



دانشگاه ساری
پایه

آلودگی آب و خاک

(رشته علوم و مهندسی محیط زیست)

دکتر لیلا غیرتی آرانی

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	یازده
فصل اول. آب.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ خواص آب.....	۲
۱-۱-۱ خواص فیزیکی.....	۲
۱-۱-۲ خواص شیمیایی.....	۵
۱-۱-۳ خواص بیولوژیکی.....	۹
۱-۱-۴ خواص رادیولوژیکی.....	۹
۲-۱ خواص غیرمعمول آب.....	۱۰
۱-۲-۱ جرم حجمی.....	۱۳
۲-۲-۱ نقطه ذوب و جوش آب.....	۱۳
۳-۲-۱ گرمای ویژه.....	۱۳
۴-۲-۱ گرمای نهان تبخیر.....	۱۳
۵-۲-۱ آب به‌عنوان یک حلال.....	۱۴
۳-۱ چرخه آب.....	۱۴
۴-۱ منابع آب.....	۱۶
۵-۱ میزان و توزیع آب در کشور ایران.....	۱۸
۶-۱ بررسی روند تغییرات منابع آب در ایران.....	۱۹
۷-۱ کنترل منابع آب در ایران.....	۲۱
خلاصه فصل اول.....	۲۱
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....	۲۲

۲۳	فصل دوم. آلودگی آب.....
۲۳	هدف کلی.....
۲۳	هدف‌های یادگیری.....
۲۳	مقدمه.....
۲۴	۱-۲ آلودگی آب.....
۲۶	۲-۲ آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی.....
۲۹	۳-۲ طبقه‌بندی منابع آلاینده آب.....
۲۹	۲-۳-۱ منابع آلاینده نقطه‌ای.....
۳۰	۲-۳-۲ منابع آلاینده غیرنقطه‌ای.....
۳۱	۴-۲ طبقه‌بندی منابع آلودگی آب براساس منشأ.....
۳۱	۲-۴-۱ آلودگی ناشی از فاضلاب شهری.....
۳۳	۲-۴-۲ آلودگی ناشی از پساب‌های صنعتی.....
۳۵	۳-۴-۲ آلودگی ناشی از پساب‌های کشاورزی.....
۳۶	۴-۴-۲ آلودگی ناشی از افزایش حرارت، مواد رادیواکتیو و هیدروکربن‌ها در آب.....
۳۸	۵-۲ آلاینده‌های آب.....
۳۸	۲-۵-۱ عوامل بیماری‌زا.....
۴۱	۲-۵-۲ مواد آلی مصنوعی.....
۴۱	۳-۵-۲ مواد مغذی گیاهی.....
۴۲	۴-۵-۲ نفت.....
۴۴	۵-۵-۲ مواد معدنی.....
۴۵	۶-۵-۲ مواد معلق و رسوبات.....
۴۶	۷-۵-۲ مواد رادیواکتیو.....
۴۶	۸-۵-۲ حرارت و گرما.....
۴۷	۶-۲ فاضلاب و انواع آن.....
۴۷	۱-۶-۲ فاضلاب کشاورزی.....
۴۸	۲-۶-۲ فاضلاب‌های صنعتی.....
۴۹	۳-۶-۲ فاضلاب خانگی.....
۴۹	۷-۲ اثرات ناشی از فاضلاب.....
۵۰	۸-۲ مزایای استفاده از پساب.....
۵۰	۹-۲ اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی آب.....
۵۰	۲-۹-۱ اکسیژن محلول در آب (DO).....
۵۱	۲-۹-۲ تقاضای بیولوژیکی اکسیژن BOD.....
۵۲	۳-۹-۲ تقاضای شیمیایی اکسیژن (COD).....
۵۲	۴-۹-۲ کربن آلی کل (TOC).....
۵۳	۵-۹-۲ ترکیبات غیرآلی.....
۵۳	خلاصه فصل دوم.....
۵۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم.....

