل مختلف سال معمولاً عامل رویش و حیات تعداد زیادی فیتوپلانکتون (گیاهان بسیار ریز ) و یا زئوپلانکتون ( حیوانات بسیار ریز ) هستند. افزایش ناگهانی جمعیت پلانکتون‌ها را بلوم[4] یا شکوفایی می‌نامند. شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها را شکوفایی جلبکی می‌خوانند. مدت و مقدار رشد جمعیت هر شکوفایی جلبکی به عوامل محیطی مختلفی مثل نور، دما و مواد مغذی بستگی دارد. در هر شکوفایی جلبکی از یک تا چند نوع جلبک وجود دارد و ممکن است از چند روز تا چند هفته یا حتی چند ماه ادامه یابد.

### شکوفایی جلبکی

چند مسئله کیفیت آب در منابع آب‌های شهری ممکن است با شکوفایی جلبکی ارتباط داشته باشد. هر یک از این مسائل را به طور جداگانه به بحث خواهیم گذاشت اما سیاهه آنها به قرار زیر است:

۱- مسائل مربوط به بو و طعم

۲- کوتاه شدن عمر صافی در تصفیه‌خانه‌های کامل

۳- افزایش pH ( که کارایی کلرزنی را دچار نقصان می‌کند)

۴- کاهش اکسیژن محلول

۵- بارگذاری آلی

## طعم و بو

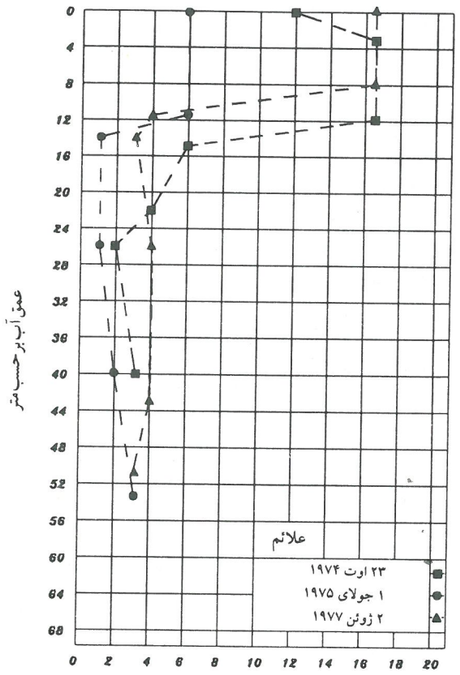
طعم و بوی ناخوشایند در منابع آب شهری غالباً به وجود شکوفایی جلبکی مربوط می‌شود. ماهیت و نوع طعم و بوی آب

1- Littoral Zone

۲- Tule: پیرز مرداب - بومی جنوب غربی ایالات متحده

۳- ناحیه ساحلی. ( ۱ ) آن بخش از آب‌های شیرین که حد واسط بین خط ساحلی تا منطقه گیاهان ریشه‌دار است. ( ۲ ) نوار خشکی در امتداد خط ساحلی بین سطوح بالا و پایین آب.

4- Bloom




حد آستانه پویایی ( TON )

**شکل ۲- نیمرخ‌های بو در دریاچه کاسیتاس[1]**

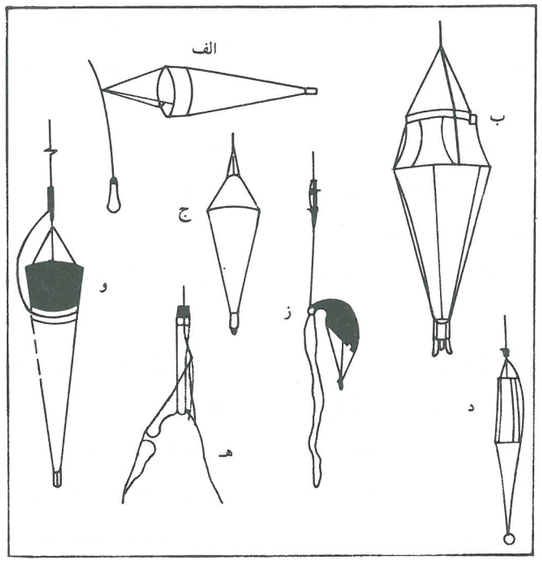
به نوع جلبک بستگی دارد ولی شدت آن با تغییرات شکوفایی جلبکی تغییر می‌یابد. مثلاً، برخی از جلبک‌ها با جمعیت متوسط نوعی بوی علف تولید می‌کنند، ولی وقتی جمعیت آنها زیاد باشد یا در حال مرگ و فساد باشند بوی عفونی یا بوی آغل خوک می‌دهند. بوها و طعم‌های دیگری که جلبک‌ها تولید می‌کنند عبارتنداز: بوی ماهی، معطر، آب انگور تخمیر نشده و بوی خاک. تقریباً چهل نوع جلبک تولیدکننده بو شناسایی شده است. مسائل مربوط به طعم و بوی آب می‌تواند از ابراز شکایت مصرف‌کننده تا ردکامل آب مورد نظر برای مصارف شهری را در بر داشته باشند. ابراز شکایت از طعم آب عموماً در مواردی اتفاق می‌افتد که آب برای مصارف آشامیدنی یا تهیه چای و قهوه مورد استفاده قرارگیرد زیرا طعم ناخوشایند بیشتر وقتی آشکار می‌شود که آب در دمای اطاق وکمی بیش از آب سرد مصرف می‌شود. بوی ناخوشایند بیشتر وقتی آشکار می‌شود که آب داغ برای استحمام، پخت و پز و ظرفشویی مصرف می‌شود.

بیشتر اوقات، کلرزنی منابع آب، مقدار بو و مزه‌های نامطلوب راکاهش می‌دهد، اما مواردی نیز وجود دارند که تصادفاً پس از کلرزنی، طعم و مزه ناخوشایند قوی‌تر می‌شود. حذف بو و مزه‌های ناخوشایند هزینه‌های تصفیه را به شدت بالا می‌برد ولی خوشبختانه بسیاری از تصفیه‌خانه‌های متعارف قادر به کاهش یا حذف کامل بو و مزه ناخوشایند هستند.

