

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پرتال جامع مهندسی عمران و معماری

« با هم متفاوت بیندیشیم »

[www.ucivil.ir](http://www.ucivil.ir)



برای دانلود کتاب، پروژه و آموزش تخصصی نرم افزارهاک مختلف مهندسی عمران و معماری از

وب سایت و کانال تلگرام پرتال جامع مهندسی عمران و معماری بازدید فرمایید





دانشگاه صنعتی قم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

جزوه

درس مهندسی محیط زیست



After



Before



دکتر عبدالرضا کریمی

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی قم

۱۳۹۰-۱۳۹۱

## درس مهندسی محیط زیست

تعداد واحد: ۲ واحد نظری

هدف: آشنایی با مبانی مهندسی محیط زیست و جنبه‌های آن

سرفصل دروس: ۳۲ ساعت

۱. تعریف مهندسی محیط زیست و کاربردهای آن و آشنایی با چالش‌های موجود محیط زیست در دنیای امروز
۲. آشنایی با مبانی زیست بوم (اکولوژی) و اجزای آن
۳. آشنایی با منابع آب و آلودگی‌های مربوط به آن
۴. آشنایی با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب و فاضلاب و استانداردهای مربوطه
۵. آشنایی با فرآیند تصفیه آب
۶. آشنایی با فرآیند تصفیه فاضلاب (تصفیه اولیه، ثانویه و پیشرفته)
۷. آشنایی با مدیریت مواد زائد جامد و خطرناک
۸. آشنایی با آلودگی هوا و روش‌های کنترل آن
۹. آلودگی صوتی و روش‌های کنترل آن

### رفرنس‌های پیشنهادی:

- ۱- کتاب مهندسی محیط زیست، مترجم: دکتر ایوب ترکیان، انتشارات کنکاش، چاپ اول: پاییز ۱۳۷۴.
- ۲- کتاب آلودگی محیط زیست "آب، خاک و هوا"، تالیف: مهندس مجید عرفان‌منش، دکتر مجید افیونی، انتشارات ارکان، چاپ دوم: پاییز ۱۳۸۱.
- ۳- کتاب اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب، تالیف: دکتر محمد شریعت پناهی، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ سوم: مهر ۱۳۷۳.
- ۴- کتاب آلودگی هوا، ترجمه: دکتر منصور غیاث‌الدین، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ دوم: مهر ۱۳۷۳.
- ۵- کتاب مدیریت مواد زائد جامد "اصول مهندسی و مباحث مدیریتی"، جلد اول، ترجمه: دکتر محمد علی عبدلی، ناشر: سازمان باز یافت و تبدیل مواد شهرداری، چاپ اول: زمستان ۱۳۷۰.
- ۶- کتاب مدیریت مواد زائد خطرناک، نگارش: دکتر محمود اسدی، مهندس دادمهر فائزی رازی، مهندس رامین نبی‌زاده و مهندس مهناز وجدانی، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، چاپ اول.
- ۷- کتاب تغییرات آب و هوا، ترجمه و تلخیص: مهندس شاهین محمد نژاد - سیده مهدیه شرفی، انتشارات مرکز آموزش و تحقیقات صنعتی ایران، چاپ اول: ۱۳۸۳.
- ۸- کتاب آلودگی هوا و صدا در حقوق ایران "سیاست‌ها و چالش‌ها"، تدوین و تالیف، گروه نویسندگان، ناشر: مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران، چاپ اول: ۱۳۸۷.

## فهرست مطالب

۱. تعریف مهندسی محیط زیست و کاربردهای آن و آشنایی با چالش‌های موجود محیط‌زیست در دنیای امروز..... ۲
۲. آشنایی با مبانی زیست بوم (اکولوژی) و اجزای آن..... ۶
۳. آشنایی با منابع آب و آلودگی‌های مربوط به آن..... ۱۰
۴. آشنایی با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب و فاضلاب و استانداردهای مربوطه..... ۱۵
۵. آشنایی با فرآیند تصفیه آب..... ۲۵
۶. آشنایی با فرآیند تصفیه فاضلاب (تصفیه اولیه، ثانویه و پیشرفته)..... ۳۷
۷. آشنایی با مدیریت مواد زائد جامد و خطرناک..... ۴۲
۸. آشنایی با آلودگی هوا و روش‌های کنترل آن..... ۴۸
۹. آلودگی صوتی و روش‌های کنترل آن..... ۵۷

## ۱- تعریف مهندسی محیط زیست و کاربردهای آن و آشنایی با چالش‌های موجود محیط‌زیست در دنیای امروز

مهندسی محیط زیست، شاخه‌ای از مهندسی است که حفاظت محیط زیست از اثرات سوء ناشی از فعالیت‌های انسان، حفاظت جوامع انسانی از عوامل سوء زیست محیطی و بهتر نمودن کیفیت محیط برای سلامتی و رفاه انسان را به عهده دارد. به این ترتیب انسان‌ها در تماس با محیط زیست، گاهی اثر سوء بر آن گذاشته و گاهی نیز در اثر آلودگی‌های موجود در محیط ضرر می‌بینند. شناخت طبیعت محیط و اثرات متقابل محیط و انسان، مقدمه‌ای برای شناخت وظیفه مهندس محیط زیست است. برای مهندس محیط زیست، واژه محیط زیست ممکن است بعد جهانی به خود بگیرد، یا ممکن است یک ناحیه محلی باشد که مشکلی در آن موجود است و یا راجع به حجم کوچکی از مواد مایع، گازی و یا جامد در یک تصفیه‌خانه باشد.

محیط جهانی شامل اتمسفر، هیدروسفر و لیتوسفر (هوا، آب و خاک) است که در برگیرنده منابع حیات بخش زمین می‌باشد. اتمسفر، مخلوطی از گازها است که از سطح زمین به بالا توسعه دارد و از عناصر زمین که در زمان تشکیل و تغییر حالت آن به صورت گاز شده بودند، تکامل یافته است. هیدروسفر شامل اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های کم عمق زیرزمینی است که با آب‌های سطحی مخلوط می‌شود. لیتوسفر به لایه خاکی گفته می‌شود که قشر مرکزی زمین را پوشانده است. بیوسفر، لایه نازکی است که دور زمین را پوشانده و از اتمسفر و لیتوسفر مجاور سطح زمین همراه با هیدروسفر تشکیل شده است. در داخل این لایه انواع مختلف حیات از جمله انسان موجود است. مواد حیات‌بخش در فرم‌های گاز، مایع و جامد در بیوسفر گردش کرده و حیات را برای همه جانداران ممکن می‌سازند. منابع حیات بخش هوا، غذا و آب از بیوسفر برداشته می‌شود و در داخل همین بیوسفر است که مواد زائد گازی، مایع و جامد ریخته می‌شود.

در حالت طبیعی، انواع مختلف حیات با محیط اطراف خود در حالت تعادل است. اما، مواد زائد طبیعی و مصنوعی که به واسطه ازدیاد جمعیت در بیوسفر ریخته می‌شوند، ثبات نسبی محیط را به هم زده است. آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسان‌ها در سیستم طبیعی اختلال ایجاد کرده است. مشکل آلودگی محیط زیست امروز جهان، مشکل تنها یک کشور و یا یک قلمرو خاص نیست، بلکه مشکل کل جهان است که در بردارنده مسائل مختلفی از جمله: آلودگی آب و هوا، گرم شدن کره زمین، بالا آمدن سطح آب دریاها، انهدام گونه‌های گیاهی و جانوری، تخریب لایه ازن، تخریب جنگلها، باران‌های اسیدی، آلودگی‌های صوتی، آزمایش‌های هسته‌ای می‌باشد. تصمیم‌گیری در مورد مسایل محیط زیست در ارتباط با جامعه، سیاست، اقتصاد، فرهنگ، ارزش‌ها و اطلاعات علمی است.

### چند تعریف از مدیریت زیست محیطی:

- مدیریت محیط‌زیستی، به معنای تدوین استراتژی‌های توسعه، متناسب با محیط زیست است.
- مدیریت محیط‌زیستی، روند تخصیص منابع طبیعی و مصنوعی است، به نحوی که با استفاده بهینه از محیط‌زیست بتوان، حداقل نیازهای اولیه بشری را به صورت پایدار محقق نمود.
- مدیریت محیط‌زیستی، تلاشی است برای یافتن بهترین انتخاب‌های ممکن به جهت ترویج و اشاعه مقوله "توسعه پایدار" است.
- مدیریت محیط‌زیستی، فرآیند تصمیم‌گیری در راستای تنظیم آن دسته از فعالیتهای بشری است که بر محیط زیست تأثیر دارند به گونه‌ای که ظرفیت‌های قابل تحمل محیط‌زیست برای توسعه بشری مختل نگردد.
- سیستم مدیریت محیط‌زیستی، مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی است که به سازمان این امکان را می‌دهد تا تأثیر فعالیت‌هایش بر محیط زیست را شناسایی و ارزیابی کرده و تحت کنترل درآورد و در نهایت عملکرد زیست محیطی خود را بهبود بخشد. دو هدف اساسی اقتصاد محیط‌زیستی عبارت از: جلوگیری از استفاده بی‌رویه منابع و تلاش برای رسیدن به توسعه پایدارمی‌باشد.
- توسعه پایدار، عبارت از توسعه‌ای است که در آن نیازهای فعلی نسل امروز پاسخ داده می‌شود، بدون اینکه بر قابلیت و توانائی نسل‌های بعدی در برخورداری از منابع به منظور برآورده کردن نیازهایشان اثری داشته باشد.
- بحران‌ها، در واقع آخرین شانس و نقطه‌عطفی برای جلوگیری، کاهش و یا سازگار شدن با یک وضعیت وخیم هستند. بحران‌ها را می‌توان در گروه‌های گوناگونی طبقه‌بندی نمود.
- کاهش منابع قابل تجدید، بخصوص کمبود آب و مواد غذایی
- تغییرات زیست محیطی در سطح جهان
- آلودگی‌ها
- سلاح‌های هسته‌ای یا بیولوژیکی
- کاهش تنوع بیولوژیکی
- افزایش گرسنگی و فقر
- افزایش از خودبیگانگی انسانها
- رشد سریع شهرها همراه با برنامه‌ریزی‌های ضعیف

رشد سریع جمعیت انسانی زیربنای همه مشکلات زیست محیطی است. مشکلات محیط زیست را نمی‌توان حل کرد، مگر آنکه مشکل جمعیت انسانی حل شود و برای این کار باید یاد بگیریم که تعداد کل افراد را روی زمین به رقمی محدود کنیم که محیط زیست قادر به تامین آن باشد.

مناطق مشخصی از جهان با احتمال بیشتری در معرض بلایای طبیعی هستند، مانند: مناطق فعال آتشفشانی و زمین لرزه‌ای و یا مناطقی که در معرض تسونامی، گردباد، خشکسالی، سیل، بهمن، رانش زمین و توفان‌های فصلی قرار دارند. علاوه بر این‌ها مناطقی وجود دارند که دائماً تحت تاثیر منازعات منطقه‌ای و مشکلات اجتماعی عدیده‌ای می‌باشند.

ریسک‌های مربوط به تغییر محیط زیست جهانی دائماً رو به افزایش است و موارد ذیل را شامل می‌شود:

- فاجعه زیست‌کره: دگرگونی بدون توقف شرایطی که حیات بشر و سایر موجودات زنده را تهدید می‌کند.
- تغییرات اقلیمی: اعم از طبیعی یا انسان ساخت که باعث تهدید رفاه بشری و حیات وحش می‌گردد.
- کاهش در تامین نیازهای اولیه: تهدیداتی در ارتباط با تولید مستمر مواد غذایی، دسترسی به آب کافی، انرژی و ...
- انواع آلودگی‌ها

تعریف آلودگی زیست محیطی:

منظور از آلوده ساختن محیط زیست، عبارت است از: پخش یا آمیختن مواد خارجی به آب، هوا، خاک یا زمین، به میزانی که کیفیت فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیک آن را به طوری که زیان‌آور به حال انسان یا سایر موجودات زنده یا گیاهان و یا آثار و ابنیه باشد، تغییر دهد.

آلودگی خاک، به هرگونه تغییر در ویژگی اجزای تشکیل دهنده خاک به طوری که استفاده از خاک ناممکن شود، اطلاق می‌گردد. آلودگی خاک باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و کاهش رشد و نمو گیاهان و در نهایت منجر به فرسایش خاک و بیابان‌زایی می‌شود. در حال حاضر در کشورهای اروپایی برای جلوگیری از آلودگی خاک عامل بازدارنده‌ای با عنوان «قانون خاک» وجود دارد که موجب شده تا حد زیادی از افزایش آلودگی‌های خاک جلوگیری شود از مهمترین منابع آلاینده خاک، معادن فعال (آلودگی صنعتی)، مصرف سوخت‌های فسیلی (آلودگی‌های نفتی) و کودها و سموم کشاورزی قابل ذکر است.

- افزایش جمعیت
- آلودگی هوا
- آلودگی منابع آب
- امنیت غذایی
- فقر

### باران‌های اسیدی:

یکی دیگر از چالش‌های محیط زیست، باران اسیدی است که به دو نوع بارش تر (باران، برف، مه) و خشک (ذرات معلق) گفته می‌شود که بر اثر احتراق سوخت‌های فسیلی به صورت انتشار دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) و اکسیدهای ازت ( $NO_x$ ) در پایین باد منطقه‌ای که در آن تولید شده، می‌بارد. مشکل باران اسیدی در دهه‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده و امروزه به عنوان یک مشکل زیست محیطی جهانی شناخته می‌شود. امروزه باران اسیدی همه کشورهای صنعتی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و بالاخره آن دسته از کشورهای در حال توسعه که انتظار می‌رود در آینده شدیداً متکی به زغال سنگ باشند (مثل چین) نیز با مشکل جدی باران اسیدی روبه رو خواهند شد.

### چالش‌های موجود محیط‌زیست در دنیای امروز

تغییرات آب و هوا: کنوانسیون تغییرات آب و هوا و متعاقب آن پروتوکل کیوتو از جمله اقدامات بین‌المللی صورت گرفته جهت جلوگیری از پدیده تغییر آب و هوا می‌باشد. ادامه افزایش میزان تقاضا و مصرف انرژی در چند دهه آینده، تغییر کاربری زمین، گسترش فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و افزایش ضایعات جامد، پدیده گلخانه‌ای را در جو زمین تشدید خواهد کرد. مدل‌های جوی پیش‌بینی می‌کنند که تا سال ۲۱۰۰ میلادی، دمای کره زمین از ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که این مقدار بیش از تغییرات دمایی ۱۰۰۰۰ سال گذشته خواهد بود.

انرژی خورشید به شکل امواج با طول موج کوتاه (ماوراء بنفش) به کره زمین تابیده می‌شود و اکثریت آن از اتمسفر عبور می‌کند و زمین پس از گرم کردن سطح خود، این انرژی را به فرم امواج با طول موج بلند (امواج مادون قرمز) به فضا بر می‌گرداند. اکثر تابش‌های مادون قرمز که از سطح زمین بازتاب می‌شوند، در اتمسفر توسط بخار آب، دی‌اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای جذب می‌شوند. گازهای گلخانه‌ای مانع خروج انرژی گرمایی از اتمسفر به فضا شده و موجب گرم شدن تدریجی و غیر عادی کره زمین می‌شوند.

نگرانی‌های بهداشتی: هر یک از سه محیط هوا، آب و زمین ممکن است میزبان مواد شیمیایی و بیولوژیکی که اثر سوء بر سلامت انسان‌ها می‌گذارند، باشند. تعداد زیادی از بیماری‌ها می‌توانند بوسیله زایعات انسانی و حیوانی از طریق اجزای محیط زیست انتشار یابند. هیچ کشوری از خطر شیوع بیماری‌های منتقله از طریق محیط کاملاً در امان نیست.



## ۲- آشنایی با مبانی زیست بوم (اکولوژی) و اجزای آن

اکولوژی، علمی است که به بررسی اثرات متقابل محیط بر موجودات زنده و تاثیر موجودات زنده بر هم می‌پردازد و در آن ارتباط بین موجودات زنده و محیط زیست‌شان (چگونگی جریان ماده و انرژی در سیستم‌های طبیعی) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مطالعات اکولوژیکی بر چگونگی جریان انرژی در اکوسیستم، از جذب نور خورشید توسط گیاهان و تبدیل آن به انرژی شیمیایی (تولید قند)، تا جریان آن در سطوح پیوسته غذایی و بازگشت آن به محیط زیست استوار است. مطالعه چگونگی جریان آب و مواد غذایی از اتمسفر به خاک، گیاهان، جانوران، تجزیه‌کنندگان و بازگشت آن و مطالعه چگونگی شکل‌گیری اکوسیستم‌ها توسط محیط غیرزنده بر عهده علم اکولوژی است.

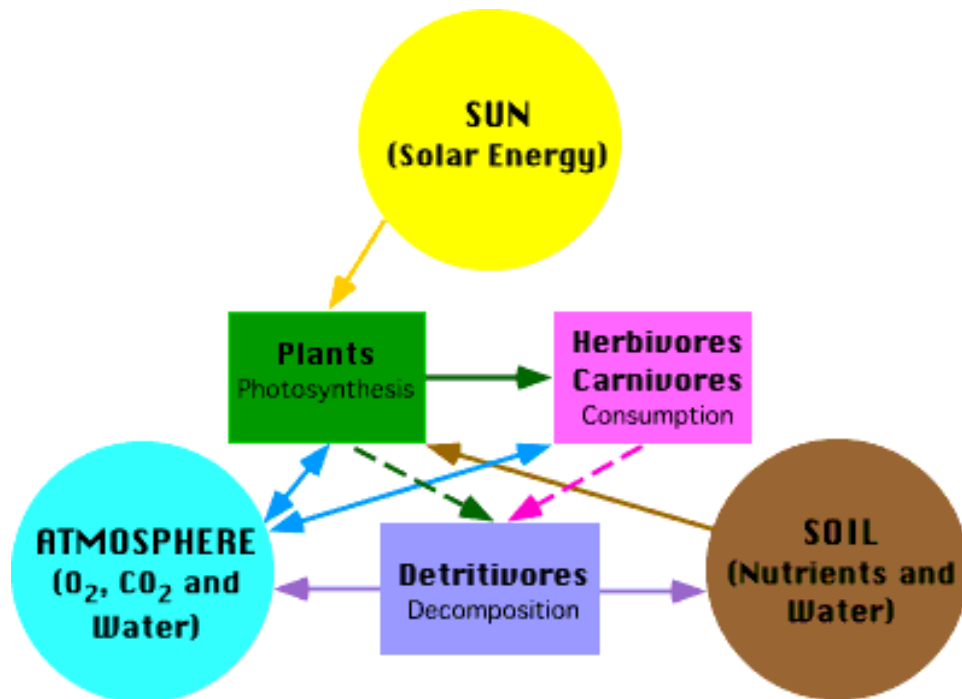
اکوسیستم، واحد طبیعی است که در بر گیرنده همه گیاهان، جانوران و موجودات زنده ریز (عوامل زنده) و عوامل غیرزنده در یک ناحیه است که با یکدیگر در تقابلند. مهمترین اصل اکوسیستم بر درک دنیای طبیعی متمرکز است.

✓ موجودات زنده به همراه فرآیندهای فیزیکی که در میان محیط زیست‌شان رخ می‌دهد.

✓ کلیه عوامل زنده و غیر زنده‌ای که در یک منطقه مفروض حیات را ساخته و از آن حمایت می‌کنند.

✓ تمامی موجودات زنده با متغیرهای محیط‌شان مواجه هستند.

متغیرهای محیطی شامل: عوامل غیرزنده (اقلیم و زمین‌شناسی گسترده)، بطور دقیق شامل: دما، آب (بارندگی و رطوبت)، نور، میزان شوری، فشار، وضعیت شیمیایی آب و خاک (pH و ترکیبات معدنی) و فاکتورهای زنده‌ای که با دیگر موجودات زنده در تقابل‌اند، شامل: رقابت، شکارگری، انگلی و همسفرگی سیستم عبارت است از مجموعه‌ای از اجزاء که به منظور ایفاء نقش مشترک گرد هم می‌آیند و به لحاظ ساختار و عملکرد با یکدیگر هماهنگی دارند.



اجزاء اصلی یک اکوسیستم

انواع اکوسیستم:

طبقه‌بندی اکوسیستم‌ها بر روی کره زمین بر اساس پراکندگی خاص گونه‌ها و زیستگاه‌ها (گیاهان و جانوران غالب) انجام می‌شود. بر این اساس اکوسیستم‌های کره زمین به شرح زیر دسته‌بندی می‌گردند:

✓ اکوسیستم‌های خشکی (Terrestrial Ecosystems): جوامعی از موجودات زنده و محیط زیست‌شان که در خشکی پدید آمده‌اند.

✓ اکوسیستم‌های آبی (Aquatic Ecosystems): جوامع و موجودات زنده آن در پهنه‌های آبی مستقر بوده و به یکدیگر و محیط آبی که در آن زندگی می‌کنند وابسته‌اند.

در اکوسیستم‌های خشکی و آبی، فاکتورهای غیرزنده نقش اولیه‌ای در تشکیل جوامع حیاتی دارند.

اکوسیستم خشکی:

این اکوسیستم متشکل از بیوم‌ها بوده و مبنای تشخیص بیوم‌ها از یکدیگر اقلیم و پوشش گیاهی غالب است. علت وجود اقلیم‌های متفاوت، گرم شدن ناهمگون سطح کره‌زمین توسط خورشید است. به واسطه تفاوت‌های اقلیمی، پوشش‌های گیاهی نیز متفاوت شده که این امر نیز افزایش تنوع زیستی را به دنبال دارد.