۵۵	فصل سوم. مدیریت و کنترل آب.....
۵۵	هدف کلی.....
۵۵	هدف‌های یادگیری.....
۵۵	مقدمه.....
۵۵	۱-۳ گندزدایی آب.....
۵۶	۱-۱-۳ روش‌های فیزیکی.....
۵۷	۲-۱-۳ روش‌های شیمیایی.....
۵۷	۲-۳ تصفیه آب.....
۵۷	۱-۲-۳ پیش تصفیه.....
۵۸	۲-۲-۳ تصفیه اصلی.....
۶۳	۳-۳ تصفیه فاضلاب.....
۶۳	۱-۳-۳ تصفیه فیزیکی.....
۶۴	۲-۳-۳ تصفیه زیستی.....
۶۵	۳-۳-۳ تصفیه شیمیایی.....
۶۵	خلاصه فصل سوم.....
۶۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم.....
۶۷	فصل چهارم. آلودگی آب آشامیدنی.....
۶۷	هدف کلی.....
۶۷	هدف‌های یادگیری.....
۶۷	مقدمه.....
۶۸	۱-۴ استانداردهای اولیه آب آشامیدنی.....
۷۰	۲-۴ حذف میکروب‌ها از آب آشامیدنی.....
۷۰	۳-۴ محصولات زائد ناشی از ضدعفونی کردن.....
۷۰	۴-۴ حذف DBPS.....
۷۱	۵-۴ گندزدهای جانشین.....
۷۱	۱-۵-۴ کلردی اکسید.....
۷۱	۲-۵-۴ کلرآمین.....
۷۱	۳-۵-۴ ازن.....
۷۲	۴-۵-۴ UV.....
۷۲	۵-۵-۴ تقطیر.....
۷۲	۶-۴ راه‌های کاهش نیاز به گندزدایی.....
۷۲	۷-۴ نیترات، دومین خطر برای سلامتی.....
۷۳	۸-۴ آرسنیک، بزرگ‌ترین مسمومیت جمعی تاریخ.....
۷۴	۱-۸-۴ سمیت آرسنیک.....
۷۵	۲-۸-۴ کاهش ریسک آرسنیک.....
۷۵	۳-۸-۴ حذف آرسنیک از آب.....
۷۶	۹-۴ استانداردهای آلاینده‌های ثانویه آب آشامیدنی.....

۷۶	۱۰-۴ یکی از بزرگ‌ترین خطرات برای سلامتی انسان.....
۷۸	۱۱-۴ آب آلوده و کمبود آب.....
۷۹	۱۲-۴ چرا عمداً آب را با فاضلاب‌ها آلوده می‌کنیم؟.....
۸۰	۱۳-۴ سرویس‌های بهداشتی جایگزین.....
۸۰	۱۴-۴ تصفیه فاضلاب به‌عنوان یک منبع ارزشمند.....
۸۱	۱۵-۴ بهداشت محیطی (اکولوژیکی).....
۸۱	۱۶-۴ روش‌های POU برای تصفیه آب آشامیدنی.....
۸۲	۱-۱۶-۴ فیلتر سرامیکی.....
۸۲	۲-۱۶-۴ PUR.....
۸۲	۳-۱۶-۴ سیستم خورشیدی.....
۸۲	۴-۱۶-۴ سیستم آب سالم (SWS).....
۸۳	۵-۱۶-۴ قرص‌های تصفیه‌کننده آب.....
۸۳	۶-۱۶-۴ محصولات تجاری.....
۸۳	۱۷-۴ ظهور آلاینده‌های آب شرب.....
۸۴	۱۸-۴ حفظ سلامت آب شرب.....
۸۴	۱-۱۸-۴ گروه‌های حساس.....
۸۶	۲-۱۸-۴ آب شرب بسته‌بندی‌شده.....
۸۸	خلاصه فصل چهارم.....
۸۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....
۹۱	فصل پنجم. آلودگی آب و اثرات آن.....
۹۱	هدف کلی.....
۹۱	هدف‌های یادگیری.....
۹۱	مقدمه.....
۹۲	۱-۵ اثر آلودگی آب بر سیستم‌های طبیعی.....
۹۲	۲-۵ اثر آلودگی آب بر انسان.....
۹۳	۳-۵ اثر آلودگی آب بر کشاورزی.....
۹۴	۴-۵ اثرات آلودگی نفتی بر ابعاد مختلف محیط‌زیست.....
۹۴	۱-۴-۵ انتشار نفت.....
۹۶	۲-۴-۵ سرنوشت نفت در محیط‌های دریایی.....
۹۸	۳-۴-۵ اقدامات مبارزه‌ای با انتشار نفت.....
۹۸	۴-۴-۵ تکنولوژی زیستی در تصفیه لجن (رسوبات) مواد نفتی، انتشار و آلودگی نفت.....
۹۹	۵-۴-۵ کنترل انتشار نفت.....
۱۰۰	۶-۴-۵ اثرات مواد نفتی خام بر روی سیستم زنده دریا.....
۱۰۱	۷-۴-۵ اثرات آلودگی نفتی بر خاک و گیاهان.....
۱۰۲	خلاصه فصل پنجم.....
۱۰۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم.....

