زندگی ما هر روز بیشتر از طبیعت دور شده و بیشتر با مواد شیمیایی و صنعتی احاطه می‌شود و سلامت ما نیز بیشتر از پیش در معرض خطر قرار می‌گیرد.
یک قرن پیش نام بسیاری از بیماری‌هایی که اکنون گریبانگیر ما شده است به گوش نمی‌رسید. بسیاری ازکودکان به دلیل ابتلا به انواع سرطان هر سال جان خود را از دست می‌دهند و تعداد آنها پیوسته رو به افزایش است. برای خروج از این چمبره هولناک که در اثر تماس دائمی با مواد مصنوعی و شیمیایی برای خود به وجود آورده‌ایم راهی جز نزدیک‌تر شدن به طبیعت و کمک گرفتن از آن برای پاکسازی محیط زندگی‌امان وجود ندارد. کتاب با گیاهان آب‌ها را تصفیه کنیم ضمن آگاه کردن شما از خطرهایی که زندگی سرشار از آلاینده‌های صنعتی برای ما به وجود آورده‌اند، تجربه‌های موفقی که با استفاده از روش‌های طبیعی برای زدودن برخی از این آلاینده‌ها از آب‌ها به کار گرفته شده‌اند را به شما معرفی می‌کند. اگر حوصله خواندن مطالب فنی و اطلاعات آماری کتاب را ندارید، حتما فصل‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ این کتاب را به دقت مطالعه کنید تا محتاط‌تر زندگی کنید.

معماری سبز

با گیاهان آب را تصفیه کنیم

راه طبیعت برای زدودن آلودگی آب‌ها

نویسنده: ب. س. وولورتون
جان د. وولورتون

مترجم: رضا روحانی

گروه مهندسین مشاور ره‌شهر

معماری سبز با گیاهان آب را تصفیه کنیم

نویسنده: ب. س. وولورتون - جان د. وولورتون

مترجم: رضا روحانی

ب. س. وولورتون
معماری سبز: با گیاهان آب را تصفیه کنیم، راه حل طبیعت برای زدودن آلودگی آب‌ها/
نویسنده: B.C. Wolverton ب. س. وولورتون ، مترجم: رضا روحانی، ۱۵۲ ص،
گروه مهندسین مشاور ره شهر، ۳۵۰۰۰ ریال، چاپ اول: زمستان ۱۳۸۶

ISBN: 978-964-04-1253-4

عنوان اصلی کتاب:
Growing Clean Water: Nature's Solution to Water Pollution

با گیاهان آب را تصفیه کنیم
راه طبیعت برای زدودن آلودگی آب‌ها

ناشر: گروه مهندسین مشاور ره شهر
مترجم: رضا روحانی
نوبت چاپ: اول - ۱۳۸۶
شمارگان: ۵۰۰۰ نسخه
صفحه‌آرا: زهرا قراگوزلو
طرح جلد: فرناز رحمتی
لیتوگرافی و چاپ: نقره‌آبی
صحافی: حمزه‌ای
قیمت: ۳۵۰۰۰ ریال
شابک: ۴-۱۲۵۳-۰۴-۹۶۴-۹۷۸

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

فهرست

۴ مقدمه ناشر
۶ مقدمه مترجم
۸ مقدمه نویسنده
۱۲ فصل اول: آب، مایع حیات‌بخش
۲۰ فصل دوم: آلودگی‌های زیست‌محیطی
۳۸ فصل سوم: تاریخچه‌ای از سیستم‌های تصفیه پساب انسانی و راه‌های طبیعی برای تصفیه آن
۵۰ فصل چهارم: سیستم‌های کوچک دفع پسماندها
۶۴ فصل پنجم: تصفیه پساب‌های شهری
۹۲ فصل ششم: تصفیه پساب‌های صنعتی و کشاورزی
۱۲۰ فصل هفتم: فناوری‌های زیستی پایدار برای قرن بیست و یکم
۱۲۶ فصل هشتم: گیاهان تصفیه کننده پساب‌ها
جدول‌های نتیجه مطالعات

با گیاهان آب را تصفیه کنیم
راه طبیعت برای زدودن آلودگی آب‌ها

مقدمه ناشر

قرن بیست ویکم «قرن همزیستی و آشتی انسان با طبیعت» نام گرفته است. شاید این نام بیشتر از یک شعار یا آرزو نباشد، اما گویای واقعیتی تلخ و نگران‌کننده‌است؛ بشر، طی قرن بیستم به مدت صد سال، بیشترین آسیب را به محیط زیست زندگی خود وارد آورده است. در این مدت ابداع روش‌های گوناگون صنعتی و تولید انبوه مواد و کالاها و به کارگیری آنها به روش‌های کاملا غیر مسئولانه، صدمه‌هایی گسترده‌و در مواردی جبران‌ناپذیر به محیط زیست همه انسان‌ها وارد آورده است. تغییرات شدید و ناگهانی آب و هوا در نقاط مختلف جهان، بروز بیماری‌های ناشناخته، انقراض گونه‌های حیاتی گوناگون که ارزش و ارتباط آنها با زندگی انسان کاملا ناشناخته‌مانده‌است، مرگ‌های گروهی انسان‌ها در اثر انتشار آلاینده‌های گوناگون در محیط و انتقال آثار مخرب آلاینده‌ها به نسل‌های بعد، نمونه‌های بارزی از این رفتارهای غیرمسئولانه است.

طی چهار دهه اخیر پژوهشگران زیادی درباره ماهیت رفتارهای ناسازگار انسان با طبیعت، راه‌های جبران آسیب‌های وارد شده به محیط زیست و روش‌های جایگزین برای حفظ فرایند زندگی در کره زمین به تحقیق پرداخته‌اند و اطلاعات متنوع و گسترده به دست آمده از این پژوهش‌ها منجر به اتخاذ تصمیم‌ها، تصویب قوانین و اعمال مقرراتی در سطح جهان شده

است. بیانیه کیوتو برای کاستن از آلودگی جو زمین، اجلاس ریودوژانیرو، بیانیه تعدادی از دانشمندان درباره علل تغییرات آب و هوایی و افزایش دمای زمین در فوریه ۲۰۰۷، نمونه‌هایی از این اقدام‌ها هستند. در نتیجه این مطالعات روش‌ها و راه‌حل‌های گوناگونی ابداع شده است که به تدریج در سطح جهان رایج خواهند شد.

