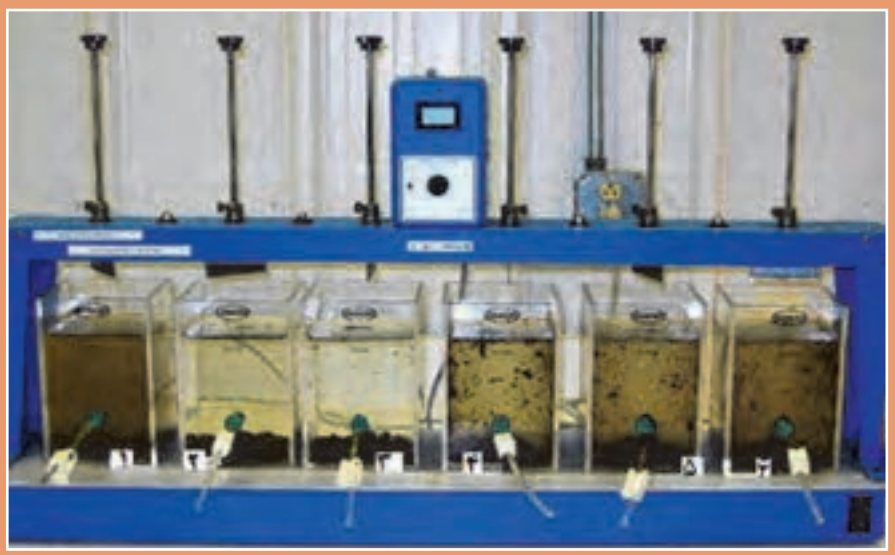
پودمان سوم

آزمایش‌های کنترل کیفیت آب



با انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت آب، می‌توان از سلامت منابع مختلف آبی اطمینان پیدا کرد.

واحد یادگیری ۳

انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت آب

مقدمه

مهم‌ترین و مفیدترین سیّال در صنایع مختلف آب است. انتقال مواد و گرما، انجام واکنش‌های شیمیایی، حل شدن بسیاری از ترکیبات، جداسازی ترکیبات گوناگون از یکدیگر، به‌کار انداختن تجهیزات صنعتی از دیگر مصارف آب در صنعت است. در این پودمان اهمّیت آب، منابع آن و انواع آب‌ها و ضرورت تصفیه آب آورده شده است. هنرجویان به‌طور عملی آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی آب را انجام می‌دهند.

استاندارد عملکرد

انجام آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی آب مطابق دستور کار

شایستگی‌های غیرفنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

۱ **اخلاق حرفه‌ای:** حضور منظم و وقت‌شناسی ـ انجام وظایف وکارهای سپرده شده ـ پیروی از قوانین
۲ **مدیریت منابع:** شروع به‌کار به‌موقع ـ مدیریت مؤثر زمان ـ استفاده از مواد و تجهیزات
۳ **کار گروهی:** حضور فعّال در فعالیت‌های گروهی، انجام کارها و وظایف سپرده شده
۴ **مستندسازی:** گزارش‌نویسی فعالیت‌های کارگاهی
۵ **محاسبه و کاربست ریاضی**

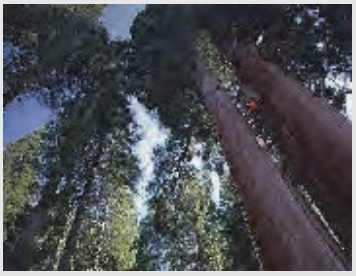
شایستگی‌های فنی مورد انتظار این پودمان عبارت‌اند از:

۱ ضرورت کنترل کیفیت آب را بیان کنند.
۲ آزمایش‌های فیزیکی آب را انجام دهند.
۳ آزمایش‌های شیمیایی آب را انجام دهند.
۴ آزمایش‌های زیست‌شناختی آب را انجام دهند.

اهمیّت آب

بحث‌گروهی ۱

به تصویرهای زیر نگاه کنید. چه موضوعی در بین آنها مشترک است؟



اهمّیت آب

واژه آب که معادل عربی آن «ماء» است، ۶۳ بار در قرآن کریم آمده است: این آیات اشاره دارند که زندگی همهٔ جانداران به آب وابسته است و از نقش‌های گوناگون آب در احیای زمین، سرسبزی طبیعت، رویش گیاهان رنگارنگ، پیدایش مراتع، مزارع و باغ‌ها با درختان مختلف و انواع میوه‌ها، سخن رفته است. در آیه ۳۹ سوره مبارکه فصلت، همین پدیده، نشانهٔ تحقّق معاد و قدرت خداوند بر زنده کردن دوبارهٔ مردگان دانسته شده است: «و مِن ءَایتِهِ أَنّکَ تَری‌الأَرضَ خشِعَةً فَإِذا أَنزَلنا عَلیهَا الماءَ اهتَزَّت و رَبَت إِنَّ الّذِی أَحیاها لَمُحیِ المَوتی إِنَّهُ عَلی کُلِّ شَیءٍ قَدیر؛ و از جمله آیات قدرت الهی آن که زمین را بنگری خشک و پژمرده که چون ما بر آن آب باران فرود آریم، بردمد و گیاه برآورد و اهتزاز و نشاط و خرّمی یابد. باری، آنکس که زمین را زنده کند، مردگان را هم زنده گرداند که او بر هر چیز قادر است».

در صنایع نیز مهم‌ترین و مفیدترین سیال، آب است. انتقال مواد و گرما، انجام واکنش‌های شیمیایی، حل شدن بسیاری از ترکیبات، جداسازی ترکیبات مختلف از یکدیگر، به‌کار انداختن تجهیزات صنعتی مانند موتور بخار، توربین بخار و توربین آبی از مصارف آب در صنعت است. برای دانستن اهمّیت آب در صنایع کافی است بدانید که در سال ۱۳۴۴ شمسی، صنایع جهان سالیانه بیش از صد میلیارد مترمکعب آب مصرف می‌کردند. این میزان در ۳۵ سال بعد (۱۳۷۹ شمسی) به بیش از هزار برابر رسید. بیشتر از یک سوم این میزان آب به شکل فاضلاب‌های صنعتی به محیط زیست تخلیه می‌شود. به دلیل اهمّیت زیاد دفع یا انتقال صحیح

فاضلاب شهری در کاهش مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های واگیردار، از دیرباز در بسیاری از شهرهای جهان سامانهٔ انتقال یا دفع فاضلاب بنا شده است. در تخت جمشید با سابقهٔ ۲۵۰۰ سال نیز چنین مجموعه‌ای وجود دارد (شکل ۱).

شکل ۱ــ سامانهٔ انتقال فاضلاب در تخت جمشید

بیشتر بدانید

تصویر زیر، مربوط به گوشه‌ای از سازه‌های آب شوشتر است که باید آن را نماد قدرت مهندسی ایرانیان در تاریخ و از شاهکارهای فنی و مهندسی در جهان دانست. این مجموعه با قدمتی بیش از چهار هزار سال به عنوان نظام آبی تاریخی شوشتر ثبت جهانی شده است. این سازه‌ها مجموعه‌ای به‌هم پیوسته از پل‌ها، سدها، آسیاب‌ها، آبشارها، کانال‌ها و تونل‌های عظیم انتقال آب هستند.

اختراع، طراحی و ایجاد کاریز (قنات)های متعدد از سه هزار سال قبل در یزد و دیگر نقاط کشور عزیزمان ایران نشان‌دهندهٔ اهمّیت آب برای ایرانیان از یک‌سو، و توانمندی مردم این سرزمین در طراحی و مهندسی از سوی دیگر است. احداث بند امیر در استان فارس، نهرهای آبیاری در تپه‌های سیلک[۱] کاشان در شش هزار سال قبل، احداث سدهای لاکوریان و سکامی در سیستان و بلوچستان در چهار هزار سال پیش، مثال‌های دیگری از توانمندی ایرانیان است.

۱ـ Sialk

منابع آب

مهم‌ترین منابع آب عبارت‌اند از: آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و آب‌های شور.

فیلم آموزشی

منابع آب

آب‌های زیرزمینی: این آب‌ها همان بارش‌های آسمان (باران، برف و تگرگ) هستند که پس از عبور از میان خاک و سنگ به شکل چشمه، قنات (کاریز) و یا چاه قابل استفاده خواهند بود. حجم آب‌های زیرزمینی در حدود ۹۶٪ از منابع کل آب‌های شیرین[۱] تخمین زده می‌شود. بیشتر برداشت‌های آب‌های زیرزمینی، صرف کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود و مابقی آن به مصرف آشامیدن مردم جهان می‌رسد. این آب‌ها:

۱ معمولاً مواد معلق یا مواد آلی در آنها بسیار کم است، ولی ممکن است دارای ذرّات شن باشند.
۲ به‌دلیل حل شدن جزیی مواد معدنی، دارای نمک‌های زیادی هستند.
۳ آب چاه‌های کم‌عمق معمولاً آلوده به ریزجانداران است.
۴ pH آب‌های زیرزمینی معمولاً بین ۷/۹تا۶/۹ است و گاهی ممکن است حاوی کربن‌دیوکسید باشند.
۵ این آب‌ها در صورتی که حاوی یون‌های آهن یا منگنز باشند، در هنگام مجاورت با هوا اکسید می‌شوند و ذرّات زرد ـ قهوه‌ای رنگی در آنها پدید می‌آید.

تحقیق کنید ۱

الف) آیا در ایران منبع آب زیرزمینی مهمی وجود دارد؟
ب) طولانی‌ترین کاریز ایران و جهان در کجا قرار دارد و طول آن چقدر است؟

آب‌های سطحی: بخشی از بارش‌های باران و برف آب‌های سطحی را تشکیل می‌دهند. این آب‌ها به صورت نهر، تالاب، باتلاق، دریاچه و رودخانه هستند و به مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی می‌رسند. گاهی هم برای این منظور سد، بند[۲]، آبگیر، آبخوان[۳] و مانند این‌ها ساخته می‌شود. این آب‌ها بسته به جنس خاک، یا آلودگی‌های مسیر، کیفیت‌های گوناگونی دارند. همچنین:

۱ـ آب شیرین، به آبی گفته می‌شود که کمتر از ۰/۰۵ در هر ۱۰۰ واحد، نمک‌های غیرحل‌شدنی داشته باشد. منابع محدود آب شیرین، رودخانه‌ها، آبگیرها و بعضی از منابع آب زیرزمینی هستند. منبع نامحدود و پایدار آب شیرین، بخار آب‌های موجود در جوّ است که به صورت باران و برف و تگرگ، که همه تجدیدپذیرند ظاهر می‌شود.

۲ـ بند یا سد رودخانه‌ای ساختمان بزرگی است که به‌منظور ذخیرهٔ آب برای آبیاری از یک سمت رودخانه، به سمت دیگر نصب می‌شود. اگر نیروی برقابی نیز تولید شود، ساختمان مربوط معمولاً سد نامیده می‌شود.

۳ـ آبخوان یا سفرهٔ آب قسمتی از پوستهٔ زمین است که سوراخ‌ها یا خلل و فرج سنگ‌های آن از آب مملو و اشباع شده باشد. معمولاً منافذ و سوراخ‌های سنگ‌ها بر اثر بارندگی‌های مداوم از آب پر می‌شود و با رسیدن به سطح غیرقابل تراوشی مانند سنگ‌های رسی در همان‌جا متوقف می‌شود و به شکل چشمه‌سارهای مختلفی در سطح زمین آشکار می‌شود.

۱ زلال نیستند و اغلب آلوده به مواد آلی هستند. آلودگی‌های آنها ممکن است شوینده‌ها، مواد نفتی، روغن، آمونیاک، فنول، نیترات، فسفات (ناشی از کودهای شیمیایی در مناطق کشاورزی)، یا فلزات سنگین باشد.
۲ معمولاً آلوده به ریزاندامکان هستند.
۳ pH این آب‌ها در حدود ۸ـ۷ است.

آب‌های شور: این آب‌ها به شکل اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها، برکه‌ها و مانند آنها وجود دارند و به‌دلیل وجود نمک‌های زیاد در آنها (معمولاً بیشتر از ppm ۱۰۰۰) مناسب شرب، مصرف خانگی، صنعتی و یا کشاورزی نیستند.

آلودگی و ناخالصی آب

عبارت است از وارد کردن مواد یا انرژی (مانند گرما) در محیط زیست، به‌طوری که در اثر آن، منابع حیاتی یا سلامتی موجودات زنده در معرض خطر قرار گیرد. با توجه به نقش بی‌بدیل آب در زندگی جانداران زمین، کشاورزی و صنعت، آلودگی آب یکی از پر چالش‌ترین مسائل است. آب یکی از مشهورترین حلّال‌ها است. این خاصیت تابع عوامل متعددی مانند دما، فشار، pH، همزدن، پتانسیل شیمیایی و غلظت نسبی مواد در آب است. با توجه به قدرت زیاد حل‌پذیری آب، می‌توان گفت که بیشتر مواد تا اندازه‌ای در آب محلول هستند. یک مثال خوب برای آن آب دریا است. دست‌کم ۲۵ عنصر شیمیایی در آب دریا تشخیص داده شده است. آب اقیانوس‌ها و دریاها پس از بخار شدن به صورت ابر و سپس باران درمی‌آید، که در موقع باریدن، مقداری گرد و خاک، اکسیژن و کربن‌دیوکسید و دیگر گازها را در خود حل می‌کند. آب در موقع نفوذ در لایه‌های مختلف زمین، ضمن از دست دادن مواد معلق و میکروب‌ها، مقداری از مواد خاک را در خود حل می‌کند.

ناخالصی‌های آب بر سه دسته هستند:
۱ گازی
۲ یونی و مولکولی
۳ معلّق (کلوییدی)

پرسش۱

آیا تاکنون آب جوشیدهٔ سرد شده را آشامیده‌اید؟ توجه کرده‌اید که چه طعم ناخوشایندی دارد؟ آیا دقت کرده‌اید که خیلی پیش از به جوش آمدن آب درون کتری، حباب‌هایی در سطح داخلی آن تشکیل می‌شود ؟ آیا دلیل آن را می‌دانید؟

ناخالصی‌های گازی: حل‌پذیری گازها در آب تابع دما و فشار جزیی آنها است. با افزایش دمای آب، حل‌پذیری گازها کمتر می‌شود. با افزایش فشار جزیی گاز در تماس با آب، حل‌پذیری آن در آب بیشتر می‌شود. برخی از این گازها عبارت‌اند از: اکسیژن، کربن‌دیوکسید، نیتروژن، آمونیاک، متان، هیدروژن سولفید. با حل شدن هوا در آب، طعم آن برای آشامیدن بهتر و گواراتر می‌شود.

عامل دیگر مؤثر بر مقدار گاز موجود در آب ریزاندامکان هستند. باکتری‌های هوازی با مصرف اکسیژن محلول در آب، باعث کاهش اکسیژن می‌شوند. اگر میزان اکسیژن در آب به کمتر از ppm۵ برسد، بسیاری از موجودات آبزی قادر به ادامهٔ زندگی نخواهند بود و چنین آبی هم آلوده محسوب می‌شود.