### دیدگاه اکوسیستمی:

یکی از مهمترین اصول مدیریت محیط زیست، داشتن دیدگاه اکوسیستمی است. این امر راهبردی جهت مدیریت بهم‌پیوسته خشکی، آب و منابع زنده است که حفاظت و استفاده پایدار از کلیه منابع را به طور منصفانه ارتقاء می‌بخشد. با توجه به اینکه همه اجزاء یک اکوسیستم به یکدیگر متصل‌اند، ضروری است این دیدگاه در مورد تاثیر هر عملی بر روی هر یک از اجزاء اکوسیستم در نظر گرفته شود.

اکوسیستم‌ها، سیستم‌هایی باز هستند و تحت تاثیر اکوسیستم‌های مجاور خود قرار می‌گیرند. به طور مثال کشاورزی شدید، مواد غذایی و آفت‌کش‌ها را به اکوسیستم‌های مجاور هدایت می‌کند (Non point pollution). کاهش چنین منابع آلاینده‌ای، نیازمند روش‌های اکوتکنولوژیکی است. احداث تالاب مصنوعی جهت کاهش غلظت مواد غذایی جریان‌ات ورودی به دریاچه پایین‌دست، مواردی از کاربرد روش‌های اکوتکنولوژی است. در اینجا نیروی عملکردی، حمل مواد غذایی است که از روش اکوتکنولوژیکی کاهش می‌یابد و انتظار می‌رود که پدیده پر غذایی نیز کاهش یابد.

اکوسیستم‌ها به ورود مداوم انرژی از خارج سیستم وابسته‌اند. کاربرد این اصل در مورد اکوسیستم‌ها، بر اساس قانون دوم ترمودینامیک است. تمامی اکوسیستم‌ها باید به اصل حفاظت و قوانین علمی پایه شامل: قوانین پایه ترمودینامیک احترام بگذارند. ورود انرژی به منظور تامین نیازهای انرژی جهت نگهداری، تنفس و تبخیر بکار می‌رود.

خودتنظیمی، تضمین‌کننده تطابق در سطوح اکوسیستم است. خصوصیات گونه‌ها در اکوسیستم بر اساس شرایط غالب تغییر می‌کند. زمانیکه محیط اطراف یک اکوسیستم تغییر می‌کند حتی وقتی که آن تغییر نتیجه فعالیت‌های انسانی باشد، خود سازماندهی ممکن است به عنوان یک تغییر جهت یافته در جهت حفظ ترکیبات گونه‌های یک اکوسیستم بکار رود.

مدیریت محیط زیست باید نقش دقیق الگوهای خاص را در زمینه حفاظت از تنوع زیستی در نظر بگیرد. مهندسی اکولوژیکی باید اهمیت زون‌های گذرگاهی را در نظر بگیرد. طبیعت، اکوتون‌ها را جهت ارتباط بین دواکوسیستم توسعه داده است. اکوتون‌ها می‌توانند به عنوان مناطق خنثی جهت جذب تغییرات ناخواسته وارده بر اکوسیستم از طرف اکوسیستم‌های مجاور در نظر گرفته شوند.

باید از طبیعت بیاموزیم و هنگام طراحی اکوسیستم‌های انسان‌ساخت (کشاورزی، سکونتگاه‌های انسانی) از اصول مشابه با طبیعت استفاده نماییم. ماهیت یک اکوسیستم این است که همه چیز به یکدیگر متصل است. هر تغییری بر روی هر جزء در یک اکوسیستم، بر روی همه اجزاء اکوسیستم چه به صورت مستقیم و چه به صورت

غیرمستقیم تاثیر دارد. اغلب اثرات غیرمستقیم مهمتر از اثرات مستقیم هستند. مدیریتی که تنها به اثرات مستقیم توجه کند، اغلب با شکست مواجه می شود.

اکوسیستم‌ها در مدت زمان طولانی توسعه می‌یابند. اجزاء یک اکوسیستم برای رویارویی با مشکلات طبیعی طی میلیون‌ها سال انتخاب شده‌اند. یک اکوسیستم با تاریخچه طولانی نسبت به یک اکوسیستم بدون تاریخچه، قابلیت رویارویی بهتری با مشکلات طبیعی دارد. تنوع زیستی بالای اکوسیستم‌های قدیمی در مقایسه با اکوسیستم‌های نابالغ بیانگر این اصل است. بنابراین، ساختار اکوسیستم‌های بالغ در مهندسی اکولوژیکی باید سرمشق باشد. نگهداری از تنوع چشم‌انداز مثل پرچین‌ها، تالابها، خطوط ساحلی، اکوتونها و آشیان اکولوژیکی خیلی مهم است. همه آنها در سلامت چشم انداز شرکت می‌کنند.

فرآیندهای فیزیکی و بیولوژیکی با یکدیگر متقابل‌اند. درک و تفسیر تقابل فیزیکی و بیولوژیکی با یکدیگر بسیار مهم است. موجودات زنده کنترل کننده، از نظر اکولوژیست‌ها مهندسان طبیعت نامگذاری شده‌اند.

اکوتکنولوژی نیازمند یک دیدگاه همه سو نگر است. تمامی بخشها و فرآیندها بر روی یکدیگر عمل و عکس‌العمل متقابل دارند. اکوسیستم شامل بخشهای زیادی است. اکوسیستم‌ها خاصیت تکوینی دارند. توسعه مدل‌های اکوسیستم در بیشتر موارد به منظور یک بررسی کلی و مناسب از راهبردهای ممکن مدیریت محیط زیست است.

۳- آشنایی با منابع آب و آلودگی‌های مربوط به آن

آب، ماده‌ای است که در شرایط معمول در سطح کره زمین به هر سه شکل جامد، مایع و گاز مشاهده می‌شود. قدرت بالای حلالیت، کشش سطحی بالا، گرمای ویژه بالا، گرمای نهان تبخیر بالا و جرم حجمی غیرمعمول از ویژگی‌های این ماده حیاتی است.

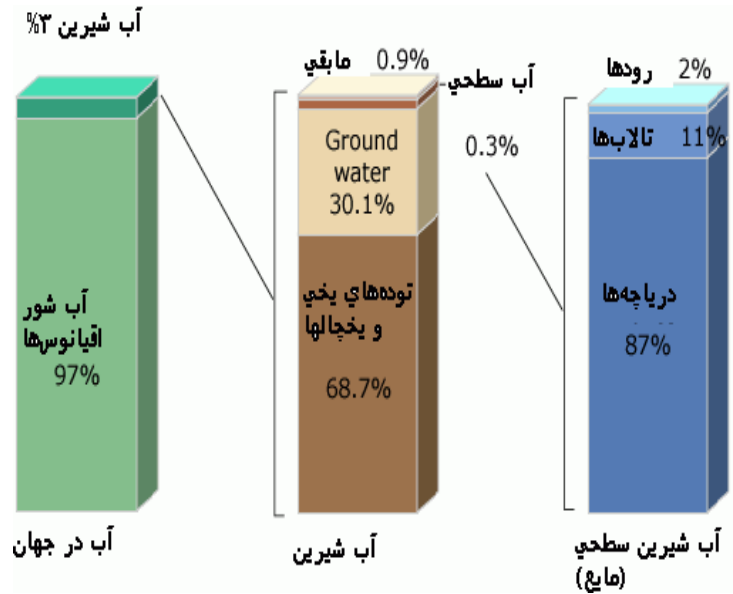
آب در جهان

۷۰/۹ درصد از سطح زمین، ۳/۴ درصد از اتمسفر عطارد، ۰/۰۰۲ اتمسفر ناهید، ۰/۰۳ اتمسفر مریخ و ۰/۰۰۰۴ از اتمسفر مشتری را آب فرا گرفته است. در اتمسفر زحل نیز آب مشاهده شده است.

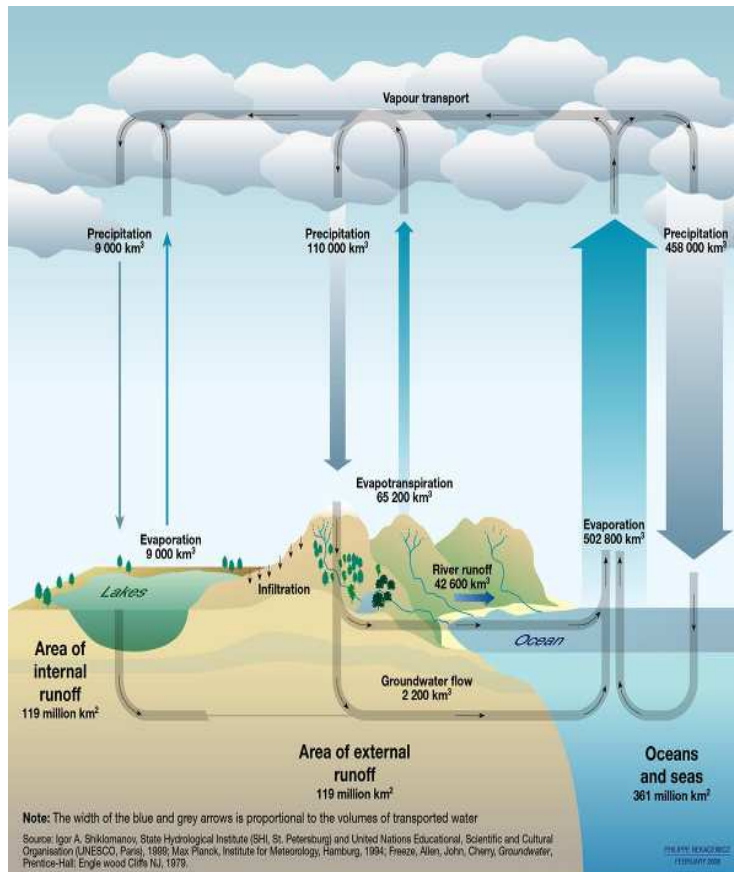
وضعیت منابع آب کره زمین

منبع آب	حجم آب به کیلومتر مکعب	درصد کل حجم آب
اقیانوس‌ها، دریاها و گذرگاه‌ها	1,338,000,000	96.5
توده‌های یخ، یخچال‌ها و برف‌ها	24,064,000	1.74
آب زیرزمینی	23,400,000	1.7
شیرین	10,530,000	0.76
شور	12,870,000	0.94
رطوبت خاک	16,500	0.001
یخ زیرزمینی و یخ دائمی	300,000	0.022
دریاچه‌ها	176,400	0.013
شیرین	91,000	0.007
شور	85,400	0.006
اتمسفر	12,900	0.001
آب تالاب‌ها	11,470	0.0008
رودخانه‌ها	2,120	0.0002
آب بیولوژیکی	1,120	0.0001
کل	1,386,000,000	100

۳- آشنایی با منابع آب و آلودگی‌های مربوط به آن

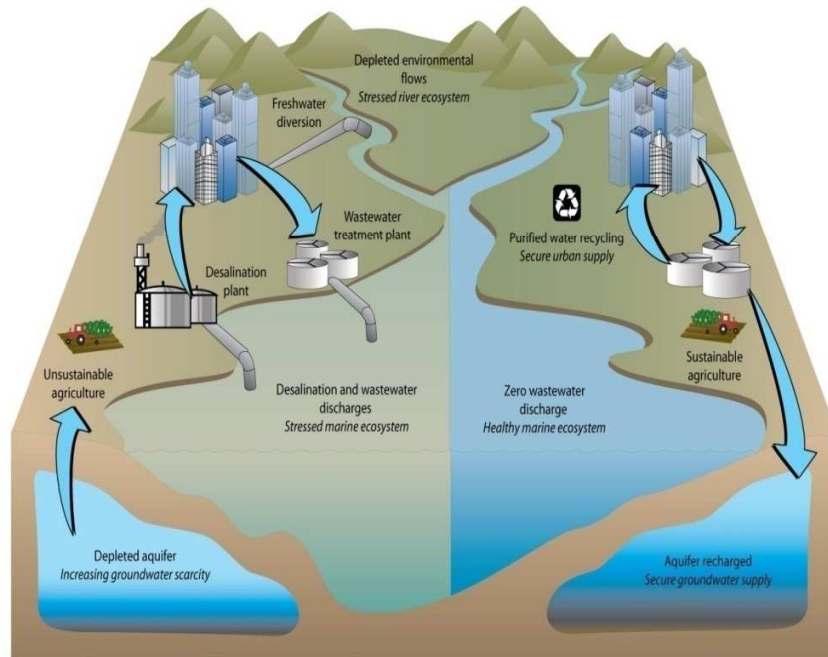


تقسیم آب در جهان



# The urban water cycle

Unsustainable      Sustainable



Clean Ocean Foundation 2009 - www.cleanocean.org

## تعریف آلودگی آب

در سال ۱۹۶۹ برای آلودگی آب تعریفی به این شرح ارائه شد: آلودگی آب عبارت است از افزایش مقدار هر معرف اعم از شیمیایی، فیزیکی یا بیولوژیکی که موجب تغییر خواص و نقش اساسی آن در مصارف ویژه‌اش شود.

## عوامل آلوده‌کننده آب

آب یکی از مهم‌ترین و بنیادی‌ترین عوامل حیات موجودات زنده است. از این نظر جلوگیری از آلودگی آب نیز به همان نسبت مهم و مورد توجه می‌باشد عوامل آلوده‌کننده آب بسیار گوناگون‌اند و می‌توانند هم منابع آبهای زیرزمینی و هم آبهای سطحی را آلوده کنند. با توجه به افزایش سریع جمعیت و کمبود منابع آب، انسان‌ها با آلوده ساختن منابع آب، حیات خویش را به صورت جدی تهدید کرده‌اند. ورود مواد زاید صنعتی، کشاورزی، شیمیایی و سموم به منابع آبی، آلودگی آب را باعث شده است. آب‌هایی که به علل مختلف آلوده می‌شوند، علاوه

بر این که بهداشت، سلامت و محیط زیست انسان‌ها را به خطر می‌اندازند، حیوانات و گیاهان رانیز با مشکلات و مخاطرات زیستی مواجه می‌سازد.

با توجه به این که شهرهای بسیاری اطراف رودخانه‌ها ساخته شده است، مسأله آلودگی رودخانه‌ها جدی است، اما متأسفانه به این مسأله کم‌تر توجه شده است. امروزه فاضلاب شهرها و پساب کارخانجات متعددی در رودخانه‌ها تخلیه می‌شود که با توجه به مجاورت محل زندگی مردم با رودخانه‌ها، تبعات زیست محیطی فراوانی را در پی دارد. یکی از مسائل مهم در مورد آلودگی رودخانه‌ها، انتقال آلودگی از طریق رودخانه‌ها از یک کشور به کشور دیگر و یا به مناطق دریایی است که امروزه به آن آلودگی فرامرزی دور برد گفته می‌شود که نگرانی‌های زیادی را ایجاد کرده است

#### عوامل آلوده‌کننده آب‌های زیرزمینی:

کانی‌های موجود در معادن سطحی که در اثر تغییر و تبدیل به عامل آلوده‌کننده مبدل می‌شود. مثلاً آب جاری سطحی (حاصل از باران و ...) هنگام عبور از معادن زغال سنگ، دی‌سولفید آهن(II) (پریت) همراه با زغال سنگ را در خود حل کرده و سپس در اثر واکنش با هوا آن را به اسیدسولفوریک تبدیل می‌کند. اسید حاصل ضمن عبور از لایه‌های مختلف مخازن زیرزمینی، موجب آلوده شده آن می‌شود.

جمع شدن فاضلابهای شهری بویژه اگر در یک حوزه آهکی و یاشنی وارد شوند و همچنین در معرض باکتری‌ها قرار گیرند و تجزیه شوند، مستقیماً و به راحتی به مخازن زیرزمینی نفوذ پیدا کرده و موجب آلوده شدن آنها می‌شود.

ضایعات رادیواکتیوی، یکی از عوامل آلوده‌کننده مهم منابع آبی زیرزمینی است که امروزه یکی از راههای رفع آنها که در حقیقت مشکل بزرگی برای صاحبان تکنولوژی هسته‌ای نیز به شمار می‌رود، دفن آنها در زیرزمین است. علاوه بر دفن ضایعات رادیواکتیو در زیرزمین، همه انفجارهای هسته‌ای زیرزمینی نیز موجب آلوده شدن آبهای زیرزمینی می‌شود.

#### عوامل آلوده‌کننده آبهای سطحی:

#### آلوده‌کننده‌های صنعتی:

بسیاری از ضایعات صنعتی به آبریان زیان‌های جدی می‌رسانند. این ضایعات برای خنثی شدن مقدار زیادی از اکسیژن محلول در آب را به مصرف رسانیده و موجب کاهش اکسیژن مورد نیاز برای آبریان می‌شود و تهدید به مرگ می‌کنند. از طرف دیگر بسیاری از خود این ضایعات سمی بوده و موجب مسمومیت آبریان می‌شوند. مانند:



فلزات سنگین، جیوه، سرب، مس و غیره وارد شدن ترکیبات فسفردار و نیتروژن‌دار در آب، موجب رشد جلبک‌هایی می‌شود که ضمن ایجاد بو و مزه غیرطبیعی آب، اکسیژن آب را مصرف کرده و باعث کاهش میزان آن و بروز صدمات و تلفات به آبزیان می‌شود.

فاضلاب خانگی:

کلیه پاک‌کننده‌ها که وارد آبهای سطحی می‌شوند، ترکیباتی را در آب‌ها وارد می‌کنند که اگر خنثی نشوند و یا توسط میکرواورگانیزم‌ها تجزیه و تخریب نشوند بصورت سمی مهلک، زیان بسیاری برای آبزیان به بار می‌آورند. حشره‌کشها، سموم دفع آفات نباتی و کودهای شیمیایی که از ضروریات توسعه کشاورزی است، ناخواسته موجب آلودگی آبهای سطحی می‌شوند.

## ۴- آشنایی با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب و فاضلاب و استانداردهای مربوطه

پارامترهای فیزیکی کیفیت آب:

**کدورت:** کدورت پارامتری است که میزان شفافیت آب را مشخص می‌کند و به عنوان یک خاصیت ظاهری آب محسوب می‌گردد. کدورت باعث پراکندگی و یا جذب نور در حین عبور آن بر روی یک خط مستقیم در آب می‌گردد. جذب و تفرق نور تحت تاثیر اندازه و خواص سطحی مواد معلق می‌باشد. برای مثال یک ذره کوچک در داخل یک لیوان آب در واقع هیچ گونه کدورتی ایجاد نمی‌کند. اگر این ذره به هزاران ذره کوچکتر با اندازه‌های کلونیدی شکسته شود با وجود آن که جرم جامدات تغییری ننموده است، اما کدورت به میزانی می‌رسد که قابل اندازه‌گیری است. روش‌های اندازه‌گیری کدورت شامل کدورت‌سنج شمعی جکسون (JTU)، روش نفلومتری و جذب‌سنجی است که واحد کدورت نفلومتر (NTU) می‌باشد.

**رنگ:** آب خالص بی‌رنگ است. اما، آبی که در طبیعت یافت می‌شود معمولاً توسط مواد خارجی دارای رنگ می‌شود. رنگ آب که در نتیجه تاثیر مواد معلق به وجود آمده باشد، اصطلاحاً رنگ‌آشکار نامیده می‌شود و رنگی که در اثر مواد جامد محلول پدید آمده باشد و پس از جداسازی مواد معلق هم چنان در آب باقی بماند رنگ حقیقی خوانده می‌شود.

**طعم و بو:** اساسی‌ترین مساله در مورد آب تصفیه شده، عدم داشتن بو و طعم است. احساس طعم و بو غالباً با یکدیگر مربوط بوده و معمولاً با یکدیگر اشتباه گرفته می‌شوند. موادی که در داخل آب ایجاد بو می‌کنند تقریباً همیشه ایجاد طعم نیز می‌کنند. عکس این مطلب درست نیست، زیرا مواد معدنی زیادی وجود دارند که ایجاد طعم می‌نمایند، ولی به هیچ وجه تولید بو نمی‌کنند. مهم‌ترین محصولات که ایجاد بو و طعم در آب می‌کنند، ترکیبات گوگردی هستند که بو و طعم تخم‌مرغ گندیده را از خود متصاعد می‌سازند. بعضاً تلفیق دو و یا بیش از دو ماده که هیچ کدام از آنها به تنهایی ایجاد طعم و بو نمی‌نمایند، می‌تواند موجب بروز مشکلات مربوط به طعم و بو شود.

**pH:** عدد pH آب یا غلظت یون‌های هیدروژن، اسیدیته یا قلیائیت آب را مشخص می‌سازد. pH یکی از مهمترین خواص فیزیکوشیمیایی آب می‌باشد، زیرا که بیشتر روش‌های تصفیه آب به pH آن بستگی دارد. pH آب آلوده نشده اساساً رابطه بین دی‌اکسیدکربن آزاد و مقدار کربنات و بی‌کربنات را نشان می‌دهد. آب‌های طبیعی معمولاً دارای pH بین ۴ تا ۹ بوده و اکثر آنها به علت انحلال کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های قلیایی پوسته زمین کمی قلیایی

می‌باشند. آب‌های اسیدی که از معادن زغال سنگ می‌گذرند pH پایین داشته و دارای خاصیت خوردگی زیاد و طعم اسیدی یا نمکی می‌باشند. آب‌های سخت که از زمین‌های آهکی می‌گذرند pH بالایی دارند.