از جمله این روش‌های جدید، استفاده از فرایندهای طبیعی برای از بین بردن آلاینده‌های ناشی از پسماندها و پساب‌ها است که یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی به ویژه در شهرهای بزرگ و پر جمعیت به شمار می‌رود. آسیب‌های ناشی از این دو منبع آلاینده به میزان گسترده‌ای کلیه عرصه‌های زیستی انسان را تحت تاثیر قرار داده است. نفوذ مواد موجود در پسماندها و پساب‌ها، خاک و آب که بستر تولید مواد غذایی ما هستند را آلوده کرده است، به طوری که تامین مواد غذایی پاکیزه و سالم در بسیاری نقاط جهان به آسانی ممکن نیست. بسیاری از روش‌هایی که برای برطرف کردن این مشکلات طراحی و اجرا می‌شوند خود موجب بروز مشکلات جدیدی می‌شوند.

کتاب حاضر نتیجه چند دهه مطالعات مرکز فضایی آمریکا در استفاده موثر از گیاهان برای از بین بردن آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی است. باتوجه به این که کشور ایران از معدود نقاط جهان با این میزان تنوع گیاهی و اقلیمی است و تاکنون بیش از ۷۵۰۰ گونه گیاهی یعنی حدود سه برابر تمام گونه‌های شناخته شده در قاره اروپا در آن شناخته شده است، آگاهی از روش‌های ارائه شده در این کتاب می تواند الگوی لازم برای بهره‌برداری از امکانات منحصر به فرد و سرشار کشور برای تصفیه پساب‌ها ارائه دهد و ایران را نیز در حرکت جهانی برای تبدیل کره زمین به محیطی پاکیزه برای زیست همگام سازد.

گروه مهندسین مشاور ره‌شهر

مقدمه مترجم

آنچه درباره موضوع این کتاب و اهمیت مباحثی از این دست باید گفته شود در مقدمه ناشر محترم و بیش از آن در فصل‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ کتاب آمده است، بنابراین از بازگو کردن بسیاری از نکاتی که خواننده محترم در بخش‌های مختلف کتاب آن را مطالعه خواهد کرد خودداری می‌کنم و فقط به توضیحی کوتاه درباره محتوای کتاب می‌پردازم. کتاب «با گیاهان آب را تصفیه کنیم» که عنوان اصلی آن «Growing Clean Water: Nature's Solution to Water Pollution» است از دو بخش تشکیل شده است: بخشی که دارای اطلاعات عمومی و جامع درباره آلاینده‌هایی است که طی حدود صد سال گذشته در اثر فعالیت‌های صنعتی به زندگی انسان راه یافته و بخش دیگر که مربوط به روش‌های نوینی است که در آن‌ها از فرایندهای طبیعی بازشناسی شده برای زدودن این آلاینده‌ها تقلید می‌شود.

مطالعه بخش اول کتاب بدون تردید برای همه خوانندگان، اگر ادعا نشود لازم است، باید گفت مفید است، زیرا آگاهی مقدماتی‌ای درباره عوارض ناشی از شیوه‌های غیرمسئولانه جاری در زندگی بشر به خواننده می‌دهد و به خوبی وی را با مشکلاتی که برای سالم زیستن توسط وی به وجود آمده است آشنا می‌سازد. بخش دیگر بیشتر فنی و مهندسی است و به بیان روش‌های تصفیه آلاینده‌های موجود در پساب‌ها با به کارگیری شیوه‌های طبیعی می‌پردازد و تجربه‌های موفقی که

تاکنون کسب شده است را معرفی می‌کند. مطالعه این بخش بیشتر برای مهندسان محیط‌زیست، کشاورزی، تاسیسات و شهرسازی می‌تواند مفید باشد. البته برای خوانندگان علاقمند به شیوه‌های نوین برای همزیستی مسالمت‌آمیز با طبیعت، این بخش نیز مانند بخش دیگر کتاب آموزنده است.

کتاب متاسفانه از نظر عکس و تصویر غنی نیست. عکس‌ها و تصویرهای کتاب اصلی سیاه و سفیدند و از کیفیت لازم برخوردار نیستند، به طوری که حتی برخی از عکس‌های آن نامفهوم‌اند. متاسفانه جستجوی اینترنتی هم برای یافتن عکس‌های مشابه نتیجه مطلوبی نداشت. به همین دلیل و به ناچار برخی از عکس‌ها که مربوط به طرح‌های اجرا شده در مناطق مختلف بودند حذف شدند. عکس‌های رنگی که در بخش پایانی کتاب چاپ شده‌اند همه از منابع اینترنتی تهیه شده و جایگزین عکس‌های بی‌کیفیت کتاب اصلی شده‌اند. یادآوری این نکته نیز لازم است که ترجمه کتاب‌های علمی و فنی به زبان فارسی معمولا با مشکلاتی مواجه است زیرا برای بسیاری از واژگان فنی و نام‌های علمی و عمومی، معادل مناسب یا رایج به زبان فارسی ساخته نشده است. در ترجمه این کتاب این مشکل به ویژه برای یافتن معادل فارسی نام گیاهان وجود داشت. برای این منظور مراجع متعددی بررسی شد و از یکی از همکاران رشته باغبانی نیز کمک گرفته شد، اما به ناچار تعدادی از نام‌ها هم‌چنان با تلفظ انگلیسی و به خط فارسی در کتاب آورده شده است. البته برای این که امکان بررسی دقیق‌تر برای متخصصین فراهم باشد و به منظور جبران هرگونه خطایی که ممکن است در انتخاب نام‌های معادل فارسی رخ داده باشد، نام‌های علمی و عمومی گیاهان و اسامی بازرگانی روش‌ها یا کالاها به صورت زیرنویس در صفحاتی که این نام‌ها آمده است، به زبان انگلیسی نوشته شده‌اند.

لازم می‌دانم بیش از همه از جناب آقای مهندس سید محمدعلی کیایی که مشوق و پشتیبان اصلی من در ترجمه این کتاب بوده‌اند و کلیه هزینه‌های آماده‌سازی و چاپ آن را از سوی شرکت ره‌شهر تقبل کردند سپاسگزاری کنم. هم‌چنین از آقای مهندس عزت‌الله غلامی که در نمونه‌خوانی کتاب و تدوین جدول‌ها و نمودارهای آن، آقای محمود یزدیزاده و خانم فریبا شریفی که زحمت نمونه‌خوانی ویرایش اول آن را پذیرفتند و خانم فاطمه غلامی و آقای مهندس علی‌اکبر ابذل که در تهیه تعدادی از عکس‌های کتاب و نام‌های معادل فارسی برخی از گیاهان همکاری داشتند قدردانی کنم.