ولی باکتری‌های غیرهوازی با مصرف بعضی از ناخالصی‌های موجود در آب باعث تولید گازهای متان، آمونیاک، هیدروژن سولفید و یا هیدروژن فسفید (PH_3) می‌شوند. لذا وجود این گازها می‌تواند نشانهٔ آلودگی آب به مواد آلی یا فاضلاب‌های صنایع شیمیایی باشد.

نکته

اکسیژن محلول در آب با هیدروژن سولفید ترکیب می‌شود و مطابق واکنش‌های زیر، گوگرد یا یون سولفات تولید می‌کند.

$$2H_2S_{(aq)} + O_{2(aq)} \rightleftarrows 2H_2O + 2S$$

$$H_2S_{(aq)} + 2O_{2(aq)} \rightleftarrows 2H^+ + SO_4^{2-}$$

این‌گونه واکنش‌های شیمیایی در طبیعت بسیار مهم هستند و به آنها خودپالایی می‌گویند. در نقاطی مانند رودخانه‌ها و آبشارها که آب در مجاورت هوا متلاطم می‌شود، این فرایندها سبب بهبود کیفیت آب می‌شوند و برعکس، وجود برخی از گازها (مثل اکسیژن، کربن دیوکسید و به علت فعالیت زیاد خود) در آب در فرایندهای رسوب‌گذاری و خورندگی بسیار مؤثر هستند.

بیشتر بدانید

در آب‌های طبیعی یون بی‌کربنات و کربن دیوکسید وجود دارد و با کربنیک اسید یک سامانهٔ بافر به‌وجود می‌آورند که باعث حفظ pH آب‌های طبیعی از نوسانات شدید می‌شود. این موضوع برای زندگی آبزیان بسیار اهمیّت دارد. مقدار pH آب‌های طبیعی در گسترهٔ ۵ تا ۸ است. اگرچه pH آب‌گرم‌های معدنی (به علت وجود هیدروژن سولفید، دیگر ترکیبات گوگردی و کربن دیوکسید) می‌تواند به کمتر از ۲ نیز برسد. با این که کربن‌دیوکسید در اثر تماس هوا با آب مقداری درآن حل می‌شود، ولی در آب‌های زیرزمینی غلظت زیاد آن ناشی از تماس آب با مواد آلی در حال پوسیدن است.

پرسش ۲

آیا تا به‌حال آب دریا را چشیده‌اید؟ چه مزه و طعمی دارد؟ چرا؟

ناخالصی‌های یونی و مولکولی: نمک‌ها پس از حل شدن در آب به صورت کاتیون‌ها (سدیم، آهن، منیزیم، منگنز و کلسیم) و آنیون‌ها (کلرید، سولفات، نیترات، فسفات، بی‌کربنات، کربنات و هیدروکسید) درمی‌آیند. بسیاری از خصوصیات و فعالیت نمک‌ها ناشی از یونش آنها در آب می‌باشد. حل‌پذیری نمک‌ها در آب بستگی به دما، pH و برخی عوامل دیگر دارد. تلخی آب، به‌خاطر وجود نمک‌های منیزیم، و مزهٔ گس آن، مربوط به آهن و آلومینیم محلول در آب است. طعم آب دریا به‌دلیل حضور یون کلر شور و به‌خاطر یون منیزیم تلخ می‌باشد. معمولاً در آب‌های طبیعی نسبت غلظت کاتیون کلسیم به کاتیون منیزیم نزدیک به دو است، اما در آب دریا این نسبت در حدود ۰/۲ می‌باشد. در نتیجه آب دریا منبع خوبی برای استخراج فلز منیزیم است.
گفتنی است که، بعضی از مواد مانند شکر (ضایعات خروجی از کارخانجات نیشکر) به صورت مولکولی در آب حل می‌شوند.

نکته

مزهٔ گندیدگی آب، ناشی از وجود نمک‌های آلی آب است.

بحث‌گروهی ۲

استفاده از آب‌های تصفیه نشده، چه عیب و مشکلاتی را در پی خواهد داشت؟

تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب

با توجه به نقش مهم آب در مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی و غیره، هر یک از این ناخالصی‌ها می‌توانند مضرات متعددی را ایجاد کنند؛ مثلاً رسوب‌گذاری در تجهیزات انتقال گرما، خوردگی در دستگاه‌ها و سطوح گوناگون، بیماری‌زایی، اخلال در کاربرد مواد شیمیایی، کثیف یا آلوده کردن محصولات صنعتی و مانند آنها. از موارد مهم در تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب، وجود برخی از ترکیبات آلی است که نتیجه آن می‌تواند تغییر در مزه، رنگ و بوی آب باشد.

ناخالصی‌های معلّق: ذرّات ریز و درشت جامد و غیرمحلول در آب سبب کدر شدن آن می‌شوند. ذرّات درشت‌تر، سریع‌تر ته‌نشین می‌شوند و ذرّات ریزتر، دیرتر. عمدهٔ این مواد عبارت‌اند از: مواد حاصل از فرسایش زمین در رودخانه‌ها یا سیلاب‌ها (خاک و خرده‌ریزه‌های سنگ‌ها)، موجودات زنده اعم از ذرّه‌بینی (همانند باکتری‌ها و میکروب‌ها) یا بزرگ‌تر (جلبک‌ها و موجودات مشابه آنها)، مواد ریز کلوییدی (مانند سیلیس)، تعلیق‌ها (سوسپانسیون‌ها)، امولسیون‌ها و گل‌ولای. موجودات زندهٔ مزبور در هر محیطی مثل مخازن، آبگیرها و دریاچه‌ها که نور خورشید را برای تأمین انرژی و نیتروژن و فسفر را برای تغذیه فراهم کنند، تمایل به رشد و تکثیر دارند.

بحث‌گروهی ۳

به نظر شما وجود آلودگی در آب مصرفی صنایع غذایی و نسّاجی، چه پیامدهایی دارد؟

فیلم آموزشی

تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب

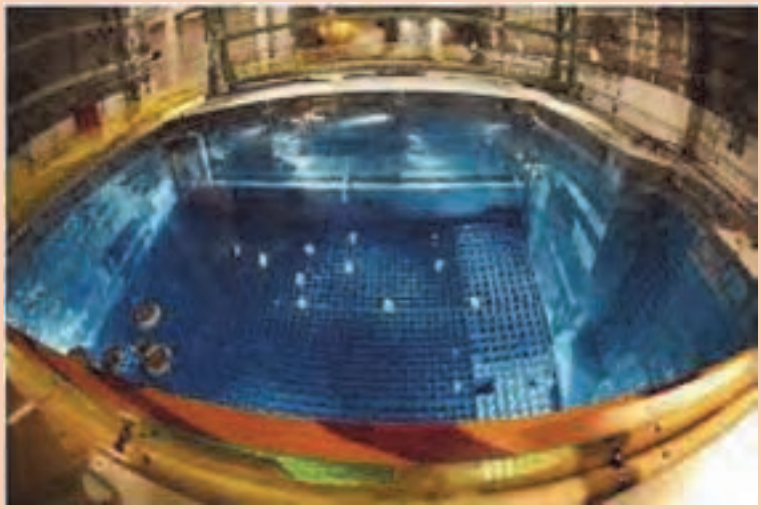
لزوم تصفیهٔ آب

یکی از شرط‌های حفظ سلامتی و بهداشت انسان، استفاده از آب آشامیدنی سالم است. از آنجا که آب آشامیدنی، در بسیاری از نقاط دارای محتویات گوناگون مضر برای انسان (مانند میکروب‌ها، نمک‌های مختلف و مواد شیمیایی) است، لازم است آن را پیش از مصرف تصفیه کرد. به دلیل وجود ناخالصی‌های اشاره‌شده در منابع طبیعی آب، لازم است آنها را بسته به نوع مصرف تصفیه کرد. تصفیهٔ آب برای مصرف صنعتی (بسته به مورد آن) دشوارتر و گران‌تر از تصفیهٔ آب برای آشامیدن است. آب در صنایع شیمیایی کاربردهای گوناگونی دارد از جمله:

۱ به عنوان مادهٔ اولیه برای تهیهٔ محصول نهایی (به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم).
۲ به عنوان مادهٔ واسطه برای جداسازی‌های مختلف ترکیبات از یکدیگر.
۳ به عنوان حلّال موادی که در واکنش شیمیایی شرکت می‌کنند.
۴ به عنوان سپر حفاظتی در برابر گرما و تابش (آب سنگین مورد استفاده در نیروگاه‌های هسته‌ای).
۵ به عنوان جزء اصلی مواد مصرفی در آتش‌نشانی.

تحقیق کنید ۲

۱ یکی از کاربردهای آب سنگین، در سامانه‌های هسته‌ای است (شکل زیر)، تحقیق کنید که منظور از آب سنگین چیست؟



یک واکنشگاه هسته‌ای با سپر حفاظتی آب سنگین

۲ آب مصرفی در کشاورزی، چه کیفیتی باید داشته باشد؟

هزینه‌های تصفیهٔ آب

به دلیل کاربرد روزافزون آب در مصارف خانگی، کشاورزی، آشامیدنی و صنعتی، و محدود شدن هرچه بیشتر منابع آب پاک و سالم، نیاز به تصفیهٔ آب پیوسته بیشتر می‌شود. مناسب‌ترین آب برای مصرف صنعتی، آب بدون یون است، ولی مخارج سرمایه‌ای اولیه و هزینه‌های عملیاتی لازم برای آن خیلی زیاد است. البته هزینهٔ تعمیر و جبران خسارات ناشی از تصفیه نکردن آب، اغلب بیشتر از هزینهٔ تصفیهٔ آب است. در نتیجه باید به مصالحه‌ای میان میزان ناخالصی‌های آب و کل هزینه‌های مربوط روی آورد. تصفیهٔ آب در تصفیه‌خانه صورت می‌گیرد و هدف آن کاهش ناخالصی‌های آب تا حد لازم و معقول است. مطلوب‌ترین کیفیت آب صنعتی، آن است که هزینهٔ تصفیهٔ آب کمتر از هزینهٔ ناشی از مصرف آب تصفیه‌نشده باشد.

تحقیق کنید ۳

در مورد منابع آب اطراف محل زندگی خود تحقیق کنید و دربارهٔ نوع کاربرد آنها در کلاس گفت‌وگو کنید.

برای مطالعه و بحث دقیق‌تر در مورد آب، خواص و ویژگی‌های آن از سه دیدگاه فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی پیگیری شده است.

آب از دیدگاه فیزیکی

در این قسمت، تعدادی از خواص و ویژگی‌های فیزیکی آب در قالب شاخص‌های مهم آب مطالعه می‌شود.
سنجش و دانستن غلظت همه ناخالصی‌های آب، اگر ناممکن نباشد، بسیار پرهزینه و طولانی خواهد بود. در اغلب موارد لازم نیست که غلظت هر کدام به‌طور جداگانه مشخص شوند. اما با تعیین چند شاخص مهم آب، می‌توان اطلاعات کافی از مشخصات آن به‌دست آورد. مهم‌ترین شاخص‌های فیزیکی آب عبارت‌اند از:

شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب[۱]
میزان کدری[۲]
شاخص رنگ[۳]
رسانایی الکتریکی[۴] آب

فعالیت عملی ۱

تشخیص آب تصفیه‌شده از تصفیه‌نشده

در گروه‌های سه نفره، جدول مقایسه‌ای از خواص آب‌های مختلف در دسترس تهیه کنید.

ردیف	نوع آب	بو	رنگ	pH	قابلیت شرب
۱	آب لوله‌کشی				
۲	آب مقطّر				
۳	آب رودخانه				
۴	آب دریا				
۵	آب چاه				
۶	آب استخر				
۷	...				

۲ جدولی از خصوصیات مهم آب سالم برای انواع کاربردها تهیه کنید.

۱ـ Total Dissolved Solids
۲ـ Turbidity
۳ـ Color Index
۴ـ Conductivity

شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب

منظور از غلظت کل مواد جامد محلول در آب (TDS) مجموع غلظت همهٔ یون‌های موجود در آب است. برای سنجش آن، آبی را که با عبور از صافی مخصوص، مواد معلّق و کلوییدی آن گرفته شده است، به‌عنوان نمونه انتخاب می‌کنند. سپس حجم دقیقی از آن را در یک بوتهٔ چینی وزن شده می‌ریزند و در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس تبخیر و خشک می‌کنند. تفاوت جرم بوته پیش از ریختن نمونه و پس از خشک شدن نمونه روی آن، جرم کل مواد جامد محلول در نمونه آب را نشان می‌دهد. اگر این جرم بر حجم نمونه تقسیم شود، غلظت نمک‌های آب به‌دست می‌آید. معمولاً این غلظت را برحسب ppm یا میلی‌گرم در لیتر گزارش می‌کنند. گسترهٔ TDS آب‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ــ گسترهٔ (ppm) TDS آب‌های مختلف

نوع آب	آب دریا	آب‌های شور	مجاز آشامیدنی	مطلوب آشامیدنی	مطلوب صنعتی
TDS	حدود ۴۰۰۰۰	حدود ۱۰۰۰۰	کمتر از ۱۰۰۰	حدود ۵۰۰	کمتر از ۱۰۰

فعالیت عملی ۲

اندازه‌گیری شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب

مواد لازم: انواع آب‌های در دسترس

وسایل لازم:

۱. بشر شیشه‌ای
۲. استوانهٔ مدرّج
۳. دماسنج (که تا ۱۲۰ سلسیوس را نشان دهد)
۴. ترازوی دقیق
۵. آون آزمایشگاهی یا گرمکن با گرمای قابل تنظیم

روش کار:

ابتدا بشر شیشه‌ای را وزن، و جرم آن را یادداشت کنید. حجم معین و دقیقی از آب کارگاه هنرستان خود را (۵۰ سانتی‌متر مکعب) بردارید و در آن بریزید. بشر را داخل آون با دمای حدود ۷۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید تا تمام آب آن تبخیر شود. اکنون به دقت مقدار جرم بشر را یادداشت کنید. مطابق روش بالا شاخص غلظت کل مواد جامد محلول در آب را به‌دست آورید.

این آزمایش را برای آب‌های موجود دیگر (آب رودخانه، آب استخر، آب چاه و غیره) تکرار کنید و شاخص مزبور را برای هر یک به‌دست آورید. جدولی مانند جدول صفحه بعد تهیه کنید. در ستون مربوط به هر شاخص نوع آب را با علامت ضرب‌در مشخص کنید.

ردیف	نوع آب		آب دریا	آب شور	مجاز آشامیدنی	مطلوب آشامیدنی	مطلوب صنعتی
	نمونهٔ آزمایشی	TDS (ppm)	حدود ۴۰۰۰۰	حدود ۱۰۰۰۰	کمتر از ۱۰۰۰	حدود ۵۰۰	کمتر از ۱۰۰
۱	آب رودخانه						
۲	آب استخر						
۳	آب چاه						
۴	آب شهر				×		
۵	...						