اسیدپتته: آب اسیدی نوعی آب است که مقدار pH آن کمتر از ۷ باشد. اسیدپتته در آب آلوده نشده معمولاً توسط دی‌اکسیدکربن حل شده در آب که باعث ایجاد اسیدکربنیک ضعیف می‌گردد بوجود می‌آید. مرز مشخصی برای اسیدپتته آب وجود ندارد، ولی شرط اصلی این است که آب خاصیت خوردگی نداشته باشد.

قلیائیت: قلیائیت آب تقریباً در بیشتر موارد در اثر وجود یون‌های بیکربنات و کربنات که معمولاً همراه با یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم می‌باشند و هیدروکسید در آب است. قلیائیت غالباً بر اساس مقدار کربنات و بی‌کربنات بر حسب کربنات کلسیم اندازه‌گیری می‌گردد. قلیایی بودن یک آب می‌تواند به دلیل ارتباط بین قلیائیت، دی‌اکسید کربن و مقدار pH در زیر نقطه خنثی بوجود آید. در pH بین ۴/۶ و ۸/۳ قلیائیت آب به شکل تعادل بین بی‌کربنات و دی‌اکسیدکربن می‌باشد. موقعی که مقدار pH بالای ۸/۳ باشد، دی‌اکسیدکربن آزاد خاتمه یافته و قلیائیت بصورت کربنات و بی‌کربنات توامان بروز می‌نماید. در حالیکه در pH بین ۹/۴ و ۱۰ قلیائیت به علت وجود هیدرواکسید در آب می‌باشد.

قابلیت هدایت الکتریکی: معیاری جهت سنجش توانایی یک محلول برای انتقال الکتریکی است. اندازه‌گیری این پارامتر نشانگر خوبی در مورد کل مواد حل شده در آب می‌باشد. واحد قابلیت هدایت الکتریکی میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد.

پارامترهای شیمیایی کیفیت آب:

**غلظت املاح محلول (Total Dissolved Solids):** غلظت املاح محلول در آب یا باقیمانده خشک را می‌توان در صورتی که فاقد بی‌کربنات باشد به سادگی با تبخیر حجم معینی از آب و اندازه‌گیری وزن املاح باقیمانده تعیین کرد. TDS عامل مهمی در کیفیت آب بوده و اثر زیادی در جابجایی و تبدیل شیمیایی و یونیزه شدن مواد دارد. همچنین، غلظت املاح محلول نقش زیادی در تعیین جوامع آبی جانوری و گیاهی داشته و بسیاری از گیاهان و جانوران آبی به آب‌های شیرین و یا شور عادت دارند. غلظت املاح محلول در تعیین تناسب آب در مصارف شرب انسان و دام، کشاورزی و صنعت نقش مهمی دارد.

**سختی کل آب (Total Hardness):** سختی آب مربوط به کاتیون‌هایی مانند کلسیم، منیزیم، استرانسیوم، آهن، آلومینیم، منگنز و مس بوده که با آنیون‌های بیکربنات، کربنات، کلرور، سولفات، سلیکات و نیترات به صورت محلول در آب وجود دارند. سختی کل شامل سختی موقت یا سختی کربناتی به اضافه سختی دائم یا سختی

غیرکربناتی می‌باشد. یکی از شاخص‌های کیفیت آب آشامیدنی، سختی آن می‌باشد که بر مبنای کربنات کلسیم مورد سنجش قرار می‌گیرد. بیشترین سختی آب مربوط به یون‌های کلسیم و منیزیم بوده و سختی کل بر حسب میلی‌گرم بر لیتر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$TH = Ca \frac{\text{وزن معادل } CaCO_3}{\text{وزن معادل } Ca} + Mg \frac{\text{وزن معادل } CaCO_3}{\text{وزن معادل } Mg}$$

$$TH = 2.497 Ca^{++} + 4.115 Mg^{++}$$

$Ca^{++}$  و  $Mg^{++}$  بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

مواد معدنی: اجسام حل شده در آب شامل کلیه آنیون‌ها و کاتیون‌های قابل حل و سیلیس و سیلیکات‌های موجود می‌باشد. کاتیون‌ها شامل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و آنیون‌ها شامل کربنات یا بیکربنات، سولفات، کلور، فسفات، نیترات و سیلیکات می‌باشد.

مواد آلی: مواد آلی موجود در آب می‌تواند از منابع گوناگون مانند گیاهان، جانوران، فاضلاب‌های خانگی کاملاً تصفیه نشده و فاضلاب‌های صنعتی ناشی شود. کل مواد آلی موجود در آب را می‌توان از طریق اندازه‌گیری COD و BOD و کل کربن آلی تخمین زد. ترکیبات آلی مانند سموم دفع آفات و تری‌هالومتان‌ها با روش‌های خاص در آب تشخیص داده می‌شوند. ترکیبات آلی زیادی در آب و فاضلاب‌ها وجود دارند که در اثر تجزیه بیوشیمیایی حاصل می‌گردند، ولی نسبتاً بی‌آزار هستند.

عناصر سمی: عناصری مانند آرسنیک، سیانید و مواد آفت‌کش از مواد سمی آب محسوب می‌شوند. سمیت یک عنصر در آب بستگی به عوامل مختلف دارد و با سمیت واقعی آن متفاوت می‌باشد. بعضی از مواد سمی مانند حشره‌کش‌ها در مرحله ته‌نشینی از مراحل تصفیه آب و یا بوسیله جذب توسط مواد جاذب از آب جدا می‌شوند.

عناصر کمیاب: مانند آلومینیوم، برمور، مس، فلورئور، ید، آهن، منگنز و روی می‌باشد.

ناخالصی‌های آب

ناخالصی‌های معلق: نظیر ذرات معلق زنده و غیرزنده که در آب به صورت معلق یافت می‌شوند. این نوع ناخالصی را می‌توان در سه گروه، تقسیم‌بندی و مطالعه نمود.

الف) ذرات معلق زنده بیماری‌زا مانند: عوامل بیماری‌زای وبا، حصبه، شبه‌حصبه، انواع اسهال‌ها، تخم انگل‌ها مانند آسکاریس و ویروس‌ها، منشاء اصلی این دسته از ناخالصی‌ها فاضلاب‌های شهری و حضور حیوانات اهلی یا وحشی در مجاورت منابع آب می‌باشد.

ب) ذرات معلق زنده غیربیماری‌زا، مانند: باکتری‌های ساپروفیت، اغلب جلبک‌ها و تک سلولی‌هایی که در طبیعت به وفور پیدا می‌شوند.

ج) ذرات معلق غیرزنده، مانند: رس که ناشی از فرسایش سطح زمین و سطوح آبخیز می‌باشد.

ناخالصی‌های محلول: این دسته شامل املاح معدنی، ترکیبات آلی و گازهای محلول می‌باشند که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر گروه‌بندی نمود:

الف) املاح محلول معدنی که اغلب به صورت املاح کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن، منگنز و... می‌باشد که برخی از آن‌ها مصرف آب را محدود می‌نمایند.

ب) گازهای محلول، مانند: اکسیژن، انیدرید کربنیک، هیدروژن سولفور، ازت و غیره می‌باشند و این نوع ناخالصی نیز کیفیت شیمیایی آب را تحت تاثیر قرار داده و ممکن است باعث نامطلوب بودن آن شود.

#### اختلالات ناشی از ناخالصی‌های شیمیایی آب:

آب خالص قابل شرب مطلقاً در طبیعت نبوده و حتی آب باران که به نظر خالص می‌رسد، حین عبور از جو موادی مثل: گرد و غبار، دی‌اکسید کربن و ... را با خود به زمین می‌آورد. این آب ضمن عبور از طبقات زمین مواد کلوئیدی خود را به جا گذاشته، ولی در عوض مواد شیمیایی را در خود حل می‌کند و بر میزان ناخالصی‌های آن افزوده می‌شود.

حال اگر دی‌اکسید کربن بیشتری در آب حل شده باشد و آب خاصیت اسیدی بیشتری پیدا کند و از طرفی از لایه‌های زیرزمینی بیشتری بگذرد، املاح بیشتری را در خود حل می‌کند. لذا، آب چاه‌های عمیق اغلب دارای مقادیر زیاد ناخالصی شیمیایی است.

از طرفی فعالیتهای انسانی نیز ممکن است انواع مواد شیمیایی سمی و زیان‌آور را وارد آب کند. اگر مقدار مواد شیمیایی آب از حد مجاز بیشتر بوده و مصرف شرب نداشته باشد، باعث عوارض و اختلالات گوناگونی می‌شود. سرب ماده‌ای است که در اثر فاضلاب‌های صنعتی یا کشاورزی حاوی آن، ممکن است آب را آلوده کند. ضمن این که سابقاً در انتقال آب از لوله‌های سربی استفاده می‌شده که در صورت اسیدی بودن آب، باعث ورود

مقداری سرب به آب می‌گردد است. به این ترتیب سرب می‌تواند باعث عوارض خونی، استخوانی و عصبی مزمن در مصرف‌کننده‌ها شود.

جیوه، ماده‌ای سمی با عوارض شدید عصبی در انسان است که ممکن است از طریق صنایع وارد آب شرب شود. در سال ۱۹۵۳ بیماری اسرارآمیزی بنام میناماتا (شهر محل ایجاد بیماری در ژاپن) شیوع یافت و باعث مرگ عده زیادی از مردم و به دنیا آمدن نوزادان افلیج، کور یا کر شد. بررسیها نشان داد این بیماری ناشی از آلودگی آبها به جیوه بوسیله صنایع تولید نیتروژن بوده است.

نیتريت‌ها و نیتراتها در کودکان بیماری بنام بیماری آبی کودکان (Blue baby) را ایجاد می‌کند که در نتیجه اختلالات خونی باعث آبی شدن رنگ پوست کودک می‌شود.

کادمیوم، فلز نقره‌ای، بیش از حد، ید بیش از حد، مواد رادیواکتیو و بسیاری از مواد دیگر باعث ایجاد بیماری در افراد مصرف‌کننده آب‌های آلوده به آنها می‌شوند.

## قوانین و استانداردها

### آئین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب مصوب (۱۳۷۳/۳/۱۶)

این آئین‌نامه دارای ۲۲ ماده می‌باشد. در ماده ۱ به معانی عبارات و اصطلاحاتی که در این آئین‌نامه به کار رفته، اشاره نموده است که بطور کامل در کتاب قوانین و مقررات محیط زیست توضیح داده شده است.

ماده ۲- اقدام به هر عملی که موجبات آلودگی آب را فراهم نماید، ممنوع است.

ماده ۳- سازمان با همکاری وزارتخانه‌های نیرو، کشاورزی، جهاد کشاورزی، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سایر وزارتخانه‌ها و سازمان‌های ذیربط حسب مورد نسبت به بررسی و شناسایی کیفیت آبهای ایران از لحاظ آلودگی اقدام خواهد نمود.

تبصره ۱- وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در مورد آبهای مشروب از مرحله آبگیر طبق قوانین و مقررات خود عمل می‌نماید.

تبصره ۲- در مورد آلودگی آبهای دریا و دریاچه‌ها، همچنین رودخانه‌های مرزی با مواد نفتی به موجب قانون حفاظت دریا و رودخانه‌های مرزی از آلودگی با مواد نفتی عمل خواهد شد.

ماده ۴- سازمان موظف است نسبت به شناسایی منابع مختلف مولد آلودگی آب به طریق مقتضی اقدام نماید. مسئولین موظفند اطلاعات و مدارک مورد نیاز را در صورت درخواست در اختیار سازمان قرار دهند.

تبصره ۱- وزارتخانه‌های کشور، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، کشاورزی، نیرو، صنایع، معادن و فلزات، جهاد کشاورزی و حسب مورد سایر مؤسسات ذیربط همکاری لازم را با سازمان در اجرای مفاد این ماده معمول خواهند داشت.

ماده ۵- استانداردهای مربوط به آلودگی آب با ذکر روشهای سنجش و سایر مقررات مربوط توسط سازمان و با همکاری وزارتخانه‌ها و مؤسسات مذکور در ماده ۳ این آئین‌نامه تهیه و به مورد اجرا گذارده می‌شود.

تبصره- در مورد مقررات مربوط به تخلیه هر نوع فاضلاب به شبکه عمومی فاضلاب شهر و جمع‌آوری، نگهداری و حمل و دفع مواد زائد جامد کمیسیون دائمی متشکل از نمایندگان تام‌الاختیار وزارتخانه‌های نیرو، بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کشور، صنایع و معادن و فلزات و سازمان حفاظت محیط زیست و سایر سازمان‌های مسئول آب و فاضلاب شهری در وزارت کشور تشکیل و تصمیمات اتخاذ شده به مرحله اجرا گذارده خواهد شد.

ماده‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ این آئین‌نامه به وظایف سازمان حفاظت محیط زیست در رابطه با بازرسی و نمونه‌برداری از منابع آلوده‌کننده آب و تعیین نوع و میزان آلودگی اشاره می‌کنند. چنانچه میزان آلاینده‌ها بیش از استانداردهای موضوع ماده ۵ باشد، موارد به مسئولین اخطار تا طبق زمان تعیین شده نسبت به رفع آن اقدام کنند. همچنین مواد ۱۱، ۱۲ و ۱۳ وزارتخانه‌های صنایع، کشور، مسکن و شهرسازی کشاورزی و جهاد کشاورزی و یا سایر مراجع صدور مجوز را ملزم به ابلاغ استانداردها و مقررات لازم‌الرعایه موضوع ماده ۵ این آئین‌نامه به مجریان، متقاضیان و طراحان می‌کند.

ماده‌های ۱۴ تا ۲۲ به ممنوعیت تخلیه فاضلاب یا هر نوع آلاینده به آبهای پذیرنده به میزان بیش از حد استاندارد اشاره کرده و سازمان و مسئولین را مکلف به اتخاذ تدابیر و ارائه روشهای مناسب جهت پیشگیری از آلودگی آب کرده‌اند.

ماده ۱۴- تخلیه و پخش فاضلاب یا هر نوع ماده آلوده‌کننده از منابع متفرقه به آبهای پذیرنده به میزان بیش از حد استاندارد ممنوع است. انواع و طبقه‌بندی منابع آلوده‌کننده و متفرقه توسط سازمان و با همکاری وزارتخانه‌ها و مؤسسات ذیربط تعیین خواهد شد.

ماده ۱۷- رقیق کردن در مرحله تخلیه به عنوان تصفیه ممنوع است، مگر در موارد خاصی که به تشخیص سازمان خطرات آلودگی محیط زیست را در بر نداشته باشد.

ماده ۲۲- چنانچه تخلف از مقررات این آئین‌نامه موجب ورود هر گونه خسارت به محیط زیست آبریزان و منابع طبیعی شود، دادگاه حسب درخواست سازمان، مسئولین را به پرداخت و جبران خسارت وارد شده محکوم خواهد کرد.

### استاندارد آب شرب

استاندارد آب آشامیدنی شامل مواردی است که به عنوان حداقل ویژگی‌های مورد نیاز برای آب آشامیدنی ضروری باشد. هدف از تعیین چنین استانداردی تعیین ویژگی‌های مورد نیاز آبی است که به مصرف آشامیدن می‌رسد. در ایران نخستین بار تدوین و انتشار استاندارد آب آشامیدنی در سال ۱۳۵۴ انجام گرفت و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در سال ۱۳۴۹ اولین چاپ ویژگی‌های آب آشامیدنی را تحت شماره (۱۰۵۳) منتشر نمود. سپس در سال ۱۳۵۲ استاندارد دیگری تحت شماره (۱۰۱۱) به نام ویژگی‌های بیولوژیکی و حد مجاز آلودگی باکتریولوژیکی آب توسط این مؤسسه منتشر گردید. در سالهای ۱۳۶۴، ۱۳۷۲ و ۱۳۷۶ این استانداردها مورد تجدید نظر و اصلاح قرار گرفتند. این دو استاندارد (۱۰۱۱ و ۱۰۵۳) در حال حاضر استانداردهای رسمی مملکتی در مورد آب آشامیدنی می‌باشند. در جداول زیر به ترتیب استانداردهای فیزیکی، شیمیایی و سمی آب آشامیدنی ارائه شده است.

#### مشخصات فیزیکی آب شرب

پارامتر	واحد	استاندارد WHO	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
کدورت	NTU	۵	۵
رنگ	TCU <sup>(1)</sup>	۲۰	۲۰
بو	TON <sup>(2)</sup>	۲	۲
pH	-	۷-۸/۵	۶/۵-۹

مأخذ: مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی، ۱۳۷۶، استاندارد ۱۰۵۳ ایران، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، چاپ پنجم.

- WHO, 1998, Standards of potable water quality.

1) TCU : True Color Unit

2) TON: Threshold Odor Number

#### مواد کانی آب شرب (برحسب میلی‌گرم در لیتر)

پارامتر	استاندارد WHO	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
کل جامدات محلول (TDS)	۱۵۰۰	۱۵۰۰ <sup>(۱)</sup>
سختی کل	-	۵۰۰ <sup>(۲)</sup>
کلرور	۶۰۰	۴۰۰
سولفات	۲۵۰	۴۰۰
آهن	۰/۳	۰/۳
منگنز	۰/۵	۰/۵
آلومینیوم	-	۰/۲
روی	۳	۳
مس	۱/۵	۱



پارامتر	استاندارد WHO	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
نیتрат	۴۵	۵۰ <sup>(۳)</sup>
نیتريت	۰/۰۰۴	۳ <sup>(۳)</sup>
کلسیم	۲۰۰	۲۵۰
منیزیم	۱۵۰	۵۰ <sup>(۴)</sup>
آمونیاک	۰/۵	۱/۵
سدیم	۲۰۰	۲۰۰ <sup>(۵)</sup>

مأخذ: - مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی، ۱۳۷۶، استاندارد ۱۰۵۳ ایران، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، چاپ پنجم.

- WHO, 1998, Standards of non-toxic chemicals in potable water.

توضیح:

- ۱- در شرایط ویژه فقدان آب با کیفیت برتر در منطقه تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مجاز می‌باشد.
- ۲- سازمان بهداشت جهانی از دیدگاه بهداشتی حدی برای سختی آب توصیه نکرده است.
- ۳- در مورد نیترات و نیتريت مجموع غلظت هر کدام به مقادیر توصیه شده نباید از یک تجاوز کند.
- ۴- در صورتیکه غلظت منیزیم از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند، غلظت سولفات نباید بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر باشد.
- ۵- در شرایط فقدان آب با کیفیت برتر در منطقه تا ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر مجاز می‌باشد.

#### مواد معدنی سمی (برحسب میلی‌گرم در لیتر)

پارامتر	استاندارد WHO	مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
آرسنیک (As)	۰/۰۱	۰/۰۵
سرب (Pb)	۰/۰۱	۰/۰۵
کرم (Cr)	۰/۰۵	۰/۰۵
سلنیوم (Se)	۰/۰۱	۰/۰۱
کادمیوم (Cd)	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
آنتیموان (Sb)	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
جیوه (Hg)	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
مولیبدن (Mo)	۰/۰۷	۰/۰۷
سیانور (Cn)	۰/۰۵	۰/۰۷
وانادیوم (V)	۰/۱	۰/۱

مأخذ: - مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی، ۱۳۷۶، استاندارد ۱۰۵۳ ایران، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، چاپ پنجم.

- WHO, 1998, Standards of toxic chemicals in potable water.

## استاندارد تخلیه پساب

### استاندارد خروجی فاضلاب‌ها

ردیف	مواد آلاینده	تخلیه به آبهای سطحی (mg/l)	تخلیه به چاه جذب (mg/l)	مصارف کشاورزی و آبیاری (mg/l)
۱	نقره	۱	۰/۱	۰/۱
۲	آلومینیوم	۵	۵	۵
۳	آرسنیک	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۴	بر	۲	۱	۱
۵	باریم	۵	۱	۱
۶	برلیوم	۰/۱	۱	۰/۵
۷	کلسیم	۷۵	-	-
۸	کادمیوم	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
۹	کلر آزاد	۱	۱	۰/۲
۱۰	کلراید	۶۰۰ (تبصره یک)	۶۰۰ (تبصره دو)	۶۰۰
۱۱	فرمالدئید	۱	۱	۱
۱۲	فنل	۱	ناچیز	۱
۱۳	سیانور	۰/۵	۰/۱	۰/۱
۱۴	کبالت	۱	۱	۰/۰۵
۱۵	کرم	۰/۵	۱	۱
۱۶	کرم	۲	۲	۲
۱۷	مس	۱	۱	۰/۲
۱۸	فلوراید	۲/۵	۲	۲
۱۹	آهن	۳	۳	۳
۲۰	جیوه	ناچیز	ناچیز	ناچیز
۲۱	لیتیم	۲/۵	۲/۵	۲/۵
۲۲	منیزیم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۳	منگنز	۱	۱	۱
۲۴	مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۵	نیکل	۲	۲	۲
۲۶	آمونیم	۲/۵	۱	-
۲۷	نیتريت	۱۰	۱۰	-
۲۸	نیترات	۵۰	۱۰	-
۲۹	فسفات	۶	۶	-
۳۰	سرب	۱	۱	۱
۳۱	سلنیوم	۱	۰/۱	۰/۱
۳۲	سولفید	۳	۳	۳

۴- آشنایی با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب و فاضلاب و استانداردهای مربوطه

ردیف	مواد آلاینده	تخلیه به آبهای سطحی (mg/l)	تخلیه به چاه جاذب (mg/l)	مصارف کشاورزی و آبیاری (mg/l)
۳۳	سولفیت	۱	۱	۱
۳۴	سولفات	۴۰۰ (تبصره یک)	۴۰۰ (تبصره ۲)	۵۰۰
۳۵	وانادیوم	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۳۶	روی	۲	۲	۲
۳۷	چربی روغن	۱۰	۱۰	۱۰
۳۸	دترجنت	۱/۵	۰/۵	۰/۵
۳۹	بی . او . دی . (تبصره سه)	۳۰ (لحظه ای ۵۰)	۳۰ (لحظه ای ۵۰)	۱۰۰
۴۰	بی . او . دی (تبصره سه)	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	۶۰ (لحظه ای ۱۰۰)	۲۰۰
۴۱	اکسیژن محلول	۲	-	۲
۴۲	مجموع مواد جامد محلول	( تبصره یک )	( تبصره دو )	-
۴۳	مجموع مواد جامد معلق	۴۰ (لحظه ای ۶۰)	-	۱۰۰
۴۴	مواد قابل ته نشینی	۰	-	-
۴۵	pH	۶/۵-۸/۵	۵-۹	۶-۸/۵
۴۶	مواد رادیواکتیو	۰	۰	۰
۴۷	کدورت	۵۰	-	۵۰
۴۸	رنگ	۷۵	۷۵	۷۵
۴۹	درجه حرارت	تبصره ۴	-	-
۵۰	کلیفرم مدفوعی (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
۵۱	کل کلیفرم ها (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۵۲	تخم انگل	-	-	( تبصره ۵ )

مأخذ: مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۸۲.