مترجم

مقدمه نویسنده

قرن بیستم قرن تغییر فاحش رابطه انسان با سیاره‌ای بود که در آن زندگی می‌کنیم. در این قرن پیشرفت‌های علمی، همراه با عوامل ناشی از انفجار جمعیت، آلودگی‌هایی را در پی داشت که کیفیت زندگی را نه تنها برای انسان‌ها که برای همه موجودات به خطر انداخت. طی پنجاه سال گذشته بیش از ۷۵،۰۰۰ ماده شیمیایی در محیط زندگی ما تولید شده است. این مواد شیمیایی زندگی ما را راحت‌تر و مرفه‌تر کرده‌اند و مزایای منحصر به فرد و غیر قابل اجتنابی را به همراه آورده‌اند، اما این رفاه با چه هزینه‌ای به وجود آمده است؟

اکنون بیشتر آب‌های سطحی و زیرزمینی ما به این مواد آلوده شده‌اند. ما به تدریج متوجه شده‌ایم که برخی از مواد شیمیایی مصنوعی که زمانی فکر می‌کردیم خنثی یا غیر سمی هستند می‌توانند در واکنش‌های بیوشیمیایی بدن ما وارد شوند و در دراز مدت سلامت ما را به مخاطره اندازند. طی چند سال گذشته، پژوهشگران دریافته‌اند که ساختمان شیمیایی برخی از مواد، مشابه هورمون استروژن است. از این مواد شبه هورمون سال‌ها استفاده شده است، اما به تازگی با جلوه‌هایی از زیان‌های ناشی از آنها آشنا شده ایم.

تا چند دهه گذشته، از مشکلات زیست‌محیطی‌ای که امروز دامنگیر جهان شده است حتی نامی در میان نبود. آلودگی، منابع بسیار متنوعی دارد- پساب‌ها و پسماندهای تصفیه نشده

یا نیمه تصفیه شده انسان و حیوان، آلودگی هوای فضاهای بسته و باز، استفاده گسترده ازحشره‌کش‌ها و مواد شیمیایی مضر دیگر، پسماندهای کارخانه‌ها، پساب‌های شهری و کشاورزی، زباله‌های دفن شده و بسیاری از مواد رنگی و افزودنی که در بسیاری از غذاها مصرف می کنیم جزو این منابع آلودگی هستند. دامداری‌های تولیدکننده گوشت پیوسته به دام‌ها هورمون رشد و آنتی‌بیوتیک می‌دهند تا بیشتر و سریع‌تر گوشت تولید کنند. در کشاورزی مقدار زیادی مواد حشره‌کش مصرف می‌شود. شواهد زیادی نشان می‌دهد که حتی یک بار تماس با مواد شیمیایی ممکن است زیان‌آور باشد، زیان‌های تماس پیوسته با مواد گوناگون شیمیایی حتی به میزان بسیار کم ممکن است اثرات بسیار زیادی داشته باشد. البته نمی خواهیم از زندگی مدرن کنونی دست بکشیم، اما نباید تردید کرد که باید تلاش کنیم از میزان تماس‌مان با مواد آلاینده بکاهیم تا زندگی لذتبخش‌تری داشته باشیم.

یکی از ویژگی‌های طبیعت توانایی آن در از بین بردن مواد آلاینده است. اما مشکل زمانی بروز می‌کند که حجم مواد زایدی که دور ریخته می‌شود بیشتر از توانایی طبیعت برای نابود کردن آنها باشد. شاید باید راه حل را در تلفیق نیروهای طبیعی و نبوغ انسان جستجو کرد. باید اجازه داد طبیعت خودش را پاکیزه کند، و ما به کمک دست‌آوردهای علمی بهره‌وری آن را افزایش دهیم. سازمان فضایی ناسا که پیشرفته‌ترین فناوری‌ها را به جهان معرفی کرده، یکی از اولین مراکزی است که روشی را به این منظور پیشنهاد کرده است. در تلاش برای تقلید از اکوسیستم زمین، ناسا فرایندهای طبیعی را برای تصفیه انواع مواد زاید در پایگاه‌های طولانی مدت فضایی به کار گرفته است که بیشتر از نمونه‌های دیگر در کره زمین کاربرد دارند.

یافته‌های جدیدتر درباره فرایندهای طبیعی و استفاده از گیاهان و میکروب‌های اطراف ریشه گیاهان در تصفیه پساب‌های شهری و صنعتی، کشاورزی و آلودگی هوا و غیره نتایج جالبی به دنبال داشته است. این روش‌ها نه تنها امکان تصفیه موثر مواد زاید را فراهم می‌سازد، بلکه معمولا بسیار مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌اند و کمتر انرژی مصرف می کنند.

با افزایش روز افزون تقاضا برای آب، نیاز انسان به تصفیه و بازیافت این ماده حیاتی بیش از پیش افزایش یافته است. بهره گرفتن از توانایی و ظرفیت طبیعت در پاکسازی آلاینده‌ها از منابع حیاتی آب، هم به لحاظ زیست‌محیطی و هم اقتصادی توجیه پذیر است. اما نباید انتظار

داشت که شهرهای کوچک در کشور آمریکا یا روستاهای دورافتاده کشورهای جهان سوم بتوانند هزینه خریداری این سیستم‌ها را بپردازند. افزون بر این، آنها دانش فنی یا توانایی پرداخت هزینه‌های نگهداری سیستم‌های بسیار پیچده فنی را ندارند. در بسیاری موارد بخش‌هایی از این سیستم‌ها خیلی پیشتر از آن که هزینه‌های آن‌ها پرداخت شود، باید تعویض شوند. راه حل بهتری پیش رو است، راه‌حلی آماده و به قدمت حیات در کره زمین. فرایندهای غیر فنی طبیعی که تصفیه کامل را انجام می‌دهند و سلامت محیط زیست را تامین می‌کنند و نیاز به هزینه‌های سنگین نگهداری هم ندارند.