میزان کدری

مواد ریز کلوییدی، کدر بودن نمونه را سبب می‌شوند. کدورت در استاندارد چنین تعریف می‌شود: یک خاصیت فیزیکی نمونه که باعث می‌شود نور تابیده‌شده به نمونه متفرّق و یا جذب شود، ولی عبور نکند. بنابراین برای اندازه‌گیری کدورت، یک منبع نور و دستگاهی برای اندازه‌گیری نور متفرق‌شده نیاز است. برای اندازه‌گیری این شاخص، آن را با محلول استاندارد شاخص مقایسه می‌کنند (شکل۲). واحد کدورت، کدری نمونهٔ آبی است که حاوی یک قسمت در میلیون (ppm ۱) سیلیس باشد. آب آشامیدنی (برای انسان) باید کدری کمتر از ۵ واحد داشته باشد.

شکل ۲ــ چند نمونه از دستگاه کدورت‌سنج با نمونه‌های مربوطه

فعالیت عملی ۳

اندازه‌گیری میزان کدری

مواد لازم: آب‌های مختلف

وسایل لازم:

۱ بشر

۲ دستگاه کدری‌سنج

روش کار: مطابق روش کار دستگاه کدری‌سنج موجود در هنرستان خود، میزان کدری آب‌های مختلف را تعیین نمایید و در جدولی یادداشت کنید.

ردیف	نوع آب	میزان کدری
۱	آب لوله‌کشی	
۲	آب مقطّر	
۳	آب رودخانه	
۴	آب دریا	
۵	آب چاه	
۶	آب استخر	
۷	...	

شاخص رنگ

رنگ آب به‌طور کلی به سبب حضور یون‌های فلزی، مواد گیاهی و اجزای خاک است. اصطلاح شاخص رنگ یا واحد رنگ[۱] در واقع به رنگ باقی‌مانده در آب پس از حذف کدری اطلاق می‌شود.

برای اندازه‌گیری رنگ آب یا پساب، در روش رنگ‌سنجی از مقایسهٔ آن با رنگ استاندارد یک نمک کمپلکس پلاتین و کبالت استفاده می‌شود. آب خالص بی‌رنگ است، اما مواد معلّق یا محلول در آن می‌توانند آب را رنگی کنند. مثلاً یون‌های آهن تولید رنگ قهوه‌ای و اسیدهای آلی، رنگ زرد تولید می‌کنند. برای بی‌رنگ کردن آب می‌توان از فرایندهای اکسایش، جذب سطحی[۲] یا کلوخگی[۳] استفاده کرد.

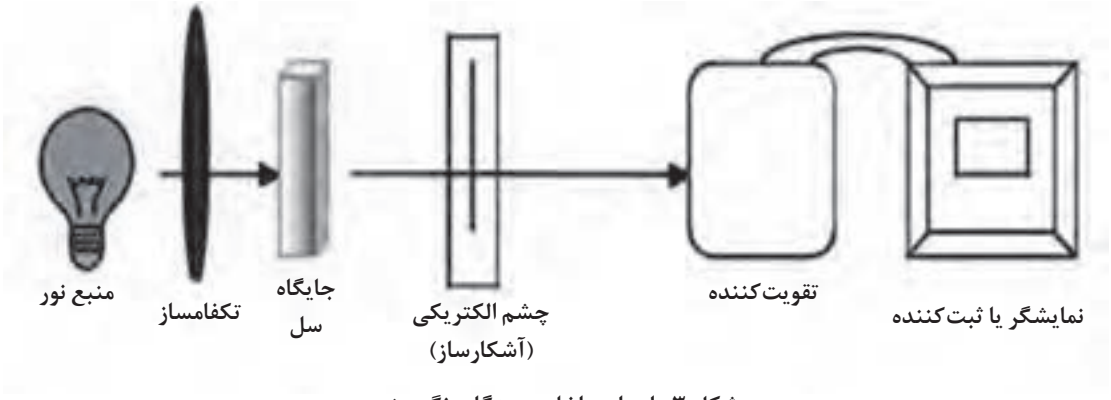
رنگ‌سنجی به اندازه‌گیری طول موج و شدت تابش الکترومغناطیسی منطقهٔ قابل مشاهده از طیف نوری اطلاق می‌شود. به کمک رنگ‌سنجی می‌توان میزان غلظت مواد در محلول‌ها را اندازه‌گیری کرد، زیرا که مقدار رنگ و نور جذب‌شده یا انتقال‌یافته به خواص محلول بستگی دارد.

۱ـ Color Unit

۲ـ Adsorption

۳ـ Agglomeration

دستگاه رنگ‌سنج (شکل ۳) نیز در واقع یک وسیلهٔ اندازه‌گیری است که می‌تواند مقدار نور یا طیف عبوری از محلول‌ها را، با مقدار یا طیف نوری که از میان نمونهٔ خالص آن محلول عبور می‌کند، مقایسه کند. در شکل ۴ یک نمونهٔ واقعی دستگاه رنگ‌سنج نشان داده شده است.



شکل ۳ــ اجزای داخلی دستگاه رنگ‌سنج

شکل ۴ــ دستگاه رنگ‌سنج

فعالیت عملی ۴

اندازه‌گیری شاخص رنگ

مواد لازم: آب‌های مختلف

وسایل لازم:

۱ بشر

۲ دستگاه رنگ‌سنج

روش کار:

مطابق روش کار دستگاه رنگ‌سنج موجود در هنرستان خود، شاخص رنگ آب‌های مختلف را تعیین و در جدولی یادداشت کنید.

ردیف	نوع آب	شاخص رنگ
۱	آب لوله‌کشی	
۲	آب مقطّر	
۳	آب رودخانه	
۴	آب دریا	
۵	آب چاه	
۶	آب استخر	
۷	...	

رسانایی الکتریکی آب

رسانایی الکتریکی یا کنداکتیویتی آب (EC)، نشان‌دهندهٔ قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان برق است. واحد هدایت الکتریکی، مو برسانتی‌متر[1] یا زیمنس است.

نکته

واحد مقاومت الکتریکی اهم[2] است و چون هدایت الکتریکی عکس مقاومت است، از این رو واحد آن مو است. مو بر سانتی‌متر عدد بزرگی است، از این رو معمولاً از واحد میکرومو بر سانتی‌متر (µmho/cm) استفاده می‌شود که یک میلیون برابر کوچک‌تر است. رسانایی الکتریکی آب خالص در ۲۵ °C برابر است با ۰٫۰۵۶µ mho/ cm. چون در محلول‌ها، یون‌ها جریان برق را منتقل می‌کنند، از این رو EC با TDS رابطه دارد. در محلول‌های رقیق ارتباط این دو متغیّر به صورت TDS = ۰٫۵EC است.

فعالیت عملی ۵

اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی آب

مواد لازم: آب‌های مختلف

وسایل لازم:

۱ بشر

۲ دستگاه رسانایی‌سنج

روش کار:

مطابق روش کار دستگاه رسانایی‌سنج موجود در هنرستان خود، رسانایی الکتریکی آب‌های مختلف را تعیین، و در جدولی یادداشت کنید.

ردیف	نوع آب	رسانایی الکتریکی
۱	آب لوله‌کشی	
۲	آب مقطّر	
۳	آب رودخانه	
۴	آب دریا	
۵	آب چاه	
۶	آب استخر	
۷	...	

۱ـ mho/cm ۲ـ Ohm

آب از دیدگاه شیمیایی

در این قسمت به مطالعهٔ برخی از خواص آب از دیدگاه شیمی مانند pH، سختی، شاخص قلیائیت و شاخص آلودگی‌های آلی پرداخته شده است.

غلظت یون هیدروژن (pH)

با دستگاه pH متر، فقط غلظت یون هیدروژن اندازه‌گیری می‌شود، امّا به خاطر اهمّیت آن در رفتار آب، می‌توان ادعا کرد که هیچ آزمونی بدون تعیین pH آب، کامل نخواهد بود. نمونه‌های زیر دلیلی بر این ادعا هستند:

- حل‌پذیری و غلظت بعضی از گازها، نظیر کربن‌دیوکسید و آمونیاک تابعی از pH آب است.
- در تصفیهٔ آب با رزین‌های تبادل یونی،pH آب ورودی به ستون تبادل باید در گسترهٔ مناسب نوع رزین باشد.
- در فرایند زدودن رنگ، بو و مواد آلی از آب (با جذب سطحی روی کربن فعال) تنظیم pH نقشی اساسی دارد.
- در تصفیهٔ زیست شیمیایی پساب‌ها، رشد باکتری‌ها و پیشرفت کار بستگی کامل به تنظیم pH محیط دارد.

برای سنجش pH نمونه‌های آب، می‌توان از نشانگرهای رنگی[1] استفاده کرد. این روش سریع و بسیار ارزان، اما با دقتی نه چندان زیاد است.

فعالیت عملی ۶

اندازه‌گیری شاخص غلظت یون هیدروژن (pH)

مواد لازم: آب مقطر

وسایل لازم:

۱. بشر
۲. استوانهٔ مدرّج
۳. چند شناساگر رنگی مختلف
۴. کاغذ pH
۵. دستگاه pHسنج

روش کار:

ابتدا حجم معینی از انواع آب‌های در دسترس را بردارید و در بشرهای مختلف بریزید. سپس pH آنها را توسط شناساگرهای رنگی، کاغذی و دستگاهی تعیین، و در جدولی یادداشت کنید. از مقایسه آنها چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۱ـ Color Indicators

ردیف	نوع آب	pH		
		شناساگر رنگی	شناساگر کاغذی	دستگاهی
۱	آب لوله‌کشی			
۲	آب مقطّر			
۳	آب رودخانه			
۴	آب دریا			
۵	آب چاه			
۶	آب استخر			
۷	...			

پرسش ۳

به تصویر روبه‌رو بنگرید. به نظر شما این تصویر چه پدیده‌ای را نشان می‌دهد؟

سختی آب

اندازه‌گیری سختی یکی از عامل‌های شیمیایی مهم آب است و آب آشامیدنی باید مقداری سختی داشته باشد. سختی آب به کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم مربوط می‌شود. درآب‌های صنعتی، سختی آب با ایجاد رسوب مسئله‌ساز است. انواع سختی آب، به شرح زیر تعریف می‌شود:

سختی کل[1] آب: از آنجا که غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم در آب‌های طبیعی بسیار بیشتر از یون‌های دیگر است، از این رو در عرف تصفیهٔ آب، مجموع غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم را به‌عنوان سختی کل آب (TH) در نظر می‌گیرند.

۱ـ Total Hardness

سختی موقت یا بی‌کربناتی: از نظر علمی، به بخشی از سختی آب که به صورت نمک‌های بی‌کربنات است، و با گرم کردن از بین می‌رود و به صورت رسوب کربنات از آب جدا می‌شود، سختی موقت گفته می‌شود.
سختی دائم یا سختی غیرکربناتی: به بخشی از سختی کل که به‌صورت نمک‌های غیرکربناتی است (مانند سولفات، کلرید و یا نیترات)، و با گرما دادن تجزیه نمی‌شود، سختی دائم می‌گویند.

مثال: در جدول ۲، آزمون ترکیب یک نمونه آب خام تصفیه‌نشده آمده است:

جدول ۲ـ ترکیب یک نمونه آب خام

یون	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	OH^-	$Na^+ + K^+$	Mg^{2+}	Ca^{2+}
معادل کربناتی[1] (ppm)	۵۰۰	۱۵۰	۵۰	۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۵۰۰

سختی موقت و سختی دائم این نمونه آب را برحسب معادل کربناتی هر یک به‌دست آورید.

حل:
سختی موقت همیشه برابر یا کمتر از غلظت بی‌کربنات‌هاست، یعنی برابر با ppm ۵۰۰ است.
سختی دائم (غیرکربناتی) برحسب ppm معادل کربناتی مساوی است با اختلاف سختی کل منهای سختی موقت. پس: ۳۰۰ = ۵۰۰ − ۳۰۰ + ۵۰۰

بحث‌گروهی ۴

به نظر شما، دلیل تشکیل رسوب در کتری و سماور چیست؟ همچنین در مورد واکنش‌های زیر چه نظری دارید؟

$$nH_2O + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CO_2 \uparrow + (n+1)H_2O + CaCO_3 \downarrow$$
$$nH_2O + Mg(HCO_3)_2 \rightarrow CO_2 \uparrow + (n+1)H_2O + MgCO_3 \downarrow$$

پرسش ۴

۱ کدامیک از نمک‌های زیر باعث سختی موقت آب می‌شوند؟
کلسیم سولفات، سدیم‌کربنات، منیزیم‌بی‌کربنات، سدیم‌سولفات
۲ به نظر شما مشکل سختی آب چه راهکاری دارد؟

۱ـ به منظور رسیدن به یک مبنای مشترک در اعلام سختی آب‌ها، مقدار هم‌ارزگرم نمک‌های موجود در آب را در ۵۰ یعنی هم‌ارزگرم کلسیم‌کربنات ضرب کرده، آن را معادل کربناتی می‌نامند.

فعالیت عملی ۷

تعیین سختی کل

مواد و وسایل لازم	
محلول بافر آمونیوم‌کلرید + آمونیاک EDTA شناساگر EBT[1] شناساگر کالکن سود ۲ نرمال	ارلن ۲ عدد کاغذ pH وسایل سنجش حجمی

طرز تهیهٔ محلول بافر

محلول بافر (pH=۱۰): مقدار ۵ گرم آمونیوم‌کلرید را در آب مقطر حل کنید و پس از افزودن ۵۵ میلی‌لیتر آمونیاک غلیظ، با آب مقطّر آن را به حجم صد میلی‌لیتر برسانید.

طرز تهیهٔ محلول ۰/۰۱ نرمال EDTA

۱/۸۶ گرم از نمک ($Na_2C_{10}H_{14}O_8N_2.2H_2O$) خالص را که در آون در دمای ۸۰ درجهٔ سلسیوس خشک شده است، به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر برسانید.

روش کار اندازه‌گیری سختی کل

۱ ۲۵ میلی‌لیتر از نمونهٔ آبی را در ارلن بریزید و ۲ـ ۱/۵ میلی‌لیتر محلول بافر آمونیوم‌کلرید + آمونیاک به آن اضافه کنید (pH =۱۰ ـ ۱۰/۵).

۲ پس از افزودن ۴ قطره شناساگر EBT، تا رسیدن به رنگ آبی خالص با محلول EDTA ۰/۰۱ مولار سنجش حجمی (تیتر) کنید. این عملیات باید خیلی سریع انجام شود. حجم مصرفی محلول EDTA را یادداشت کنید (V_1).

روش کار اندازه‌گیری سختی کلسیم

۱ ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه را در ارلن بریزید و ۱/۵ـ۱ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۲ نرمال (pH=۱۲) به آن اضافه کنید.