فصل ششم. استانداردهای آب.....	۱۰۳
هدف کلی.....	۱۰۳
هدف‌های یادگیری.....	۱۰۳
مقدمه.....	۱۰۳
۱-۶ استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی.....	۱۰۴
۱-۱-۶ استاندارد فیزیکی و شیمیایی.....	۱۰۴
۲-۱-۶ استانداردهای بیولوژیکی.....	۱۰۶
۳-۱-۶ استانداردهای رادیولوژیکی.....	۱۰۶
۲-۶ استانداردهای کیفی آب صنایع.....	۱۰۷
۳-۶ میزان استاندارد آلاینده‌ها در فاضلاب‌های صنعتی.....	۱۰۹
۴-۶ استانداردهای کیفی آب‌های زراعی.....	۱۱۱
خلاصه فصل ششم.....	۱۱۲
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم.....	۱۱۲
فصل هفتم. خاک، خواص، تشکیل، تکامل و وظایف آن.....	۱۱۵
هدف کلی.....	۱۱۵
هدف‌های یادگیری.....	۱۱۵
مقدمه.....	۱۱۵
۱-۷ تعریف خاک.....	۱۱۶
۲-۷ تشکیل خاک.....	۱۱۷
۱-۲-۷ اتمسفر.....	۱۱۷
۲-۲-۷ لیتوسفر.....	۱۱۷
۳-۲-۷ بیوسفر.....	۱۱۸
۴-۲-۷ زمان.....	۱۱۸
۵-۲-۷ توپوگرافی.....	۱۱۹
۶-۲-۷ آب‌های زیرزمینی.....	۱۱۹
۳-۷ خاک پالاینده‌ای طبیعی.....	۱۲۰
۱-۳-۷ فیزیکی.....	۱۲۰
۲-۳-۷ شیمیایی.....	۱۲۰
۳-۳-۷ بیولوژیکی.....	۱۲۰
۴-۷ وظایف خاک.....	۱۲۰
خلاصه فصل هفتم.....	۱۲۱
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم.....	۱۲۱
فصل هشتم. آلودگی خاک.....	۱۲۳
هدف کلی.....	۱۲۳
هدف‌های یادگیری.....	۱۲۳

۱۲۳	مقدمه
۱۲۴	۸-۱ آلودگی خاک
۱۲۴	۸-۲ آلوده‌کننده‌های خاک
۱۲۵	۸-۲-۱ مواد سمی غیرآلی
۱۲۶	۸-۲-۱-۱ آرسنیک
۱۲۷	۸-۲-۲-۱ کادمیوم
۱۲۸	۸-۲-۳-۱ سرب
۱۲۹	۸-۲-۴-۱ مس، نیکل، و روی
۱۳۰	۸-۲-۵-۱ سیانیدها
۱۳۰	۸-۲-۶-۱ سولفات‌ها
۱۳۱	۸-۲-۲ مواد زائد آلی
۱۳۲	۸-۲-۳ آفت‌کش‌های آلی
۱۳۴	۸-۲-۴ رادیو نوکلیدها
۱۳۴	۸-۳ منابع آلودگی خاک
۱۳۴	۸-۳-۱ منابع غیرکشاورزی
۱۵۴	۸-۳-۲ منابع کشاورزی
۱۶۳	۸-۴ نقش سموم بر روی موجودات زنده خاک
۱۶۳	خلاصه فصل هشتم
۱۶۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم
۱۶۵	فصل نهم. کنترل و مدیریت آلودگی خاک
۱۶۵	هدف کلی
۱۶۵	هدف‌های یادگیری
۱۶۵	مقدمه
۱۶۶	۹-۱ قانون جلوگیری از آلودگی خاک
۱۶۶	۹-۱-۱ مروری بر قانون آلودگی در سطح ملی
۱۶۷	۹-۱-۲ اقدامات جهانی قانون آلودگی خاک
۱۶۹	۹-۲ قوانین آلودگی خاک
۱۷۱	۹-۳ راه‌کارهای مدیریت و کنترل آلودگی خاک
۱۷۵	خلاصه فصل نهم
۱۷۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل نهم
۱۷۷	پاسخنامه
۱۷۹	منابع

پیشگفتار

در سال‌های اخیر، مردم با کلمه آلودگی و محیط‌زیست مأنوس هستند و همه می‌دانند که تنها عامل سالم و زنده ماندن انسان‌ها، داشتن محیط‌زیست سالم و بهداشتی است و باید به‌منظور داشتن زندگی سالم، حفاظت از محیط‌زیست نهادینه شود. بالطبع تا زمانی که عوامل زیست‌محیطی و همچنین عوامل آلاینده آن شناخته نشود، مراقبت شایسته صورت نخواهد پذیرفت.