این کتاب را نباید به عنوان دستنامه‌ای برای طراحی به شمار آورد، اما برای مهندسینی که به طراحی سیستم‌های تصفیه‌کننده طبیعی اشتغال دارند می تواند قابل استفاده باشد. هدف اصلی این کتاب از یک سو در اختیار گذاردن اطلاعات اولیه‌ای است که با پشتوانه سال‌ها تجربه به دست آمده است و از سوی دیگر معرفی کلی روش‌های طبیعی در تصفیه آلاینده‌ها است. شرکت‌های مهندسی معمولا چنین روش‌هایی را تبلیغ نمی‌کنند، زیرا آنها براساس میزان هزینه‌هایی که در ساخت و سازها انجام می دهند دستمزد دریافت می‌کنند. در این صورت مثلا چنانچه هزینه یک سیستم مکانیکی سه میلیون دلار و یک سیستم طبیعی ۶۰۰ هزار دلار باشد و شرکت مهندسی ۱۰ درصد کل هزینه احداث را دریافت کند، برای یک شرکت چه انگیزه‌ای وجود دارد که استفاده از سیستم‌های طبیعی را پیشنهاد کند؟ بنابراین اگر یک شرکت مهندسی، استفاده از چنین سیستمی را پیشنهادی کند، حدود ۲۲۹،۹۴۰ دلار از دست می‌دهد. تا زمانی که این مساله حل نشوند، روش‌های تصفیه طبیعی در جامعه مهندسی کاربرد گسترده‌ای نخواهد یافت.

بنابراین تکلیف مسئولان شهرهای کوچک که با اعتماد به پیشنهادهای مهندسان مشاورشان سیستم‌های تصفیه فاضلاب خود را انتخاب می‌کنند چیست؟ به نظر می‌رسد این وظیفه‌ی شهردارها، مدیران شهری، مسئولان شوراها و مدیران خدمات شهری است که در جستجوی مهندسانی باشند که به استفاده از سیستم‌های طبیعی اعتقاد داشته باشند.

براساس اطلاعات موجود، تا کنون هیچ مرجعی که بتواند اطلاعات لازم را در این زمینه در اختیار گذارد وجود ندارد. دقیقا به همین دلیل است که این کتاب به زبان تخصصی مهندسی

نوشته نشده و سعی شده است اطلاعاتی که بیشتر مورد استفاده افراد عادی و غیر فنی است در آن داده شود تا شهروندان بتوانند در انتخاب نوع سیستم تصفیه پساب‌ها تصمیم‌گیری کنند.

در حال حاضر، سیستم‌های طبیعی تصفیه پساب در اندازه‌های گوناگون را می‌توان تنها جایگزین سیستم‌های رایج تصفیه در یک مکان کرد یا برای پاسخگویی به نیاز یک شهر کوچک به کار گرفت. اما برای قانع کردن مراکز نظارتی به استفاده از این سیستم‌ها چالش سختی در پیش است. سازمان‌های دولتی در به کارگیری روش‌های جدید بی‌اعتنا هستند و معمولا این پاسخ را تکرار می‌کنند که «اگر در مقررات به آن اشاره نشده است نباید از آن استفاده شود». بنابراین به دلیل تعلل نظام دولتی و بی‌رغبتی مهندسین، کارفرما باید برای دریافت مجوز استفاده از سیستم‌های جایگزین مبارزه کند. در این میان معمولا کسانی که حوصله و شهامت ورود به این مبارزه را داشته‌اند توانسته‌اند، تایید لازم را هم در سطح ایالتی و هم فدرال دریافت کنند. البته شرایط به سرعت در حال تغییر است و شرایط اقتصادی عامل موثری برای پذیرش روش‌های جدید است.

نتایج و کاربردهای جدید و جالب حاصل از فناوری‌های تصفیه طبیعی پساب موجب جلب نظر مهندسین، معمارها، کارفرماها و عموم مردم شده است. در قرن ۲۱ شاهد ساختمان‌های زیادی خواهیم بود که به طور مستقل با استفاده از اکوسیستم‌های کوچک، پساب و هوای خود را تصفیه خواهند کرد. امیدواریم این کتاب موجب شکوفایی ذهن کسانی شود که با استفاده از مواهب زندگی مدرن به حفظ محیط زیست نیز علاقمندند. قرن ۲۱ در بسیاری از زمینه‌ها، حتی تصفیه پساب‌ها، نوآوری‌های فراوانی را به ارمغان خواهد آورد.

دکتر ب. س. وولورتون و جان د. وولورتون

فصل اول

آب، مایع حیات‌بخش

«همه جا را آب فرا گرفته است، اما حتی یک قطره آن هم قابل آشامیدن نیست.»

بخشی از ترانه «ملوانان باستان»
ساموئل تی. کولریج

بدون تردید آب ارزشمندترین منبع طبیعی است و حیات تمام جانوران، گیاهان و انسان به آن وابسته است. خوشبختانه آب از تمام منابع دیگر در طبیعت بیشتر یافت می‌شود و سه چهارم سطح کره زمین را آب پوشانده است. تقریبا ۹۷ درصد آب زمین در اقیانوس‌ها قرار دارد، اما به دلیل شوری زیاد قابل استفاده نیستند. ۳ درصد باقی‌مانده آب شیرین است که سه چهارم آن به شکل یخ و یخچال‌ها در ارتفاعات قرار دارند. یخچال‌ها طی ۱۰۰۰ سال گذشته آب رودخانه‌ها را تامین کرده‌اند. آب‌های زیرزمینی، بقیه آب‌های شیرین را در نقاط مختلف جهان تشکیل می‌دهند. با حفر چاه به منابع آب‌های زیرزمینی دست می‌یابیم و آن‌ها را به سطح زمین هدایت می‌کنیم. منابع آب‌های زیرزمینی در لایه‌های مختلف ماسه‌ای، آهکی و ... زمین قرار دارند. برخی از آنها در لایه‌های عمیق زمین قرار دارند و استخراج آنها بسیار مشکل و پر هزینه است. کمتر از ۰/۱ درصد آب‌های شیرین در دریاچه‌ها، آبگیرها، رودخانه‌ها، نهرها و جویبارها قرار دارند یا به صورت باران فرو می‌ریزند. این مقدار آب می‌تواند کل نیاز انسان را برآورده کند و در یک چرخه پیوسته مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حجم آب موجود در جهان ثابت است و در واقع پیوسته در پوسته زمین بازیافت می‌شود. آب یکی از موادی است که در سه شکل مایع، جامد (یخ) و گاز (بخار) یافت می‌شود.

بخش بزرگی از آب شیرین جهان پیوسته به صورت بخار در چرخه آبی طبیعت جا به جا می‌شود و در نهایت تمام آب موجود در زمین در این چرخه قرار می‌گیرد و به صورت بخار وارد جو زمین می‌شود یا به صورت آب باران، برف و تگرگ مجددا به زمین باز می‌گردد.