تبصره ۱- تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که پساب خروجی، غلظت کلراید، سولفات و مواد محلول پذیرنده را در شعاع ۲۰۰ متری بیش از ده درصد افزایش ندهد.

تبصره ۲- تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که افزایش کلراید، سولفات، و مواد محلول پساب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از ده درصد نباشد.

تبصره ۳- صنایع موجود مجاز خواهند بود BOD<sub>5</sub> و COD را حداقل ۹۰ درصد کاهش دهند.

تبصره ۴- درجه حرارت باید به میزانی باشد که بیش از ۳ درجه سانتیگراد در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود آن، درجه حرارت منبع پذیرنده را افزایش یا کاهش ندهد.

تبصره ۵- تعداد تخم انگل (نماتد) در فاضلاب تصفیه شده شهری، در صورت استفاده از آن جهت آبیاری محصولاتی که به صورت خام مورد مصرف قرار می گیرد نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد.

### ۵- آشنایی با فرآیند تصفیه آب

کیفیت آب مورد نیاز برای مصارف خاص به ندرت با ویژگی‌های طبیعی آب مطابقت دارد. آب آشامیدنی با ویژگی‌های فیزیکی یا ظاهری آب که بایستی سالم و تمیز باشد، به طور طبیعی به مقدار کافی در دسترس نمی‌باشد. اکثر منابع آب از نظر کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی برای شرب مناسب نیستند و قبل از مصرف احتیاج به یک سری عملیات دارند. چنین عملیاتی که به منظور متناسب سازی آب برای مصرف خاصش صورت می‌گیرد تصفیه نامیده می‌شود.

آب خام (Untreated Water) یا آب تصفیه نشده، آبی است که هیچ گونه مرحله تصفیه را نگذرانده باشد.

آب تصفیه شده (Treated Water)، آبی است که حداقل یک مرحله از تصفیه را گذرانده باشد.

آب قابل شرب، آبی است که فاقد رنگ، بو، مزه، مواد سمی، میکروارگانیسم‌های بیماریزا و مواد آلی بوده و مواد معدنی آن در حد قابل قبول باشد.

آبی را از نظر شرب آلوده گویند که مصرف کننده در اثر مصرف آن در معرض بیماری‌های میکروبی و غیرمیکروبی قرار گیرد و یا به دلیل شرایط نامطلوب آن، اکراه در مصرف آن داشته باشد.

تصفیه آب (Water Treatment)، پلی است بین کیفیت منبع آب، با کیفیتی که از استانداردها انتظار داریم و به عملیاتی گفته می‌شود که بر روی آب انجام می‌گیرد تا خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب را به حد استاندارد برساند. عملیاتی که در تصفیه‌خانه آب انجام می‌گیرد شامل: صاف کردن، ته‌نشینی، انعقاد و لخته‌سازی، ضدعفونی، حذف بو، رنگ و مزه، سختی‌گیری، حذف آهن و منگنز، فلوئورزنی در صورت ضرورت، تثبیت آب (تنظیم pH) و ... می‌باشد.

اهداف تصفیه آب:

- بهبود بخشیدن به قابلیت ظاهری آب
  - غیرفعال نمودن میکروارگانیسم‌هایی که تولید بیماری می‌نمایند
  - از بین بردن مواد سمی و دیگر موادی که برای سلامتی انسان مضر هستند
- هدف از تصفیه آب جداسازی ناخالصی‌های آب می‌باشد. این ناخالصی‌ها به دو دسته معلق و محلول دسته‌بندی می‌شوند:

ناخالصی‌های معلق شامل:

- ذرات زنده بیماریزا مانند: باکتریها
- ذرات زنده غیربیماریزا مانند: پلانکتون‌ها
- ذرات غیر زنده مانند: رس، سیلت و شن

ناخالصی‌های محلول شامل:

- تمامی کاتیون‌ها و آنیون‌ها
- فلزات سنگین
- عناصر سمی
- گازها
- مواد رادیواکتیو

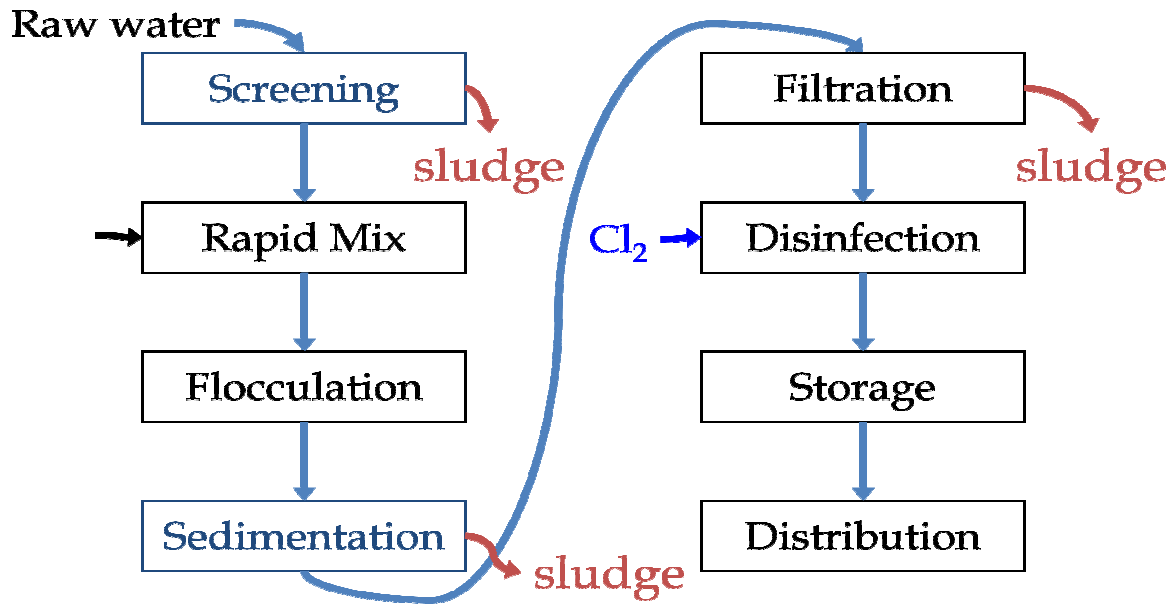
فرآیند منتخب برای تصفیه آب آشامیدنی، بستگی به کیفیت منبع آب خام دارد. اکثر آب‌های زیرزمینی، صاف و عاری از پاتوژن بوده و مقادیر مواد آلی آن حداقل است. این چنین آب‌هایی می‌توانند تنها با گندزدایی با حداقل مقادیر کلر برای جلوگیری از آلودگی در شبکه توزیع مورد استفاده شرب قرار گیرند. آب‌های زیرزمینی دیگر ممکن است حاوی مقادیر زیادی مواد محلول یا گاز باشند. برای آب‌های حاوی مقادیر زیاد آهن و منگنز و یا سختی فرآیندهای تصفیه فیزیکی و شیمیایی لازم می‌شود.

آب‌های سطحی نسبت به آب‌های زیرزمینی غالباً حاوی انواع بیشتری از آلاینده‌ها هستند و فرآیندهای تصفیه ممکن است پیچیده‌تر باشد. اکثر آب‌های سطحی حاوی کدورت بیشتر از استاندارد آب آشامیدنی هستند. برای حذف این ذرات کلوئیدی فرآیند انعقاد شیمیایی نیاز است.

تصفیه متعارف آب‌های سطحی (Conventional Water Treatment)

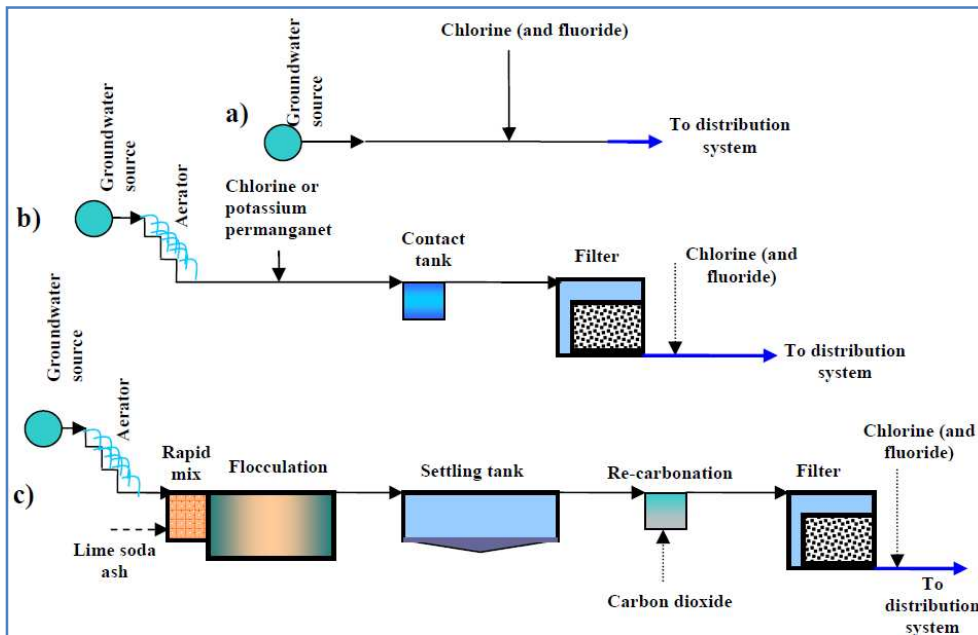
پیش تصفیه: تاسیسات پیش تصفیه ممکن است در داخل و یا خارج تصفیه‌خانه ساخته شود. پیش تصفیه بیشتر از فرآیندهای فیزیکی برای گرفتن مواد شناور و مواد معلق استفاده می‌کند و هدف از پیش تصفیه بهبود بخشیدن به کیفیت آب ورودی به تاسیسات تصفیه‌خانه می‌باشد. از مهمترین اهداف پیش تصفیه موارد زیر قابل ذکر است:

- جلوگیری از ورود اجسام درشت و سنگ و شن به تصفیه‌خانه
- حذف و کاهش مواد معلق تا حدی که برای تاسیسات تصفیه‌خانه ایجاد اشکال ننماید
- حذف برخی از مواد نامطلوب
- حذف برخی از گازها مانند متان،  $SH_2$  و گاز کربنیک



فرآیند متعارف تصفیه آب سطحی

متناسب با نوع منبع آب، فرآیند تصفیه در نظر گرفته شده نیز متفاوت می‌باشد. در شکل زیر چند چیدمان تصفیه جهت منابع آب زیرزمینی ارائه شده است.



دیگرام شماتیک سیستم‌های متعارف تصفیه آب زیرزمینی

a: گندزدایی و فلئورزنی؛ b: حذف آهن و منگنز؛ c: سختی‌گیری از طریق رسوب‌دهی شیمیایی

واحدهای عملیاتی و فرآیندی تصفیه آب به شرح زیر می‌باشد:

#### تصفیه مقدماتی

- آشغالگیری: اولین واحد تصفیه مقدماتی است که بر روی آب خام انجام می‌گیرد. آشغالگیرهای مشبک سیمی یا میله‌ای دهانه فراخ برای گرفتن اجسامی مانند سنگ و چوب و سایر اجسامی که ممکن است به تاسیسات تصفیه‌خانه صدمه وارد سازند، بکار می‌رود.
- تصفیه شیمیایی مقدماتی: در این مرحله از مواد شیمیایی برای کنترل رشد گیاهان آبی استفاده می‌شود. بعضی از گیاهان آبی بو و مزه خاصی به آب می‌دهند و بعضی دیگر مشکلاتی در تصفیه‌خانه بوجود می‌آورند. آگ‌ها و سایر میکروارگانیسم‌های ذره‌بینی باعث گرفتگی لوله‌ها و صافی‌ها شده و بر روی تاسیسات تصفیه‌خانه لایه لزجی بوجود آورده و ایجاد بو و مزه می‌کنند. رنگ نیز می‌تواند نتیجه محصولات فرعی آگ‌ها باشد و نشانگر وجود مزه و بوی آب است. آگ‌ها رنگ‌های زرد، سبز متمایل به سبز، آبی، سبز، قرمز و قهوه‌ای در آب ایجاد می‌نمایند. رنگ آب ممکن است به دلیل وجود مواد دیگری مانند: آهن و منگنز، مواد آلی سیلاب‌های سطحی و فاضلاب‌های صنعتی باشد. لذا، قبل از اقدام به رنگ‌زدایی لازم است علت اصلی آن مشخص گردد.
- ته‌نشینی مقدماتی: در این واحد مواد معلق درشت موجود در آب به واسطه زمان ماند بصورت ثقلی ته‌نشین می‌گردند و چنانچه این واحد به طرز مناسبی عمل نماید تقریباً ۶۰ درصد مواد قابل ته‌نشینی از آب جدا می‌شوند.
- صافی‌های مشبک: از این نوع صافی‌ها برای گرفتن آگ‌ها، سایر موجودات آبی و اجسام کوچک استفاده می‌شود. متداولترین صافی از این نوع، ظرف استوانه‌ای دوار با ورقه‌ای که دارای سوراخ‌های ریز می‌باشد تشکیل می‌گردد. یکی از مزایای عمده این صافی‌ها، بهبود عملکرد واحد فیلتراسیون می‌باشد. این صافی‌ها حدود ۶۵ درصد از مواد مسدود کننده فیلترها را از آب خارج می‌سازند.
- اندازه‌گیری جریان آب: جریان آب بعد از خروج از بخش تصفیه‌مقدماتی و قبل از ورود به تصفیه‌خانه اندازه‌گیری می‌شود، تا اطلاعات لازم مانند کنترل جریان آب ورودی به قسمت‌های مختلف تصفیه‌خانه، تنظیم مقدار مواد شیمیایی، تعیین کارایی پمپ‌ها و الکتریسیته مورد نیاز، محاسبه زمان باقی ماندن آب در مراحل مختلف تصفیه، تنظیم مقدار آب تصفیه‌شده و محاسبه هزینه تصفیه یک واحد آب تهیه گردد.

**واحد هوادهی:**

در تصفیه‌خانه آب اغلب هوادهی اولین فرآیند تصفیه است. هوا را با آب مخلوط می‌کنند تا برخی گازهای محلول مانند دی‌اکسید کربن و گازهای نامحلول مانند هیدروژن سولفور و متان از آب خارج شده و غلظت اکسیژن محلول آب که برای اکسیداسیون فلزات محلول مانند آهن و منگنز به اکسیدهای نامحلول لازم است، افزایش یابد. هوادهی، مواد فراری که به آسانی بخار شده و نقطه جوش پایینی دارند و بو و مزه در آب تولید می‌کنند را از آب خارج می‌کند. گاز متان خیلی کم در آب حل شده و به آسانی بوسیله هوادهی از آب خارج می‌شود. یکی از مزایای هوادهی، افزایش اکسیژن محلول و گوارا شدن آب‌ها است، ولی مقدار خیلی زیاد آن آب را خورنده می‌کند.

**واحد انعقاد و لخته‌سازی:**

یک روش شیمیایی تصفیه است که در آن مواد شیمیایی مختلف مانند: سولفات آلومینیم، سولفات مس، سولفات فرو و فریک، آلومینات سدیم را به مقدار لازم و کافی به آب اضافه می‌کنند تا ذرات کوچک، سبک و غیرقابل ته‌نشینی به ذرات بزرگ‌تر و سنگین‌تر تبدیل شده و به آسانی ته‌نشین گردند. معمولاً ذرات در آب دارای بار الکتریکی منفی بوده و یکدیگر را دفع می‌کنند. در تصفیه آب این نیروی الکتریکی طبیعی دافع را پتانسیل زتا می‌نامند. این نیرو برای جدا نگه داشتن ذرات کلوئیدی خیلی ریز از یکدیگر بوده و آنها را در آب بصورت معلق نگه می‌دارد. نیروی واندروالس میان تمام ذرات موجود در طبیعت وجود داشته و دو ذره را به طرف یکدیگر می‌کشد. این نیروی جاذب، عکس پتانسیل زتا عمل می‌کند و تا زمانی که پتانسیل زتا از نیروی واندروالس بزرگ‌تر است ذرات بصورت معلق در آب باقی خواهند ماند. فرآیند انعقاد پتانسیل زتا ذرات غیر قابل ته‌نشینی را خنثی نموده تا نیروی واندروالس ذرات را به طرف یکدیگر کشیده و تشکیل گروه‌های کوچک ذرات را بدهد. ذرات کوچک تشکیل شده در مرحله لخته‌سازی به همدیگر چسبیده و ذرات بزرگ‌تر قابل ته‌نشینی را بوجود می‌آورند.

**واحد ته‌نشینی:**

مواد معلق در آب به کمک ته‌نشینی از آب جدا می‌شوند تا فشار بر فیلترها و سایر مراحل تصفیه کاهش یابد. آب را با سرعت خیلی آهسته‌ای به حوضچه‌های ته‌نشینی وارد نموده و فرصت کافی به آن داده می‌شود تا مواد معلق به واسطه نیروی ثقل ته‌نشین گردند. لجن ته حوضچه‌ها را با پمپ خارج نموده و بعد از گرفتن آب آن باقیمانده را مجدداً مصرف کرده یا دفع می‌نمایند. در تصفیه‌خانه‌های آب معمولاً عملیات انعقاد و لخته‌سازی و



تهنشینی در یک تانک زلال‌ساز صورت می‌گیرد. از معروفترین این سیستم‌ها، یکی زلال‌ساز اکسیلاتور که در تصفیه‌خانه آب جلالیه تهران بیش از ۵۰ سال است که در حال بهره‌برداری است و دیگری پولساتور که در تعداد زیادی از تصفیه‌خانه‌های آب ایران در حال بهره‌برداری می‌باشد، می‌توان اشاره کرد.

#### واحد سختی‌گیری:

مقادیر مواد محلول آب‌ها متفاوت است که بعضی از آنها مخصوصاً کلسیم و منیزیم باعث سختی آب می‌شوند. سختی آب به سختی کلسیم و منیزیم و سختی کربناتی و غیرکربناتی طبقه‌بندی می‌شود. با استفاده از مواد شیمیایی و تبدیل عوامل سختی از فرم محلول به غیر محلول سختی را از آب جدا می‌کنند.

#### واحد فیلتراسیون:

هدف اصلی این واحد جدا کردن مواد معلق عبور کرده از واحد ته‌نشینی می‌باشد. مواد معلق شامل ذرات تشکیل یافته در عمل انعقاد و لخته‌سازی، خروجی ته‌نشینی، میکروارگانیزم‌ها، رسوباتی مانند کربنات کلسیم که بعد از سبک کردن آب‌های سطحی و یا زیرزمینی با آهک یا آهک- کربنات سدیم در آب باقی می‌ماند و رسوبات آهن و منگنز از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. کاهش کدورت آب در حفظ سلامتی و بهداشت مردم و جلوگیری از مشکلات و مسایل سیستم توزیع آب مهم است. کدورت در فرآیند گندزدایی تداخل می‌نماید، زیرا که به صورت حفاظی مانع اثر مواد ضدعفونی کننده بر میکروارگانیزم‌ها می‌گردد.

#### روش جذب:

یکی از اهداف عمده تصفیه آب، تهیه آب صاف و گوارا می‌باشد. روش جذب برای جدا کردن مواد آلی که رنگ، بو و مزه تولید می‌کنند، بکار می‌رود. آب‌های خام مقادیر متفاوتی مواد آلی محلول دارند که معمولاً غلظت آنها در آب‌های سطحی بیشتر از آب‌های زیرزمینی است. بعضی از این مواد آلی مانند: مواد هیومیک در طبیعت یافت می‌شوند و تعداد زیادی از آنها، از طریق سیلاب‌ها، فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی وارد آب‌های سطحی یا زیرزمینی می‌گردند.

#### واحد فلوئورزنی:

عبارت است از افزایش ترکیبات مختلف فلوئور مانند فلوئور سدیم به آب آشامیدنی تا غلظت مجاز فلوئور که پوسیدگی و فساد دندان اطفال را کاهش می‌دهد، تامین گردد.

**واحد تثبیت:**

هدف از تثبیت آب، کنترل خوردگی و تشکیل رسوب در آب‌های آشامیدنی قبل از ورود به شبکه توزیع آب است. آب‌های مشروب خورنده فلزات سمی سیستم توزیع مانند: سرب و کادمیوم را حل می‌نمایند. مشکلات رنگ، بو و مزه از اثر خوردگی آب بر لوله‌های فلزی سیستم توزیع آب بوجود می‌آید. روش‌های اصلی تثبیت آب تنظیم pH و قلیائیت آب می‌باشد.