لایه‌بندی ذخائر آب به لایه‌های حرارتی در اثر شرایط اقلیمی را به طور مشروح در بخش‌های بعدی تحت عنوان

۱- شکل ۲ به این شیوه تهیه شده است که با قایقرانی در دریاچه کاسیتاس در سه تاریخ ذکر شده در شکل از آب دریاچه نمونه‌برداری شد و سپس نمونه‌ها را برای تعیین عدد آستانه بو ( TON ) آزمایش کردیم. با رسم نقطه‌های تلاقی هر عمق ( سمت چپ شکل ) با مقدار اندازه‌گیری شده TON ( پایین شکل ) نیمرخ بو را رسم کردیم. نقاط تلاقی را برای هر روز به یکدیگر وصل کردیم تا نیمرخ‌های بو به دست آید.






**شکل ۳- تورهای نمونه‌برداری پلانکتون**

(الف) - تورکششی ساده مخروطی؛ (ب) تور هنسن[1]؛ (ج) تور اپستین[2]؛ (د) تور جودی[3]؛ (هـ) تور اپستین با دریچه‌های نیم گرد؛ (و) تورنانسن[4] بستنی، در حالت باز؛ (ز) تور نانسن بستنی، در حالت بسته.

لایه‌بندی حرارتی به بحث خواهیم گذاشت. اما در خصوص جلبک باید گفت که بوها و مزه‌های ناخوشایند غالباً در لایه حرارتی که شکوفایی در آن صورت می‌گیرد به قویترین حد خود می‌رسد که این وضعیت بیشتر در لایه‌های بالایی آب ذخائر مشاهده می‌شود. در شکل ۲ این واقعیت را از طریق رسم نیمرخ‌های آستانه بو[5] در سه ناحیه شکوفایی جلبکی مجزا در دریاچه کاسیتاس[6] کالیفرنیا نمایش داده‌ایم. این شکوفایی در زمان وجود لایه‌بندی حرارتی رخ داد. بوهای ناخوشایند [که با اندازه گیری‌های حد بالایی TON ( عدد آستانه بو ) نمایش داده‌ایم ] در لایه گرمتر بالایی آب تراکم یافته‌اند و با لایه‌های سردتر عمق آب اختلاط ناچیزی یافته‌اند.

مشکلی که در چند مخزن آب شهری در کالیفرنیای جنوبی مشاهده شده عبارت است از این که در هنگام وارونگی[7] پاییزی، بوها و مزه‌های ناخوشایند از بخش بالایی مخزن به سمت پایین رفته و در سر تا سر مخزن پخش می‌شود. حتی با استفاده از سازه‌های ورودی چند سطحی نمی‌توان عمقی را به دست آورد که در آن بو و مزه ناخوشایند در کمترین مقدار باشد. در دریاچه‌ها و مخازنی که در طی ماه‌های زمستان آب در آنها یخ می‌بندد، شکوفایی جلبکی در زیر یخ به وجود آمده و سبب مشکلات طعم و بوی آب در عمق‌های پایین‌تر می‌شود.

در باره شناسایی مشکلات طعم و بوی ناشی از جلبک‌های شناور ( پلانکتونی ) پژوهش‌های زیادی انجام شده است. برای تعیین نوع جلبک و تخمین حدود جمعیتی آنها، از آب باکمک تورهای پلانکتون یا بدون آنها نمونه‌برداری می‌شود ( شکل ۳ ). این نمونه‌ها را سپس در آزمایشگاه با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایش می‌کنند. پژوهش‌ها حاکی از این هستند که جلبک‌هایی که چسبیده به رسوبات کف

1- Hensen
2- Apstein
3- Juday
4- Nansen

۵- آستانه بو: حداقل مقدار بو در نمونه آب که پس از رقیق سازی‌های پیاپی با آب بی‌بو قابل تشخیص باشد.

6- Casitas

۷- وارونگی: اختلاط تقریباً یکباره همه لایه‌های آب در مخزن یا دریاچه و یکسانی دما از بالا تا پایین دریاچه. این وضعیت در پاییز یا زمستان یعنی هنگامی رخ می‌دهد که آبهای‌سطحی به اندازه دمای عمق آب سرد می‌شوند و یا در بهار که آبهای سطحی پس از ذوب یخ گرم می‌شوند.

یا تأسیسات مستغرق رشد می‌یابند عامل عمده‌ای در ایجاد بو و مزه ناخوشایند هستند. از این کشت‌های جلبکی نمی‌توان با روش‌های معمول و متعارف نمونه‌برداری کرد و آنها را ارزیابی نمود. بنابراین غواصان ماهر با ماسک اکسیژن به زیر آب رفته، نمونه‌برداری می‌کنند و از وسعت کشت جلبکی نقشه‌برداری می‌کنند.

به ویژه یک گونه جلبک سبز - آبی به نام اُسیلا توریا کرویسپس [1 و 2] شناسایی شده است که عامل بو و مزه خاص خاک و مزه عصاره انگور است. پژوهش‌های متعددی نیز در سراسر ایالات متحده آمریکا در جریان است که هدف آنها تعیین و شناسایی ترکیبات آلی است که بو و مزه ناخوشایند ایجاد می‌کنند و همچنین در این تحقیقات سعی می‌شود تا جلبک تولیدکننده هر یک از این مواد شیمیایی مشخص شود. دو ترکیب جیوسمین [3] و متیل ایزو بورنیال [4] که عامل بوی خاک و مزه عصاره انگور هستند در غلظت‌های بسیار پایین یعنی حتی چند قسمت در تریلیون ( نانوگرم در لیتر ) سبب شکایت مصرف کننده می‌شوند.

## کوتاهی عمر صافی

دومین مشکل عمده‌ای که حاصل شکوفایی جلبک است انسداد صافی در تصفیه‌خانه توسط بعضی گونه‌های خاص جلبک است که از این رهگذر هم سرعت صاف کردن کاهش یافته و هم عمر صافی‌ها کم می‌شود. گازهای حاصل از فعالیت جلبک‌ها نیز می‌توانند سبب کوتاهی عمر صافی شوند. عمر طبیعی صافی‌ها تا هر بار تمیزکاری بین ۳۰ تا ۱۰۰ ساعت است و این در حالی است که در اثر وجود جلبک، این دوره ممکن است به کمتر از ۱۰ ساعت کاهش یابد. در حالت‌های ویژه، ممکن است انسداد صافی‌ها به دفعاتی رخ دهد که آب لازم برای شستشوی معکوس صافی‌ها بیش از مقدار آب تصفیه شده و ارسالی به شبکه توزیع باشد.