از آنجایی که کشاورزی بدون داشتن آب و خاک سالم (آب و خاک، دو فاکتور از سه فاکتور اصلی زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود) خطراتی برای سلامتی انسان به بار خواهد آورد. به همین منظور در این کتاب، دانشجویان کشاورزی ابتدا با ساختار و وضعیت دو فاکتور محیطی (آب و خاک) و همچنین عوامل آلاینده آن‌ها آشنا می‌شوند، و سپس روش‌های کنترل و مدیریتی آلودگی آب و خاک به‌صورت جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد.

در پایان، امید می‌رود تا با در اختیار قراردادن آگاهی‌های زیست‌محیطی لازم در بین دانشجویان، زمینه اصلی اشاعه فرهنگ زیست‌محیطی در بین اقشار دیگر جامعه فراهم آید.

لیلا غیرتی آراتی

تابستان ۹۶

فصل اول

آب

هدف کلی

آشنایی با آب، خواص، منابع و توزیع آن

هدف‌های یادگیری

در این فصل، دانشجو باید بتواند:

۱. توزیع آب و تغییر روند آن را در کشور ایران توضیح دهد.
۲. چرخه آب و منابع آب را بیان کند.
۳. خواص معمول و غیرمعمول آب را توضیح دهد.

مقدمه

شصت درصد وزن بدن انسان بالغ را آب تشکیل می‌دهد. آب، نقش اساسی در رساندن مواد غذایی به بافت‌ها، سلول‌ها و دفع سموم بدن دارد. همچنین در رساندن مواد غذایی اخذشده توسط ریشه گیاهان به سایر اندام‌ها نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند. آب در کره زمین مصارف گوناگونی دارد؛ مثل آشامیدن، به عمل آوردن محصولات کشاورزی، به گردش درآوردن صنایع، تولید نیرو و نیز پرورش موجودات دریایی که بیشتر آن‌ها برای انسان جنبه غذایی دارند. وجود آب می‌تواند باعث بالارفتن بهداشت در یک محیط و یا موجب بروز انواع بیماری شود؛ زیرا آب، خود ناقل میکروب‌ها نیز هست.

۱-۱ خواص آب

اهمیت آب در زندگی موجودات زنده ناشی از خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد آن است. هرچند اکثر ویژگی‌های غیر معمول آب در قرن نوزدهم شناخته شده بودند، اما در اوایل قرن بیستم نیز اهمیت خواص ویژه آب در دستور کار دانشمندان بود. بالین وجود، هنوز هم در مورد ساختمان آب و برخی ویژگی‌های آن، سؤالات بسیاری مطرح است که پاسخ دقیقی برای آن‌ها وجود ندارد. بدون شک در بین مواد موجود در کره زمین، آب دارای بیشترین خواص غیر عادی و منحصر به فرد است.

آب بر حسب توانایی، مواد معدنی را به مقادیر مختلف به صورت محلول و معلق در خود نگاه می‌دارد. بسیاری از مواد آلی در آب حل شده یا به صورت کلوئید درمی‌آیند. برخی حالات غیر متعارف در خواص آب دیده می‌شود. برای مثال، آب به صورت یک مولکول H_2O وجود ندارد، بلکه ماده مرکب آن وجود دارد. آب به علت قدرت حلّالیت زیاد و حفظ زندگی ارگانیسم‌های آبی، یکی از ترکیباتی است که به آسانی به صورت خالص در نمی‌آید.

۱-۱-۱ خواص فیزیکی

اغلب توجه چندانی به خواص فیزیکی آب نمی‌شود؛ در صورتی که نقش مهمی در مصرف آب دارد. درجه حرارت، لزجت، وزن مخصوص، رنگ و کدورت، خواص فیزیکی مهم آب هستند.

• **درجه حرارت:** از خصوصیات مهم فیزیکی آب، درجه حرارت است که می‌تواند بر بسیاری از خواص دیگر آب تأثیر بگذارد. به طوری که هر عاملی که بتواند درجه حرارت آب را تغییر دهد، می‌تواند به میزان زیادی بر وضعیت زندگی موجودات زنده آب تأثیر گذار باشد.

یکی از مسائل مهم در گرمایش جهانی، همین گرم شدن یا افزایش دمای آب‌ها است. با افزایش دمای آب از یک طرف اکسیژن محلول در آب کاهش می‌یابد و از طرف دیگر بازه دمایی قابل تحمل موجودات زنده کاهش می‌یابد و به دنبال آن، موجودات زنده آبی مانند ماهی‌ها به منظور حفظ زندگی خود، به طرف آب‌های سردتر مهاجرت می‌کنند و یا از بین می‌روند و این وضعیت، خطر بزرگی برای محیط زیست محسوب می‌شود.