**واحد گندزدایی:**

گندزدایی آب‌ها برای از بین بردن میکروارگانیسم‌های بیماریزا انجام می‌گیرد. تمامی آب‌های آشامیدنی باید گندزدایی شوند و چون آب‌های سطحی بیشتر از آب‌های زیرزمینی در معرض آلودگی با عوامل بیماریزا می‌باشند، بنابراین همیشه باید بعد از تصفیه، گندزدایی نیز بشوند. اگرچه کلر زنی متداولترین روش گندزدایی آب است، ولی روش‌های گندزدایی دیگری مانند تصفیه حرارتی، تصفیه پرتو افکنی و تصفیه شیمیایی وجود دارد.

آلاینده‌های اصلی آب و روش‌های حذف هر یک در جداول زیر ارائه شده است.

پارامترهای فیزیکی		
کاربرد	فرآیند	آلاینده‌ها
این روش زمانی استفاده می‌شود که آب کدورت پایین و رنگ ملایمی داشته باشد و بررسی‌های آزمایشگاهی قبل از اجرا جهت تعیین عملکرد و تعیین پارامترهای طراحی انجام پذیرد.	فیلتراسیون <sup>a</sup> In-line	کدورت/ ذرات
این روش برای آب‌هایی با کدورت و رنگ‌های پایین و یا متوسط به کار می‌رود. همچنین بررسی‌های آزمایشگاهی قبل از اجرا باید جهت تعیین عملکرد و تعیین پارامترهای طراحی انجام پذیرد. در این نوع تصفیه طول دوره عملکرد فیلترها نسبت به روش متعارف کمتر است.	فیلتراسیون مستقیم <sup>b</sup>	
این روش برای آب‌هایی با کدورت متوسط تا بالا به کار می‌رود. این روش موثر و انعطاف‌پذیرتر نسبت به روش تصفیه مستقیم و تصفیه In-Line است. زمان ماند در حوضچه ته‌نشینی اجازه می‌دهد که مواد آلی طبیعی و مزه و رنگ حذف گردند.	تصفیه متعارف <sup>c</sup>	

<p>این روش در حذف کدورت، باکتریها و ذرات ریز بسیار موثر است. ممکن است ویروسها توسط بعضی از انواع غشاهای اولترافیلتراسیون حذف گردند. به خوبی در کدورت پایین آب و با پیش تصفیه برای حذف ذرات کار می کند. مواد آلی طبیعی می تواند باعث گرفتگی غشاها شوند. برای نشان دادن حذف ذرات و میزان جرم گرفتگی نیاز به بررسی های آزمایشگاهی می باشد. به راحتی قابلیت اتوماتیک شدن دارند و فضای مورد نیاز آنها بسیار کوچکتر از فرآیندهای متعارف است.</p>	<p>فیلتراسیون غشایی، میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون</p>	
<p>مکانیزم های حذف اولیه، بیولوژیکی و فیزیکی است. در کدورت های پایین به خوبی کار می کند. هنگامیکه همراه با (GAC) استفاده شود، کاملا موثر در حذف مزه و بو خواهد بود. میزان بار سطحی بین ۵۰ تا ۱۰۰ برابر کمتر از فیلتر سریع است. بنابراین، این فیلترها بسیار بزرگ هستند. معمولترین کاربرد آن در جوامع کوچک است. اما تصفیه خانه های بزرگ در حال کار در دنیا نیز وجود دارند.</p>	<p>فیلتراسیون شنی کند</p>	
<p>در آبهایی با سختی متوسط و سختی بالا مورد قرار می گیرد. این روش به عنوان معمولترین روش برای حذف سختی آب بکار گرفته شده است.</p>	<p>سختی گیری سودا و آهک</p>	
<p>از معمولترین روشها در تصفیه خانه های کوچک است. دفع محلولهای بازیافتی می تواند یک مشکل باشد. معمولا به عنوان غشاهای اسمز معکوس فشار پایین از آنها یاد می شود. همچنین در آبهای معمولی و با سختی بالا کاربرد دارد. معمولترین روش حذف سختی آب از لحاظ تاریخی می باشد.</p>	<p>نانوفیلترهای تبادل یونی</p>	<p>سختی</p>
<p>کاربرد آن برای شیرین کردن آب اقیانوس، دریا و آبهای شورمرزه است. دور ریختن محلول غلیظ شده حاصل از اسمز معکوس و تبادل یونی عامل محدود کننده در انتخاب این روش های تصفیه است.</p>	<p>اسمز معکوس، تقطیر</p>	<p>مواد محلول (TDS)</p>

a: فیلتراسیون In-line شامل یک انعقاد و بعد فیلتراسیون است. در کشور آمریکا به فیلتراسیون تماسی شناخته می شود.

b: تصفیه مستقیم که شامل انعقاد، لخته سازی و فیلتراسیون می باشد.

c: تصفیه سنتی که شامل انعقاد، لخته سازی، ته نشینی و فیلتراسیون می باشد.

پارامترهای شیمیایی غیر آلی (معدنی)		
کاربرد	فرآیند	آلاینده‌ها
حذف بیولوژیکی نیترات، مستلزم استفاده از میکروارگانیزم‌های مخصوص در آب آشامیدنی می‌باشد. روش اسمز معکوس برای TDS بالا و آب شور به کار می‌رود. تبادل یونی با رزین‌های یون‌های منفی مورد توجه است.	حذف بیولوژیکی نیترات، اسمز معکوس، تبادل یونی	نیترات
سختی‌گیری با آهک باعث حذف فلورید از آب توسط تشکیل یک رسوب غیرقابل حل می‌شود. انعقاد آلوم باعث پایین آوردن سطح فلوراید و نزدیک کردن آن به میزان مجاز آب آشامیدنی می‌شود. فلوراید جذب سطحی قوی و تبادل زیادی با اکتیوآلومینیوم دارد.	انعقاد، سختی‌گیری توسط آهک، رسوب آلومینیوم فعال شده	فلوراید
انعقاد با آهن و نمک‌های آلومینیوم و آهن برای از بین بردن بیش از ۹۰٪ از آرسنیک (با غلظت اولیه تقریباً ۰.۱ میلی‌گرم بر لیتر) موثر است. حذف آرسنیک III مشکل است.	رسوب و انعقاد آلومینیوم فعال شده، تبدیل یونی، اسمز معکوس	آرسنیک
انعقاد آلوم و سولفات آهن و سختی‌گیری آهک در تکنیک‌های تصفیه متعارف برای حذف سلنیوم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اکتیو آلوم همیشه یک عامل بالقوه برای حذف Se (IV) و Se (VI) مورد بررسی قرار گرفته است. هرچند رزین‌های تبادل یونی پایه قوی، برای حذف سلنیوم کاملاً بررسی نشده است، ولی به نظر می‌رسد که موثر باشند اما آنها برای سلنیوم قابلیت انتخابگری ندارند.	رسوب و انعقاد آلومینیوم فعال شده، تبدیل یونی، اسمز معکوس	سلنیوم
معمولاً در آب‌های زیرزمینی به عنوان سولفید هیدروژن یافت می‌شود و باعث ایجاد بو و مزه در آب می‌شود که بوی تخم مرغ فاسد شده دارد. معمول‌ترین روش حذف آن هوادهی و کلرزنی است.	اکسیداسیون	سولفید
به طور معمول در آب‌های زیرزمینی و دریاچه‌ها با اکسیژن حل شده کم یافت می‌شود. معمول‌ترین روش حذف آن هوادهی و اضافه کردن مواد شیمیایی است برای مثال از (پتاسیم، پرمنگنات و کلر) جهت ته‌نشینی و زلال‌سازی برای حذف آن استفاده می‌شود.	اکسیداسیون/تبادل یونی	آهن/مگنیز
فیلتراسیون ماسه سبز که در آنها اکسیداسیون و فیلتراسیون به طور همزمان اتفاق می‌افتد روش معمول است. به کار بردن رسوب پلی فسفات روش دیگری است که می‌تواند برای حذف آهن و مگنیز به کار رود.	پلی فسفات	
اسمز معکوس، معمول‌ترین راه برای حذف سولفات از آب دریا است.	اسمز معکوس	سولفات

مواد رادیو اکتیو		
کاربرد	فرآیند	آلاینده‌ها
هوادهی ساده بسیار موثر است. ستون‌های هوادهی پک شده می‌توانند برای حذف یونهای زیادی مورد استفاده قرار گیرند. اختلاط یا زمان ماند ممکن است باعث کنترل میزان پایین آلودگی رادون شود.	هوادهی، زمان ماند	رادون
کربن مورد استفاده برای جذب سطحی ممکن است بدلیل داشتن مقداری رادیواکتیویته ایجاد مشکل نماید.	جذب سطحی	
فرآیند انتخابی بستگی به اندازه آلودگی دارد. دور ریختن ته‌مانده‌ها بواسطه داشتن مقداری رادیواکتیویته می‌تواند ایجاد مشکل نماید.	انعقاد	رادیوم
فرآیند انتخابی بستگی به اندازه آلودگی دارد. دور ریختن ته‌مانده‌ها بواسطه داشتن مقداری رادیواکتیویته می‌تواند ایجاد مشکل نماید.	سختی‌گیری با آهک، تبادل یونی، اسمز معکوس	اورانیوم

عاملهای میکروبی		
کاربرد	فرآیند	آلاینده‌ها
باکتریها می‌توانند بواسطه فرآیند متعارف شامل: ته‌نشینی و فیلتراسیون حذف شوند. فرآیندهای غشایی نیز یک مانع مثبت برای اکثر باکتریها به شمار می‌روند. در دوزهای معین و زمان ماند کافی، ضد عفونی کننده‌های معمول (کلر، اکسید کلر، کلرآمینها، UV و ازن در غیر فعال کردن باکتریها موثر هستند.	تصفیه متعارف، فیلتراسیون غشایی، اسمز معکوس، ضد عفونی	باکتریها
ویروسها طی مراحل انعقاد که شامل زلال‌سازی و ته‌نشینی است می‌تواند حذف شود. فرآیند غشایی با وزن ملکولی پایین همانند تعدادی از اولترافیلتراسیون‌های غشایی برای حذف ویروسها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند. کنترل موثر غشاها مستلزم بررسی‌های آزمایشگاهی می‌باشد. اکثر ضد عفونی کننده‌ها به استثنای کلرآمین‌ها برای غیر فعال‌سازی بیشتر ویروسها موثرند. کلرآمین‌ها مستلزم زمان تماس زیاد و دوز بالایی برای بی اثر کردن ویروسها می‌باشند.	تصفیه متعارف، فیلتراسیون غشایی، اسمز معکوس، ضد عفونی	ویروسها

<p>کیست‌های ژیاوردیا و Cryptosporidium مستلزم کاربرد میزان بالا از ضدعفونی کننده‌ها جهت از بین رفتن می‌باشد. به ترتیب سودمند بودن عبارتند از: ازن، اکسید کلر، کلر، کلرآمین‌ها روش تصفیه متعارف همانند روش فیلتراسیون توسط دانه‌های گرانولی در حذف کیست‌ها موثر است. فرآیند غشایی یک مانع مطمئن در مقابل کیست‌ها هستند. همچنین تشعشع UV بسیار موثر است.</p>	<p>تصفیه متعارف، فیلتراسیون گرانولی، اسمز معکوس، غشاهای پرفشار، ضدعفونی</p>	<p>کیست‌های تک سلولی</p>
<p>تزریق سولفات مس در آب خام ذخیره‌سازی مثل مخازن، حوضچه‌ها و دریاچه‌ها کاربرد داشته و برای کنترل جلبک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. وضع جلبک‌های فصلی کم تا شدید را می‌توان بواسطه کنترل فرآیندهای تصفیه متعارف شامل ته‌نشینی و فیلتراسیون کنترل کرد. طول زمان بهره‌برداری از فیلترها در فصل‌های ایجاد جلبک، کوتاه می‌گردد. در صورتی که وجود جلبک دائمی باشد استفاده از روشهایی مانند فلوئتاسیون توسط هوای حل شده و یا زلال سازهای تماسی (نظیر پولساتور) توصیه می‌گردد.</p>	<p>سولفات مس، تصفیه متعارف، شناورسازی توسط دمیدن هوا، میکرواسترینیگ</p>	<p>جلبک</p>

پارامترهای حسی		
کاربرد	فرآیند	آلاینده‌ها
<p>بیشتر مشکلات مزه و بو به علت رشد جلبک‌ها است. استفاده از سولفات مس در منابع آبی در کنترل رشد جلبک‌ها موثر است. هوادهی در مواردی که منبع آب خام نسبتاً کم عمق باشد جهت از بین بردن بو و مزه موثر خواهد بود.</p>	<p>کنترل منشاء از طریق سولفات مس</p>	<p>مزه و بو<sup>d</sup></p>
<p>کلر، ممکن است که در کنترل مزه و بو بواسطه سولفید هیدروژن مورد استفاده قرار گیرد، اما در بو و مزه ناشی از جلبک‌ها موثر نبوده و ممکن است یک بو و مزه جدید بوجود آورده که از آن قبلی بدتر باشد. ازن، یکی از موثرترین اکسیدکننده‌ها برای حذف مزه و بو است و همچنین می‌تواند به عنوان یک ضدعفونی کننده مورد استفاده قرار گیرد. پرمنگنات، برای برخی از مزه و بوهای ناشی از جلبک‌ها در pH قلیایی موثر</p>	<p>اکسیداسیون با کلر، ازن، پتاسیم، پرمنگنات و اکسید کلر</p>	<p>مزه و بو<sup>d</sup></p>

<p>است. اکسید کلر در نظارت و کنترل خیلی از بوها و مزها موثر است. بررسی‌های آزمایشگاهی برای یافتن بهترین اکسیدکننده جهت حذف طعم و بو لازم است.</p>	
<p>دانه‌های کربن فعال مانند یک فیلتر برای حذف بو و مزه‌های کم و متوسط می‌تواند خیلی موثر باشد. تعویض دانه‌ها معمولاً در یک چرخه ۳ تا ۵ ساله باید انجام گردد. برای کنترل بو و مزه می‌توان در فرآیند انعقاد PAC در شکل دوغابی آن به آب اضافه شود. استفاده از PAC در زلال‌سازی تماسی نظیر پولساتور بسیار موثر است.</p>	<p>جذب سطحی توسط PAC و GAC</p>
<p>دوزهای انعقاد بالا و pH پایین در حذف رنگ خیلی زیاد می‌تواند موثر باشد. بررسی‌های آزمایشگاهی در این رابطه توصیه شده است.</p>	<p>انعقاد/رسوب دادن</p>
<p>دوام بستر دانه‌های کربن فعال، بسته به زمان تماس می‌تواند کوتاه باشد</p>	<p>جذب سطحی توسط GAC</p>
<p>ازن، کلر، اکسید کلر و <math>KMnO_4</math> معمولاً موثرترین هستند. pH می‌تواند بر روی کارایی تاثیر گذاشته و برخی از رنگها ممکن است بعد از اکسیداسیون برگردند. بررسی‌های آزمایشگاهی توصیه شده است. اسمز معکوس خیلی موثر اما گران است.</p>	<p>رنگ اکسیداسیون توسط کلر، ازن، پرمنگنات پتاسیم و اکسید کلر، اسمز معکوس با فشار پایین</p>

d: مجموع مواد جامد حل شده در آب که همیشه می‌تواند سبب مشکل رنگ و بو شود که تحت عنوان پارامترهای فیزیکی مطرح می‌شوند.

### ۶- آشنایی با فرآیند تصفیه فاضلاب (تصفیه اولیه، ثانویه و پیشرفته)

هر آبی که برای مصارف بخصوصی تهیه شده است، به هر علتی کیفیت خود را برای آن مصرف از دست بدهد، تبدیل به فاضلاب می‌شود. فاضلاب خانگی، آب مصرف شده در دستشویی، توالت، حمام، ماشین‌های لباس‌شویی و ظرف‌شویی، آشپزخانه و یا فاضلاب بدست آمده از شستشوی قسمت‌های مختلف منزل را شامل می‌گردد. همراه با این فاضلاب، فاضلاب تولیدی مناطق تجاری و موسسات نیز از طریق شبکه جمع‌آوری فاضلاب جمع‌آوری می‌گردد. شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری یا مستقل بوده و یا بصورت مشترک با شبکه جمع‌آوری آب باران می‌باشد.

دفع غیربهداشتی فاضلابها، یکی از عوامل آلودگی محیط زیست است. لذا، بایستی آنها را به صورت اصولی و مهندسی جمع‌آوری و از شهرها بیرون آورد، نخست آنها را تصفیه نمود و سپس به گردش آب در طبیعت برگردانید. بیش از ۹۹/۹ درصد فاضلاب مایع و کمتر از ۰/۱ درصد آن ناخالص‌های جامد می‌باشد. بین مصرف آب و تولید فاضلاب ارتباط مستقیم وجود دارد. حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد از آب مصرفی تبدیل به فاضلاب می‌گردد.

#### انواع فاضلاب:

- ۱- فاضلاب خانگی یا بهداشتی: عبارت از فاضلابی است که از مناطق مسکونی، تجاری و موسسات حاصل می‌گردد. از ترکیبات این فاضلاب مواد آلی پروتئین‌دار، ازت‌دار، کلسیم‌دار و فسفردار قابل ذکر است.
- ۲- فاضلاب صنعتی: در اثر مصرف آب در فرآیندهای یک صنعت تولید می‌شود. کمیت و کیفیت فاضلاب تولیدی در صنایع مختلف متفاوت می‌باشد. از ترکیبات این فاضلاب مواد سمی، فلزات سنگین، مواد اسیدی، روغن، چربی، رنگ، نفت و ... می‌باشد.
- ۳- فاضلاب کشاورزی: آب مورد مصرف در کشاورزی است که بوسیله زهکشی خارج می‌شود. باقیمانده کودهای شیمیایی و سموم مصرفی در کشاورزی از آلاینده‌های این نوع فاضلاب می‌باشد.
- ۴- سیلاب‌ها: عبارت است از آب حاصل از بارش که در صورتیکه از شبکه جمع‌آوری مرکب استفاده شود همراه با فاضلاب خانگی و صنعتی وارد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌گردد.

#### ویژگی‌های فاضلاب

خصوصیات فیزیکی فاضلاب شهری به شرح زیر می‌باشد:



رنگ فاضلاب: فاضلاب تازه خانگی عموماً خاکستری رنگ بوده، اما فاضلاب کهنه سیاه رنگ می‌باشد. زیرا به مرور مواد آلی تشکیل دهنده فاضلاب با اکسیژن واکنش نشان داده و اکسیده می‌شود و رنگ مواد آلی تغییر می‌کند. بو: فاضلاب تازه فاقد بوی خاصی است، اما فاضلاب کهنه به علت متصادد شدن گازهای  $SO_2$ ،  $SH_2$  و  $CH_4$  بد بو و ناراحت کننده است که علت آن اکسید شدن مواد آلی است.

حرارت: فاضلاب تازه دمای اطراف خود را دارد، اما فاضلاب کهنه معمولاً ۱۰ درجه سانتی‌گراد از هوای اطراف خود گرم‌تر است که دلیل آن فعل و انفعالات شیمیایی تکثیر تصاعدی میکروارگانیسم‌ها است.

موجودات زنده: در فاضلاب تازه، موجودات زنده (میکروارگانیسم‌ها) به مقدار کم یافت می‌شوند. اما در فاضلاب کهنه در هر سانتی‌متر مکعب فاضلاب، میلیون‌ها میکروارگانیسم می‌تواند وجود داشته باشد.

شرایط اسیدی: فاضلاب تازه شرایط خنثی دارد و حتی در برخی مواقع به دلیل حضور مواد شوینده تمایل قلیایی دارد. اما فاضلاب کهنه به شدت اسیدی است و اصطلاحاً به علت ترشیدگی و گندیدگی مواد آلی، انواع اسیدها با غلظت‌های مختلف به وجود می‌آید.

#### شاخص آلودگی فاضلاب

در تصفیه فاضلاب، برای تشخیص میزان آلودگی و غلظت آن از شاخص‌های  $BOD_5$  (اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی) و COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی) استفاده می‌شود. اکسیژن‌خواهی فاضلاب در هنگام اکسیداسیون مواد آلی است. بطوریکه هر چقدر فاضلاب آلوده‌تر باشد، غلظت مواد آلی آن بیشتر بوده و در هنگام تبدیل شدن به مواد معدنی به اکسیژن بیشتری نیاز دارد. پس هر چقدر نیاز به اکسیژن بیشتر باشد، فاضلاب آلوده‌تر است.

#### تصفیه فاضلاب

تصفیه به معنای جداسازی می‌باشد. هر عملی که باعث شود مواد آلاینده جامد، محلول و یا گاز از فاضلاب خارج شود، به عنوان عمل تصفیه محسوب می‌گردد. برای تصفیه فاضلاب روش‌های متنوعی ابداع گردیده است. این روش‌ها را می‌توان به سه دسته تصفیه فیزیکی، تصفیه شیمیایی و تصفیه زیستی اشاره کرد.