بازتاب کاهش سرعت صافی کردن و افزایش دفعات شستشوی معکوس صافی، ناتوانی در تأمین آب لازم در شبکه و بالارفتن هزینه‌های تصفیه آب خواهد بود.

## افزایش pH [5]

لازمهٔ شکوفایی جلبکی معمولاً نوسان‌های مشخص در pH آب در لایه بالایی مخزن یعنی در جایی است که رشد بی‌رویه رخ می‌دهد. در نتیجه این رشد بی‌رویه غالباً pH از حدود ۷ به ۹ یا بالاتر افزایش می‌یابد. کارایی کلرزنی هم در pH بالا تا حدود زیادی کاسته می‌شود. این امر سبب افزایش هزینه‌های تصفیه می‌شود زیرا ابتدا باید مقدار pH را پایین آورد یا باید کلر بیشتری استفاده شود. چون جلبک، دی اکسید کربن محلول را مصرف می‌کند و آن را در جریان رشد خود به مواد سلولی تبدیل می‌کند، موازنه کربنات بر هم می‌خورد. اگر غلظت جلبک بالا باشد و شرایط نور نامطلوب، مقدار pH ممکن است تا ۹/۸ برسد.

افزایش و کاهش pH در اثر عمل فتوسنتز [6] در ساعات آفتابی روز و در اثر تنفس جلبک‌ها در ساعات تاریکی است. در ساعات آفتابی روز pH بالا رفته و در شب پایین می‌آید. تنفس جلبک‌ها منجر به افزایش دی‌اکسید کربن آب شده (که pH را پایین می‌آورد )، در حالی که فتوسنتز مقدار دی اکسید کربن را کاهش می‌دهد ( و pH بالا می‌رود ). این نوسان‌ها در مقدار pH می‌تواند اثر نامطلوب بر هر دو فرایند تصفیه لخته‌سازی و ضد عفونی داشته باشد.

## کاهش اکسیژن محلول

با رشد و پیشرفت شکوفایی جلبک‌ها، میزان اکسیژن محلول در اعماقی که رشد بی‌رویه وجود دارد در اثر فتوسنتز

---

۱- مراجعه کنید به کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب، چاپ هفدهم تصاویر رنگی B و C بین صفحات ۱۰ تا ۲۰۰ و ۱۰ - ۲۰۱، شماره سفارش ۱۰۰۴۷، این کتاب از دفتر خدمات‌فروش واقع در
AWWA, 666 West Quincy Ave., Denver, Co 80235 قابل تهیه است.

2- Oscillatoria curviceps  3- Geosmin

4- Methyl Isoborneal ( MIB )

۵- pH عبارت است از شدت بازی یا اسیدی بودن مایع ، به عبارت ریاضی pH لگاریتم ( بر مبنای ۱۰ ) عدد متقابل فعالیت یون ئیدروژن است. $pH = Log \frac{1}{[H^+]}$
گستره pH ممکن است بین ۰ تا ۱۴ باشد، که ۰ اسیدی‌ترین حالت و ۱۴ بازی‌ترین حالت و ۷ حالت خنثی است. pH آب‌های طبیعی معمولاً بین ۶/۵ تا ۸/۵ است.

۶- فتوسنتز، فرایندی است که در آن موجودات زنده با کمک کلروفیل ( آنزیم سبز رنگ گیاهی ) دی اکسید کربن و مواد غیر آلی را به اکسیژن و مواد گیاهی دیگر تبدیل می‌کنند و در این فرایند از انرژی آفتاب استفاده می‌کنند. رشد همه گیاهان سبز نتیجه این فرایند است.



افزایش می‌یابد. وقتی اکسیژن محلول از مقدار اشباع در دمای آب زیادتر شود حالت فوق اشباع به وجود می‌آید. در حین رشد بی‌رویه جلبکها مشاهده حالت فوق اشباع اکسیژن محلول کاملاً معمولی و عادی است. ولی با مرگ سلول‌های جلبکی، این اکسیژن اضافی توسط باکتری‌هایی که از سلول‌های جلبکی تغذیه ( متابولیسم ) می‌کنند به مصرف می‌رسد. بعد از هر شکوفایی جلبکی زیاد، اکسیژن محلول هم در سطح آب و هم در عمق‌های پایین‌تر به حدی که موجب مرگ ماهیان است پایین می‌آید. مرگ و میر ماهیان در اثر کمبود اکسیژن ممکن است در زمانی رخ دهد که رشد انبوه جلبک و کاهش ناگهانی آفتاب همزمان می‌شوند. در چنین شرایطی، فعالیت فتوسنتز جلبک‌ها دچار رکود می‌شود و چون در این حالت اکسیژن کمتری تولید می‌شود، جلبک‌ها اکسیژن ذخیره در آب را به مصرف تنفس خود می‌رسانند. اگر این وضعیت در مدتی طولانی دوام یابد، ممکن است آب، بیشتر اکسیژن خود را از دست بدهد، که این امر سبب مرگ ماهیان و جلبک‌ها در اثر فقدان اکسیژن خواهد شد. گاه ماهیان در اثر انسداد آبشش‌های آنها توسط جلبک می‌میرند.

مرگ و میر ماهیان در منابع آب شهری همواره شکایت عموم مصرف کنندگان را به همراه خواهد داشت، به ویژه اگر آب مورد نظر مصرف آشامیدنی داشته باشد. جمع‌آوری و دفع ماهیان مرده از منابع بزرگ به معنای بار مالی و نیروی انسانی قابل توجهی برای تأسیسات تأمین آب می‌باشد.

در دریاچه‌های لایه‌بندی شده، کمبود اکسیژن در آب‌های سردتر و عمیق‌تر اغلب به دنبال شکوفایی جلبکی رخ می‌دهد، مشکلات کیفیت آب ناشی از چنین وضعیتی را در مبحث مربوط به دریاچه‌های لایه‌بندی شده در بخش‌های بعدی تحت عنوان " لایه‌بندی حرارتی " خواهیم آورد.