آب ۳

لاشه دلفین‌ها و ماهی‌ها به یکی از مشخصه‌های سواحل استرالیای جنوبی تبدیل شده که علت اصلی آن گرم شدن آب دریاها است. تصویر ۱-۱ مرگ ماهی‌ها را در سواحل آمریکا بر اثر گرما نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱. مرگ هزاران ماهی در اثر موج شدید گرما در «میدوست» آمریکا

- **وزن مخصوص:** آنچه مانع اختلاط آب لایه‌های مختلف و در نتیجه سبب اختلاف کیفیت آب طبقات دریاچه‌ها و برکه‌های عمیق می‌شود، تغییرات جزئی وزن مخصوص آب در حرارت‌های متفاوت متغیر است. مثلاً وزن مخصوص آب در صفر، چهار و بیست و دو درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۰/۹۹۹۸۷، ۱ و ۰/۹۹۷۸۰ است. به عبارتی این اختلاف وزن مخصوص مانع به گردش درآوردن آب به وسیله باد شده، در نتیجه اکسیژن هوا در آب حل نشده و همین کمبود اکسیژن موجب نزول کیفیت آب می‌شود.
- **رنگ:** رنگ آب ممکن است ناشی از مواد آلی محلول یا کلوئیدی و یا مواد معدنی باشد. اشکال معدنی رنگ آب معمولاً به علت آهن و منگنز است. آب عاری از اکسیژن که اغلب در آب‌های زیرزمینی دیده می‌شود، ایجاد یک محیط احیاءکننده می‌کند که حلالیت آهن و منگنز خیلی افزایش می‌یابد. بعد از انتقال آب به وسیله پمپ به سطح زمین، اکسیژن در آب حل شده، در نتیجه رسوب آهن و منگنز به ترتیب موجب پدید آمدن آب قرمز و آب آبی می‌شود. آب رنگی موجب رنگی شدن اتصالات و ظروف چینی می‌شود. اغلب در تصفیه آب‌های زیرزمینی لازم

است که مقدار آهن و منگنز تا حد قابل قبول کاهش داده شود. فساد گیاهان و نشت مواد آلی آن‌ها به محیط، اغلب منبع رنگ آب است. در فصل پاییز، برگ درختان به رودخانه‌ها ریخته و مواد رنگی آن‌ها وارد آب می‌شود. جریان مرداب‌ها به رودخانه‌ها، سبب رنگی شدن آب رودخانه‌ها شده که برای مصارف شهری و صنعتی نامناسب هستند. رنگ‌های آلی اغلب به صورت کلوئیدی در آب هستند و فرایند تصفیه، مانند انعقاد، نور خورشید و گندزدایی، رنگ آب را کاهش می‌دهد. رنگ آب معمولاً به واحد هازن که همان مقیاس پلاتین- کبالت است بیان می‌شود.

- **تیرگی آب:** معمولاً کدورت به وسیله اندازه ذرات معلق که در حد کلوئیدی است، مشخص شده و سرعت ته نشینی در حدود فوت در ساعت یا روز است. بار الکتریکی سطح ذرات معلق، رفتار آن‌ها را کنترل می‌کند؛ به طوری که فرایند چسبیدن ذرات به یکدیگر و تشکیل ذرات درشت‌تر در مدت کوتاه را سبب می‌شوند، یا به تعویق می‌اندازند.

پوشش گیاهی سطح زمین، کشت و زرع، سیل و تکرار بارندگی به میزان زیادی بر کدورت آب‌های سطحی مؤثر است.

- **گرانروی یا ویسکوزیته:** لزوجت یعنی درجه مقاومت مولکول‌ها در مقابل نیروهایی که می‌خواهند باعث تغییر شکل آن‌ها شوند. گرانروی یا لزوجت آب بالاست. لزوجت از درجه اصطکاک داخلی ناشی شده و بر حسب دین - ثانیه بر سانتی مترمربع یا پواز توصیف می‌شود. لزوجت آب با درجه حرارت تغییر می‌کند؛ به طوری که مقدار آن در آب ۱۰ درجه $10.13/0 \text{ gr} \cdot \text{cm} - 10 \text{ s} - 10.549/0$ بوده و در آب ۵۰ درجه $10.549/0 \text{ gr} \cdot \text{cm} - 10 \text{ s}$ است. ویسکوزیته آب کاملاً بر فرایندهای تصفیه اثر می‌گذارد؛ به طوری که انعقاد، ته نشینی و صاف کردن در زمستان، آهسته‌تر از تابستان انجام می‌گیرد.