۲ پس از افزودن ۴ قطره معرف کالکن، باEDTA ۰/۰۱ مولار تا رسیدن به رنگ آبی خالص تیتر کنید. حجم مصرفی را یادداشت کنید (V_2).

محاسبات

سختی کل (غلظت یون کلسیم و منیزیم) $V_1 \times ۱۰ = ppm$

سختی کلسیم (غلظت یون کلسیم) $V_2 \times ۱۰ = ppm$

سختی منیزیم (غلظت منیزیم) $(V_1 - V_2) \times ۱۰ = ppm$

۱ـ Eriochrome Black T

فعالیت عملی ۸

اندازه‌گیری سختی موقّت آب (H_t)

مواد و وسایل مورد نیاز	
آب طبیعی ۲۰۰ـ۱۰۰ میلی‌لیتر شناساگر نارنجی متیل محلول استاندارد HCl ، ۰/۱N	استوانهٔ مدرّج ۱۰۰میلی‌لیتری ارلن ۵۰۰ یا ۲۵۰ میلی‌لیتری گیرهٔ بورت، میله و پایه بورت بورت ۱۰۰ یا ۵۰ میلی‌لیتری

روش کار

۱ یک استوانهٔ مدرّج ۱۰۰میلی‌لیتری تمیز بردارید. آن را با آب مقطّر بشویید. آن‌گاه ۱۰۰میلی‌لیتر آب طبیعی را درون آن بریزید تا به خط نشانهٔ ۱۰۰ برسد. تمام آن را به یک ارلن ۲۵۰ یا ۵۰۰ میلی‌لیتری منتقل کنید.

۲ ۱ یا ۲ قطره شناساگر نارنجی‌متیل را اضافه، و با محلول استاندارد HCl موجود در بورت تیتر کنید.

۳ نقطهٔ پایانی سنجش حجمی با تغییر رنگ محلول از زرد به نارنجی مشخص می‌شود. به محض تغییر رنگ، افزودن محلول HCl را متوقف کنید.

۴ این آزمایش را با همین مقادیر دو بار دیگر تکرار کنید، و میانگین حجم محلول HCl مصرف شده را به‌دست آورید.

محاسبه

محلول اسید فقط بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم را خنثی می‌کند.

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

تعداد هم‌ارزهای اسید به‌کار رفته در سنجش حجمی معادل تعداد هم‌ارزهای بی‌کربنات‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب مورد سنجش است.

نظر به اینکه نرمالیتهٔ محلول عبارت از تعداد هم‌ارزگرم‌های جسم حل‌شده در یک لیتر محلول، یا تعداد میلی هم‌ارزگرم‌ها در یک میلی‌لیتر محلول است، حاصل‌ضرب نرمالیتهٔ هیدروکلریک‌اسید در تعداد میلی‌لیترهای مصرف‌شدهٔ آن در سنجش حجمی برابر با تعداد میلی هم‌ارزگرم‌های بی‌کربنات‌های موجود در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب است. سختی موقّت، H_t، با ضرب این حاصل‌ضرب در عدد ۱۰ به‌دست می‌آید.

سختی موقّت را با معادلهٔ زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$H_t = V_{HCl} \times N_{HCl} \times ۱۰$$

براساس فعالیت انجام شده، جدول را پرکنید:

داده / نتیجه	۳	۲	۱
حجم نمونه آب			
نرمالیتهٔ HCl مصرف‌شده			
حجم HCl مصرف‌شده			
تعداد هم‌ارزگرم HCl مصرف‌شده			
تعداد هم‌ارزگرم برای یک لیتر آب			
تعداد میلی‌هم‌ارز Ca^{2+} و Mg^{2+}			
سختی موقت میلی هم ارزگرم در لیتر			

پرسش ۵

با توجه به فعالیت ۸، مقدار سختی دائم آب را به‌دست آورید.

آب سخت برای نوشیدن مناسب نیست، زیرا نه تنها مزه و گوارایی خود را از دست داده است، بلکه می‌تواند ضررهایی بر روی دستگاه گوارش یا کلیه‌های انسان داشته باشد. البته از سوی دیگر، معمولاً آشامیدن آب سخت بهبودی زودتر استخوان‌های شکسته را به همراه دارد و بیماری راشیتیسم (نرمی استخوان) هم کمتر در این اشخاص دیده می‌شود.

بیشتر بدانید

طبق استاندارد شمارهٔ ۱۰۵۳ مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ویرایش ۵ مورخه ۱۳۸۸/۱۲/۱۱ میزان مطلوب سختی در آب ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب کلسیم‌کربنات و بیشترین مقدار مجاز آن ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برحسب کلسیم‌کربنات است. گفتنی است که سازمان جهانی بهداشت حدی برای سختی آب توصیه نکرده است و واحد مجاز اشاره‌شده در آن از نظر فنی ـ مهندسی و اقتصادی است.

تحقیق کنید ۴

در مورد مزّیت سختی آب تحقیق کنید و در کلاس ارائه دهید.

شاخص قلیایی آب

شاخص‌قلیایی آب برابر با مجموع غلظت یون‌های کربنات، بی‌کربنات و هیدروکسیل موجود در آن است. غلظت آنیون‌های دیگر مانند سیلیکات، بورات یا فسفات در مقایسه با غلظت این سه یون قابل چشم‌پوشی هستند. دانستن شاخص‌قلیایی آب به‌همراه دانستن pH آب مهم است. در حقیقت، pH آب نشانهٔ قدرت اسیدی آب، اما شاخص‌قلیایی نشان‌دهندهٔ مقاومت آب در برابر تغییرات pH هستند. البته در موارد ضروری تصفیهٔ آب، دانستن غلظت هر یک از آنیون‌ها مهم است، و تنها دانستن مجموع غلظت آنیون‌های تشکیل‌دهندهٔ قلیایی بودن کفایت نمی‌کند.

با توجه به آنچه که گفته شد، با اندازه‌گیری غلظت هر یک از سه آنیون تشکیل‌دهندهٔ قلیایی بودن (کربنات، بی‌کربنات و هیدروکسیل)، سنجش دو نوع شاخص‌قلیایی انجام می‌گیرد. این دو نوع شاخص عبارت‌اند از: شاخص قلیایی ساده یا قلیایی بودن نسبت به فنول فتالئین (P) و شاخص قلیایی کل یا قلیایی بودن نسبت به نارنجی‌متیل (M). به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌قلیایی یک نمونه آب، از شناساگرهای رنگی (برای مشخص شدن نقطهٔ پایانی تیتراسیون) و اسید استفاده می‌شود.

شاخص‌قلیایی ساده یا قلیایی بودن نسبت به فنول فتالئین (P)

فنول فتالئین در سنجش شاخص قلیایی ساده استفاده می‌شود و شامل آنیون‌هایی است که در pH بالاتر از ۸/۳ به وسیلهٔ یک اسید استاندارد و در حضور شناساگر فنول فتالئین تیتر می‌شوند. به این منظور، ابتدا به ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آب مورد نظر ۳ تا ۴ قطره فنول فتالئین افزوده می‌شود. وجود قلیایی بودن ساده در صورت مشاهدهٔ رنگ ارغوانی در محلول، و قلیایی بودن ساده صفر در صورت مشاهده نشدن آن، نتیجهٔ آزمایش خواهد بود. سپس، با به‌هم زدن کامل نمونه و اضافه کردن تدریجی سولفوریک‌اسید ۰/۰۲ نرمال تا از میان رفتن رنگ ارغوانی به تیتراسیون نمونه آب ادامه داده می‌شود. در این هنگام pH نمونهٔ آب در نقطهٔ پایانی باید درحدود ۸/۳ باشد. در طی این آزمایش، یون هیدروژن اسید مصرف شده، ابتدا یون هیدروکسیل را تا رسیدن به این pH خنثی می‌کند و سپس صرف تبدیل یون کربنات به یون بی‌کربنات می‌شود. واکنش‌های انجام شده تا این مرحله به صورت زیر است:

$$CO_3^{2-} + H^+ \rightleftarrows HCO_3^- \qquad OH^- + H^+ \rightleftarrows H_2O$$

از آن‌جایی که هر هم‌ارز یون هیدروژن (اسید) با یک هم ارز هیدروکسیل یا کربنات ترکیب می‌شود، پس تعداد هم‌ارزهای اسید مصرف‌شده با تعداد هم‌ارزهای یون‌های تشکیل‌دهندهٔ قلیایی بودن برابر می‌باشد. سولفوریک اسید ۰/۰۲ نرمال دارای ۰/۰۲ هم‌ارز یون هیدروژن در هر لیتر است. لذا هر سانتی‌مترمکعب اسید حاوی ۰/۰۲ میلی‌هم‌ارز یون هیدروژن است. به بیان دیگر، با مصرف هر سانتی‌متر مکعب اسید، ۰/۰۲ میلی هم‌ارز شاخص قلیایی خواهیم داشت (و تفاوتی هم نمی کند که یون قلیایی هیدروکسیل باشد یا کربنات).

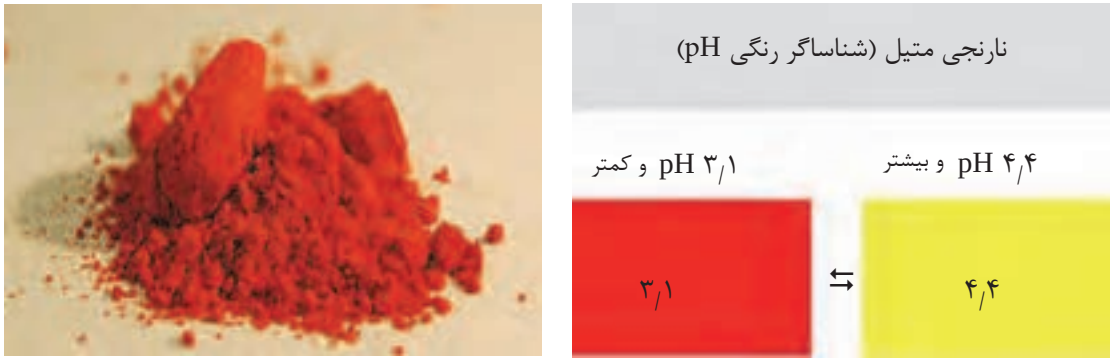
با توجه به ۱۰۰ میلی‌لیتر حجم نمونهٔ آب، در هر لیتر آن ۰/۲ میلی هم‌ارز شاخص قلیایی (یعنی ده برابر ۰/۰۲ میلی هم‌ارز) وجود دارد. اگر میلی‌هم‌ارز در لیتر در ۵۰ ضرب شود، میلی‌گرم در لیتر معادل کربنات کلسیمی به‌دست خواهد آمد (زیرا هم‌ارز= جرم مولکولی کربنات کلسیم تقسیم بر ظرفیت ۲ آن). پس هر میلی‌لیتر (یک سانتی‌متر مکعب) اسید مصرف شده معرف ۰/۲ × ۵۰ یا ۱۰ ppm شاخص قلیایی معادل کربنات کلسیمی است.

نکتهٔ ایمنی

- در صورت تماس فنول‌فتالئین با چشم، به مدت دست‌کم ۱۵ دقیقه چشم‌ها را با آب بشویید. سپس به پزشک مراجعه کنید.
- درصورت تماس با پوست، فوراً آن محل را با آب سرد فراوان بشویید. محل تماس را با مرهم یا پماد سوختگی بپوشانید. همچنین لباس‌ها و کفش‌های آلوده را درآورید و آنها را با آب سرد به‌خوبی بشویید. سپس به پزشک مراجعه کنید.
- در صورت تنفس، مصدوم را به محوطهٔ هوای آزاد ببرید. اگر تنفس او قطع شده است، به او تنفس مصنوعی داده شود. اگر نفس کشیدن برای مصدوم سخت است، به او اکسیژن بدهید. سپس به پزشک مراجعه شود.

شاخص قلیایی کل یا قلیایی بودن نسبت به نارنجی متیل (M)

شناساگر نارنجی‌متیل‌برای سنجش شاخص قلیایی کل به‌کار می‌رود، که شامل کل آنیون‌هایی می‌شود که در pH بالاتر از ۴٫۳ توسط یک اسید استاندارد و در حضور شناساگر نارنجی‌متیل تیتر می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۵ ـ شناساگر رنگی نارنجی متیل

برای این کار، ابتدا چند قطره نارنجی‌متیل به نمونهٔ آبی که شاخص قلیایی ساده آن در مرحلهٔ پیش به‌دست آمد، اضافه می‌شود. سپس تیترکردن نمونهٔ آب ادامه می‌یابد تا رنگ آن از بی رنگ به زرد و سپس به نارنجی متمایل به قرمز عوض شود. pH در این مرحله باید در حدود ۴٫۵ باشد. واکنش‌های شیمیایی این مرحله به قرار زیر هستند:

$$HCO_3^- + H^+ \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows H_2O + CO_2$$

شاخص قلیایی کل، برابر با مجموع اسید مصرف‌شده در دو مرحلهٔ قلیایی بودن ساده و تغییر رنگ شناساگر نارنجی‌متیل است. ظاهر شدن بی‌کربنات ضمن تغییر رنگ نارنجی‌متیل، برابر با مجموع بی‌کربنات احتمالی در خود آب، و نیز بی‌کربنات حاصل از تبدیل کربنات در مرحلهٔ سنجش شاخص قلیایی ساده است.

در مثال پیشین، با استفاده از ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آب و سولفوریک اسید ۰٫۰۲ نرمال، شاخص قلیایی نمونه برحسب ppm معادل کربناتی برابر خواهد بود با:

P = ۱۰ × (میلی‌لیتر اسید مصرف‌شده تا نقطهٔ بی‌رنگ شدن رنگ ارغوانی)

M = ۱۰ × (حجم کل اسید مصرفی برحسب میلی‌لیتر)

نکته ایمنی

- از تماس مستقیم نارنجی‌متیل با بدن و پوست خودداری شود. این ماده ممکن است باعث صدمه رساندن به دستگاه تنفس، گوارش، چشم یا پوست شود.
- در صورت تماس با چشم دست‌کم ۱۵ دقیقه چشم‌ها را با آب فراوان بشویید (همراه با بلند کردن پلک‌های بالا و پایین). در صورت تماس با پوست یا لباس شست‌وشو با آب و صابون الزامی است.

رابطهٔ pH و غلظت هر یک از آنیون‌های تشکیل‌دهندهٔ قلیایی بودن

معمولاً در بین سه آنیون تشکیل‌دهندهٔ قلیایی بودن، دست‌کم غلظت یکی از آنها قابل چشم‌پوشی است. زیرا در اثر کم شدن pH آب، یون‌های کربنات به بی‌کربنات و گاز کربن‌دیوکسید تبدیل می‌شوند. چند مثال کمّی در این مورد، در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ـ ارتباط میان pH و غلظت هر یک از آنیون‌های تشکیل‌دهندهٔ قلیائیت

گسترهٔ pH	مواد موجود در آب
کمتر از ۵	تنها گاز CO_2
کمتر از ۹	غلظت بسیار اندک OH^- در مقایسه با غلظت کربنات یا بی‌کربنات
بیشتر از ۱۱/۵	غلظت تقریباً صفر بی‌کربنات
بیشتر از ۱۲	فقط یون کربنات

در جدول ۴ ارتباط میان غلظت آنیون‌های قلیایی با شاخص‌های قلیایی کل و ساده دیده می‌شود.