روش‌های فیزیکی: در روش‌های فیزیکی معمولاً از عوامل فیزیکی استفاده می‌گردد. مهمترین عاملی که در این نوع روش تصفیه بکار برده می‌شود، ته‌نشینی است که برای حذف مواد جامد با وزن مخصوص بیشتر از آب کارایی دارد. غیر از عامل یادشده، از عوامل دیگری نظیر شناورسازی مواد سبک‌تر از آب، غربال‌گری و اختلاط نیز در

این روش استفاده می‌شود. آشغالگیری، ته‌نشینی، فیلتراسیون، اسمز معکوسو تقطیر و سرد کردن از جریان‌های تصفیه فیزیکی فاضلاب‌ها است. از خصوصیات این روش موارد ذیل قابل ذکرند:

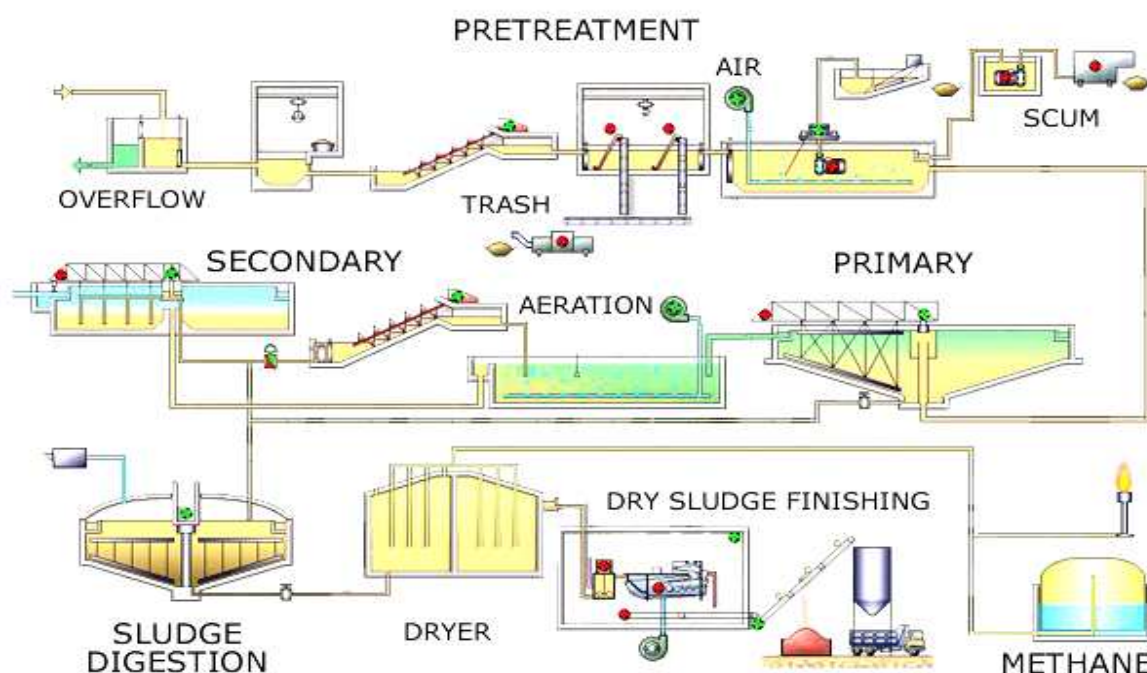
- ساده و اغلب ارزان قیمت هستند.
  - توانایی جداسازی بسیاری از آلاینده‌ها را دارا نمی‌باشند.
  - رفع کامل آلودگی امکان‌پذیر نمی‌باشد.
- روشهای شیمیایی: در این روش، به منظور حذف و تبدیل عوامل آلوده‌کننده از مواد شیمیایی استفاده می‌گردد. از مهمترین موارد این روش کلرزنی، آهک‌زنی، ترسیب و ... قابل ذکرند. از خصوصیات روش شیمیایی می‌توان به موارد ارائه شده در زیر اشاره نمود.

- در بیشتر موارد هزینه‌های بهره‌برداری بالاست
  - با محیط‌زیست سازگاری مناسبی ندارد
  - امکان ایجاد آلودگی از نوع دیگر وجود دارد (محصولات جانبی یا مواد شیمیایی باقیمانده).
- روشهای تصفیه بیولوژیکی: روش‌هایی از تصفیه فاضلاب که در آنها، حذف مواد آلاینده توسط فعالیت‌های بیولوژیکی موجودات زنده انجام می‌گیرد، تصفیه بیولوژیکی نامیده می‌شوند. برخی از ویژگیهای این روشها به شرح زیر می‌باشد:

- مبتنی بر فرآیندهای طبیعی هستند
- دارای هزینه‌های عملیاتی بالایی نیستند
- امکان تجزیه کامل آلاینده‌های آلی ساده وجود دارد
- امکان حذف همزمان نیتروژن و فسفر میسر است
- امکان تولید محصولات جانبی خطرناک نسبت به روشهای شیمیایی وجود ندارد
- به حضور دائمی نیروهای متخصص نیاز ندارد
- بر روی برخی آلاینده‌ها تاثیرگذار نبوده و آنها در فاضلاب باقی می‌مانند
- به شرایط محیطی و عملیاتی حساسیت است

### فلودیاگرام تصفیه فاضلاب

با در نظر گرفتن کیفیت فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه و کیفیت مورد انتظار در خروجی تصفیه‌خانه، درجه تصفیه مورد نیاز مشخص شده و واحدهای ضروری برای تصفیه‌خانه تعیین می‌گردد. در شکل زیر فلودیاگرام متعارف تصفیه فاضلاب اعم از پیش تصفیه، تصفیه اولیه و تصفیه ثانویه نشان داده شده است.



### تصفیه مقدماتی

تصفیه مقدماتی فاضلاب بطور معمول شامل آشغالگیری و دانه‌گیری می‌شود. آشغالگیری فاضلاب مواد جامد درشت ورودی به تصفیه‌خانه را حذف می‌کند. واحد دانه‌گیری، ذرات شنی و غیرزنده و سنگین را که در مراحل بعدی تصفیه ایجاد اشکال می‌کنند از آب حذف می‌کند. تصفیه مقدماتی برای آماده کردن فاضلاب برای تصفیه بعدی بکار می‌رود.

### تصفیه اولیه فاضلاب

مهمترین واحد تصفیه این مرحله، واحد ته‌نشینی اولیه است. در این واحد مواد سنگین تر از آب بر اثر نیروی جاذبه حذف می‌گردد. عمق و طول حوض ته‌نشینی باید به اندازه‌ای باشد که ذرات برای ته‌نشینی فرصت کافی را داشته باشد. در این واحد حدود ۳۰ درصد حذف  $BOD_5$  و حدود ۶۰ درصد TSS را از فاضلاب ورودی حذف می‌کند.

### تصفیه ثانویه فاضلاب

تصفیه ثانویه فاضلاب تقریباً همیشه با استفاده یک فرآیند تصفیه بیولوژیکی همراه است. روشهای کلی تصفیه بیولوژیکی فاضلاب را می‌توان به دو بخش فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی طبقه‌بندی نمود. روش‌های متداول و مدرن تصفیه فاضلاب معمولاً در قالب این دو فرآیند جای می‌گیرند. فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی متداول فاضلاب به سه گروه اصلی فرآیندهای هوازی، فرآیندهای بی‌هوازی و فرآیندهای بیولوژیکی ترکیبی (هوازی، بی‌هوازی و آنوکسیک) که بعنوان فرآیندهای پیشرفته فاضلاب در حذف فسفر و نیتروژن موثر می‌باشند، تقسیم می‌گردد.

#### انواع روشهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

وضعیت اکسیژن	محیط رشد	نام فرآیند
هوازی	رشد معلق	لجن فعال لاگون هوادهی هضم هوازی
	رشد چسبیده	صافی چکنده (T.F) دیسک‌های بیولوژیکی چرخان (RBC)
بی‌هوازی	رشد معلق	هضم بی‌هوازی راکتور ناپیوسته متوالی بی‌هوازی (ASBR) فرآیند بی‌هوازی رشد تماسی (Contact Process)
	بستر لجن بی‌هوازی	بستر لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB) راکتورهای بافل‌دار بی‌هوازی (ABR) راکتور بستر لجن بی‌هوازی غشایی (AMBR)
	رشد چسبیده	راکتور بی‌هوازی رشد چسبیده با بستر انبساط یافته و جریان رو به بالا (AEBR) راکتور بافل‌دار بی‌هوازی رشد چسبیده با جریان رو به بالا (UAFBR) راکتور بی‌هوازی رشد چسبیده با بستر شناور شده (FBR) تماس دهنده‌های بیولوژیکی دوار (ARBC)

### تصفیه مرحله سوم یا پیشرفته فاضلاب

تصفیه ثالثیه وقتی استفاده می‌شود که شرایط آب پذیرنده، کیفیت خروجی بهتر از تصفیه ثانویه را ایجاب نماید. گندزدایی جهت کنترل میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، ویروسها اغلب یک مرحله متعارف از تصفیه پیشرفته است که به عنوان مرحله نهایی تصفیه ثانویه نیز قرار می‌گیرد. غلظت جامدات محلول و  $BOD_5$  در خروجی تصفیه ثانویه می‌تواند با فیلتراسیون و گاهی اوقات با کمک مواد منعقد کننده کاهش یابد. جذب سطحی بوسیله کربن فعال، برای حذف ترکیبات آلی مقاوم به عناصر جزئی استفاده می‌شود. حذف نیتروژن و فسفر از طریق فرآیندهای نیتریفیکاسیون- دنیتریفیکاسیون و تصفیه بیولوژیکی و شیمیایی برای حذف فسفر، به عنوان فرآیندهای ثالثیه نامیده می‌شود.

### ۷- آشنایی با مدیریت مواد زائد جامد و خطرناک

به هر گونه مواد دورریز و بدون استفاده از نظر تولید کننده که بصورت جامد و یا نیمه جامد باشد، زباله گفته می‌شود. فضولات انسانی و حیوانی جزء زباله محسوب نمی‌گردند. طبقه‌بندی زباله‌ها به دو صورت انجام می‌گیرد. تقسیم‌بندی از نظر منشا تولید که به شرح زیر می‌باشد:

#### ۱- زباله‌های شهری:

- پسماند مواد غذایی
- ضایعات اشتعال پذیر و غیر اشتعال پذیر
- خاکستر
- نخاله‌های ساختمانی
- زباله‌های ویژه
- زایدات ناشی از عملیات تصفیه آب و فاضلاب

#### ۲- زباله‌های صنعتی

#### ۳- زباله‌های خطرناک

- اشتعال پذیر
- مواد شیمیایی
- زباله‌های بیولوژیکی
- مواد قابل انفجار
- زباله‌های هسته‌ای

نوع دیگر طبقه‌بندی زباله از نظر خصوصیات زباله می‌باشد که به شرح زیر است:

- زائدات تجزیه پذیر
- زائدات غیر قابل تجزیه

خطرات بهداشتی ناشی از جمع‌آوری و دفع نامناسب زباله:

- جلب حشرات و جوندگان و رشد و تکثیر آنها
- آلودگی آب
- آلودگی هوا

➤ آلودگی خاک

➤ مسئله زیباشناختی محیط

در سیستم مدیریت و دفع زباله ۶ عنصر اساسی دخالت دارد:

۱- تولید زباله

۲- نگهداری موقت زباله

۳- جمع‌آوری زباله

۴- حمل نقل زباله

۵- بازیابی و بازیافت

۶- دفع نهایی زباله

تولید زباله به فاکتورهای متعددی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به موقعیت جغرافیایی یا محلی، سطح درآمد خانوار، فصول سال، سیستم جمع‌آوری و حمل و نقل، سیستم بازیافت، آداب و رسوم زندگی مردم اشاره کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر چه درآمد سرانه خانوار بالا می‌رود نرخ تولید زباله نیز افزایش می‌یابد. همچنین در فصول گرم سال به جهت وفور میوه‌جات فصلی، میزان تولید زباله بیشتر از سایر فصول سال است. هرچه سیستم جمع‌آوری زباله مکانیزه‌تر باشد، زباله بیشتری تولید می‌شود. در کشور ایران ۵۹ درصد از زباله پسماند مواد غذایی است، ولی در کشورهای پیشرفته این مقدار حدود ۱۹ درصد است.

روش‌های دفع زباله:

➤ تلنبار کردن زباله

➤ آسیاب کردن و ریختن در فاضلابرو

➤ فشردن

➤ احیاء

➤ بازیابی

➤ دفن در اعماق دریا

➤ دفن بهداشتی زباله

➤ تهیه کود از زباله

➤ سوزاندن در زباله سوز

دفن بهداشتی روشی است که حتی اگر دیگر روش‌ها از قبیل بازیافت و یا زباله سوز را نیز استفاده کنیم جهت دفع باقیمانده‌های آنها ضرورت می‌یابد. استفاده از این روش نیاز به زمین کافی داشته و سطح آب زیرزمینی نیز نباید بالا باشد. در انتخاب محل مناسب برای دفن بهداشتی زباله باید فاکتورهای زیر مورد توجه قرار گیرد:

- فاصله بین محل دفن تا شهر
- وسعت محل دفن
- ذخیره خاک
- توجه به مسیل‌ها و آب‌های سطحی و زیرزمینی
- تعدد مکان دفع
- استفاده مجدد از محل دفن
- اطلاعات هواشناسی
- عایق‌سازی کف محل دفن
- شیوه‌های جمع‌آوری شیرابه تولیدی و تصفیه آن

حوضچه‌های حفر شده برای دفن زباله، بویژه در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالا است، بایستی غیر قابل نفوذ گردند. این عمل با استفاده از لایه خاک رس متراکم شده و یا با استفاده از ژئوتکستایل‌ها انجام می‌گیرد. شبکه زهکشی زیرین نیز برای جمع‌آوری شیرابه تولیدی اجرا می‌گردد. بعد از اتمام ظرفیت محل دفن زباله، کاربری‌های بعدی می‌تواند به فضای سبز و یا تفرجگاه‌های عمومی محدود گردد. در صورتیکه احداث ساختمان مد نظر قرار گیرد، باید مطالعات فنی جامعی صورت گیرد، هرچند این امر توصیه نمی‌گردد.

دفن بهداشتی زباله شامل: انتقال مواد زائد به محل ویژه، تخلیه، لایه‌بندی و متراکم نمودن آن با پوششی از خاک می‌باشد. محلی که برای دفن انتخاب می‌شود، بایستی با توجه به رشد جمعیت، با وسعت مناسب انتخاب شود و جوابگوی نیازها تا ۳۰ تا ۴۰ سال آینده باشد. فاصله محل تا مرکز جمعیت بایستی ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر منظور گردد و مطالعات اولیه با نقشه‌برداری از نظر توپوگرافی مشخص شود. مطالعات زمین‌شناسی، هیدرولوژی، زهکشی طبیعی منطقه، خاک پوششی، قابلیت دسترسی، هواشناسی، بادهای غالب، مقبولیت عمومی و مسائل بهداشتی باید با دقت انجام گیرد و آماده‌سازی برای محل دفن صورت پذیرد.

پس از انتخاب محل، بر اساس ضوابط بایستی جهت آماده‌سازی محل شامل: جاده‌کشی، تسطیح، نصب باسکول، اتاق نگهبانی، فنس‌کشی، برق، آب و ... اقدام شود.

جهت جلوگیری از نشت شیرابه به منابع آب زیرزمینی باید تدابیری اتخاذ گردد. شیب‌بندی مناسب ۲ تا ۴ درصد و برای شیب‌های جانبی تا ۳۰ درصد و ایجاد سد یا حفاظ ۳ متری خاک برای جلوگیری از نفوذ سیلاب و آبهای سطحی بسیار موثر است. در صورتیکه جایگاه دفن زباله مجاور دریا و یا روی سفره آبهای زیرزمینی باشد یا حرکت شیرابه به طرف سفره‌ها انجام شود، آبهای زیرزمینی آلوده می‌شوند. شیرابه زباله به شدت سمی است و علاوه برداشتن CO<sub>2</sub> دارای BOD<sub>5</sub> و COD بالا است. شیرابه با روشهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه می‌شود.

برای پوشش زباله هر نفر در سال حدود ۱ متر مکعب خاک پوششی لازم است و حجم خاک پوششی مورد نیاز یک چهارم تا یک پنجم حجم کل زباله فشرده شده توصیه می‌گردد. پوشش نهایی بایستی ۶۰ سانتیمتر خاک باشد. روشهای زیر برای دفن زباله وجود دارد:

#### بصورت مسطح Area Method

وقتی که زمین برای گودبرداری مناسب نباشد، بعد از تخلیه زباله بصورت نوار باریکی ۴۰ تا ۷۵ سانتیمتری روی زمین تسطیح و فشرده می‌شوند تا به ضخامت ۱۸۰ تا ۳۰۰ سانتیمتر برسند و آنگاه روی آنها قشری خاک به ضخامت ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر می‌ریزند و فشرده می‌نمایند. عرض هر لایه فشرده نباید از ۲۴۰ سانتیمتر تجاوز نماید.

#### روش سراشیبی Ramp Method

وقتی که خاک کمی برای پوشش زباله باشد و در مناطق کوهستانی و یا کم شیب، از این روش استفاده می‌نمایند. زاویه شیب مورد نظر با زمین ۳۰٪ است و عرض باریکه با توجه به شیب سطح در طول عملیات با نقشه‌برداری و شدت ترافیک تردد ماشین‌آلات طراحی می‌شود. در این روش ابتدا شیاری به موازات دامنه سراشیبی ایجاد می‌شود و اولین لایه زباله در داخل شیار جایگزین می‌شود و سپس مثل روش مسطح ادامه می‌یابد.

#### روش ترانشه یا گودالی Trench Method

در مناطقی که خاک با عمق کافی در دسترس است و سطح آبهای زیر زمینی به اندازه کافی پائین است ترانشه‌هایی به طول ۳۰ تا ۱۲۰ متر و به عمق ۱ تا ۴ متر و عرض ۴/۵ تا ۱۵ متر حفر می‌شود و زباله را در آن ریخته و با خاک ریز به ضخامت ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر پوشانده می‌شود. هزینه این روش به علت گودبرداری زیاد، بالا است.



### روش دره‌ای با شیب نسبتاً زیاد Ravine Method

در مناطقی که گودالهای مصنوعی یا دره‌های مصنوعی وجود دارد از آنها استفاده می‌نمایند و فقط بایستی زمین‌شناسی منطقه، ویژگی‌های خاک منطقه، وضعیت آبهای سطحی و زیرزمینی و سیستم جمع‌آوری زباله مد نظر قرار گیرد.

### روش معمول در زمینهای باتلاقی

در شرایط اضطراری می‌توان از زمینهای باتلاقی استفاده نمود، ولی بایستی کنترل آلودگی صورت گیرد. زهکشی مناسب، احداث سد مطمئن با مصالح و ایزولاسیون با ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر خاک رس کوبیده مهم است.

### دفن در زمینهای ساحلی

عملیات دفن بایستی با توجه به سطح آب زیرزمینی، میزان و نوع زباله صورت گرفته تا آب آلوده نشود و بایستی محل ایزوله شود.

### فضای لازم جهت دفن بهداشتی زباله:

جهت برآورد فضای لازم برای دفن بهداشتی زباله، بایستی جمعیت و تولید سرانه زباله آنها را دقیقاً بدانیم و همچنین نرخ رشد این جمعیت و سرانه آن را تا ۳۰ الی ۴۰ سال آینده برآورد نموده تا بتوانیم زمین مورد نیاز برای دفن بهداشتی زباله را در نظر بگیریم. بنابراین، فضای مورد نیاز برای دفن زباله تابع جمعیت، میزان خاک پوششی، امکانات بازیافت، دانسیته و ضخامت قشر زباله دفن شده است. استفاده از لایه‌های رسی شنی برای کنترل گاز و جلوگیری از نفوذ بی‌رویه آن به اعماق زمین، یک روش معمول در اماکن دفن بهداشتی زباله است.

### شیرابه زباله:

شیرابه زباله باید در محل دفن بماند و یا به منظور تصفیه انتقال داده شود. شیرابه زباله مایعی بسیار سمی است. حرکت شیرابه درون زمین صورت گرفته و بسته به جنس مواد اطراف آن ممکن است در جهات جانبی نیز حرکت کند.

مدیریت آلودگی و مواد زائد می‌تواند موضوعات ذیل را در برگیرد:

➤ پیشگیری یا جلوگیری (منظور قبل و بعد از انتشار آلودگی است)

➤ دفع (جمع‌آوری و از بین بردن)

➤ پالایش یا کاهش آثار مخرب مواد زائد

در دهه‌های اخیر موارد ذیل باعث کمک به پیشرفت برنامه‌های مدیریت مواد زائد و آلودگی‌ها شده‌اند:

➤ گرایش به برنامه‌ریزی‌های پیش‌گیرانه در مدیریت آلودگی و مواد زائد

➤ بهبود قوانین مربوط به مراقبت و کنترل آلودگی‌ها و مواد زائد

➤ انتشار استانداردهای نوین برای کیفیت محیط زیست

➤ ارائه روشهای بهتر و مناسب‌تر برای ارزیابی و پایش زیست محیطی

➤ ارائه روشهای تصفیه و پالایش بعضی از آلاینده‌ها قبل از دفع

## ۸- آشنایی با آلودگی هوا و روش‌های کنترل آن

آلودگی هوا، عبارت است از وجود یک یا چند آلوده کننده در هوای آزاد به مقدار و مدتی که کیفیت آن را به طوری که مضر به حال انسان و یا سایر موجودات زنده و یا گیاهان و یا آثار و ابنیه باشد، تغییر دهد. آلاینده‌های هوا در اشکال گازی، مایع، جامد و یا مخلوطی از اینها ظاهر می‌شوند.

فاز گازی مانند:  $CO$ ،  $NO_x$ ،  $SO_x$  و ... می‌باشد که بصورت گاز استنشاق می‌گردند و می‌توانند از گروه خفه‌کننده‌ها (مانند  $CO$ )، تحریک کننده مجاری فوقانی (مانند  $SO_2$ )، تحریک کننده ریه و سیستم تنفسی (مانند  $NO_x$  و ازن) باشد.