## بارگذاری آلی

در نتیجه شکوفایی جلبکی، مقدار مواد آلی در منابع آب به طور طبیعی بالا می‌رود. مهمترین اثر این افزایش در بارگذاری آلی افزایش رنگ منبع آب و بالارفتن کلر مورد نیاز خواهد بود. رفع این مشکل نیز به معنای بالارفتن هزینه‌های تصفیه آب است.

بارگذاری آلی حاصل از رشد بی‌رویه جلبکی اغلب ملازم با پدیدار شدن مقادیر زیاد تری‌هالومتان [1] پس از انجام کلرزنی باقیمانده ( یکی از روش‌های ضد عفونی در تصفیه آب ) خواهد بود. این مواد آلی دارای پیش ترکیبات THM [2] هستند که با کلر واکنش داده و تری‌هالومتان تشکیل می‌دهند. سازمان حفظ محیط زیست آمریکا بر اساس متوسط نمونه‌برداری‌های فصلی در شبکه توزیع آب، حداکثر مجاز آلاینده‌ها را در مورد تری‌هالومتان ۱۰۰$\mu g/L$ ( میکروگرم در لیتر ) تعیین کرده است. استاندارد این سازمان از دسامبر ۱۹۸۱ برای شبکه‌هایی که جمعیت ۷۵۰۰۰ نفری را سرویس می‌دهند به مورد اجرا گذاشته شد و سپس در دسامبر ۱۹۸۳ به شبکه‌های ۱۰۰۰۰ تا ۷۵۰۰۰ نفری تعمیم داده شد.

مقدار تری‌هالومتان ( THM ) حاصل از شکوفایی جلبکی ممکن است از حداکثر مجاز آلاینده‌ها ( MCL ) بالاتر رود. برای پایین آوردن مقدار THM به محدوده مجاز یا باید روش‌های ضد عفونی را تغییر داد و یا باید از صافی کربن فعال استفاده نمود. در هر دو صورت، هزینه‌های تصفیه آب افزایش زیادی خواهد یافت.

دو کتاب مرجع مفید برای تشخیص و شناسایی جلبک و مشکلات مربوط به آنها عبارتنداز: جلبک در منابع آب و روش‌های استاندارد.

## لایه‌بندی حرارتی

در فصل بهار وقتی سطح آب شروع به گرم شدن می‌کند، در دریاچه‌ها و مخازن آب لایه‌بندی حرارتی ایجاد می‌شود. با نزدیک شدن فصل تابستان، هوا گرم می‌شود و روزهای طولانی‌تر تابستان به معنای زمان طولانی‌تر گرما گیری در آب خواهد بود و بادهای بهاری نیز فروکش می‌کنند. در چنین شرایطی، سطح آب به سرعت گرم می‌شود، انبساط پیدا می‌کند

---

1- Trihalomethane ( THM )

۲- پیش ترکیبات THM مواد آلی طبیعی هستند که در همه آب‌های سطحی و زیرزمینی یافت می‌شوند. این ترکیبات می‌توانند با هالوژن‌ها واکنش داده ( مثل کلر ) و تری‌هالومتان تشکیل دهند؛ برای تشکیل THMها وجود این پیش ترکیبات ضروری است.

و از آب‌های عمق پایین‌تر سبکتر می‌شود. اگر چه ممکن است بادی هم بوزد، اما اثر آن در همزنی آب‌های دریاچه به تدریج کمتر می‌شود چون با افزایش دمای آب، دانسیته آب در نقاط مختلف متفاوت می‌شود و در برابر همزنی مقاومت ایجاد می‌کند. هر چه تفاوت دمای آب بیشتر باشد، تفاوت دانسیته آب که سبب مقاومت در برابر همزنی می‌گردد بیشتر خواهد بود. وقتی در یک دریاچه لایه‌های آب دمای متفاوتی پیدا کنند، دریاچه دچار لایه‌بندی حرارتی می‌شود.

دیگر مشکل عمومی کیفیت آب، در مخازن حاصلخیز و با لایه‌بندی حرارتی دیده می‌شود. مخازن و دریاچه‌های داخل ایالات متحده به طور کلی در یکی از دو دسته زیر قرار می‌گیرند که این دسته‌بندی متناسب با چرخه‌های سالانه لایه‌بندی حرارتی آنهاست.

۱- دریاچه‌های یک اختلاطی

۲- دریاچه‌های دو اختلاطی

مخازن و دریاچه‌های نسبتاً عمیقی که در ماه‌های زمستان به طور سرتاسری یخ نمی‌بندند یک چرخه لایه‌بندی و والایه‌بندی ( اختلاط ) را پشت سر می‌گذارند و آنها را در طبقه یک اختلاطی قرار می‌دهند. در بعضی مناطق، دریاچه‌ها یک دوره وارونگی زمستانی دارند که از سپتامبر تا اواسط ماه مه ادامه می‌یابد ( یعنی هروقت باد بوزد، دریاچه دچار وارونگی می‌شود ). دریاچه‌ها و مخازنی که دچار یخبندان کامل می‌شوند معمولاً دو چرخه لایه‌بندی و والایه‌بندی را پشت سر می‌گذارند و در طبقه دو اختلاطی قرار می‌گیرند.

در دریاچه‌های یک اختلاطی، دمای آب در ماه‌های زمستان از سطح تا کف یکنواخت است؛ دانسیته آب در سراسر دریاچه یکسان است؛ و آب فقط باکمک باد مخلوط می‌شود. با تداوم سردی هوا، سطح آب دانسیته بیشتری پیدا می‌کند و به کف دریاچه می‌رود. با تغییر فصل به سوی بهار، تابش خورشیدی بخش بالایی دریاچه یا مخزن را سریعتر از یخ‌های عمیق‌تر گرم می‌کند. کاهش دانسیته آب گرمتر در سطح، اختلاط عمودی درون دریاچه را کند کرده و بین لایه‌های بالایی و پایینی مانع ایجاد می‌شود. لایه بالایی را که عمل اختلاط را تداوم می‌دهد اپی‌لیمنیون [1] می‌نامند (شکل ۴). لایه میانی ناحیه کاهش سریع دما به نسبت عمق است و به آن ترموکلاین [2] یا متالیمنیون [3] می‌گویند. پایین‌ترین لایه آب سردتر و با دانسیته بالاتر هیپولیمنیون [4] خوانده می‌شود. هرگاه این شرایط به وجود آید، اصطلاحاً می‌گویند که دریاچه لایه‌بندی حرارتی شده است. دریاچه در طول تابستان و پاییز و اوایل زمستان در این شرایط لایه‌بندی شده باقی می‌ماند تا سطح آب به سردی آب‌های عمق پایین‌تر برسد، مانع شکسته شود و والایه‌بندی یا اختلاط ( وارونگی ) رخ دهد. شکل ۴ چرخه لایه‌بندی حرارتی را در یک دریاچه تک اختلاطی با نمایش نیمرخ‌های دمای متوسط در دریاچه کاسیتاس در تاریخ‌های اول ژانویه، ۲۵ آوریل، ۱۵ اوت و ۲۵ اکتبر در طول دوره ۱۹۶۲ تا ۱۹۶۷ نشان می‌دهد.