جدول ۴ـ ارتباط میان غلظت آنیون‌های قلیایی با شاخص‌های قلیایی کل و ساده

غلظت آنیون‌های قلیایی	P= M	P> (M/۲)	P= (M/۲)	P< (M/۲)	P= ۰
هیدروکسیل	P	۲P - M	صفر	صفر	صفر
کربنات	صفر	۲ (M - P)	۲P	۲P	صفر
بی‌کربنات	صفر	صفر	صفر	M - ۲P	M

البته توجه داشته باشید که مثلاً در ستون چهارم از راست، فقط کربنات خواهیم داشت و مقدار شاخص قلیایی ساده نصف شاخص قلیایی کل است. ضمن اندازه‌گیری، شاخص قلیایی تبدیل به بی‌کربنات می‌شود. هم‌چنین، شاخص قلیایی کل بی‌کربنات به کربن‌دیوکسید تبدیل می‌شود. چون غلظت شاخص قلیایی کل بی‌کربنات در این روش اندازه‌گیری برابر با غلظت کربنات اولیه است، اسید مصرفی ضمن اندازه‌گیری شاخص قلیایی کل و شاخص‌قلیایی ساده مساوی است. در نتیجه مقدار P نصف M می‌شود.

مثال ۱: برای تعیین شاخص قلیایی، در آزمایشی، ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونهٔ آبی با سولفوریک اسید ۰/۰۲ نرمال سنجش حجمی می‌شود. برای رسیدن به pH = ۸/۳، مقدار ۵۰ میلی‌لیتر سولفوریک‌اسید مصرف شده است. مطلوبست محاسبه M و P .

حل

چون، شاخص قلیایی به روش استاندارد اندازه‌گیری شده است، پس هر میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۰/۰۲ N مصرف‌شده برابر ۱۰ ppm معادل کربناتی است. تا pH برابر ۸/۳، فقط P اندازه‌گیری می‌شود. پس:

$P = ۱۰ \times ۵۰ = ۵۰۰$ ppm

چون سنجش حجمی تا pH =۴/۵ انجام نشده است، پس نمی‌توان شاخص قلیایی کل را محاسبه کرد.

مثال ۲: شاخص قلیایی آبی نسبت به فنول‌فتالئین برابر صفر و نسبت به نارنجی‌متیل به‌صورت زیر است. مقدار یون‌های کربنات، بی‌کربنات و هیدروکسیل موجود در آب محاسبه شود؟

M=۳۳۰ ppm ($CaCO_۳$ برحسب)

حل

شاخص قلیایی صفر نسبت به فنول‌فتالئین، صفر بودن شاخص قلیایی ساده را نشان می‌دهد و با توجه به جدول ۴، در آب تنها یون بی‌کربنات وجود دارد و مقدار آن برابر مقدار شاخص قلیایی نسبت به نارنجی متیل است.

$[HCO_۳^-]$=M=۳۳۰ ($CaCO_۳$ ppm برحسب)

با توجه به اینکه هم‌ارزگرمِ کلسیم‌کربنات برابر ۵۰ گرم است، لذا مقدار یون بی‌کربنات موجود در آب برحسب هم‌ارزگرم برابر است با:

$[HCO_۳^-]$ = ۳۳۰÷۵۰= ۶/۶ میلی‌اکی والان‌گرم در لیتر

$[CO_۳^{-۲}] = ۰$

$[OH^-]$=۰

مثال ۳: شاخص قلیایی آبی نسبت به فنول‌فتالئین و نارنجی‌متیل به صورت مقادیر زیر است. مقادیر یون‌های بی‌کربنات، کربنات و هیدروکسیل موجود در آب را محاسبه کنید؟

M=۲۹۳ ppm ($CaCO_۳$ برحسب)

P=۱۰۰ ppm ($CaCO_۳$ برحسب)

حل

چون مقدار $P < \frac{M}{۲}$ است پس با توجه به جدول (۴) تنها یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب موجود است و مقدار آنها عبارت‌اند از:

$[CO_۳^{-۲}] = ۲P = ۲\times۱۰۰ = ۲۰۰\ ppm$ (برحسب $CaCO_۳$)

$[CO_۳^{-۲}] = ۲۰۰ \div ۵۰ = ۴$ میلی‌هم‌ارزگرم در لیتر

$[HCO_۳^{-}] = M - ۲P = ۲۹۳ - ۲\times۱۰۰ = ۹۳\ ppm$ (برحسب $CaCO_۳$)

$[HCO\ ] = ۹۳ \div ۵۰ = ۱\ ۸۶$ میلی‌هم‌ارز بر لیتر

$[OH^{-}] = ۰$

نکات قابل توجه در مورد ارتباط میان pH و شاخص قلیایی

۱ یون‌های هیدروکسیل و کربنات غلظت قابل توجهی در pHهای قلیایی دارند و شاخص قلیایی ساده نماد غلظت آنهاست. به‌طوری‌که شاخص قلیایی ساده در pH کمتر از ۸/۳ وجود ندارد. پس افزایش شاخص قلیایی ساده، به معنای افزایش pH است.

۲ با کاهش شاخص قلیایی ساده و افزایش شاخص قلیایی کل، از میزان pH آب کاسته می‌شود.

۳ با کاهش pH آب به کمتر از ۴/۵، مقدار شاخص قلیایی کل به صفر می‌رسد.

۴ با توجه به موارد بالا، دو pH ۴/۵ و۸/۳ در تصفیهٔ آب مهم هستند.

۵ pH آب طبیعی به هر دو شاخص قلیایی ساده و کل بستگی دارد (جدول ۵).

جدول ۵ــ ارتباط میان رنگ شناساگر، pH، شاخص قلیایی ساده و شاخص قلیایی کل

pH	۰ تا ۴/۵	۸/۳ تا ۴/۵	۱۴ تا ۸/۳
رنگ شناساگر نارنجی متیل			
رنگ شناساگر فنول فتالئین			
شاخص‌قلیایی ساده	بی‌رنگ ($P=۰$)	بی‌رنگ ($P=۰$)	ارغوانی ($P>۰$)
شاخص‌قلیایی کل	نارنجی متمایل به قرمز ($M=۰$)	زرد ($M>۰$)	زرد ($M>۰$)

تحقیق کنید ۵

آیا توجه کرده‌اید که آب رودخانه‌ها با وجود ورود مواد زیاد به آنها، چرا این قدر تمیز می‌مانند؟ آیا دلیل آن را می‌دانید؟

تمیز ماندن آب رودخانه‌ها

متأسفانه برخی از صنایع، شهرها و مزارع با رها کردن پساب خود در رودها، برکه‌ها و دریاها موجب مرگ آبزیان می‌شوند (شکل ۶).

شکل ۶ـ مرگ تعداد زیادی ماهی به‌دلیل رها کردن پساب در رودخانه

خوشبختانه در سال‌های اخیر با فرهنگ‌سازی، وضع و اجرای قوانین زیست‌محیطی در جهت کاهش این موارد تلاش می‌شود. حتی در مواردی برای پیشگیری از نابودی نسل ماهیان، تعداد زیادی بچه‌ماهی پس از پرورش در محیط‌های حفاظت‌شده به محل‌های زیست آنها رها می‌شود. در شکل ۷، آغاز رهاسازی بچه‌ماهی‌های استخوانی در سفیدرود استان گیلان را می‌بینید.

شکل ۷ ـ آغاز رهاسازی بچه‌ماهی‌های استخوانی در سفیدرود

فعالیت عملی ۹

تعیین شاخص‌های قلیایی ساده و کل

مواد و وسایل مورد نیاز	
سولفوریک‌اسید ۰/۰۲ N شناساگر فنول‌فتالئین و نارنجی‌متیل	ارلن بورت ۵۰ میلی‌لیتر استوانهٔ مدرّج

روش کار

۱ در ارلنی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطّر بریزید، ۲ تا ۳ قطره شناساگر نارنجی متیل و ۲ قطره سولفوریک‌اسید ۰/۰۲ N اضافه کنید، رنگ نارنجی ظاهر می‌شود (نمونهٔ شاهد).

۱ ۲۵ میلی‌لیتر از نمونهٔ آب را در یک ارلن تمیز بریزید و به آن ۱۰ـ۸ قطره شناساگر فنول‌فتالئین اضافه کنید و سپس با سولفوریک‌اسید ۰/۰۲ N مورد سنجش حجمی قرار دهید تا محلول بی‌رنگ شود. حجم اسید مصرفی را یادداشت کنید (V_1).

۱ در ادامهٔ سنجش حجمی به محلول فوق ۲ تا ۳ قطره شناساگر نارنجی متیل اضافه کنید. محلول زردرنگ می‌شود. دوباره با سولفوریک‌اسید ۰/۰۲ N آن را سنجش کنید تا محلول نارنجی رنگ شود (مشابه رنگ محلول شاهد) حجم اسید مصرفی را یادداشت کنید (V_2).(V_2 حجم کل است که V_1 را نیز دربر می‌گیرد).

محاسبه

معادل کربناتی $P = ۱۰ \times v_1$ ppm

معادل کربناتی $M = ۱۰ \times v_2$ ppm

شاخص آلودگی‌های آلی

بعضی از مواد آلی به‌صورت ذرّات کلوییدی، اما بیشتر آنها به‌صورت محلول هستند. آلاینده‌های آلی ممکن است باعث ایجاد بو، رنگ و طعم نامطبوع در آب شوند. به‌خاطر تنوع زیاد مواد آلی و نیاز به آزمایش‌های طولانی و گاهی پرهزینه، روش معمول این است که ناخالصی‌های آلی را با چند آزمون شاخص گزارش کنند. این آزمون‌های شاخص در عین سهولت و ارزانی، نشانه‌های خوبی از آلودگی آب به مواد آلی هستند. واحد این شاخص‌ها mg/L یا ppm است. سنجش میزان مواد آلی موجود در آب، به روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد. مانند اندازه‌گیری بخش مواد فرّار، اندازه‌گیری کل مواد جامد، BOD[۱]، COD[۲] و DO[۳] است.

۱ـ Biological Oxygen Demand

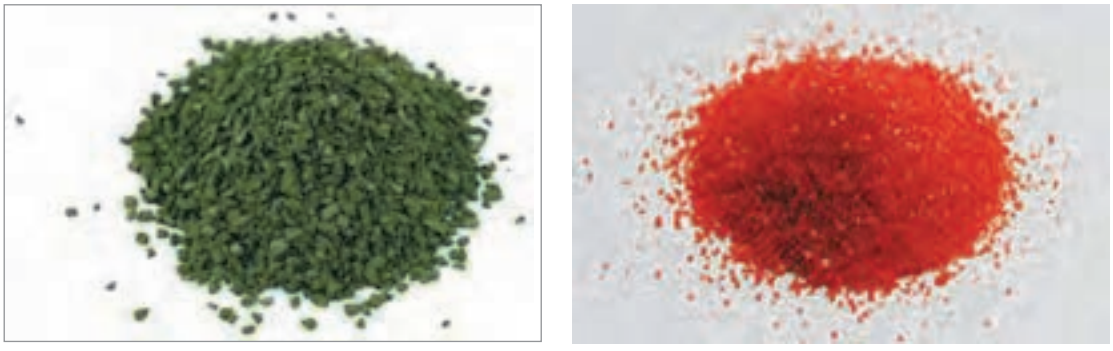
۲ـ Chemical Oxygen Demand

۳ـ Dissolved Oxygen

امّا اندازه‌گیری بخش مواد فرّار و سنجش کل مواد جامد دارای خطا است. بنابراین اغلب سنجش اکسیژن‌خواهی زیست شیمیایی (BOD)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) و اندازه‌گیری کل کربن آلی[1](TOC) برای به‌دست آوردن مقدار مواد آلی موجود در آب به‌کار می‌روند.

اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)

این شاخص، مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اکسایش مواد آلی و ترکیبات معدنی موجود در آب است، و از مقدار اکسنده‌های به‌کار رفته، به‌دست می‌آید. با دانستن این شاخص، می‌توان، همهٔ مواد آلی موجود در آب را که قابل اکسایش توسط کرومیک‌اسید و تبدیل کربن به گاز کربن‌دیوکسید هستند، (در واقع به‌طور غیرمستقیم) مشخص کرد. البته در برخی از موارد می‌توان پتاسیم پرمنگنات را نیز به عنوان مادهٔ اکسنده به‌کار برد. اما به‌دلیل ضعیف‌تر بودن قدرت اکسندگی پتاسیم پرمنگنات، همهٔ مواد آلی اکسید نمی‌شوند و COD کوچک‌تری به‌دست می‌آید. لذا، اکسندهٔ استاندارد برای سنجش COD، پتاسیم دی‌کرومات است و در چند ساعت قابل انجام است. پتاسیم دی‌کرومات نمک شش ظرفیتی کروم است و رنگ نارنجی درخشانی دارد. پس از ترکیب اکسیژن آن با مواد آلی، به رنگ سبز کدر کروم اکسید سه ظرفیتی درمی‌آید (شکل ۸).



شکل ۸ـ پتاسیم دی‌کرومات (نارنجی رنگ) و کروم (III) اکسید (سبز رنگ)

نکته

۱ شاخص COD نشان‌دهندهٔ همهٔ مواد آلی تجزیه‌پذیر و تجزیه‌ناپذیر با باکتری است. برای نمونه، مقدار کمّی شاخص COD در فاضلاب رقیق به ppm ۴۰۰ نمی‌رسد.

۲ آزمایش اندازه‌گیری اکسیژن‌خواهی شیمیایی در کتاب «راهنمای هنرآموز» آورده شده است، در صورت صلاحدید هنرآموزان محترم انجام شود.

۱ـ Total Organic Carbon

آب از دیدگاه زیست‌شناختی

در این قسمت به مطالعهٔ برخی از خواص زیست‌شناختی آب پرداخته شده است.
در آب‌های طبیعی، به ویژه آب‌های سطحی، علاوه بر مواد معلّق تعداد بسیار زیادی موجودات کوچک (با ریشهٔ گیاهی و یا حیوانی) وجود دارند. بسیاری از آب‌های سالم ممکن است دارای تعداد زیادی باکتری باشند. همچنین آب‌های قلیایی و گذرنده از لایه‌های گچی و آهکی دارای باکتری‌های زیادتری هستند که به‌نظر می‌رسد اغلب آنها بی‌ضرر باشند. حتی بسیاری از آنها برای به‌دست آوردن آب بهداشتی مهم هستند. در هر صورت تعداد کل میکروب‌های موجود در آب نباید از حد معینی بیشتر باشد، درغیر این‌صورت احتمال وجود باکتری‌های بیماری‌زا (مانند اسهال و وبا) را نیز افزایش می‌دهد.