میست (Mist): تمام ذرات ریز مایع اعم از بخار آب یا ترکیبات معدنی یا آلی را گویند.

گرد و غبار (Dust): مواد جامدی هستند که دارای محدوده وسیعی از ذرات معلق و تا حدودی ذرات ته‌نشین شونده بوده که می‌توانند مدت زمان قابل توجهی در هوا باقی بمانند.

هواویز (Aerosol): مخلوطی از مایع و جامد هستند که اندازه آنها زیر ۱۰ میکرون بوده و حالت کدورت به هوا داده و نور را متفرق می‌کنند.

فیوم (Fume): حالتی است که گاز و جامد داشته باشیم. کلیه گازها و ترکیبات ریز (معلق) ناشی از فرآیندها و عملیات فلزی که عمدتاً بصورت اکسیدهای فلزی در هوا انتشار پیدا می‌کنند و بصورت دمه یا دود فلزی استنشاق می‌گردند.

مه (Fog): ذرات ریز مایع که به دلیل اندازه می‌توانند مدت زیاد (بیش از چند ساعت) در هوا باقی بمانند.

دود (Smoke): ذرات ریز کربن نسوخته از فرآیند احتراق را گویند که بصورت ذرات تنفس می‌گردد.

اسماگ (Smog): مخلوطی از جامد و مایع است که مایع آن قطرات ریز آب بوده و به آن دود-مه گفته می‌شود. اسماگ در گروه آئروسول قرار گرفته و به این فرم تنفس می‌شود.

خاکستر فرار و سبک (Fly ash): فاز جامد است و پس‌مانده ترکیبات حاصل از فرآیند احتراق می‌باشد.

اسپری (Spray): ذرات ریز مایع که بستگی به منبع تولید و هدف از تولید، می‌توانند در هوا معلق باقی بمانند.

گرده گیاهان (Pollen): فاز جامد است که در اثر باد و جریان‌های هوا انتقال می‌یابد.

Bioaerosols: باکتری‌ها و ویروس‌های موجود در هوا که می‌توانند باعث حساسیت و بیماری بخصوص بیماری‌های دستگاه تنفسی گردند.

غلظت زمینه یا طبیعی (Background Concentration): غلظتی از ترکیبات موجود در هوا که بصورت طبیعی و در نقاط دور از فعالیت‌های صنعتی و بشری و یا فعالیت‌های غیر معمول طبیعی وجود دارد.

منابع عمده آلودگی هوا عبارت از منابع طبیعی و مصنوعی می‌باشد. لیکن تقسیم آنها ممکن است بر اساس منبع، منشأ، ترکیبات و اثرات فیزیولوژیکی متفاوتی باشد. اما با توجه به توسعه و پیشرفت صنایع و تکنولوژی، توسعه شهرها، ازدیاد جمعیت و افزایش وسایل نقلیه موتوری، سهم آلاینده‌های مصنوعی که به محیط زیست رها می‌شوند بیشتر از منابع طبیعی است.

آلوده‌کننده‌های هوا براساس منابع تولید به دو دسته تقسیم می‌شوند:

➤ منابع طبیعی: طوفان‌ها و گرد و غبار، فعالیت آتشفشانی، دود و خاکستر آتش‌سوزی‌های جنگلی، منابع

گیاهی و حیوانی و چشمه‌های آب گرم معدنی

➤ منابع مصنوعی: یکی از مهم‌ترین دلایل آلودگی هوا، سوزاندن سوخت‌های گوناگون است. برای مثال

مصرف سوخت در نیروگاه‌ها برای تولید انرژی الکتریکی و همچنین مصرف سوخت در خودروها،

اصلی‌ترین عوامل آلودگی هوا است.

آلاینده‌های هوا از نظر منشأ آلودگی به شکل زیر تقسیم می‌شوند:

➤ آلاینده‌های اولیه: آنهایی هستند که از یکی از منابع آلاینده انسانی یا طبیعی آزاد شده و به هوا می‌رود

وبه همان شکل و ترکیبی که از منبع تولید خارج شده‌اند در هوا وجود دارند. منوکسیدکربن و دی

اکسیدکربن از جمله این دسته آلاینده‌ها است که در نتیجه سوختن به وجود می‌آید.

➤ آلاینده‌های ثانویه: آلاینده‌ای است که از واکنش شیمیایی آلاینده نوع اول با دیگر اجزای هوا و یا از

ترکیب آلاینده‌های اولیه تحت تاثیر اشعه خورشید تولید می‌شوند. تشکیل ازن در مه‌دود فتوشیمیایی از

مهم‌ترین انواع آلاینده‌های نوع دوم است. اسماگ فتوشیمیایی، ازن و قسمت عمده  $\text{NO}_2$  از این نوع

محسوب می‌شوند.

منابع انتشار آلاینده‌های هوا را به دو گروه ثابت و متحرک تقسیم کرده‌اند:

➤ منابع ثابت: همانطور که از اسم آن‌ها پیداست شامل صنایع، نیروگاه‌ها و مراکز تجاری و مسکونی می‌شود.

➤ منابع متحرک: انواع وسایل نقلیه از موتور سیکلت تا هواپیما و کشتی را شامل می‌گردد.

آلودگی هوا از طریق جریان باد و یا حرکت وسایل نقلیه موتوری در شهرها منتشر می‌شوند که یکی از مشکلات

عمده ناشی از آلاینده‌های موجود در هواست.

### انواع آلاینده‌های هوا

هوای سالم از ۲۱ درصد اکسیژن، ۷۸ درصد نیتروژن، یک درصد گازهای بی‌اثر و بخار آب تشکیل شده است. دی‌اکسید کربن، منواکسید کربن، ذرات معلق، اکسیدهای ازت و گوگرد و هیدروکربن‌ها از ترکیبات طبیعی هوا نمی‌باشد. مواد آلوده‌کننده هوا به شکل گاز، بخارات و ذرات سبب آلودگی هوا می‌شوند. این مواد اثر سوء بر روی انسان، گیاه، مواد، مصالح و محیط‌زیست گذاشته و می‌تواند حیات موجودات زنده را تهدید نماید. انواع آلوده‌کننده‌های هوا عبارتند از:

➤ ذرات جامد معلق

➤ انواع اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ )

➤ انواع اکسیدهای کربن ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ )

➤ انواع اکسیدهای گوگرد ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ )

➤ ازن ( $\text{O}_3$ )

### گازها:

➤ دی‌اکسید گوگرد: هم از فرآیندهای طبیعی و هم از فعالیت‌های انسانی وارد هوا می‌شود. از جمله موارد طبیعی که دی‌اکسید گوگرد آزاد می‌کند، می‌توان به تجزیه و سوختن مواد آلی، آزاد شدن از سطح دریا و فوران‌های آتشفشانی اشاره کرد. انسان نیز با سوزاندن سوخت‌های فسیلی مقدار زیادی از این آلاینده را وارد هوا می‌کند. دی‌اکسید گوگرد در آب حل می‌شود و اسید سولفوریک را به وجود می‌آورد که ماده‌ای خورنده است و بافت‌های گیاهان و جانوران را در خود حل می‌کند. دی‌اکسید گوگرد می‌تواند بیماری‌های تنفسی بسیاری را به وجود آورد.

➤ اکسیدهای نیتروژن: از مهم‌ترین اکسیدهای نیتروژن که در هوا وجود دارد، می‌توان به اکسید نیتریک ( $\text{NO}$ ) که به آن گاز بی‌هوش کننده گفته می‌شود، دی‌اکسید نیتروژن ( $\text{NO}_2$ ) و اکسید نیترو ( $\text{N}_2\text{O}$ ) گاز خنده‌آور که بخش غالب اکسیدهای ازت در حالت طبیعی است، اشاره کرد. در این میان مقدار اکسید نیترو از دو آلاینده دیگر کمتر است، اما گاز گلخانه‌ای مهمی است که در پدیده گرمایش جهانی نقش بسیاری دارد. از جمله مهم‌ترین منابع تولیدی این آلاینده، احتراق سوخت در خودروها است. اکسیدهای نیتروژن ممکن است روزهای متوالی در هوا باقی بمانند و طی این مدت با انجام واکنش‌های شیمیایی، اسید نیتریک، نیترات‌ها یا نیتريت‌ها را به وجود آورند. اکسیدهای نیتروژن یکی از عوامل به وجود آورنده مه‌دود فتوشیمیایی است.

➤ منوکسیدکربن: گازی بی‌رنگ و بی‌بو است که از سوختن ناقص به وجود می‌آید. خودرو مهم‌ترین منبع این آلاینده در شهرهای بزرگ است. این آلاینده بین یک تا دو ماه در هوا می‌ماند. اکسید شدن و تبدیل آن به دی‌اکسیدکربن، جذب شدن به برخی از گیاهان و جانداران ریز و شسته شدن با باران، راه‌های حذف آن از هوای اطراف است. هنگامی که این گاز را تنفس کنیم، به جای اکسیژن به هموگلوبین خون متصل می‌شود و ظرفیت حمل اکسیژن خون را کاهش می‌دهد.

➤ ازن: گازی است بی‌رنگ که آلاینده نوع دوم به شمار می‌رود و از واکنش‌های شیمیایی بین گازهای آلی فعال و اکسیدهای نیتروژن در روزهای آفتابی به وجود می‌آید. ازن اکسیدکننده قوی است که باعث سوزش چشم‌ها و ناراحتی‌های تنفسی و همچنین نابودی گیاهان می‌شود. البته باید توجه داشت ازن موجود در لایه تروپوسفر (لایه نزدیک به سطح زمین) آلاینده به شمار می‌رود، ولی ازن لایه استراتوسفر (لایه‌های بالاتر جو) نه تنها آلاینده نیست، بلکه به طور طبیعی در جو تولید می‌شود و می‌تواند جلوی پرتوهای بسیار زیان‌آور فرابنفش خورشید را بگیرد.

➤ ازن سطحی به واسطه اینکه با زیست کره در تماس مستقیم است، اثرات ناخوشایند بسیاری برای انسان، گیاهان، اجسام و ترکیبات نفتی از جمله آسفالت بوجود می‌آورد. بعلاوه این گاز یکی از عوامل تبدیل آلاینده‌های اولیه به آلاینده‌های ثانویه بوده است. همچنین ازن سطحی به عنوان یک گاز گلخانه‌ای موجب افزایش دمای سطح زمین می‌شود. در پیشرفت سریع تکنولوژی در بخش خودرو و اتومبیل، می‌بایست جاده‌ها و خیابان‌ها از نظر کیفیت و سطح هموار بتوانند جوابگوی سرعت بالای خودروهای مدرن را داشته باشند. اما عواملی از قبیل: افزایش غلظت گاز ازن سطحی ناشی از آلودگی هوا و افزایش شدت تابش فرابنفش خورشید در اثر کاهش غلظت ازن استراتوسفری (لایه ازن) می‌توانند به شدت سطح آسفالت را تخریب نمایند.

#### ذرات:

➤ ذرات معلق: از جمله این ذرات معلق می‌توان به ذرات غبار، هاگ گیاهان، باکتری‌ها و نمک اشاره کرد. از جمله فعالیت‌های بشر که به انتشار ذرات معلق منجر می‌شود می‌توان به معدن‌کاری، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، حمل و نقل، کشاورزی و استفاده از سوخت‌های جامد برای پخت و پز و تولید گرما اشاره کرد. ذراتی که اندازه آنها زیر ۲ میکرون است، می‌توانند به داخل مجاری تنفسی تحتانی نفوذ کنند. ذرات  $PM_{10}$  ذرات معلق زیانبار در هوای آزاد هستند.

➤ سرب: سرچشمه اصلی این آلاینده، بنزین سرب دار خودروها است. سرب یکی از فلزهای سنگین است و هنگامی که وارد بدن شود، کارکرد مغز را به ویژه در کودکان مختل می‌کند. از سال ۱۹۸۵ که بنزین بدون سرب به بازار آمد، از میزان سرب در هوای شهرها کاسته شده است.

مه‌دود فتوشیمیایی: از اثر نور خورشید بر آلاینده‌هایی که ناشی از فعالیت‌های صنعتی انسان است، به وجود می‌آید. مخلوطی سمی از آلاینده‌های گوناگون، مانند اکسیدهای نیتروژن، ازن تروپوسفری و ترکیب‌های آلی فرار است.

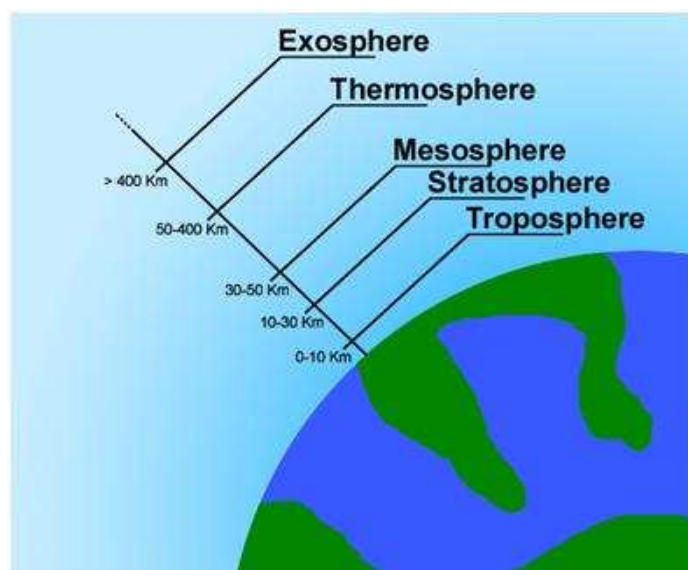
#### بخارات و مایعات:

ترکیباتی که بصورت بخارات اسیدی در هوا پراکنده هستند، اساساً اسیدهای معدنی هستند مانند: اسید سولفوریک و اسید نیتریک.

باران اسیدی: هنگامی که وجود می‌آید که pH باران بر اثر حل شدن گازهایی مثل دی‌اکسید گوگرد و اکسیدهای نیتروژن کم شده و به مقدار ۶/۵ تا ۵/۴ برسد. این گازها از سوختن ترکیب‌های دارای گوگرد و نیتروژن به وجود می‌آیند، هرچند ممکن است خاستگاه طبیعی هم داشته باشند. باران اسیدی باعث اسیدی شدن آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌شود که برای ماهی‌ها و دیگر آبزیان بسیار زیان‌آور است. از طرف دیگر باران اسیدی می‌تواند باعث اسیدی شدن خاک و کاهش محصولات کشاورزی شود. باران اسیدی همچنین باعث تسریع هوازدگی و فرسودگی ساختمان‌ها نیز می‌شود.

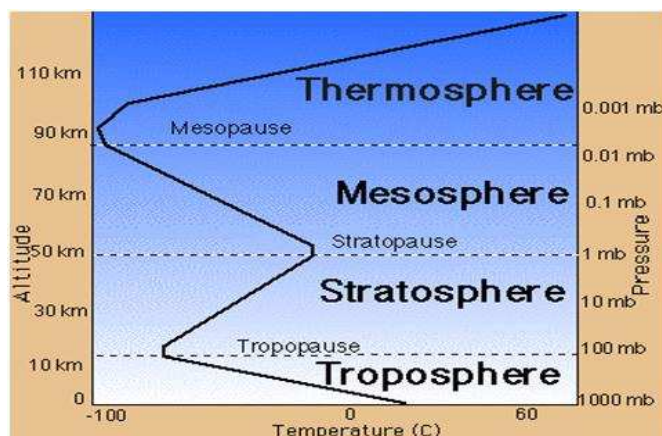
اتم‌سفرزمین را برحسب چگونگی روند دما، اختلاف چگالی، تغییرات فشار، تداخل گازها و بالاخره ویژگی‌های الکتریکی به لایه‌های متفاوتی، به شرح زیر تقسیم کرده‌اند.

۱- تروپوسفر ۲- استراتوسفر ۳- مزوسفر ۴- ترموسفر ۵- اگزوسفر



۱. تروپوسفر، تا ارتفاع تقریباً ۱۱ کیلومتری از سطح زمین (متغیر از ۷ تا ۱۸ کیلومتر) است. تروپوسفر پایین‌ترین لایه اتمسفر است که وجه تمایز آن با دیگر طبقات، تجمع کل بخار آب در این لایه است. به همین دلیل بسیاری از پدیده‌های جوی که با رطوبت ارتباط دارند مثل: ابر، باران، برف، مه و رعد و برق تنها در این لایه رخ می‌دهند.
۲. استراتوسفر، اثرات آب و هوایی تروپوسفر تحت تاثیر این لایه قرار دارد. از ویژگی‌های مهم استراتوسفر، وجود ازن ( $O_3$ ) می‌باشد که از رسیدن اشعه ماورای بنفش خورشید به سطح زمین جلوگیری می‌کند.
۳. مزوسفر، در بالای لایه گرم ازن، لایه مزوسفر قرار دارد. این لایه، سردترین لایه اتمسفر است و دمایی تا  $-۱۶۰$  درجه سانتیگراد دارد.
۴. ترموسفر، در این ناحیه از اتمسفر که در ارتفاعی معادل ۵۰ تا ۴۸۰ کیلومتر از سطح زمین قرار می‌گیرد، دمای هوا افزایش می‌یابد. علت آن نیز جذب مستقیم اشعه ماورای بنفش خورشید در این لایه است. حال اگر بخواهیم در مورد دمای لایه‌هایی که تاکنون معرفی نمودیم، یک مقایسه اجمالی داشته باشیم، نمودار زیر می‌تواند مبنای خوبی باشد:





۵- اگزوسفر، در این لایه، گازها همچنان قابلیت الکتریکی خود را حفظ می‌کنند. چگالی هوا به اندازه‌ای کم است که ذرات و اتمها به ندرت به یکدیگر برخورد می‌کنند. این لایه، ارتباط دهنده جو به فضای کیهانی است.

#### رفتار آلودگی هوا

جریان‌های افقی یا عمودی هوا می‌توانند باعث انتشار و یا رقیق شدن آلاینده‌ها شوند. جریان‌های هوا می‌توانند تغییرات اقلیمی و هواشناسی را ایجاد نموده و باعث تغییر فشار اتمسفر گردند. جریان‌های هوا بخصوص در کاهش آلودگی هوا نقش ویژه دارند. ریزش‌های تر از نظر حل کردن، سنگین کردن، جذب سطحی آلاینده‌ها و کاهش آنها از هوا موثرند.

جریان‌های عمودی تحت تاثیر دما است. در شرایط آدیاباتیکی که به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع یک درجه سانتی‌گراد کاهش دما داریم، تبادل انرژی و گرما بین بسته هوای آلوده خروجی از دودکش با محیط اطراف صورت نمی‌گیرد. هر چه بسته به ارتفاعات بالاتر حرکت می‌کند، به دلیل اختلاف دمایی که بین آن و محیط وجود دارد، بصورت آدیاباتیکی حرکت می‌کند.

گاهی تغییرات دما نسبت به ارتفاع بیشتر است. یعنی به ازای هر ۵۰ متر ارتفاع، یک درجه اختلاف دما داریم که به آن سوپر آدیاباتیک گویند. بنابراین در شرایط سوپر آدیاباتیک تغییرات دما نسبت به ارتفاع خیلی بیشتر و با سرعت بیشتر انجام می‌گیرد. در شرایطی که تغییرات دما نسبت به ارتفاع کمتر از این تغییرات نسبت به شرایط آدیاباتیک باشد، آن را Sub Adiabatic گویند. هوای مرطوب در همان شرایطی که هوای خشک آدیاباتیک است، در حال Sub آدیاباتیک قرار دارد. گاهی تغییرات دما نسبت به ارتفاع صفر است که این حالت را Isothermal گویند. اگر تغییرات دما نسبت به ارتفاع افزایشی باشد مانند حالت اینورژن مانند حالتی که برف روی زمین باشد، Thermo Inversion گویند.

به دلیل پیچیدگی مسئله آلودگی هوا، مدل‌های جامعی طراحی شده است. این مدل‌ها شامل: مدل‌های آلودگی هوا و مدل‌های پیش‌بینی وضع هوا هستند. به این ترتیب که خروجی مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا، ورودی مدل‌های کیفیت هوا به حساب می‌آید. موفقیت این مدل‌های جامع به ارزیابی درست پارامترهای هواشناسی (مدل‌های پیش‌بینی وضع هوا) بر می‌گردد. در مقیاس نزدیک یک منبع (مانند یک دودکش)، شرایط تلاطم محلی و پلوم گرمایی بر فرآیند پراکنش حاکم می‌شود. مدل پراکنش گوسی آسان‌ترین مدل از نظر پارامترسازی فاکتورهای هواشناسی به حساب می‌آید.

مدل گوسی: مدل گوسی به سه بخش منبع نقطه‌ای، منبع خطی و منبع سطحی تقسیم می‌شود. ساده‌ترین آن وقتی است که منبع تولید آلاینده به صورت یک نقطه (یک دودکش) در نظر گرفته شود. منبع خطی مانند وسایط نقلیه در یک بزرگراه و منبع سطحی مانند تعداد زیادی از منابع نقطه‌ای می‌باشد. این مدل فرض می‌کند که غلظت آلاینده‌ها به صورت توزیع نرمال هم در جهت افق و هم در جهت قائم است.

به منظور مدل‌سازی فرآیند انتقال و پراکندگی آلاینده‌های هوا، به اطلاعات ویژه‌ای در مورد یک نقطه انتشار آلاینده‌ها از قبیل: موقعیت مکانی نقطه انتشار (طول و عرض جغرافیایی)، نوع و مقدار آلاینده‌های خروجی، شرایط فیزیکی دودکش مانند ارتفاع آن و نیز بسیاری عوامل هواشناسی مانند: سرعت باد، منحنی دمای منطقه و فشار هوا در منطقه نیاز است.