بخار آب موجود در هوا بیشتر نتیجه تبخیر آب است. گرمای خورشید پیوسته آب اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، جویبارها و زمین را تبخیر می‌کند. تقریبا ۸۵ درصد رطوبت هوا ناشی از تبخیر اقیانوس‌ها است. درختان و پوشش‌های گیاهی هم در فرایند تعریق و تعرق، در جو، بخار آب آزاد می‌کنند و همه این‌ها به صورت بارش‌هایی به زمین باز می‌گردند. یک درخت بزرگ می‌تواند هر روز ۰/۷۵ مترمکعب آب در جو آزاد کند. به همین دلیل جنگل‌های سطح زمین نقش مهمی را در چرخه آب در طبیعت بازی می‌کنند. گیاهان با عمل تبخیر و تعریق نمک‌ها و ناخالصی‌های دیگر را که به صورت طبیعی یا در اثر فعالیت‌های انسان به آب افزوده شده است می‌گیرند و مجددا آن را قابل استفاده می‌کنند. در اثر این چرخه طبیعی، در صورتی که آب آلوده نشده باشد یا مجددا و فورا مورد استفاده قرار نگیرد، آب شیرین به مقدار کافی و پیوسته یافت می‌شود.

با تمام اهمیتی که آب برای حیات موجودات دارد، به نسبت یکسان در زمین توزیع نشده است. فرایند چرخه آب، ذخایر آب شیرین زمین را به مناطق حاره، معتدل، خشک و نیمه خشک تقسیم می‌کند. ذخایر آب یک منطقه را بارندگی آن منطقه تامین می‌کند. اگر میزان بارندگی به نسبت مساوی توزیع شده بود، همه نقاط زمین سالانه حدود ۸۶ سانتی‌متر باران داشتند. هر ۲/۵ سانتی‌متر باران در هر ۴۰۰۰ مترمربع می‌تواند باعث ذخیره ۱۰۲ مترمکعب آب شود. اما، میانگین بارندگی سالانه در شمال‌شرقی هند ۱۰ متر است، در صورتی که در مناطق شمال کشور شیلی طی چندین سال حتی یک بار هم باران نمی‌بارد.

تمدن‌ها معمولا در نقاطی که آب شیرین کافی وجود دارد گسترش یافته‌اند. اما رشد فزاینده جمعیت (بیش از ۶ میلیارد نفر) فشار زیادی بر منابع آب شیرین برخی مناطق وارد می‌کند. از دوره سنگی (حجر) تا سال ۱۹۰۰، حدود ۶۰۰،۰۰۰ سال طول کشید تا جمعیت انسان به ۱/۶ میلیارد نفر برسد؛ از آن پس تا کنون به بیش از ۶ میلیارد رسیده است. این تعداد در چهل تا شصت سال آینده دو برابر خواهد شد، در صورتی که منابع آب هم‌چنان ثابت می‌ماند. افزون بر این، میزان مصرف سرانه آب هم دو برابر شده است.

در گذشته ملت‌ها برای تصاحب منابع ارزشمندی مانند نفت با هم می جنگیدند، اما دور از انتظار نیست که در آینده‌ای نه خیلی دور بر سر منابع آب با یکدیگر جنگ کنند. سناتور آمریکایی پل سیمون در کتاب خود پایان آب[1] به روشنی اعلام کرده است که در آینده نیاز برخی کشورها به آب آنها را وابسته به کشورهای دیگر می‌کند. در این کتاب او اشاره می‌کند که در حال حاضر آب جاری بیست و دو کشور از کشورهای دیگر عبور می‌کند. بسیاری از این کشورها مانند هند، پاکستان، بنگلادش، چین و کشورهای خاورمیانه هم اکنون هم بر سر مسائل دیگر با همسایگان خود اختلاف و درگیری دارند. اگر به این مشکلات، مشکل کمبود آب را هم اضافه کنیم شرایط از آنچه که هست هم سخت‌تر می‌شود.

بانک جهانی آژیر خطر بحران کمبود آب را برای خاورمیانه و مناطقی از آفریقا به صدا در آورده است. خشکسالی و افزایش مصرف آب در برخی از مناطق موجب کاهش منابع آبهای زیرزمینی در این مناطق شده است. سرانه آب موجود در شمال آفریقا و خاورمیانه از دیگر نقاط جهان کمتر است. اگر ذخایر آب شیرین با سرعت کنونی کاهش یابد، در ۲۰ تا ۳۰ سال آینده یا حتی کمتر، این مناطق با بحران عظیم کمبود آب مواجه خواهند شد. بر اساس اعلام سازمان ملل متحد تقریبا دو میلیارد نفر در جهان از داشتن آب آشامیدنی محرومند و بیش از نیمی از جمعیت جهان فاقد آب برای تامین بهداشت خود هستند. با وجودی که مشکل کمبود آب هر روز شدت می‌یابد، اما رشد جمعیت جهان نیز هم‌چنان رو به افزایش است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ حدود چهار میلیارد نفر در جهان با کمبود آب مواجه شوند.

کمبود آب فقط منحصر به کشورهای در حال توسعه نمی‌شود. به دلیل افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، در تمام مناطق آمریکا هم کمبود آب مشاهده می‌شود. بخش‌هایی از ایالت تگزاس و ایالت‌های غربی در بهار سال ۱۹۹۶ بدترین خشکسالی تاریخ خود را تجربه کردند. مجددا بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ بخش‌هایی از ایالت‌های جنوبی و جنوب غربی محصولات کشاورزی خود را به دلیل خشکسالی از دست دادند. همه ما تاثیر خشکسالی را هنگام خرید میوه و تره‌بار احساس می‌کنیم. ایالت‌های کالیفرنیا، تگزاس و فلوریدا که سریع‌ترین رشد را داشته‌اند فشار کمبود آب را به خوبی احساس می‌کنند.

1. Tapped Out

مصرف آب

آب در حیات تمام موجودات زنده نقش اساسی ایفا می‌کند. آب مواد غذایی را به تمام اعضای موجود زنده می‌رساند و مواد زاید را از آنها می گیرد. به همین دلیل تمام موجودات زنده به اندازه مشخصی آب نیاز دارند، درغیر این صورت نمی توانند به زندگی ادامه دهند.