شاخص بهداشتی بودن آب

از باکتری *اشرشیا کلیفرم*[1] (شکل۹) به‌عنوان شاخص بهداشتی بودن آب استفاده می‌شود. این شاخص نشانهٔ آلودگی آب به فاضلاب‌های انسانی است و بنابراین بهداشتی بودن آب را مدنظر دارد. باکتری *کلیفرم* روده‌ای به تعداد میلیونی در رودهٔ بزرگ انسان وجود دارد. دلایل استفاده از *کلیفرم* روده‌ای به عنوان شاخص بهداشتی بودن آب عبارت‌اند از:

شکل۹ـ باکتری *اشرشیا کلیفرم*

۱ در برابر شرایط نامساعد محیط مقاومت بالایی دارد؛ به‌طوری که اگر به‌خاطر نامساعد بودن محیط، *کلیفرم* روده‌ای از بین برود، می‌توان مطمئن بود که هیچ ویروس و یا باکتری بیماری‌زایی نمی‌تواند در آن محیط وجود داشته باشد.
۲ تعداد این باکتری بسیار زیاد است. بنابراین، حتی در اثر رقیق شدن‌های مکرر هم می‌توان اطمینان داشت حتماً *کلیفرم* روده‌ای وجود دارد.
۳ طرز تشخیص این باکتری در مقایسه با باکتری‌های بیماری‌زا، بسیار ساده و ارزان است.

با توجه به مراتب فوق می‌توان گفت که آلودگی آب طبیعی به این باکتری می‌تواند هشداری به احتمال آلودگی آب به باکتری‌های بیماری‌زا و فاضلاب‌های انسانی باشد. در نتیجه اقدامات لازم برای بهداشتی کردن آب مطرح می‌شود.

تحقیق کنید ۶

در مورد روش‌های شناسایی و شمارش باکتری‌ها تحقیق کنید و گزارش آن را در کلاس ارائه کنید.

۱ـ *E. Coli Coliform*

اکسیژن‌خواهی زیست شیمیایی

با دانستن این شاخص، می‌توان همهٔ مواد آلی موجود در آب را که توسط باکتری‌ها تجزیه می‌شوند، مشخص کرد. استاندارد به‌کار رفته در این روش ۵ روزه است و با BOD_5 نشان داده می‌شود. این میزان عبارت است از سنجش اکسیژنی که در دمای ۲۰ درجهٔ سلسیوس و به مدت ۵ روز به‌وسیلهٔ باکتری‌های موجود در آب صرف اکسایش مواد آلی موجود در آب شود.

از آنجا که در روش سنجش COD، هم مواد تجزیه‌پذیر و هم مواد تجزیه‌ناپذیر توسط باکتری‌ها ممکن است وارد شوند، معمولاً در یک نمونه، مقدار COD آن از مقدار BOD بیشتر است.

نکته

ـ در صورتی که BOD یک نمونه آب نزدیک به یک میلی‌گرم در لیتر باشد، «خوب»، ۳ mg/L، «مشکوک به آلوده بودن» و بیش از ۵ mg/L «آلوده» محسوب می‌شود. در بیشتر کشورها حتی فاضلاب تصفیه‌شده با BOD بیشتر از ۲۰ mg/L مجاز به ورود به آب‌های سطحی یا زیرزمینی نیست.

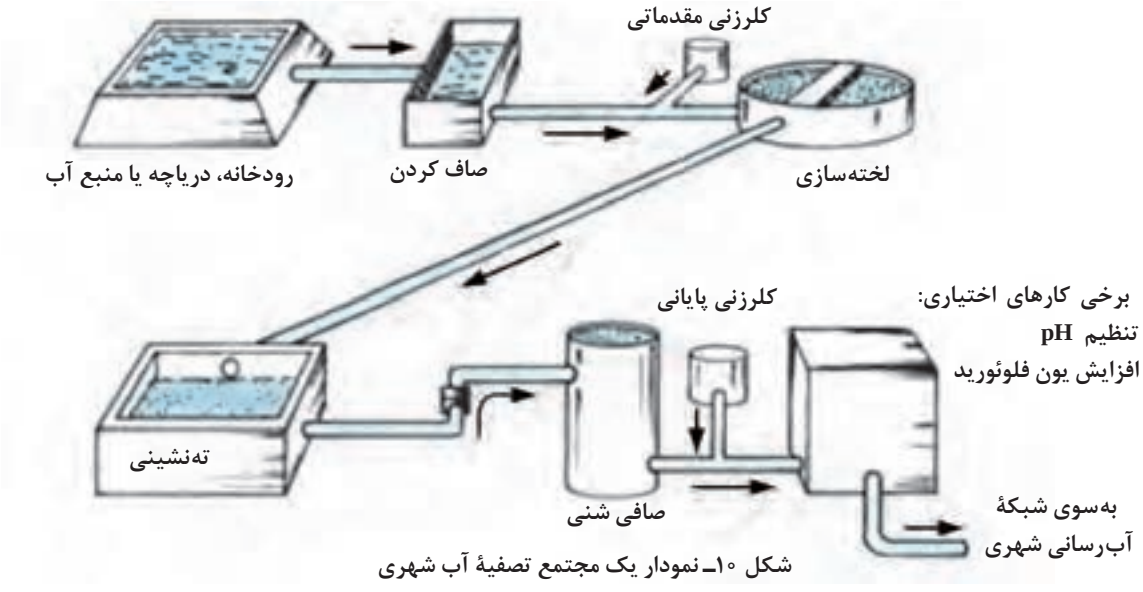
ـ آزمایش تعیین اکسیژن‌خواهی زیست‌شیمیایی در کتاب «**راهنمای هنرآموز**» آورده شده است، در صورت صلاحدید هنرآموزان محترم انجام شود.

تصفیهٔ آب

تحقیق کنید ۷

آب آشامیدنی شهر یا روستای محل زندگی شما از کجا تأمین و چگونه تصفیه می‌شود؟

در این بخش انواع روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی تصفیهٔ آب آورده شده است. مهم‌ترین فرایندهای تصفیهٔ آب (شکل ۱۰)، کاهش سختی، انعقاد و لخته‌سازی، گاززدایی، صاف کردن و گندزدایی است.



شکل ۱۰ـ نمودار یک مجتمع تصفیهٔ آب شهری

فیلم آموزشی

مراحل مختلف تصفیهٔ آب آشامیدنی

مناسب‌سازی آب[1]

برای بهسازی و مناسب‌سازی آب دو روش موجود است که انتخاب میان آنها براساس امکان‌سنجی فنی ـ اقتصادی[2] انجام می‌گیرد:

الف) حذف و یا کاهش ناخالصی‌های آب در تصفیه‌خانه (تصفیهٔ خارجی): اگر برای رهایی از مشکلات ناشی از وجود ناخالصی‌ها در آب، سعی شود آنها را پیش از ورود آب به داخل واحد صنعتی حذف کنند، در آن صورت تصفیه آب در خارج از سامانه انجام می‌گیرد و آن را تصفیهٔ خارجی می‌نامند. روش‌هایی چون آهک‌زنی، استفاده از رزین‌های تبادلگر یون و صاف کردن، تصفیهٔ خارجی محسوب می‌شوند.

ب) افزایش مواد کمکی به آب در محل مصرف (تصفیهٔ داخلی): اگر دبی آب کم باشد، ممکن است هزینهٔ تصفیهٔ خارجی برای حذف کامل ناخالصی‌ها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد. در آن صورت با افزودن مواد شیمیایی مناسب به آب در محل مصرف از مشکلات احتمالی می‌کاهند، که به آن تصفیهٔ داخلی می‌گویند. با گسترش نیاز به آب با خلوص بیشتر، تصفیهٔ داخلی از اهمّیت زیادی برخوردار شده است و در کمتر واحد صنعتی است که نیاز به تصفیهٔ داخلی نباشد. استفاده از مواد شیمیایی برای تنظیم pH، یا تزریق مواد ضدخوردگی یا ضدرسوب به آب در داخل واحد را تصفیهٔ داخلی می‌گویند. در صورت کاربرد تجهیزاتی با یک مسیر بسته برای جریان آب مثل تهویهٔ مطبوع خانگی هم، تنها تصفیهٔ داخلی (استفاده از مواد شیمیایی در محل) اقتصادی است.

بحث‌گروهی ۵

تصویر زیر چه پدیده‌ای را نشان می‌دهد؟ آیا علت آن را می‌دانید؟

کف صابون در آب سخت

کف صابون در آب نرم

کاهش سختی موقت آب

یک راه برای کاهش سختی موقت آب آن است که آهک به آب اضافه شود. آهک یا آهک زنده همان کلسیم‌اکسید است که به مقدار فراوان از تجزیهٔ گرمایی سنگ آهک ($CaCO_3$) در کوره به‌دست می‌آید.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

۱ـ Water Conditioning
۲ـ Feasibility Study

آهک با ترکیبات کلسیم و منیزیم ترکیب می‌شود و رسوب‌های کلسیم‌کربنات و منیزیم هیدروکسید تولید می‌کند که خیلی کم محلول هستند. این دو ترکیب با تأمین زمان کافی ته نشین می‌شوند. سپس با استفاده از عملیات صاف کردن آب حاصل، می‌توان آب را کاملاً صاف و زلال کرد.

نکته

منیزیم‌کربنات نسبت به منیزیم‌هیدروکسید بسیار محلول است.

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + Mg(OH)_2$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2\,CaCO_3 + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + Mg(OH)_2 + 2H_2O$$

مشاهده می‌شود که برای حذف هر مول سختی منیزیمی به دو مول آب آهک احتیاج است. چون کربنات منیزیم به مقدار زیادی محلول است ولی منیزیم‌هیدروکسید تقریباً در آب نامحلول است از این رو هدف باید ایجاد رسوب منیزیم‌هیدروکسید باشد.

سختی منیزیمی هم باید به‌صورت منیزیم‌هیدروکسید نامحلول رسوب داده شود. برای این منظور باید یون هیدروکسیل $(OH)^-$ را توسط یک مادهٔ قلیایی مانند NaOH یا $Ca(OH)_2$ وارد نمونه آب کرد.

برای حذف همهٔ کربن‌دیوکسید موجود در آب، اگر مقدار گاز کربنیک از ۲۰ ppm بیشتر باشد، با دمیدن هوا، مقدار آن کاهش داده می‌شود. سپس باقی‌ماندهٔ آن با آب آهک به اندازهٔ کافی حذف می‌شود.

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

فعالیت عملی ۱۰

کاهش سختی موقت آب

مواد و وسایل لازم	
انواع آب‌های در دسترس	قیف شیشه‌ای
محلول بافر آمونیوم‌کلرید + آمونیاک	کاغذ صافی
شناساگر EBT	بورت
محلول EDTA ۰/۰۱ مولار	پی‌پت ۵ و ۲۵ میلی‌لیتری
محلول آب‌آهک	ارلن

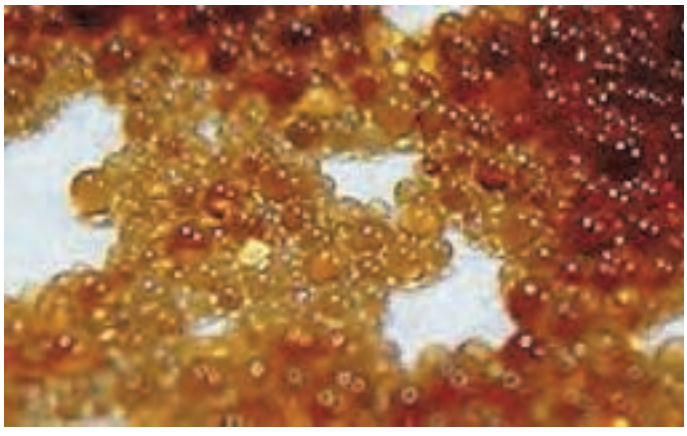
روش کار

۱ مطابق فعالیت عملی ۷، سختی کل آب را اندازه بگیرید.
۲ سپس یک نمونهٔ دیگر از همان آب خام را کم‌کم با آب‌آهک (به حجم تقریبی۲ تا ۳ برابر حجم محلول سود در فعالیت عملی ۷) مخلوط کنید، از کاغذ صافی و قیف عبور دهید و به داخل بالن بریزید.
۳ سختی کل آن را دوباره اندازه بگیرید و نتایج آزمایش‌ها را در جدول زیر ثبت کنید.
۴ مقایسهٔ نتایج چه چیزی را نشان می‌دهد؟

ردیف	نوع آب	سختی کل (ppm)	
		پیش از آهک‌زنی	پس از آهک‌زنی
۱	آب لوله‌کشی		
۲	آب مقطّر		
۳	آب رودخانه		
۴	آب دریا		
۵	آب چاه		
۶	آب استخر		
۷	...		

رزین‌ها

رزین‌ها مواد جامدی هستند که در آب نامحلول هستند، اما می‌توانند یون‌های آب را مبادله کنند. این فرایند یک تعادل شیمیایی است که براساس نیروهای الکترواستاتیک عمل می‌کند. رزین‌ها در تهیهٔ آب آشامیدنی با کیفیت، صنایع دارویی، غذایی، شیمیایی، پتروشیمی، نفتی، گاز(به‌ویژه برای دیگ‌های بخار) و کاغذسازی به‌کار می‌روند (شکل۱۱). رزین‌های تبادلگر یون در دو نوع آنیونی و کاتیونی ساخته می‌شوند و برای تولید آب بدون یون باید از هر دو نوع استفاده کرد.



شکل ۱۱ــ رزین تصفیهٔ آب

پس از این‌که تبادل یون بین سیّال و رزین انجام گرفت و دو طرف به تعادل رسیدند، این فرایند متوقف می‌شود. در این حالت باید رزین را بازیابی کرد. جدول ۶، انواع مادهٔ بازیاب رزین را با توجه به نوع رزین نشان می‌دهد.

جدول ۶ــ انواع مواد بازیاب رزین

نوع رزین	مادهٔ بازیاب
آنیونی ضعیف	سدیم‌کربنات یا سود سوزآور
آنیونی قوی	سود سوزآور رقیق
کاتیونی ضعیف	سولفوریک‌اسید رقیق
کاتیونی قوی	

رزین‌های تبادل یون ضعیف، همهٔ یون‌ها را نمی‌توانند مبادله کنند، اما کاربرد بیشتری دارند و گران‌تر هم هستند. دلیل آن بازدهٔ بیشتر بازیابی آنها (نزدیک به ۱۰۰٪) نسبت به رزین‌های قوی (کمتر از ۴۰٪) است.

نکته

رزین تصفیهٔ آب نباید خشک شود و باید در وضعیت بازیابی شده باشد.