با وارد کردن داده‌های مذکور در یک مدل نرم‌افزاری، می‌توان نحوه انتشار و پخش شدن آلاینده‌ها را در هوا پیش‌بینی کرد. بدین ترتیب میزان تمرکز آلاینده‌ها در فواصل و جهات مختلف نسبت به دودکش تخمین زده می‌شود. هنگام انتخاب یک مدل کیفی هوا به منظور تحلیل کیفی هوای اطراف یک منبع، بایستی مواردی از قبیل نوع آلاینده‌های ساطع شده، پیچیدگی ساختاری منبع و شرایط مکانی مجتمع صنعتی را مد نظر قرار دهیم.

به دو دلیل عمده زیر از مدل‌سازی پراکندگی (انتشار) استفاده می‌کنیم:

- توسط مدل‌سازی ما قادر خواهیم بود که میزان پراکندگی آلاینده‌ها را در اکثر مناطقی که در آنها نظارتی بر هوای محیط وجود ندارد، ارزیابی کنیم.
- مدل‌های مربوطه می‌توانند شدت آلودگی بالقوه را قبل از احداث کارگاه و یا مجتمع‌هایی که دارای منابع آلاینده هستند، پیش‌بینی کنند.

استانداردهای کیفیت هوا بر دو نوع استانداردهای اولیه و ثانویه بنا شده‌اند.

- استانداردهای اولیه آن دسته از استانداردهایی هستند که رعایت آنها برای حفظ سلامتی عمومی جامعه (صرف‌نظر از مسائل اقتصادی و تکنولوژیکی) الزامی است.
- استانداردهای ثانویه کیفیت هوا نسبت به استانداردهای اولیه دارای ابعاد وسیعتری هستند. بطوریکه در این استانداردها حفاظت منابع و آسایش عمومی نیز مد نظر قرار گرفته است (حفاظت ساختمان‌ها، محصولات، حیوانات و منسوجات).

#### روش‌های کنترل خروج ذرات جامد از هوا

- اطاقک ته‌نشینی: ذرات جامد به همراه گاز به اطاقک وارد شده و ذرات فرصت ته‌نشینی پیدا کرده و گازها از طرف دیگر خارج می‌گردند. این روش را می‌توان در کارخانجات سیمان مورد استفاده قرار داد. نقطه ضعف این روش زمان‌بری بالای آن است.
- عبور گاز از لوله‌های مارپیچ: از نقطه ضعف این روش، گرفتگی لوله بعد از مدت زمانی از کارکرد است. در این روش به دلیل نیروی گریز از مرکز و کشش سطحی در جدار لوله مارپیچ، گرد و غبار ته‌نشین می‌شود.
- استفاده از باران مصنوعی: از مزایای آن سرعت بالای آن است و از نقطه ضعف آن تولید فاضلاب که نیاز به مدیریت خاص دارد قابل ذکر است.
- باردار کردن ذرات به روش الکتریکی: ذرات همراه با گاز به محیطی که دارای بار الکتریکی می‌باشد، وارد شده و در محیطی با بار الکتریکی مخالف یا با عبور از صفحات با بار مخالف جذب سطحی می‌گردند.

## ۹- آلودگی صوتی و روش‌های کنترل آن

از تغییر فشار در مولکول‌های هوا و به طور کلی در سیالات، صوت ایجاد می‌گردد. حساس‌ترین قسمت بدن انسان در مقابل فشار، پرده گوش می‌باشد. بنابراین، میزان فشار ایجاد شده توسط صوت و میزان اثرگذاری آن بر پرده گوش، ملاک اصلی در تشخیص آلودگی صوتی است.

آلودگی صوتی، حاصل زندگی ماشینی است و بدون اینکه شهروندان شهرهای بزرگ متوجه باشند، سلامت روانی و آرامش روحی آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. آلودگی‌های صوتی امواج ناخواسته‌ای هستند که تحت شرایط مکانی و زمانی خاص، بر فعالیت‌های موجودات زنده، بویژه انسان تأثیر می‌گذارند و ممکن است با ایجاد عوارض متعدد جسمی و روحی، آرامش و راحتی انسان را سلب کنند. قرار گرفتن مداوم در معرض سر و صدا باعث از دست رفتن قدرت شنوایی می‌شود.

واحد اندازه‌گیری فشار صدا دسیبل است که به لحاظ حساسیت فشار، در مقیاس لگاریتمی اندازه‌گیری می‌شود و فرمول آن به شرح زیر است:

$$dB = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad \text{میزان فشار صوت}$$

$P$ : فشار صوت بر حسب نیوتن بر متر مربع

$P_0$ : فشار صوت مبنا که معادل  $10^{-5} * 2$  نیوتن بر متر مربع می‌باشد.

فشار صوت از صفر تا ۱۵۰ دسیبل متغیر است که فقط تا ۵۰ دسیبل برای افراد عادی قابل تحمل است. جارو برقی در حد ۸۰ دسیبل و ساعت شماته‌دار تا ۶۵ دسیبل فشار صوت ایجاد می‌کند که هنگام شنیدن آن حالت ناراحت کننده‌ای در انسان بوجود می‌آید.

در کنار فشار صوت، میزان حساسیت انسان در مقابل صوت با فشار کم نیز مطرح می‌گردد. به عنوان مثال در مواقعی که در سکوت محض به نکته خاصی تمرکز داریم، ناگهان صدای پاره شدن یک کاغذ یا صدای صندلی یا باز کردن در تمرکز ما را به هم زده و علیرغم فشار بسیار کم صوت، اثر نامطلوبی بر سیستم شنوایی و عصبی ایجاد می‌کند. بنابراین، در کنار فشار صوت، میزان حساسیت سیستم عصبی نیز می‌تواند ملاک تشخیص آلودگی صوتی باشد. اما به طور عموم برای تشخیص آلودگی صوتی میزان فشار آن ملاک است.

بطور کلی منابع تولید کننده صوت را می‌توان به سه دسته منابع نقطه‌ای، منابع خطی و منابع سطحی تقسیم‌بندی نمود. منابع نقطه‌ای مانند فعالیت یک موتور پمپ، منابع خطی مانند مجموعه اتومبیل‌های روشن در یک بزرگراه و منابع سطحی مانند مجموعه اتومبیل‌های روشن در محوطه یک پارکینگ. شدت صوت ناشی از یک منبع نقطه‌ای تولید صوت، با مجذور شعاع سطح کروی شکل امواج صوتی در آن نقطه رابطه معکوس داشته و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \rightarrow I_r \propto \frac{1}{r^2}$$

W قدرت منبع صوت بر حسب وات و r شعاع سطح کروی شکل امواج صوتی می‌باشد.

$$I_R \propto \frac{1}{R^2} \frac{I_r}{I_R} = \frac{R^2}{r^2}$$

طبق تعریف میزان فشار صوت بر حسب dB داریم:

$$L_r = 10 \log \left( \frac{I_r}{I_0} \right)$$

$I_0$  و  $I_r$  به ترتیب شدت صوت اندازه‌گیری شده در فاصله r نسبت به منبع نقطه‌ای تولید صدا و شدت صوت مبنا می‌باشند. با توجه به اینکه در فرمول، شدت صوت بجای فشار صوت جایگزین شده است، ضریب ۱۰ بجای ضریب ۲۰ استفاده شده است.

$$L_R = 10 \log \left( \frac{I_R}{I_0} \right)$$

حال اگر بخواهیم بررسی کنیم با افزایش فاصله موج چه میزان از فشار صوت کم می‌شود، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

$$L_r - L_R = 10 \log \left( \frac{I_r}{I_0} \right) - 10 \log \left( \frac{I_R}{I_0} \right)$$

$$L_r - L_R = 10 \log \left( \frac{I_r}{I_R} \right)$$

$$L_r - L_R = 10 \log \left( \frac{R^2}{r^2} \right)$$

$$L_r - L_R = 10 \log \left( \frac{R}{r} \right)^2$$

$$L_r - L_R = 20 \log \left( \frac{R}{r} \right)$$

اگر  $R=2r$  باشد یعنی اگر فاصله از منبع تولید صوت را دو برابر کنیم در این صورت چه میزان از فشار صوت کاسته می‌شود:

$$L_r - L_{2r} = 20 \log \left( \frac{2r}{r} \right)$$

$$L_r - L_{2r} = 20 \log(2) = 6 \text{ dB}$$

اگر منبع صوت خطی باشد، استوانه امواج صوتی تولید شده به شعاع‌های  $r$  و  $R$  در نظر گرفته شده و مساحت سطح جانبی استوانه ایجاد شده توسط امواج صوتی رها شده از منبع خطی صوتی به طول  $L$  یعنی  $2\pi rL$  و  $2\pi RL$  در نظر گرفته می‌شود.

گوش انسان اصوات ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز را می‌شنود. امواج صوتی زیر ۲۰ هرتز مادون صوت و بیش از ۲۰۰۰۰ هرتز مافوق صوت نامیده می‌شود.

آلودگی صوتی را معمولاً به دو دوره روز و شب تقسیم می‌کنند. دوره روز از ۷ صبح تا ۲۲ و دوره شب از ساعت ۲۲ تا ۷ صبح روز بعد است. حد استاندارد ترازهای صوتی برای هر منطقه‌ای بسته به کاربری آن متفاوت است. از این لحاظ مناطق به ۳ گروه مسکونی، مسکونی تجاری و صنعتی تقسیم می‌شوند. هر مکان استاندارد خاص خود را دارد که این رقم معمولاً در روز و شب ۱۰ دسی بل نوسان دارد. برای مثال، حد استاندارد ترازهای صوتی برای مناطق مسکونی ۵۵ دسی بل است که در تهران ۱۵ دسی بل بیشتر از این مقدار گزارش شده است. اکثر میادین و خیابان‌های اصلی شهر نیز تراز صدایی بالاتر از ۷۵ دسی بل دارند که بیشتر از حد مجاز است.

### اثرات آلودگی صوتی بر انسان

از عوامل موثر بر شنوایی افراد موارد زیر قابل ذکر است:

- شدت صوت و فرکانس آن
- مدت زمان حضور
- سن افراد
- فاصله از منبع تولید
- توپوگرافی منطقه
- نوع خاک و سنگ
- تراکم گیاهی

تاثیرپذیری انسان در مواجهه با آلودگی صوتی به شرح زیر قابل دسته‌بندی است:

- ۱- تطبیق: سیستم شنوایی انسان قابلیت تطبیق با شرایط جدید تا فشار صوتی ۵۰ دسیبل را دارد.
- ۲- تغییر موقت آستانه شنوایی: خارج از حالت تطبیق، فشار صوتی بیشتر از ۵۰ دسیبل مانند صداهای ناگهانی، انفجار و شلیک گلوله، کری موقت را به دنبال دارد.
- ۳- تغییر دائمی آستانه شنوایی: به طور تدریجی اتفاق می‌افتد مانند قرار گرفتن دائم در یک محیط پر سر و صدا
- ۴- اثرات روانی سر و صدا: به غیر از فشار صوتی که بر سیستم شنوایی اثرات سوء دارد، اثرات روانی صوت نیز می‌تواند وجود داشته باشد که به دلیل حساسیت انسان بر روی یک صدای خاص حتی با فشار و فرکانس بسیار پایین می‌تواند به وجود آید. حساسیت به صوت می‌تواند از فردی به فرد دیگر متفاوت باشد و معیاری برای اندازه‌گیری آن وجود ندارد.

#### قوانین و مقررات مربوط به آلودگی صوتی

قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا و آئین‌نامه اجرایی جلوگیری از آلودگی صوتی مصوب ۱۳۷۸ که دارای ۱۳ ماده استو مهمترین مواد آن عبارتند از:

- ماده ۲ که مطابق آن مبادرت به هر گونه اقدامی که موجبات آلودگی صوتی را فراهم نماید ممنوع می‌باشد. حد مجاز یا استاندارد آلودگی‌های صوتی توسط سازمان حفاظت محیط زیست با همکاری دستگاه‌های ذیربط تهیه و به تصویب شورای عالی حفاظت محیط زیست می‌رسد.
- مطابق ماده ۳، سازمان ضمن شناسایی منابع و کانون‌های آلودگی و تعیین میزان آلودگی آنها بر اساس استانداردها مراتب را به عامل یا عاملین منابع مذکور اعلام نموده و مهلت مناسب را برای رفع آلودگی تعیین می‌کند. عاملین منابع صوتی مذکور مکلفند در مهلت مناسب تعیین شده، حسب مورد نسبت به رفع آلودگی صوتی اقدام نمایند.
- مواد ۴ و ۵ این آیین‌نامه، کارخانجات و کارگاه‌ها را مکلف به رفع آلودگی صوتی کرده و سازمان را موظف به اجرای وظایف قانونی خود و بازرسی از منابع آلوده کننده نموده است.
- ماده‌های ۶ تا ۱۲ نیز به موضوعات مربوط به وسایل نقلیه موتوری، فرودگاه‌ها و هواپیماها، استقرار و فعالیت تعمیرگاه‌های وسایل نقلیه موتوری و رعایت استانداردها و حد مجاز آلودگی صوتی اشاره کرده است.

#### استانداردهای آلودگی صوتی

استانداردهای صدا بر مبنای اثرات مختلف سر و صدا تدوین می‌گردد. مبنای استاندارد سر و صدا در ایران بر اساس نسبت درصد زمانی که یک تراز معین سر و صدا در آن زمان از حد معین تجاوز کرده، می‌باشد. حدود مجاز صدا در هوای آزاد، مطابق با مصوبه شماره ۲۳۶ شورایعالی حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۸۱ می‌باشد. در اجرای ماده ۲ آئین‌نامه اجرایی نحوه جلوگیری از آلودگی صوتی مصوب ۱۳۷۸ هیئت وزیران، حدود مجاز صدا در هوای آزاد ایران به شرح جدول زیر تعیین گردیده است.

جدول استاندارد صدا در محیط

نوع منطقه	روز از ۷ الی ۲۲ شب (dB)	شب از ۲۲ الی ۷ صبح (dB)
منطقه مسکونی	۵۵	۴۵
منطقه تجاری- مسکونی	۶۰	۵۰
منطقه تجاری	۶۵	۵۵
منطقه مسکونی - صنعتی	۷۰	۶۰
منطقه صنعتی	۷۵	۶۵

مأخذ: مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۸۳.

در پروژه‌های عمرانی، بویژه پروژه‌هایی که در شب فعالیت نموده و در محدوده‌های جمعیتی قرار دارند، کنترل شدت آلودگی صوتی ایجادی باید مرتب مورد پایش و اندازه‌گیری قرار گرفته و تمهیدات لازم برای کنترل آلودگی‌های صوتی صورت پذیرد.

### کنترل و مدیریت آلودگی صوتی

یکی از روش‌های متداول برای کنترل و کاهش فشار صوتی، فاصله گرفتن از منابع تولید صوت می‌باشد. یکی از دلایل خروج مراکز صنعتی و کارخانجات به خارج از شهر، ایجاد فاصله کافی از آنها و قرار نگرفتن در طیف صوتی این مراکز می‌باشد. روشهای کنترل کننده آلودگی صوتی به ۳ گروه تقسیم می‌شود:

- کنترل منابع صوتی، مانند استفاده از تکنولوژی‌های جدید در خط تولید و تعمیر و نگهداری منظم دستگاه‌ها و تاسیسات.
- کنترل بین منبع و دریافت کننده صوت: احداث دیوارهای بلند در اطراف بزرگراه‌هایی که نزدیک مناطق مسکونی هستند که بهمیزان قابل توجهی از فشار صوتی می‌کاهد. با کاشت درخت در اطراف مناطق پر سر و صدا نیز می‌توان به میزان قابل توجهی از فشار صوتی کاست.



➤ کنترل در محل دریافت صدا: در ساختمان هایی که در معرض فشار صوتی هستند یا مراکز صدابرداری، می‌توان از جداره‌های فیبری قطور به عنوان عایق صوتی استفاده نمود. فیبرها جاذب‌های بسیار قوی امواج صوتی هستند، بطوریکه می‌توانند تمامی انرژی امواج را دریافت کرده و آن را به انرژی حرارتی تبدیل کنند و از خروج و یا ورود صوت جلوگیری نمایند.

سر و صدا را می‌توان با روش‌های علمی و فنی کاهش داد. از جمله اقدامات در این خصوص موارد زیر قابل ذکر است:

➤ استفاده از آسفالت‌های مرغوب، به منظور کاهش میزان صدای ناهنجار ناشی از حرکت اتومبیل‌ها

➤ انتقال کارخانجات و کاربرهای با سطح صوتی بالا، به خارج از شهر

➤ فرهنگ‌سازی از طریق صدا و سیما و آشناسازی افراد با آثار زیانبار سروصدا

➤ استفاده از پنجره‌های دو جداره در کارخانه‌ها و منازل

➤ طراحی اتاق خواب به گونه‌ای که فضا از سروصدا خالی باشد

به منظور مقابله و کاهش سر و صدای مزاحم در ساختمانها باید از عایق‌های صوتی و از مصالحی استفاده نمود که این خاصیت را داشته باشند. موادی که قادرند امواج صوتی را جذب کرده و مقدار آن را کاهش دهند، به مواد اکوستیکی معروف هستند.

➤ عایق‌های صوتی سربی: این عایق‌ها را به صورت ورقه‌هایی در روی تیغه‌های نازک پارتیشن و روی مصالح دیگر با استفاده از چسب مخصوص می‌توان استفاده نمود.

➤ کاشی و صفحات ساخته شده از فیبرهای سلولزی: این کاشی‌ها معمولاً از الیاف نیشکر که تحت فشار قرار گرفته و به صورت تخته در می‌آیند ساخته می‌شود و معمولاً آنها را سوراخدار می‌سازند تا صدا بتواند به حفره‌های بین الیاف برسد و باعث جذب آن گردد.

➤ کاشی‌های ساخته شده از فیبرهای معدنی: این کاشی‌ها در کشورهای صنعتی از سرباره کوره ذوب آهن تولید می‌شود و به صورت شکافدار و یا سوراخدار ساخته می‌شود تا قابلیت جذب صوت آنها افزایش یابد.

➤ کاشی‌های فلزی سوراخدار: این کاشی‌ها از ورق‌های آلومینیومی و یا فولادی ساخته شده که سطح آنها سوراخدار بوده و با موادی نظیر پشم‌های معدنی پر شده‌اند و روی آن را با پوشش لعاب پخته سفید، می‌پوشانند.

مصالح اکوستیکی باید به لحاظ شکل ظاهری: یکنواخت، بدون عیب و عاری از مواد سست و کم دوام و مضر باشند. مقاومت در برابر فشار، بریدن و کشیدگی، جذب آب، تخلخل و حمله موجودات زنده نظیر حشرات از ویژگی‌های مواد اکوستیکی است که به همراه قابلیت حمل آسان، می‌تواند مورد توجه واقع شود.

استفاده از آسفالت‌های متخلخل، دیوارهای عایق صدا در اطراف بزرگراه‌ها، افزایش فضای سبز و رعایت حریم بین منازل و بزرگراه‌ها از راه‌های کنترل صوت می‌باشد. تحقیقات کارشناسان محیط‌زیست نشان می‌دهند ایجاد فضای سبز در اطراف بزرگراه‌ها گاه از سایر روش‌ها موثرترند و چنارها بهتر از دیوارهای ضد صوت عمل می‌کنند. البته این طرح به شرطی امکان‌پذیر است که تعداد درخت‌ها زیاد باشد و با برنامه‌ریزی قبلی برای چنین کاری کاشته شوند.

حریم‌های رعایت نشده بین منازل و بزرگراه‌ها یکی از اصلی‌ترین عوامل ایجاد آلودگی صوتی برای شهروندان است و این در حالی است که حتی شهرهایی با جمعیت کمتر از ۱۰۰ هزار نفر در کشورهای اروپایی ملزم به تهیه نقشه‌های نشان دهنده ترازهای صوتی در مناطق گوناگونند که این نقشه‌ها در طراحی محل اتوبان‌ها و حفظ فاصله‌شان از مناطق مسکونی کمک می‌کند. از طرفی آنها با محاسبه تراز صدای بزرگراه پیش از ساخت آن در یک منطقه، میزان آلودگی صوتی احتمالی را تعیین نموده و حریم منازل را مشخص می‌کنند.

در تهران علاوه بر آلودگی صوتی عمومی که اغلب مردم شهر به آن گرفتارند، معماری قدیمی شهر هم در برخی مناطق دردسر ساز است. وجود فرودگاه در داخل شهر و عبور ریل‌های قطار از برخی محله‌های جنوب شهر وضعیت این مناطق را بحرانی‌تر کرده است. می‌توان در منازل از شیشه‌های دو جداره یا پشم شیشه در دیوارها و سقف استفاده کرد.

دلایل بالا بودن آلودگی صوتی در ایران:

- ضعف قوانین برای کاهش آلودگی صوتی
- ضعف در نظارت بر طراحان ساختمان‌ها
- عدم توجه کافی به تامین آسایش مردم در ساختمان‌ها از سوی طراحان و سرمایه‌داران
- عدم نظارت کافی بر عملکرد خودروسازی‌ها و حد مجاز ترازهای صوتی تولید شده از سوی خودروها
- عدم نظارت کافی بر طراحان ساختمان، به منظور استفاده از مواد جاذب صوت یا شیشه‌های دو جداره
- عدم اجبار در ایجاد فضای سبز یا انجام راهکارهای کنترلی در اطراف بزرگراه‌ها
- ضعف قانونی برای پیشگیری از ضررهای ناشی از آلودگی صوتی