زمانی که لایه‌بندی حرارتی صورت گیرد و اختلاط طبیعی در ناحیه‌های متالیمنیون ( میانی ) و هیپولیمنیون ( پایینی ) یک دریاچه حاصلخیز متوقف شود، تغییرات عمده‌ای در کیفیت آب آغاز می‌شود. اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی در ناحیه‌های متالیمنیون و هیپولیمنیون ممکن است سبب فقدان کامل اکسیژن محلول شده که این وضعیت خود سبب شرایط بی‌هوازی [5] در این ناحیه‌ها می‌شود. عوامل اصلی اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی موجودات زنده‌ای هستند که سلول‌های مرده جلبک‌ها را تجزیه می‌کنند. بسته به شرایط خاصی که ممکن است به وجود آید، فقدان و نابودی اکسیژن ممکن است در عرض چند هفته یا چند ماه پس از آغاز لایه‌بندی حرارتی تکمیل شود. هنگامی که هیپولیمنیون بی‌هوازی می‌شود، معمولاً در همین وضع باقی می‌ماند تا وقتی که وارونگی مخزن ( و لایه‌بندی ) در اواخر پاییز یا اوایل زمستان رخ دهد. شکل ۶ جریان پیشرفت لایه‌بندی اکسیژن محلول در دریاچه تک اختلاطی کاچوما، در کالیفرنیا در خلال سال ۱۹۸۰ را نشان می‌دهد.

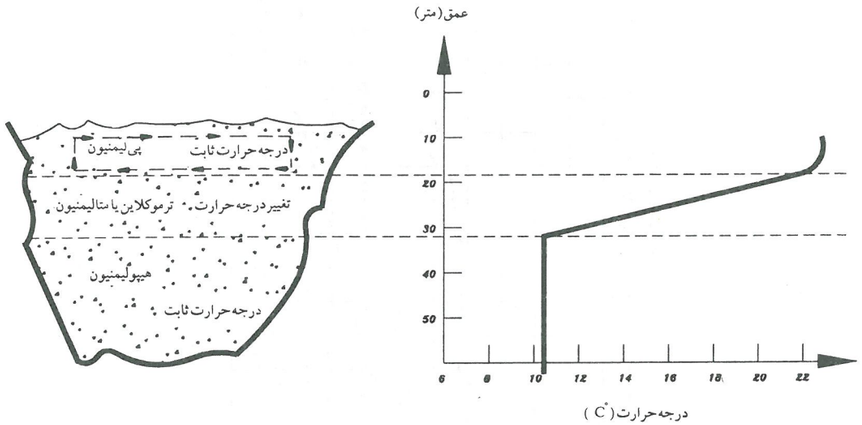
نیمرخ‌های اکسیژن محلول در تاریخ‌های ۲۰ آوریل، ۱۴ ژوئن، ۲۰ سپتامبر و ۱۳ دسامبر نشان داده شده است. توجه کنید

---

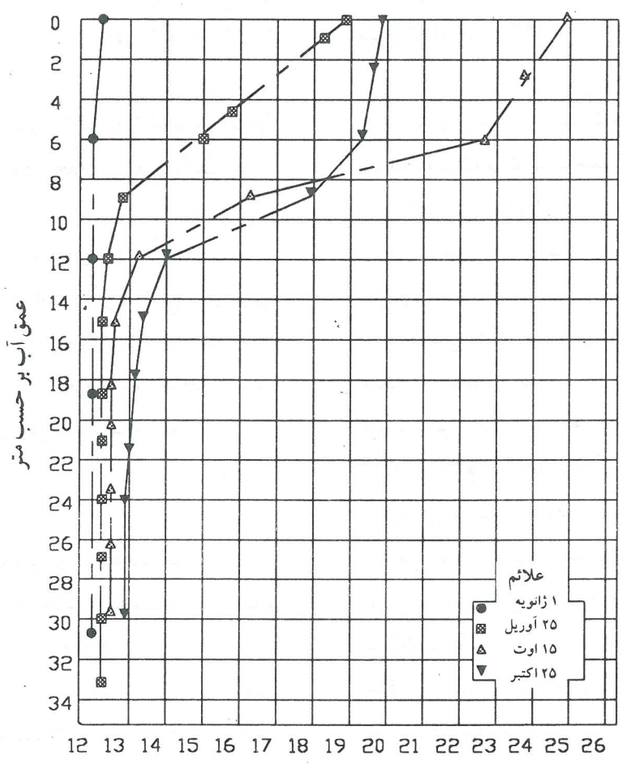
1- Epilimnion
2- Thermocline
3- Meta Limnion
4- Hypolimnion

۵- بی‌هوازی: وضعیتی که در آن اکسیژن آزاد ( هوا ) یا محلول ( مولکولی ) در محیط آبی موجود نباشد.