- **بو و طعم:** بوی آب قاعداً باید ارتباط نزدیکی با طعم آن داشته باشد. در صورتی که عوامل غیرفراری، مانند کلرور سدیم، وجود دارند که با تأثیر بر روی طعم آب، هیچ گونه اثری بر بوی آن ندارند. عوامل مختلفی مانند جلبک‌ها، تجزیه گیاهان آبزی، ترکیبات ناشی از کلرینه کردن آب (کلروفل‌ها) و آب‌های راکد انتهای سیستم توزیع آب در ایجاد طعم و بوی آب مؤثرند.

۱-۱-۲ خواص شیمیایی

آب به عنوان یک ماده شیمیایی بسیار حائز اهمیت است؛ چراکه در واکنش‌های شیمیایی، مانند دی‌اکسیدکربن و نیترات در متابولیسم نیتروژن، نقش اساسی دارد و به‌طور کلی می‌توان گفت که انجام اکثر واکنش‌های شیمیایی بدون آب امکان‌پذیر نیست. مقدار و نوع مواد شیمیایی محلول در آب، بسیار متنوع و بدون متغیر است (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱. مواد محلول در آب‌های خوراکی

ترکیبات اصلی ^۱ (ppm) ۱-۱۰۰۰	ترکیبات ثانوی (ppm) ۰.۱-۱	ترکیبات کمتر (ppm) 0/01-0/001	عناصر جزئی (ppm) کمتر از ۰/۰۰۱
سدیم	آهن	آنتیموان	بریلیوم
کلسیم	استرانسیم	آلومینیوم	بیسموت
منیزیم	پتاسیم	آرسنیک	سزیوم
سیلیس	کربنات	باریم	گالیم
بی‌کربنات	نیترات	برم	طلا
سولفات	فلوئور	کادمیم	ایندیم
کلرور	بر	کرم	لانتانوم
		کبالت	نیوبوم
		مس	روتینوم
		ژرمانیوم	نقره
		ید	اسکاندیم
		روی	تالیم
		لیتیم	توریم
		منگنز	قلع
		مولیبدن	تنگستن
		نیکل	تربوم
		فسفات	زیرکونیم
		روبیديوم	پلاتین
		سلنیوم	رادیوم

ppm: قسمت در میلیون

- هدایت الکتریکی^۲ (EC): هدایت الکتریکی آب، عبارت‌است از قابلیت عبور الکتریسیته آب که به‌صورت عکس مقاومت توصیف می‌شود. واحد EC در سیستم متریک، مهو بر

1. Part Per Million
2. Electrical Conductivity

سانتی متر (mho/cm) و در سیستم بین‌المللی، زیمنس بر متر (S/m) است. اگر آب خالص باشد، به صورت ضعیفی جریان برق را از خود عبور می‌دهد، ولی اگر آب، محتوی نمک باشد، می‌تواند جریان برق را (متناسب با غلظت نمک موجود در آن) به خوبی از خود عبور دهد؛ زیرا الکترولیت‌ها در مجاورت با آب تجزیه شده و به صورت یون‌های باردار در می‌آیند. یون‌ها نیز قادرند جریان برق را هدایت کنند؛ به طوری که هر چه غلظت نمک‌ها در آب زیادتر باشد، هدایت جریان الکتریکی نیز زیادتر خواهد بود.

- **هدایت گرمایی:** آب در مقایسه با سایر مایعات، برای گرما رسانای خوبی به شمار می‌رود. ضریب هدایت گرما در آب در مقایسه با فلزات اندک است. اگر هدایت گرما را برحسب مقدار گرمایی تعریف کنیم، در هر ثانیه از یک طرف میله‌ای به طول یک سانتی متر و سطح مقطع یک سانتی متر مربع به طرف دیگر میله انتقال می‌یابد و تفاوت دمای دو طرف میله نیز یک درجه سانتی‌گراد باشد، مقدار آن در مورد آب حدود $100144/0^{\circ}\text{C}-10\text{ s}-10\text{ cm cal}$ است؛ درحالی که این مقدار برای فلزی مانند مس $0/918$ است که 1000 مرتبه بزرگ‌تر از آن است. صدمه دیدن برخی گیاهانی که در اوایل بهار کشت می‌شوند، می‌تواند به رسانش گرما بستگی داشته باشد. موارد زیادی وجود دارد که مشاهده شده است ایجاد برخی تغییرات در سطح خاک، باعث یخ‌زدگی تابشی گیاهان ردیفی می‌شود. مثلاً شخم زدن ردیف‌های کشت باعث می‌شود که رسانش گرما در خاک کاهش یافته و در نتیجه گرمایی که در لایه‌های زیرین خاک ذخیره شده است نتواند از خاک خارج شده و از سرمازدگی تابشی جلوگیری کند. هنگامی که سطح خاک با وسیله‌ای شخم زده می‌شود، علاوه بر ذرات خاک، لوله‌های پیوسته به هم آب نیز در خاک شکسته شده و لذا جلوی مقدار گرمایی را که به همراه آب می‌توانست به سطح خاک منتقل شود، گرفته می‌شود.