فعالیت عملی ۱۱

استفاده از رزین‌ها در تصفیهٔ آب

مواد و وسایل مورد نیاز	
انواع آب رزین تصفیهٔ آب ۵۰ میلی‌لیتر بافر آمونیوم‌کلرید شناساگر EBT محلول EDTA ۰/۰۱ مولار	استوانهٔ شیشه‌ای سه عدد همزن شیشه‌ای بالن بورت پی‌پت ۵ و ۲۵ میلی‌لیتری ارلن

روش کار

۱ مطابق فعالیت عملی ۷ سختی کل نمونهٔ آب خام را اندازه بگیرید.

۲ رزین تصفیهٔ آب را در یکی از دو ظرف استوانهٔ شیشه‌ای بریزید و با افزودن نمونهٔ دیگری از همان آب خام، با همزن شیشه‌ای آنها را مخلوط کنید.

۳ پس از گذشت ۵ دقیقه، آب ظرف رزین را در ظرف سوم بریزید و سختی کل آن را اندازه‌گیری کنید. نتایج آزمایش را در جدول زیر ثبت کنید.

۴ مقایسهٔ نتایج چه چیزی را نشان می‌دهد؟

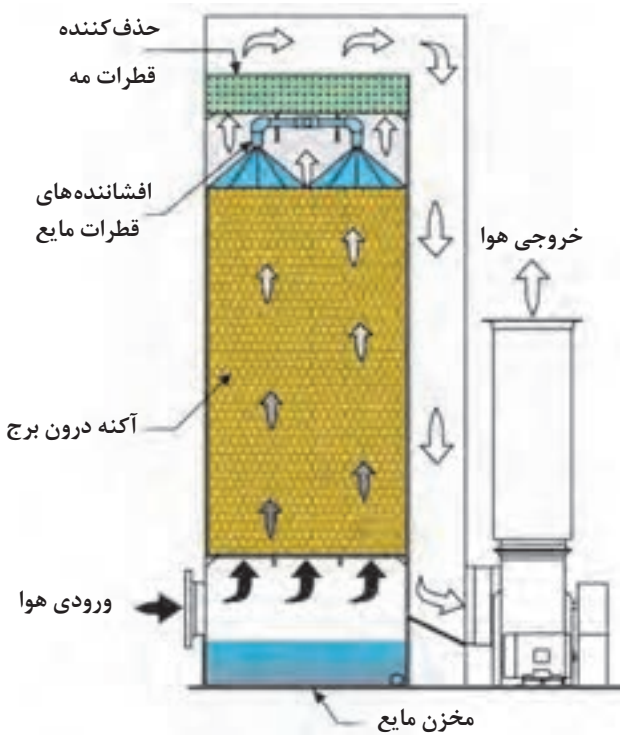
ردیف	نوع آب	سختی کل (ppm)	
		پیش از تصفیه	پس از تصفیه
۱	آب لوله‌کشی		
۲	آب مقطّر		
۳	آب رودخانه		
۴	آب دریا		
۵	آب چاه		
۶	آب استخر		
۷	...		

حذف ناخالصی‌های گازی آب

در اغلب آب‌های زیرزمینی گوگرد به‌صورت H_2S وجود دارد. اگر آب به اندازه کافی قلیایی باشد، حذف کربن‌دیوکسید لازم نیست، چون می‌تواند برای مهار خوردگی و به‌صورت منبعی برای قلیایی بودن بی‌کربناتی به‌کار رود.

روش‌های فیزیکی حذف گازها: روش‌های جداسازی فیزیکی در حجم زیاد آب و غلظت زیاد گاز محلول توجیه اقتصادی دارد. اما حذف گازها در آنها کامل نیست. معمولاً برای جداسازی فیزیکی گازهای CO_2، H_2S و NH_3 روش هوادهی با یک برج آکنده، به همراه یک دمندهٔ هوا استفاده می‌شود (شکل ۱۲). این کار سبب اکسایش برخی از مواد آلی موجود در آب نیز می‌شود. به خاطر اینکه با این روش، مقداری اکسیژن درآب حل می‌شود، باید آن را حذف کرد. در این دستگاه هوازدا، بخار آب با حرکت رو به بالای خود و نیز گرم کردن آب، هوا را از آن خارج می‌کند. حل‌پذیری و غلظت بعضی از گازها، نظیر کربن‌دیوکسید و آمونیاک تابعی از pH آب است. لذا در فرایندهای حذف این گازها، تعیین کیفیت و کنترل pH از اهمّیت ویژه‌ای برخوردار است.

گاززدایی فیزیکی آب به‌ویژه براساس افزایش گرما و کاهش فشار انجام می‌شود.



شکل ۱۲ـ برج آکنده با دمندهٔ هوا

حذف شیمیایی گازها: این روش‌ها به‌ویژه برای تهیهٔ آب‌های صنعتی مورد استفاده، و تکمیل‌کنندهٔ گاززدایی فیزیکی هستند.

روش استفاده از سدیم سولفیت: این طریقهٔ ساده و اقتصادی بسیار متداول است. به دلیل دو طرفه بودن این واکنش، در آب خروجی نیز همیشه باید مقداری سدیم‌سولفیت اضافی موجود باشد. دمای ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس، pH بین ۹ تا ۱۰ بهترین شرایط کاری واکنش است.

$$۲\ Na_۲SO_۳ + O_۲ \rightleftarrows ۲SO_۴Na_۲$$

زلال‌سازی آب

زلال‌سازی عبارت است از کاهش مواد معلّق آب یا فاضلاب (شکل ۱۳). برخی از این مواد می‌توانند ذرّاتی درشت و سنگین باشند؛ در این صورت به سرعت در آب ته‌نشین می‌شوند. بعضی دیگر، ذرّات بسیار ریزی هستند که به کندی از آب جدا می‌شوند (مثلاً ذرّات کلوییدی).

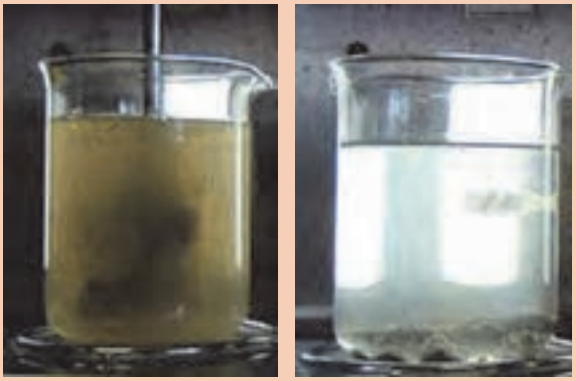
شکل ۱۳ـ حوضچهٔ ته‌نشینی به‌منظور زلال‌سازی آب

اگر طی فرایندهایی، ذرّات بسیار ریز (درحد رنگ و کدری) به‌صورت توده‌هایی به اندازهٔ کافی درشت درآیند، به‌طوری‌که اگر جداسازی آنها با سرعتی معقول و به روش‌های فیزیکی (از قبیل ته‌نشینی[۱]، صاف کردن[۲] و یا شناوری[۳]) انجام‌پذیر شود، انعقادسازی و لخته‌گذاری نامیده می‌شوند. به بیان دیگر، ذرّات بسیار ریز و یا کلوییدی (با قطری حتی کمتر از میکرون) که نسبت سطح به حجم آنها خیلی زیاد است، معمولاً در آب دارای بار الکتریکی منفی هستند. در نتیجه نیروی دافعهٔ بارهای هم‌نام آنها از تجمع آنها با یکدیگر جلوگیری می‌کند. به این ذرّات پایدار می‌گویند. پس، لازم است که این بار الکتریکی و به دنبال آن دافعهٔ الکتریکی ناشی از بارهای هم‌نام، کمتر یا حذف شوند. این کار تا حدی باید انجام شود که نیروی جاذبهٔ بین ذرّات پس از برخورد آنها با هم، موجب اجتماع آنها و بزرگ‌تر شدن تودهٔ آنها شود (ناپایداری ذرّات). این کار انعقادسازی یا لخته‌سازی نامیده می‌شود.

۱ـ Precipitation
۲ـ Filtration
۳ـ Floatation

پرسش ۶

فکر می‌کنید تفاوت دوحالت زیر در تصفیهٔ آب ناشی از چه عاملی باشد؟



کیفیت متفاوت ته‌نشینی در تصفیهٔ آب

سازوکار منعقدکننده‌ها

مواد منعقدکننده با دو روش به انعقادسازی ذرّات در آب کمک می‌کنند، یکی خنثی کردن بخشی از بار الکتریکی ذرّات، و دیگری از طریق ترکیب شدن با مواد قلیایی آب. در کمتر از یک ثانیه مادهٔ منعقدکننده در آب آبکافت می‌شود و یون‌ها و کمپلکس‌های مختلف تشکیل می‌دهد. از بین این‌گونه مواد می‌توان آلومینیم‌سولفات، آهن(II و III) سولفات و آهن(III) کلرید را نام برد.

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4$$
$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2CO_2 + 2H_2O$$

آلومینیم‌هیدروکسید حاصل، ضمن ته‌نشینی، به تعدادی از ذرّات می‌چسبد و آنها را رسوب می‌دهد. تنظیم pH نیز در واکنش دوم لازم است، در غیر این صورت شناوری ذرّات (ناشی از حباب‌های کربن‌دیوکسید) می‌تواند در منعقد شدن ذرّات تأخیر ایجاد کند.

$$4FeSO_4 + 4Ca(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 4CaSO_4 + 8CO_2$$
$$4Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$
$$FeCl_3 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3 + 3HCl$$

چون آهن (II) سولفات برای تولید لخته احتیاج به اکسیژن دارد، برای کاهش اکسیژن محلول در آب می‌توان از مقدار لازم آهن (II) سولفات به همراه آهن (III) سولفات استفاده کرد.

نکته

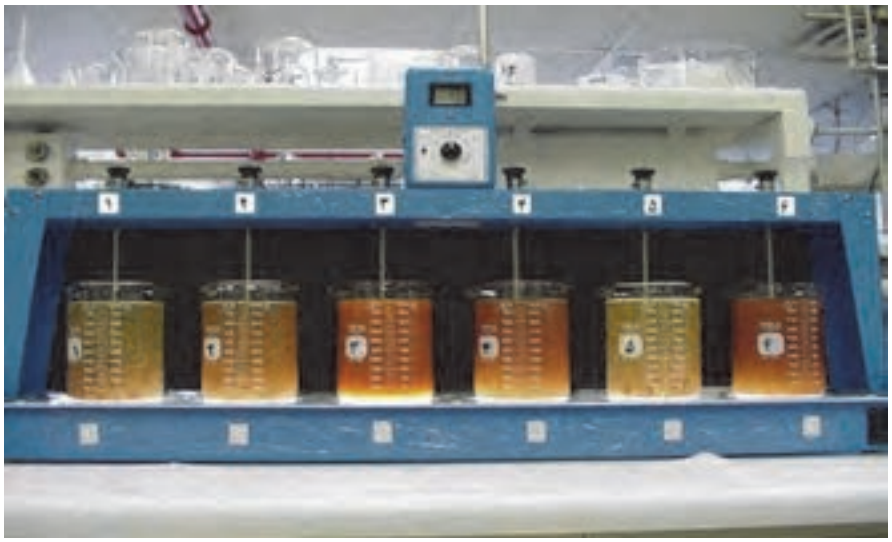
۱ برای تنظیم کیفیت لخته‌های ایجادشده باید pH آب (معمولاً با افزودن آهک، سود سوزآور، سدیم‌کربنات یا آلومینیم‌کلرید) تنظیم و تثبیت شود.
۲ در صورتی‌که رنگ و کدری آب زیاد باشد، منعقدکنندهٔ منیزیم‌اکسید را نیز می‌توان به‌کار برد.
۳ از چند دههٔ پیش، کاربرد منعقدکننده‌های آلومینیم برای تصفیهٔ آب‌های آشامیدنی، به دلیل امکان ایجاد بیماری آلزایمر ـ (فراموش‌کاری) در افراد مسن، خطرناک اعلام شده است. لذا به‌جای آن از آهن(III)کلرید استفاده می‌شود.

لجن حاصل از منعقدکننده‌های معدنی به‌راحتی آب خود را از دست نمی‌دهد. در نتیجه، موجب اخلال در عملکرد تجهیزات فرایندی جداسازی آب (مانند صافی‌های ساده یا گریز از مرکز) می‌شود.

آزمایش جار[1]

این روش برای ارزیابی انعقادسازی در محلول‌هایی با غلظت کمتر از ۵۰۰۰mg/L مواد جامد معلّق به‌کار می‌رود. در شکل ۱۴ این دستگاه دیده می‌شود، که دارای چندین همزن یکسان است و توسط یک موتور می‌چرخند. هر یک از همزن‌ها، نمونهٔ آب درون یک ظرف مدرّج (بشر) را هم می‌زند. حجم آب مورد نظر در هر بشر یکسان است. اگرچه سرعت دورانی همزن‌ها قابل تنظیم است، اما در هر لحظه سرعت دورانی همهٔ آنها یکسان است. پس همهٔ نمونه‌ها در شرایط یکسانی قرار دارند. دستگاه آزمایش جار می‌تواند سنجش تأثیر متغیّرهای مهم را بر انعقادسازی انجام دهد؛ از جمله، نوع و مقدار مادهٔ منعقدکننده، ترتیب افزودن مواد، مدت زمان هم‌زدن، سرعت اختلاط، pH محیط، دمای محیط، اندازهٔ صافی‌های واحد انعقادسازی. روش کار با این تجهیزات این‌گونه است که پس از ریختن مقدار مساوی از نمونهٔ آب مورد نظر در هر ظرف، به هرکدام یک میزان مساوی از یکی از مواد منعقدکنندهٔ مورد مطالعه را می‌افزایند. معمولاً اولین بشر را بدون مادهٔ منعقدکننده و به عنوان «شاهد آزمایش» به‌کار می‌برند. با روشن کردن موتور همزن، همهٔ همزن‌ها آغاز به‌کار می‌کنند. پس از گذشت مدت زمان معیّنی (حدود سه تا پنج دقیقه)، موتور را خاموش کنید تا ته‌نشینی ذرّات درشت‌شده آغاز شود. قضاوت دربارهٔ بهترین مادهٔ منعقدکننده، با توجه به زلال بودن محلول نهایی، سرعت ته‌نشینی و نیز حجم لجن تولیدشده در هر بشر صورت می‌گیرد. با وقوع هر تغییری در تجهیزات یا شرایط کاری واحد انعقادسازی (از جمله تغییرات دمای فصلی)، انجام این آزمایش تکرار می‌شود.

۱ـ Jar Test



شکل ۱۴ـ دستگاه آزمایش جار

فعالیت عملی ۱۲

انجام آزمایش جار

مواد و وسایل مورد نیاز	
ـ آب ـ شن و ماسه نرم (ماسه بادی یا مشابه آن) ـ آلومینیم‌سولفات ـ آهن (II و III) سولفات ـ آهن (III)کلرید ـ ترازوی دقیق	ـ دستگاه آزمایش جار ـ استوانهٔ مدرج ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ـ دماسنج ـ زمان‌سنج ـ تجهیزات لازم برای آزمایش کدری ـ تجهیزات لازم برای آزمایش قلیایی بودن ـ تجهیزات لازم برای آزمایش pH

روش کار:

۱ ابتدا به کمک استوانهٔ مدرّج در هر بشر تا خط نشانه از آب خام بریزید. سپس دما، کدری، میزان قلیایی بودن و pH آن را، سنجش و یادداشت کنید.