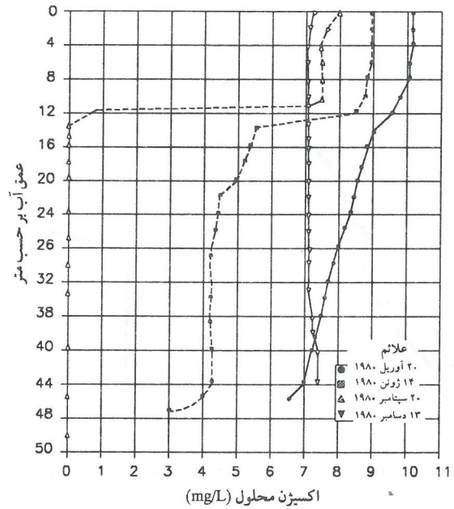





شکل ۴ - دریاچه یا مخزن با لایه‌بندی حرارتی




شکل ۵- نیمرخ‌های درجهٔ حرارت در دریاچه کاسیتاس در ۱ ژوئن، ۲۵ آوریل، ۱۵ اوت، و ۲۵ اکتبر، ۱۹۶۷-۱۹۶۲




**شکل ۶- نیمرخ‌های اکسیژن محلول در دریاچه کاچوما در ۲۰ آوریل، ۱۴ ژوئن، ۲۰ سپتامبر و ۱۳ دسامبر، ۱۹۸۰**

که وارونگی مخزن ( والایه بندی ) تا قبل از ۱۳دسامبر اتفاق افتاده بوده است و مقدار اکسیژن محلول از سطح تا کف تقریباً یکنواخت بود.

یک روش آسان برای اندازه گیری نیمرخ دما در دریاچه یا مخزن لایه‌بندی شده در تابستان استفاده از دماسنج‌های دارای حداقل و حداکثر است. در این روش باید دماسنج را در عمق‌های مختلف سطح تا کف آب فرو ببریم. حداقل دمای خوانده شده دمای آب در هر عمق محسوب می‌شود.

## شرایط بی‌هوازی

اگر شرایط بی‌هوازی در ناحیه‌های متالیمنیون یا هیپولیمنیون دریاچه یا مخزن لایه‌بندی شده به وجود آید، کیفیت آب بدون روش‌های پرهزینه تصفیه آب جاذبه‌ای برای مصارف خانگی نخواهد داشت. بیشتر مسائل کیفی آب، ناشی از مسئله احیا در آب‌های لایه‌بندی شده است. اولین مشکل قابل توجه وجود بوی قوی تخم مرغ گندیده در آب‌های ناحیه بی‌هوازی است. این بو معمولاً نشانه وجود هیدروژن سولفید ( $H_2S$ ) است که به صورت سولفات است و در رسوبات کف ناحیه بی‌هوازی به سولفید احیا می‌شود. مسبب احیای $H_2S$ چند نوع باکتری بی‌هوازی است. گروه دیگری از باکتری‌های احیا کننده سولفات می‌توانند با حمله به مواد آلی و آزادکردن $H_2S$ از مواد پروتئینی، $H_2S$ تولید کنند. وجود هیدروژن سولفید در منابع آب شهری سبب شکایت و نارضایتی مصرف کنندگان می‌شود.

دومین مشکل عمده در آب بی‌هوازی، وجود آهن و یا منگنز احیا شده در رسوبات کف آب و عبور آن به درون محلول است. وجود مقادیر زیاد آهن یا منگنز در منابع آب شهری مسئله‌ای به نام آب کثیف، به وجود می‌آورد. علاوه بر آن که با وجود این عناصر، آب، قرمز رنگ، قهوه‌ای یا صرفاً کثیف به نظر می‌آید، لباس نیز با شستشو در این آب لکه می‌گیرد و بر لوازم بهداشتی چینی مثل ظرفشویی، وان حمام و سنگ توالت نیز لکه بر جای می‌گذارد. علت رنگ یا لکه توسط آهن و یا منگنز این است که این عناصر پس از ورود به شبکه توزیع آب به حالت اکسید در می‌آیند. اکسایش [1] ممکن است در حین ضد عفونی (کلر اکساینده قوی است ) یا در حین هوادهی آب در

۱- اکسایش عبارت است از افزودن اکسیژن یا جداکردن هیدروژن، یا جداکردن الکترون از عنصر یا ترکیب. در محیط، مواد آلی اکسید می‌شوند و مواد پایدارتری تشکیل می‌دهند. این واکنش بر عکس احیا است.



مخازن انجام شود. اگر آب دارای آهن یا منگنز به مقادیری بیش از حداکثر مجاز آلاینده‌هایی باشد که در استانداردهای ثانویه فدرال در خصوص آب آشامیدنی آمده است ( آهن، ۰/۳ میلیگرم در لیتر و منگنز ۰/۰۵ میلیگرم در لیتر ) مصرف کنندگان آن را ناخوشایند خواهند یافت. اگر آهن یا منگنز در شبکه توزیع تجمع یابد، باید برای پاکسازی شبکه از شستشوی تحت فشار [1] استفاده شود.

در صورت وجود مقادیر زیاد اکسیژن محلول، آهن و منگنز به صورت اکسید در می‌آیند و معمولاً در رسوبات کف مخزن ترسیب می‌شوند. ولی در شرایط احیاء، آهن از حالت اکسید فریک به حالت فروی محلول در می‌آید و منگنز هم از حالت اکسید منگنیک به حالت منگنس محلول در می‌آید. هرگاه یک یا هر دوی این فلزات به محلول ناحیه بی‌هوازی وارد شوند، تا زمان وارونگی مخزن در همانجا باقی می‌مانند تا در آن هنگام اکسید شده و باز در رسوبات کف مخزن ترسیب [2] شوند. وقتی دریاچه یا مخزنی بی‌هوازی می‌شود، معمولاً منگنز زودتر از آهن وارد محلول می‌شود. بعد از وارونگی، عمدتاً منگنز بعد از آهن ترسیب شده و از محلول خارج می‌شود.

به طور خلاصه، انتخاب سطح برداشت آب از یک دریاچه تک اختلاطی حاصلخیز در تابستان و پاییز که لایه‌بندی حرارتی در آن صورت می‌گیرد، اگر غیر ممکن نباشد غالباً دشوار است. آب در بخش‌های بالایی دارای مقادیر زیاد ترکیبات مولد بو و طعم بد است. آب آن به طور ناخوشایندی گرم است، مقدار مواد آلی آن بالا و pH آن بیش از حد مطلوب است. اما آب سردتر عمق‌های پایین‌تر هم ممکن است مطلوب نباشد چون در آن گاز هیدروژن سولفید ، آهن و منگنز یا دیگر مشکلات ناشی از شرایط بی‌هوازی به وجود می‌آید.