- **کل جامدات محلول^۱ (TDS):** اگر جامدات غیر محلول آب از طریق فیلتر کردن از آب جدا شود و سپس آب باقی‌مانده که تمامی مواد محلول را در خود دارد، تبخیر شود و در نهایت مواد باقی‌مانده تبخیر وزن و تعیین مقدار شود، این مقدار معرف کل جامدات محلول در آب (TDS) است که این مواد محلول ممکن است آلی و یا

1. Total Dissolved Solid

غیرآلی باشد. مواد غیرآلی محلول در آب شامل مواد معدنی، فلزات و گازها هستند و مواد حاصل از تجزیه گیاهان، مواد شیمیایی آلی و گازهای آلی، اجزای آلی محلول آب هستند. حداکثر مقدار قابل قبول ۵۰۰ میلی گرم در لیتر آب است.

- **pH:** غلظت یون هیدروژن در مقیاس pH که از صفر تا ۱۴ است، اندازه گیری می شود. غلظت کم یون هیدروژن، مانع اثر خوردگی آب شده و غلظت زیاد یون هیدروژن اثر خوردگی آب را افزایش می دهد. از آنجایی که جلبک ها برای فتوسنتز از دی اکسید کربن که به صورت اسید کربنیک در آب وجود دارد، استفاده می کنند، فعالیت آن ها سریعاً pH آب را تا حدود ۱۰ افزایش می دهد و کربنات کلسیم در این pH رسوب کرده و تشکیل یک لایه آهکی در قعر دریاچه را می دهد. اسیدیته فاضلاب معادن به علت تشکیل اسید سولفوریک، بالا بوده و اغلب رودخانه های آلوده با چنین فاضلابی کاملاً عاری از موجودات زنده هستند؛ زیرا که pH آب، کاهش یافته و اسیدی می شود.

- **سختی:** سختی آب عبارت است از بخشی از مواد و فلزات محلول در آب که ماهیت رسوبی دارند. وجود املاح یا فلزاتی مانند کاتیون های منیزیم، کلسیم، استرانسیوم، آهن، آلومینیوم، منگنز و مس که به صورت محلول در آب وجود دارند، باعث ایجاد سختی در آب می شوند.

براساس نوع مواد اشاره شده، سختی آب به عنوان سختی کل، به دو نوع سختی موقت (سختی کربناتی) و سختی دائم (سختی غیرکربناتی) طبقه بندی می شود. سختی موقت، شامل موادی می شود که در اثر جوشاندن آب ته نشین شده و جرم داخل ظروف را که به املاح کربنات و بی کربنات کلسیم و منیزیم مربوط می شود، تشکیل می دهد. سختی دائم به واسطه وجود عناصری چون سولفات و کلورهای منیزیم و کلسیم که در اثر جوشاندن رسوب نمی کنند، پدید می آید. معمولاً سختی به میلی گرم در لیتر برحسب کربنات کلسیم بیان می شود.

یک نوع مقایسه سختی آب ها به شرح جدول ۱-۲ است.

- **قلیائیت^۱:** قلیائیت به مقدار یون های موجود در آب گفته می شود که بر اثر واکنش با یون هیدروژن آن را خنثی می کند. بدین طریق قلیائیت، میزان توانایی آب برای خنثی کردن اسیدها است.

جدول ۱-۲. مقایسه سختی آب‌ها

نوع آب	میزان سختی (میلی‌گرم در لیتر برحسب کربنات کلسیم)
سبک	۰-۶۰
نسبتاً سخت	۶۰-۱۲۰
سخت	۱۲۱-۱۸۰
خیلی سخت	بیش از ۱۸۰

گلکار و فرهنگد. ۱۳۸۹

اکثر قریب به اتفاق اجزای قلیائیت را بی‌کربنات (HCO_3^-)، کربنات (CO_3^{2-}) و هیدروکسید (OH^-) تشکیل می‌دهند. علاوه بر معدنی‌بودن ریشه آن‌ها، این مواد می‌توانند از دی‌اکسیدکربن که جزئی از اتمسفر و حاصل تجزیه میکروبی مواد آلی است، سرچشمه بگیرند. اگر مقدار دی‌اکسیدکربن به دلایلی در آب بالا باشد، در pH حدود ۱۱/۵ تبدیل به کربنات، در pH حدود ۸/۵ تبدیل به بی‌کربنات و در pH حدود ۴/۵ به‌صورت دی‌اکسیدکربن باقی می‌ماند.