۶۵ درصد بدن انسان را آب تشکیل می‌دهد و برای تامین آن باید هر روز حدود ۲/۵ لیتر آب نوشید. انسان می تواند حدود دو ماه بدون غذا زندگی کند،اما بدون آب در کمتر از یک هفته می‌میرد. اما هریک از ما بسیار بیش از این مقدار آب مصرف می‌کنیم. مردم آمریکا بیش از مردم کشورهای دیگر، یعنی معادل ۳۸۰ لیتر در روز، آب مصرف می‌کنند. پس از آن بیشترین میزان مصرف متعلق به بخش‌های کشاورزی و صنعت است. البته بیشتر آبی که در صنعت استفاده می‌شود به رودها و دریاچه‌ها برای استفاده مجدد برگردانده می‌شود. کشور آمریکا دارای منابع غنی آب است و تمام آنها نیز در محدوده مرزهایش قرار دارند. با این حال برای اطمینان از وجود منابع آب در آینده باید در حفظ آنها کوشید. باید در نظر داشت که از سال ۱۹۸۰ مصرف آب در آمریکا دو برابر شده است. حفظ منابع آب باید بر دو اصل استوار باشد- صرفه‌جویی و بازیافت.

آب قابل بازیافت معمولا به آبی گفته می‌شود که ناشی از بارندگی است، یا از مناطق دیگر و آب‌های استحصال شده از چاه‌ها به دست می‌آید. از آن‌جا که آب را می توان و باید بازیافت کرد، لازم است نه تنها در نحوه استفاده از آن دقت کرد، بلکه به نحوه پاک‌سازی آن پس از استفاده هم توجه کرد. برای مثال آب رودخانه می‌سی‌سی‌پی قبل از این که به خلیج مکزیک برسد چندین بار استفاده و بازیافت می‌شود. آخرین نقطه‌ای که از آن استفاده می‌کند شهر نیوارلینز در ایالت لوییزیانا است. رودخانه می‌سی‌سی‌پی تنها منبع آب آشامیدنی این شهر است. اما همین رودخانه احتمالا آلوده‌ترین آبراه کشور آمریکا هم محسوب می‌شود. در مطالعاتی که دکتر رابرت هاریس و دکتر ساموئل اپستاین در سال ۱۹۷۴ انجام دادند شصت و شش ماده آلی شیمیایی در آب آشامیدنی این شهر شناسایی شد. اطلاعات به دست آمده از این مطالعات کمک کرد که قانون آب آشامیدنی سالم در سال ۱۹۷۴ تصویب شود. به موجب این قانون مسئولان تامین آب آشامیدنی باید آب عاری از میکروب، مواد شیمیایی و دیگر آلاینده‌ها را برای آشامیدن در اختیار عموم قرار دهند. اما هنگام تصویب این قانون به هزینه سرسام‌آور شناسایی هزاران آلاینده شیمیایی در آب و تصفیه آن‌ها توجهی نشده است.

گروه آمریکایی پژوهش برای عموم [2] گزارش کرده است که بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶ حدود ۴۵۴ هزار تن مواد شیمیایی در آب‌های آمریکا تخلیه شده است که ۲۲۷ هزار تن آن در رودخانه می‌سی‌سی‌پی بوده است. این آبراه ۴۰ درصد آب‌های جاری کشور را به خلیج مکزیک می‌ریزد. به همراه این آب آلودگی‌های ناشی از استخراج معادن، صنایع و کشاورزی همه به این رودخانه سرازیر می‌شود. بیش از یک صد کارخانه پتروشیمی بین دو شهر بتن‌روژ و نیوارلینز در ایالت لوییزیانا قرار دارد. جای تعجب نیست که به این مسیر، «مسیر سرطان» می‌گویند.

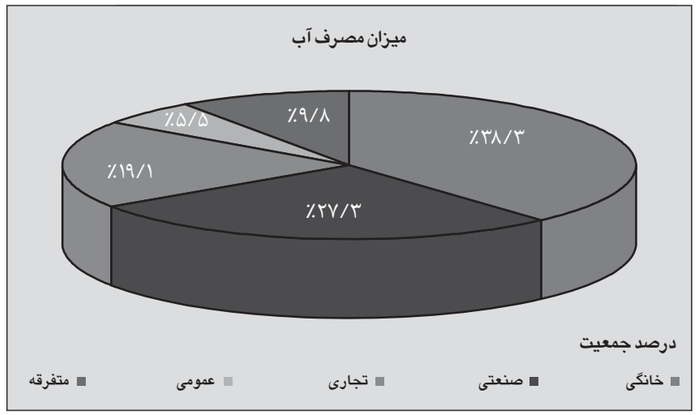
درسال ۱۹۸۴ موسسه ملی سرطان اعلام کرد که ۱۵۶۵ آلاینده شیمیایی در آب آشامیدنی آمریکایی‌ها وجود دارد. مشخص شده است که از این تعداد حداقل ۱۱۷ ماده به طور قطع سرطان‌زا هستند یا امکان ایجاد سرطان را دارند. شورای دفاع از منابع طبیعی (NRDC) [3] نیز در سال ۱۹۹۳ اعلام کرد که مطالعات سازمان محیط زیست آمریکا درباره بهداشت آب‌های آشامیدنی نشان می‌دهد که ۴۳٪ عرضه‌کنندگان آب آشامیدنی در آمریکا بین سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ موارد و قوانین مرتبط و ضروری را رعایت نکرده‌اند. در جولای ۱۹۹۴، NRCD طی گزارشی اعلام کرد که در این سال‌ها ۵۰ میلیون آمریکایی از آب‌هایی که درست تصفیه نشده یا آلوده بوده‌اند استفاده کرده‌اند. عدم اعتماد مردم به آب شهری را می‌توان در روی آوردن مردم به آب‌های معدنی [4] مشاهده کرد؛ از هر شش خانوار حدود یک خانوار از آب معدنی استفاده می‌کنند، یعنی حدود ۲ میلیارد دلار در سال. در این جا لازم است باز هم به اهمیت پاکسازی آب قبل از رها کردن آنها در آب نهرها اشاره شود.

همه می‌توانند به سادگی مصرف آب خود را کاهش دهند. هر چه هزینه تامین آب شهری افزایش یابد گرایش مردم هم به مصرف زیاد آن کم می‌شود. برای مثال، شیر آبی که چکه می‌کند، هر روز حدود ۷۵ لیتر آب و سالانه ۲۱ مترمکعب آب را هدر می‌دهد. بسیاری از وسایل خانگی که آب مصرف می‌کنند، مانند سیفون‌های توالت کم مصرف، می‌توانند مصرف آب خانگی را کاهش دهند.

میزان عرضه و تقاضا برای آب نشان می‌دهد که بازیافت آب از مهمترین روش‌ها برای حفظ منابع آب است. در بسیاری از موارد لازم نیست آب مصرفی، استاندارد آب آشامیدنی را دارا باشد.