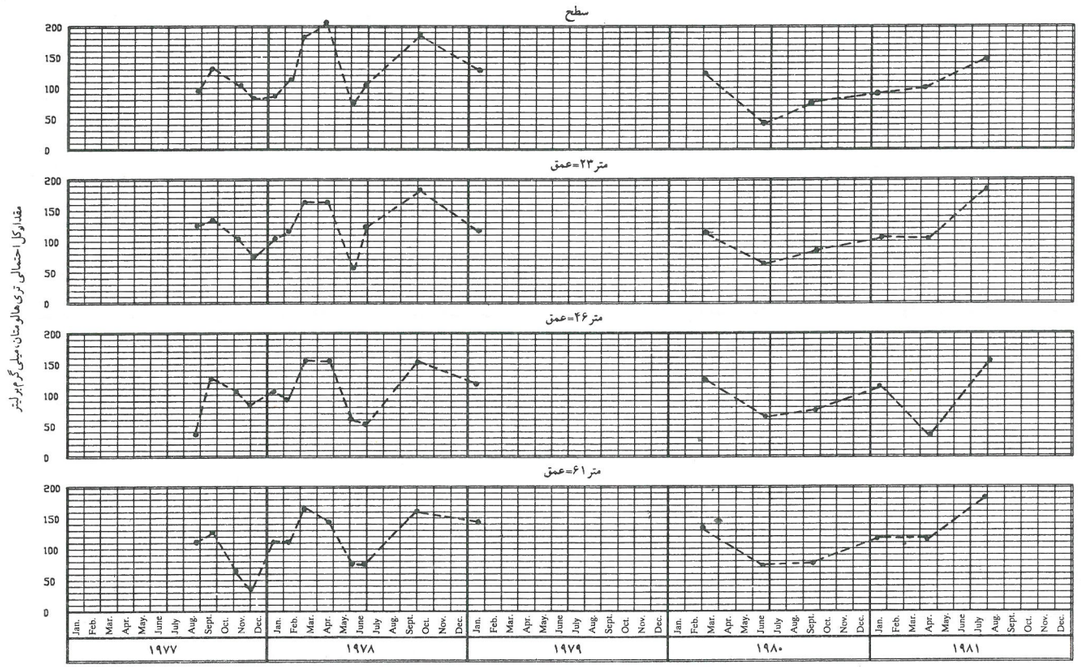
مسائل کیفی آب در دریاچه‌ها و ذخائر دو اختلاطی مشابه مسائلی است که در دریاچه‌های تک اختلاطی پیش می‌آیند، با این تفاوت که در این دریاچه‌ها مسائل مورد بحث فقط در ماه‌های تابستان و پاییز به وجود نمی‌آیند بلکه در ماه‌های زمستانی نیز با آنها روبر هستیم. معمولاً آب در ۴درجه سانتی‌گراد به بالاترین دانسیته خود می‌رسد. چون نقطه انجماد آب نزدیک صفر درجه سانتی‌گراد ( ۳۲°F ) است، آب بخش بالایی که پوشیده از یخ و سردتر است از آب عمق‌های پایین که کمی گرمتر است دانسیته کمتری دارد. وقتی دمای آب به کمتر از ۴درجه سانتی‌گراد می‌رسد، این وضعیت سبب لایه‌بندی حرارتی می‌شود. علاوه بر وارونگی عادی پاییزی که در دریاچه‌های تک اختلاطی پیش می‌آید، در دریاچه‌های دو اختلاطی وارونگی دوباره‌ای در هنگام ذوب یخ در بهار پیش می‌آید. وقتی آب سطح دریاچه گرم شده و به ۴ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، از آب عمق‌های پایین‌تر دانسیته بیشتری دارد و به این دلیل یک بار دیگر وارونگی ایجاد می‌شود. شرایط بی‌هوازی مسائل و اثرات آن در کیفیت آب در بیشتر ماه‌های زمستانی و ماه‌های تابستان و پاییز تداوم می‌یابد.

## شرایط حوزه آبریز

مخازن آب شهری بیشتر اوقات دچار مشکلاتی می‌شوند که ناشی از تأثیر حوزه آبریز یا زهکشی و شرایط اقلیمی بر کیفیت آب این مخازن است. در بیشتر مناطق ایالات متحده آمریکا بخش اعظم رواناب سطحی در مدت زمان کوتاهی وارد مخازن آب شهری می‌شود. در مناطق نیمه خشک مثل جنوب غربی، ۷۵درصد رواناب سالانه حاصل فقط سه یا چهار طوفان و بارش ناگهانی است که بیشتر رواناب این مناطق در عرض چند روز در حین این طوفان‌ها و بلافاصله بعد از آنها جاری می‌شود. به همین ترتیب، در مناطق کوهستانی که ذوب برف منشأ اصلی رواناب است، بیشتر جریان ورودی آب به مخازن در فاصله کوتاهی در جریان ذوب برف در بهار یا بلافاصله بعد از آن به وجود می‌آید. مخازنی که تحت چنین شرایطی قرار دارند ممکن است دچار افزایش ناگهانی رنگ آب، بارگذاری مواد مغذی، و بارگذاری آلی ناگهانی و شدید شوند که حدود آن به شرایط جغرافیایی، توپوگرافی و پوشش گیاهی حوزه آبریز بستگی دارد.

۱- شستشوی تحت فشار، روشی برای تمیز کردن خطوط توزیع آب است. در این روش شیر آتش‌نشانی را باز کرده و آب را با سرعت زیاد در لوله‌ها به جریان می‌اندازد تا رسوبات درون لوله‌ها را کنده و جدا کند و از طریق شیرهای خروجی خارج کند.

۲- ترسیب، به صورت اسم به معنای ماده‌ای غیر محلول و حل نشدنی کاملاً مجزا که محصول یک واکنش شیمیایی با مایع است. به صورت فعل به معنای جداسازی محلول از ماده حل نشدنی است.