۲ همزن دستگاه را روشن کنید. بعد از حدود یک دقیقه که محتویات همهٔ بشرها یکنواخت شود، به هرکدام یک میزان مساوی از یکی از مواد منعقدکنندهٔ مورد مطالعه را بیفزایید.

۳ پس از حدود سه تا پنج دقیقه، موتور همزن را خاموش کنید تا ته‌نشینی ذرّات درشت‌شده آغاز شود.

۴ زلال بودن محلول نهایی، سرعت ته‌نشینی و نیز حجم لجن تولیدشده در هر بشر را در جدولی یادداشت و دربارهٔ نتایج آن بحث کنید.

نکته

برای منعقدکننده در بشر ششم از مخلوط مساوی از آهن (II و III) سولفات استفاده کنید.

شمارهٔ بشر / متغیّر مورد مطالعه	۱ (شاهد)	۲	۳	۴	۵	۶
زلال بودن محلول نهایی						
سرعت ته‌نشینی						
حجم لجن تولیدشده						

تحقیق کنید ۸

کدام‌یک از متغیّرهای زیر روی انعقادسازی اثر مثبت دارد؟

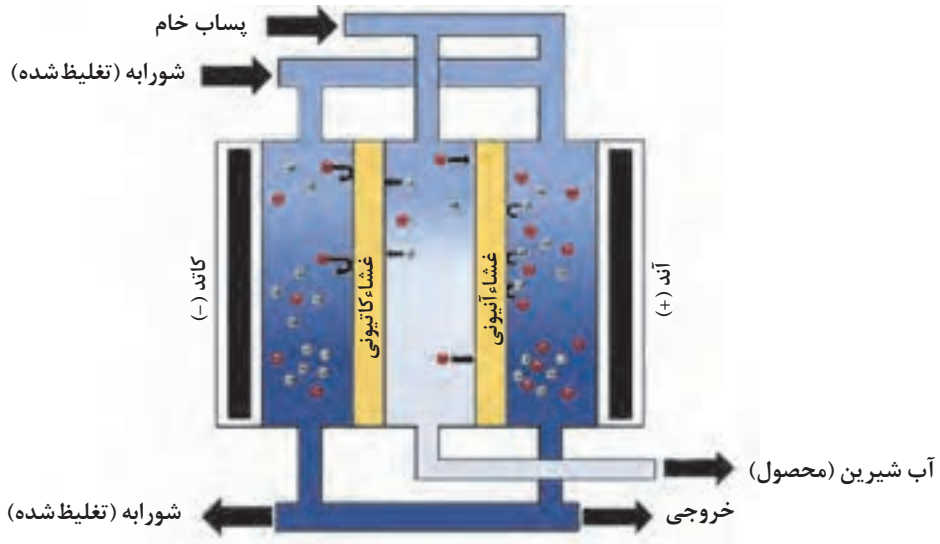
الف) مواد آلی ب) هم‌زدن پ) دمای کم ت) pH کم

صاف کردن و فرایندهای غشایی

با انواع روش‌های جداسازی توسط غشاهای مختلف در سال گذشته آشنا شده‌اید. از آن‌جا که روش اسمز معکوس در تصفیهٔ آب دریا به‌کار می‌رود، محاسن این روش آورده شده است.

۱ صرفه‌جویی مصرف انرژی به‌دلیل تغییر فاز نداشتن
۲ امکان انجام فرایند در دمای کم (برای مواد حساس در برابر دما)
۳ آسانی در افزایش مقیاس
۴ قابلیت تهیهٔ آب آشامیدنی از آب دریا
۵ نیاز به فضای کوچک برای نصب و عملکرد
۶ سرعت انجام فرایند به دلیل نازکی غشا
۷ انعطاف‌پذیری زیاد در اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون
۸ امکان حذف صددرصد باکتری‌ها و ویروس‌ها

فرایند الکترودیالیز یک روش جداسازی غشایی است که یک نیروی محرکه اختلاف پتانسیل برقی را برای انتقال یون‌ها به‌کار می‌برد. این روش در چند دههٔ اخیر به‌منظور تصفیهٔ آب و پساب گسترش یافته است و برای تهیهٔ آب آشامیدنی یا صنعتی از منابعی که TDS کمتر از ۵۰۰۰ ppm دارند، به‌کار می‌رود. اصول کار دستگاه در شکل ۱۵ دیده می‌شود. در این دستگاه الکترودهای مثبت و منفی (توری‌ها) به برق مستقیم متصل هستند و با میدان الکتریکی خود یون‌ها را از درون غشاهای مربوطه عبور می‌دهند. نتیجهٔ این کار جداسازی آب تصفیه شده از محلول اصلی است. محلول اصلی که غلظت محصول در آن کاهش یافته است، از مسیر اولیه خود به بیرون دستگاه می‌رود.



شکل ۱۵ــ فرایند تصفیهٔ آب الکترودیالیزی

فیلم آموزشی

الکترودیالیز

گندزدایی

گندزداها همان مواد ضدعفونی‌کننده هستند که تمام عوامل بیماری‌زا را توسط عوامل فیزیکی و شیمیایی از بین می‌برند. گندزداها به‌طور کلی شامل دو دسته با واکنش شیمیایی (مانند کلر، ازون، کلردیوکسید، برم و ید) و با عملکرد فیزیکی (نظیر استفاده از صافی یا پرتودهی) هستند.

الف) گندزداهای شیمیایی

گندزداهای شیمیایی با اکسایش و پاره کردن دیوارهٔ سلول میکروبی، آنها را می‌کشند و یا با نفوذ درون سلول در کارها و فعالیت‌های حیاتی آنها، اخلال ایجاد می‌کنند.

به دلیل زیادی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گندزداها (مانند نوع و غلظت میکروب‌ها، نوع و غلظت مادهٔ گندزدای مورد مطالعه، کیفیت آب و مدت تماس) بهترین راه برای انتخاب گندزداها، انجام بررسی‌های آزمایشگاهی آب (دما، کدری، pH، مواد آلی) است. ترکیبات آلی با ترکیب شدن با موادگندزدا یا چسبیدن به دیوارهٔ سلول‌های میکروب‌ها در کار گندزدایی اخلال می‌کنند. موادی مانند منگنز، آهن، هیدروژن‌سولفید هم با ترکیب شدن با گندزداها مزاحم عمل گندزدایی می‌شوند.

از خصوصیات ضروری برای گندزداها، می‌توان موارد زیر را برشمرد:

- نداشتن عوارض جانبی و سمیّت برای مصرف‌کننده
- اقتصادی بودن و قابلیت دسترسی
- قدرت ماندگاری کافی در آب
- قدرت کافی باکتری‌کشی

کلرزنی و ضدعفونی‌کننده‌ها

برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها در آب به آن کلر زده می‌شود. میزان کلر آزاد در حدود ۰/۲ mg/L است. مقدار بیش از ۰/۵ mg/L می‌تواند به رزین‌های تصفیهٔ آب صدمهٔ فیزیکی بزند. به این دلیل، آب پیش از ورود به رزین باید، از صافی ذرّات زغال فعال بگذرد. همچنین با اضافه کردن سدیم‌بی‌سولفیت به آب، کلر آزاد تبدیل به یون کلرید می‌شود. کلر تنها نوع ضدعفونی‌کننده نیست، ازون،کلردیوکسید، کلرآمین و هیپوکلریت‌های قلیایی هم برای این مقصود به‌کار می‌روند.

۱ـ کلر: استفاده از این گاز خورنده و خفه‌کننده (در غلظت‌های بیش از ۱۰۰ ppm)، نیاز به تجهیزات و تأسیسات خاص و گران‌قیمت دارد. لذا به‌جای آن از ترکیبات (مایع یا گرد جامد) آن در تصفیه‌خانه‌های کوچک استفاده می‌شود. مزایای آن عبارت‌اند از: ارزانی، سمّی بودن برای اغلب ریزجانداران، قابلیت حل شدن مناسب در آب و اینکه باقیماندهٔ کلر می‌تواند در غلظت‌های قابل قبول از نظر سلامتی انسان، شبکهٔ توزیع آب را به لحاظ زیست‌شناختی محافظت کند. البته وجود H_2S کلر را مصرف می‌کند. واکنش زیر با افزودن کلر به مقدار کافی در آب بدون آمونیاک، انجام می‌گیرد:

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HCl + HClO$$

هیپو کلرو اسید در گسترهٔ pHهای اسیدی، گندزدای مؤثری است.

نکتهٔ ایمنی

هنگام کارکردن با گاز کلر، رعایت ایمنی و احتیاط، اولین اصل است.

۲ـ کلردیوکسید: به‌دلیل خاصیت قوی رنگبری و گندزدایی مؤثرتر از خود کلر، اخیراً متداول شده است، هم‌چنین بوهای نامطبوع تولید نمی‌کند. در نتیجه برای آبهایی که کاربری غذایی دارند، مناسب است. البته به‌دلیل ناپایداری، بلافاصله پس از تهیه باید به مصرف برسد.

$$Cl_2 + 2NaO_2Cl \rightleftarrows 2NaCl + 2ClO_2$$

$$Na_2CO_3 + CaCl(OCl) \rightleftarrows NaOCl + NaCl + CaCO_3$$

۳ــ ازون: این ماده که از تخلیهٔ الکتریکی با ولتاژ زیاد (بیش از ۵۰۰۰ ولت) در هوا یا اکسیژن خشک به‌وجود می‌آید، گندزدای مفید و قوی است و در آب باقی‌مانده‌ای برجای نمی‌گذارد. البته به‌دلیل سمّیت شدید، نباید غلظت آن در محیط کار بیشتر از ۰/۱ ppm بشود. به‌دلیل نداشتن باقی‌مانده‌ای در آب، و برای جلوگیری از رشد دوبارهٔ ریزجانداران، در انتهای تصفیه با ازون، اندکی کلر به آب می‌افزایند. تهیهٔ این ماده گران تمام می‌شود و برخی از مواد آلی یا معدنی با آن مواد مضر تولید می‌کنند.

۴ــ مواد شیمیایی دیگر: نقرهٔ کلوییدی، برم و ید از دیگر گندزداها هستند، که اولی بسیار گران است و فقط در صافی‌های کوچک آب استفاده می‌شود، زیرا برای بیشتر ریزجانداران سمّی است. دو مادهٔ دیگر فقط در گندزدایی آب استخرها مصرف می‌شوند، زیرا باقی‌ماندهٔ آنها کمتر از باقی‌ماندهٔ کلر، سبب سوزش چشم می‌شود.

ب) گندزداهای فیزیکی

۱ــ تابش فرابنفش: این تابش به شرط قرار گرفتن مناسب ریزجانداران در برابر آن گندزدایی مؤثر است. با وجود مزایایی مانند ایجاد نکردن بو و مزهٔ نامطلوب، عملکرد خودکار و با تعمیرات کم، گند زدایی با تابش فرابنفش کامل نیست و هزینهٔ آن زیاد است.

۲ــ گرما: به جز زیادی هزینه یا کاهش گوارایی آب، حذف اکسیژن و نمک‌های محلول آن، اشکال دیگر یا (مواد) باقی‌مانده ندارد.

۳ــ غشاها: این سامانه‌ها می‌توانند ذرّات بین ۰/۰۱ تا ۵ میکرومتر را حذف کنند که مربوط به اغلب ریزجانداران مؤثر در بهداشت و کیفیت آب است.

فعالیت عملی ۱۳

با هماهنگی مسئولان هنرستان خود از یک سازمان تصفیهٔ آب بازدید کنید و گزارش آن را بنویسید.

تمرین‌های پایانی

۱ منابع آب کدام‌اند؟
۲ ناخالصی‌های آب چند دسته هستند؟ هر کدام را به‌طور مختصر توضیح دهید.
۳ تأثیرات زیان‌بخش ناخالصی‌های آب در صنعت را توضیح دهید.
۴ سختی آب چیست؟ انواع آن‌را نام ببرید.
۵ شاخص مواد جامد محلول در آب را شرح دهید.
۶ سختی دائم و موقت چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند؟
۷ شاخص قلیایی بودن آب چیست و به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شود؟
۸ رابطهٔ pH و قلیایی بودن را بیان کنید.
۹ برای سنجش میزان مواد آلی موجود در آب، از چه روش‌هایی استفاده می‌شود؟
۱۰ چه روش‌هایی برای مناسب‌سازی آب وجود دارد؟ به اختصار بیان کنید.
۱۱ رزین‌ها چه موادی هستند؟ چند کاربرد برای آنها بنویسید.
۱۲ ضدعفونی‌کننده‌ها چند دسته هستند و چگونه عمل می‌کنند؟
۱۳ گندزداهای شیمیایی کلر، ازون و نقرهٔ کلوییدی را از نظر کاربرد با یکدیگر مقایسه کنید.
۱۴ سازوکار منعقدکنندهٔ آلومینیم‌سولفات با واکنش شیمیایی را بنویسید.

ارزشیابی شایستگی آزمایش‌های کنترل کیفیت آب

شرح کار:
چگونگی استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی را بداند و کار داده‌شده را با دقت انجام دهد.
هنگام کار مراقب باشد که دستگاه صدمه نبیند.
پس از انجام کار، وسایل را تمیز و سالم در حالت اولیه قرار دهد.

استاندارد عملکرد:

شاخص‌ها:
- رعایت مسائل ایمنی هنگام کار
- انجام کار طبق دستور کار

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط مکان: آزمایشگاه
شرایط دستگاه: تمیز و آماده به کار
زمان: یک جلسهٔ آموزشی
ابزار و تجهیزات: pHسنج، رسانایی‌سنج، دستگاه آزمایش جار، ترازو، وسایل شیشه‌ای آزمایشگاهی، رنگ‌سنج، کدری‌سنج.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	ضرورت انجام کنترل کیفیت آب	۱	
۲	انجام آزمایش‌های فیزیکی آب	۲	
۳	انجام آزمایش‌های شیمیایی آب	۲	
۴	انجام آزمایش‌های زیست‌شناختی آب	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: **۱ـ ایمنی:** انجام کار کارگاهی با رعایت موارد ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی شخصی **۲ـ نگرش :** صرفه‌جویی **۳ـ توجهات زیست‌محیطی:** جلوگیری از صدمه زدن به محیط‌زیست از طریق انجام کار بدون ریخت‌وپاش **۴ـ شایستگی‌های غیرفنی:** ۱ـ اخلاق حرفه ای ۲ـ مدیریت منابع ۳ـ محاسبه و کاربست ریاضی **۵ـ مستندسازی:** گزارش‌نویسی		
	میانگین نمرات		

* کم‌ترین میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.