۴. آب معدنی در بطری‌های پلاستیکی

2. U.S. Public Interest Research Group
3 .Nation Resources Defence Council



استفاده از آب تصفیه شده یا نیمه تصفیه شده قبل از رها کردن آن در نهرها یا دریاچه‌ها باید در دستور کار قرار گیرد. طبیعت نشان داده است که توانایی پاکسازی و تصفیه آب را دارد و اکنون زمان آن رسیده است که از این توانایی بهره‌مند شویم.

آلودگی آب

آب آشامیدنی ما از دو منبع تامین می‌شود:

۱) آب‌های سطحی (دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و نهرها).

۲) آب‌های زیرزمینی.

آب‌های سطحی منبع تامین آب آشامیدنی بیشتر شهرهای بزرگ هستند. اما هنوز ۴۰ درصد آب‌های مصرفی در آمریکا حتی حداقل استاندارد کیفیت آب را دارا نیستند. قانون آب پاک در سال ۱۹۷۲ به اجرا در آمد و در سال ۱۹۸۷ مجددا بر اجرای آن تاکید شد. هدف اصلی از تصویب این قانون «تامین کیفیت شیمیایی، فیزیکی و زیستی آب» در سراسر آمریکا بود. در این قانون برای پاکسازی آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و نهرها یک رویکرد دو مرحله‌ای پیش‌بینی شده بود. مرحله اول تامین کیفیت آب در حدی که بتواند تداوم زندگی ماهی‌ها، صدف‌ها و حیات وحش و امکان استفاده تفریحی از آب را فراهم سازد. تا امروز این هدف تا حدی تامین شده است، البته هنوز

حداقل یک سوم از رودخانه‌ها و نیمی از دریاچه‌های آمریکا برای شنا کردن و ماهیگیری بهداشتی نیستند.

آلودگی آب‌های سطحی به طور کلی دارای عوامل مستقیم و غیرمستقیم هستند. آلودگی‌های مستقیم آنهایی هستند که به طور مشخص در اثر تخلیه آلاینده‌ها صورت می‌گیرد، مثل پساب‌های ناشی از مجتمع‌های صنعتی و شیمیایی یا تصفیه‌خانه‌های آب. آلودگی‌های غیرمستقیم منبع مشخصی ندارند و معمولا هرز آب‌های ناشی از بارندگی‌ها در شهرها، پساب‌های کشاورزی یا فعالیت‌های معدنی، فعالیت‌های ساختمانی، پساب محوطه‌های دفن زباله و نشت مواد شیمیایی سمی جزو این نوع منابع آلاینده محسوب می شوند. سازمان حفاظت محیط‌زیست تخمین زده است که ۶۵ درصد از آلاینده‌های آب‌های سطحی ناشی از منابع غیرمستقیم است. اما در مجموع منابع آلاینده آب بسیار گسترده و متنوع‌اند.

منابع آب زیرزمینی حدود نیمی از آب آشامیدنی ما، یک‌سوم از آب آبیاری و ۱۵ درصد از آب مورد نیاز صنایع را تامین می‌کنند. تا چند دهه گذشته میزان آب مصرفی و پساب‌ها تقریبا ثابت بود و با چرخه طبیعی آب کنترل می‌شد. در حال حاضر آب‌های زیر زمینی سریع تر از آن که به طور طبیعی ذخیره شوند، استخراج می‌شوند. بر اساس گزارش سازمان USGS[5] استخراج بیش از اندازه آب های زیرزمینی، جریان آب و شرایط ژئوشیمیایی برخی از منابع اصلی، کیفیت و کمیت آب های زیر زمینی را در آمریکا تغییر داده است. در بسیاری از نقاط کشور، نمک به منابع آب زیرزمینی نفوذ کرده و آنها را شور کرده است. چیزی که بیش از همه موجب نگرانی می‌شود این است که آب برگشتی به ذخایر زیرزمینی، بیشتر پساب‌های کشاورزی هستند و معمولا سرشار از حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و کودهای شیمیایی‌اند.

با افزایش جمعیت، نیاز به منابع آب هم به شکل تصاعدی افزایش می یابد. بنابراین وظیفه ما است که به صورت فردی و اجتماعی در حفظ و نگهداری از این منابع ارزشمند بکوشیم. آبی که حیات همه ما به آن وابسته است کافی نیست که فقط به وفور در دسترس باشد، بلکه باید کاملا پاکیزه هم باشد. ما نمی‌توانیم هر قدر که می‌خواهیم محیط‌زیست‌مان را آلوده کنیم و زندگی بهتری برای خودمان و نسل‌های بعدی انتظار داشته باشیم. وظیفه ما است که کمتر زباله تولید کنیم؛

5. US Geological Survey

زباله‌ها را بازیافت کنیم و مجددا از آنها استفاده کنیم؛ و در جستجوی فناوری‌های جدید برای حفظ منابع طبیعی‌مان باشیم. این کتاب سعی دارد راهکارهای طبیعی در برابر آلاینده‌های محیطی ناشی از زندگی مدرن ارائه دهد.

آلاینده‌های آب بسیار گسترده و متنوع‌اند، مواردی از آنها در جدول زیر آورده شده است.

درصد	منبع	توضیح
۱ - ۵٪	دفع زباله	محل‌های دفع زباله‌های سمی نامناسب یا غیر قانونی و نشت مواد از سپتیک تانک‌ها، منابع آب سطحی و زیرزمینی را آلوده می‌کنند.
۵٪	صنایع چوب	قطع گسترده درختان جنگل‌ها و ساخت جاده‌های دسترسی موجب فرسایش خاک و آسیب به رودخانه‌ها و نهرها می‌شود.
تا ۵٪	ساختمان سازی	محوطه‌های ساختمان‌سازی، ساخت بزرگراه‌ها و پروژه‌های کوچک و بزرگ مختلف موجب فرسایش خاک می‌شود و آلودگی‌های رسوبی تولید می‌کند. افزون بر این‌ها فعالیت‌های ساختمان‌سازی هم پساب‌های شیمیایی تولید می‌کنند.
۱۰٪	معدن‌های متروک	فلزات و اسیدهای سمی در پساب کارخانه‌ها و چاه‌های گاز و نفت که درست پوشیده نشده باشند.
۵ - ۱۵٪	مهندسی آب در مقیاس بزرگ	سدها، کانال‌کشی نهرها، رسوبات جاری از تاسیسات صنایع. رسوبات ناشی از فرسایش زمین‌های کشاورزی حاوی کودها و حشره‌کش‌های شیمیایی. باکتری‌ها و انگل‌های موجود در فضولات حیوانات. آب‌های جاری در سطح خیابان‌ها و توفقگاه‌های شهرها.
۷۰ - ۸۰٪	مزارع، شهرها و خانه ها	نمکی که برای ذوب کردن برف پاشیده می‌شود و آب باران حاوی روغن و فضولات حیوانات. کودها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها در چمن‌کاری‌های مناطق مسکونی.