شکل ۷- دریاچه کاسیتاس - مقدار کل احتمالی تری‌هالومتان در عمق‌های مختلف

کدورتی که در حین یا بعد از رواناب‌های شدید و ناگهانی پیش می‌آید اثر خود را در کاهش سرعت جریان در صافی‌ها و کوتاه شدن عمر صافی در تصفیه‌خانه بر جای می‌گذارد. در تصفیه‌خانه‌هایی که آب را قبل از تحویل به مصرف کننده از صافی عبور نمی‌دهند، ممکن است کدورت آب از حدود مجاز ایالتی یا فدرالی بیشتر شود. طول مدت اثر کدورت بر کیفیت آب و روش‌های تصفیه آب به میزان بارگذاری کدورت، اختلاط درون مخزن در اثر باد و جریان‌های دیگر و ماهیت ذراتی دارد که سبب کدورت آب شده‌اند. ذرات معلق بزرگتر، مثل ماسه و سیلت، در عرض چند روز یا چند هفته ته‌نشین شده و از سیستم خارج می‌شوند؛ مواد کلوئیدی همگن، مثل رس نرم، اثرات درازمدتی بر جای می‌گذارند. اگر آب‌های نزولات طوفانی سردتر از آب مخزنی باشند، گاه آب رواناب که کدورت بالایی هم دارد به زیر آب گرم مخزن جریان می‌یابد که این امر سبب می‌شود که بیشترین حد کدورت در ناحیه‌های عمیق‌تر دریاچه یا مخزن به وجود آید. پس از چند روز، اختلاط آب انجام می‌شود و کدورت در تمام مخزن یکسان می‌شود. سپس مواد معلق ته‌نشین می‌شوند و آب ناحیه‌های بالایی کمترین حد کدورت را خواهند یافت در حالی که آب‌های عمیق‌ترین نقاط مخزن همچنان بالاترین میزان کدورت را دارند.

کدورت بیش از حد آب مشکلی جدی برای متصدیان تصفیه‌خانه‌های آب محسوب می‌شود چون کدورت زیاد مقدار کلر را مورد نیاز را بالا می‌برد. این خود سبب کاهش کلر باقیمانده شده و در صورت غفلت متصدی تصفیه‌خانه امکان آلودگی باکتریایی را زیادتر می‌کند. در فیلادلفیا یک بار ابتدا به بیماری ژیاردیاسیس (ژیاردیالامبلیا) شیوع پیدا کرد که نتیجه وارونگی در یک مخزن کوچک و ایجاد کدورت در آب بود.

بارگذاری مواد مغذی در مخزن در نتیجه شرایط حوزه آبریز سبب افزایش حاصلخیزی (شکوفایی جلبکی) می‌شود. این وضعیت در سال‌های پرآب و زمانی که رواناب افزوده میزان بارگذاری مواد مغذی در مخزن را بالا می‌برد پیش می‌آید.

در حوزه‌های آبریزی که پوشش گیاهی انبوه مثل بوته‌ها یا درختان کوتاه دارند، بلافاصله پس از رواناب‌های سنگین بارگذاری آلی و پیش ترکیبات THM حاصل از آن در مخازن مشاهده شده است. به نظر می‌رسد که این وضعیت به مقادیر زیاد مواد آلی مربوط باشد که با پوشش گیاهی ارتباط می‌یابد. در شکل ۷ کل مقدار احتمالی تری‌هالومتان را در دریاچه کاسیتاس در عمق‌های مختلف در دوره‌های اوت ۱۹۷۷ تا ژانویه ۱۹۷۹ و مارس ۱۹۸۰ تا اوت ۱۹۸۱ نشان داده‌ایم. افزایش‌های عمده در مقدار کل تری‌هالومتان در دوره ژانویه تا آوریل ۱۹۷۸ در اثر زمستان پرآب سال ۱۹۷۸ پدیدار شده‌اند. بعد از پایان فصل رواناب، کل مقدار احتمالی تری‌هالومتان افت چشمگیری پیدا کرد. افزایش مقدار تری‌هالومتان در فصل تابستان به احتمال زیاد نتیجه بارگذاری در دوره شکوفایی جلبکی است.

برای ارزیابی مسائل کیفیت آب و علل آن در هر دریاچه یا مخزن باید برنامه‌های اصلاح کیفیت آب تدوین شود. چون هیچ دو مخزن یا دریاچه‌ای دقیقاً شبیه یکدیگر نیستند، باید برای هرکدام یک برنامه بهبود کیفیت آب خاص وضعیت همان مخزن یا دریاچه تدوین گردد.

## چند پرسش

۱- دو منبع آب به جز دریاچه‌ها و ذخائر طبیعی را نام ببرید.

۲- برای تصفیه آب‌های شهری که از ذخائر طبیعی آب برداشت شده‌اند، از چه روش‌هایی استفاده می‌شود؟

۳- وجود انسان چگونه بر نقصان کیفی آب در ذخائر طبیعی اثر می‌گذارد؟

۴- چه عوامل طبیعی سبب نقصان کیفی آب در ذخائر طبیعی می‌شوند؟

۵- مقادیر زیاد کدام مواد مغذی در ذخائر منابع آبی نامطلوب است؟

۶- سه دسته ذخائری را که بر مبنای مقدار مواد مغذی و حاصلخیزی از لحاظ حیات گیاهان و جانوران آبزی طبقه‌بندی می‌شوند نام ببرید.

۷- شکوفایی جلبکی چیست؟

۸- جلبک‌ها چه نوع بو و مزه‌ای تولید می‌کنند؟

۹- اثر کلر بر بو و مزه آب چیست؟

۱۰- بو و مزه ناخوشایند در کدام قسمت مخازن آب مشاهده می‌شوند.

۱۱- مشکلاتی که جلبک‌ها در صافی‌ها ایجاد می‌کنند کدامند؟

۱۲- اثر شکوفایی جلبکی بر pH چیست؟

۱۳- اثر شکوفایی جلبکی بر اکسیژن محلول چیست؟

۱۴- افزایش بارگذاری آلی حاصل از شکوفایی جلبکی چه مسائلی در کیفیت آب ایجاد می‌کند؟

۱۵- وقتی دریاچه‌ای در بهار یا تابستان گرم می‌شود، اثر افزایش دانسیته آب‌های گرم سطح دریاچه بر عمل همزنی درون دریاچه چگونه است؟

۱۶- پس از وقوع لایه‌بندی حرارتی، چه مدت طول می‌کشد تا فقدان اکسیژن به حد نهایی خود برسد؟

۱۷- شرایط بی‌هوازی سبب چه مشکلاتی در مخازن آب می‌شود؟

۱۸- چه مشکلاتی در مخازنی پیش می‌آید که در فواصل کوتاه زمانی جریان‌های ورودی سنگین دارند؟