آنیون‌های تشکیل‌دهنده قلیائیت HCO_3^- ، CO_3^{2-} و OH^- نمی‌توانند همزمان در آب وجود داشته باشند؛ زیرا هیدروکسید در pH بالاتر از ۱۰/۵، بی‌کربنات در pH کمتر از ۱۰ و غلظت کربنات در pH بیشتر از ۱۰ حضور دارند.

قلیائیت در مقادیر زیاد، طعم تلخی به آب می‌دهد. در عین حال، نگرانی اساسی در مورد آب قلیائی، واکنش‌هایی است که می‌تواند باعث مسدودشدن لوله‌ها و دیگر ملزومات شبکه آبرسانی شود.

- **انباشتگی آب^۱:** به تجمع یا انباشته‌شدن بیش از حد مواد غذایی (نیترژن و فسفر) در آب، انباشتگی یا یوتروفیکاسیون گفته می‌شود. ازت و فسفر که عمدتاً همراه آب‌های جاری وارد آب می‌شوند، غذای اصلی جلبک‌ها بوده و در صورت ازدیاد آن‌ها در آب، موجب تسریع رشد آن‌ها می‌شود. این تجمع و به دنبال آن ازدیاد رشد جلبک‌ها اثر ویژه‌ای بر کیفیت آب سدها و دیگر مناطق آبی می‌گذارد. این اثرات، شامل موارد زیر است:

– ایجاد بو و مزه خاص در نتیجه تجزیه جلبک‌ها در آب

- کاهش اکسیژن دریاچه‌ها و برکه‌های عمیق، به علت رشد زیاد جلبک‌ها و مسدودشدن مسیر ورود نور به داخل آب
- تولید هیدروژن سولفور به علت ایجاد شرایط بی‌هوازی
- کاهش حلالیت آهن و منگنز و در نتیجه مشکلات ناشی از وجود آهن و منگنز در شرایط بی‌هوازی

۳-۱-۱ خواص بیولوژیکی

وقتی صحبت از ویژگی‌های بیولوژیکی در آب به میان می‌آید، بلافاصله عوامل ارگانیسم می‌شود و طبیعتاً در بحث ویژگی‌ها باید اثرات ناشی از وجود آن‌ها در آب که در کیفیت آب مؤثر هستند بررسی شود. موجودات آبی متعددی در آب وجود دارند که در کیفیت آب اثر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارند. میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان گروهی از موجودات زنده آبی اثرات متفاوتی در کیفیت آب دارند. باکتری‌ها و جلبک‌ها دو گروه از میکروارگانیسم‌ها هستند که به‌طور وسیع‌تری عمل می‌کنند. مثلاً عده‌ای از آن‌ها باعث ایجاد مزه و بوی نامطبوع در آب می‌شوند یا از کلی‌فرم‌ها (از گروه باکتری‌ها)، به‌عنوان نشانه یا شاخص آلودگی آب استفاده می‌شود، به این معنی که اگر در آب دیده شوند، احتمال وجود میکروب‌های بیماری‌زای دیگر نیز بیشتر می‌شود. از طرف دیگر بعضی از جلبک‌ها باعث گرفتگی صافی‌های شنی شده و عده‌ای دیگر توده‌های لزج ژلاتینی بر روی دستگاه‌ها، تانک‌ها و دیوار مخازن آب تولید می‌کنند و حتی رشد برخی باکتری‌ها می‌تواند تورها، دریچه‌ها و پمپ‌ها را مسدود کند.

به‌طور کلی گروهی از میکروب‌ها، ویروس‌ها و پروتوزوئرها که بیماری‌زا نامیده می‌شوند، بیماری‌های مختلفی را در انسان ایجاد می‌کنند.

۴-۱-۱ خواص رادیولوژیکی

مواد رادیواکتیو یا رادیونوکلئیدها از منابع طبیعی یا مصنوعی وارد آب می‌شوند. رادیوم ۲۲۶ و ۲۲۸ از رادیونوکلئیدهای طبیعی هستند. معمولاً رادیوم به مقدار قابل توجهی در آب‌های سطحی وجود ندارد، ولی برحسب نوع مواد خاک و صخره‌ای که آب‌های زیرزمینی با آن‌ها در تماس