منبع: شورای حفاظت از منابع طبیعی

فصل دوم

آلودگی‌های زیست محیطی

«انسان به دشواری می‌تواند پلیدی های حاصل از آفریده‌های خود را تشخیص دهد.»

دکتر آلبرت شوارتزر

بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۴۵ تولید مواد شیمیایی صنعتی به آهستگی گسترش یافت. پیش از این تاریخ، ساخت مواد شیمیایی به ترکیب‌های طبیعی محدود می‌شد. منظور از مواد شیمیایی صنعتی موادی هستند که از ترکیب مواد کوچکتر برای ساخت مواد بزرگتر حاصل شده‌اند. بیشتر این مواد ترکیب‌های کربن‌دار هستند. بیشتر مواد شیمیایی که امروزه استفاده می‌شود صنعتی هستند و به بیان دیگر در طبیعت یافت نمی‌شوند. پیش از این که مواد صنعتی به این میزان مورد استفاده قرار گیرد، بسیاری از مواد مبنای گیاهی داشتند. مثلا از رزین سویا در ساخت نئوپان و تخته چند لا استفاده می‌شد. از روغن سویا هم برای ساخت اسفنج ضد آتش و چسب کاغذ دیواری ، پایه رنگ و روغن جلا استفاده می‌شد. امروزه رزین اوره-فرم‌آلائید[1] در ساخت چسب تخته‌های چند لا و نئوپان به کار می‌رود.

با بروز جنگ جهانی دوم صنایع رشد تصاعدی کردندتا بتواند نیاز به مواد انفجاری، لاستیک صنعتی، سوخت هواپیما، قطعات فلزی، روغن‌های صنعتی، حلال‌ها و داروها را برآورده سازند. پس از جنگ، با رشد جمعیت و افزایش تقاضا، اقتصاد رو به رشد گذاشت، در نتیجه بسیاری از مواد شیمیایی مورد استفاده در زمان جنگ برای استفاده عموم عرضه شد. جنگ جهانی دوم عاملی برای انتقال اقتصاد وابسته به تولیدات طبیعی به اقتصاد مبتنی بر مواد شیمیایی نفتی بود.

از بسیاری از اولین مواد شیمیایی صنعتی به عنوان پیشرفت‌های بزرگ تکنولوژیک استقبال شد. در سال ۱۹۳۸ ادوارد دادز[2] یکی از دانشمندان و فیزیکدانان انگلیسی موفق شد که ماده شیمیایی دواتیل استیل بسترول[3] (DES) را به صورت صنعتی بسازد. این ماده دارای خصوصیاتی مشابه هورمون انسانی استروژن است. پژوهشگران طراز اول و متخصصین بیماری‌های زنان DES را «داروی معجزه‌آسا» با قابلیت‌های گوناگون معرفی کردند و دادز با این کشف وجهه یک قهرمان را یافت. در سال ۱۹۵۷ استفاده از این دارو به تمام زنان باردار برای جلوگیری از سقط جنین و داشتن نوزادانی بزرگتر و قوی‌تر تجویز و تبلیغ می‌شد. کشاورزان هم برای افزایش وزن دام‌ها از این دارو به عنوان افزودنی به غذای آنها یا تزریق از طریق گوش و گردن حیوانات استفاده می‌کردند.

بین سال‌های ۱۹۶۶ و ۱۹۶۹ متخصصین بیمارستان ماساچوست در بوستون آمریکا نوعی توده سرطانی در رحم زنان جوان مشاهده کردند. پژوهشگران اعلام کردند که این بیماران مادرانی بوده‌اند که در سه ماهه اول بارداری از DES استفاده کرده‌اند. مطالعات بعدی نشان داد که این دارو می‌تواند در رشد جنین اختلال جدی ایجاد کند که سال‌ها بعد نمایان می‌شود. به همین دلیل استفاده از DES برای انسان ممنوع شد. مطالعات بعدی نشان داد که این ماده شیمیایی حتی در جلوگیری از سقط جنین هم کارآیی نداشته است.

در سال ۱۹۹۰ سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) تزریق هورمون رشد گاوی (BGH) را که مهندسی ژنتیک شده بود برای تزریق دو بار در ماه به حدود ۳۰٪ گاوها برای افزایش بازده شیر آنها مجاز اعلام کرد. FDA این مجوز را براساس مطالعاتی که شرکت مونسانتو سازنده BGH به مدت ۹۰ روز روی موش‌ها انجام داده بود صادر کرد. عدم مطالعه دراز مدت FDA برای اطمینان از فقدان خواص مسموم‌کنندگی در این ماده، نگرانی فراوانی در خصوص ایمنی استفاده از شیر در آمریکا به وجود آورده است. از آنجا که FDA از تولیدکنندگان شیر که از این ماده استفاده می‌کنند نخواسته است موضوع را با چاپ روی بسته‌های شیر به اطلاع خریداران برساند اطمینان از عدم استفاده از این ماده تقریبا غیر ممکن است. شرکت مونسانتو نیز اعلام کرده است که استفاده از این هورمون برای انسان بی‌خطر است. در همین حال دو سناتور از ایالت ورمونت از اداره بهداشت آمریکا خواسته‌اند تا در باره تخلف احتمالی FDA در صدور مجوز برای استفاده از این هورمون

1. urea formaldehyde
2. Edward Dodds
3. diethylstilbestrol (DES)

تحقیق کنند. در حال حاضر اتحادیه اروپا ورود گوشت‌های هورمونی از آمریکا را ممنوع کرده است.

در سال ۱۸۷۴ یک دانشمند آلمانی ماده‌ای به نام DDT[4] ساخت. پس از آن در اواخر دهه ۱۹۳۰ یک شیمیدان سوییسی به نام پل مولر ویژگی هایی را که درباره این ماده حشره‌کش کشف کرده بود اعلام کرد. DDT از گروه مواد شیمیایی است که به هیدروکربن‌های کلردار[5] شهرت دارند. در اوایل ۱۹۴۲ ارتش آمریکا برای مبارزه با شپش DDT را به صورت پودر با پمپ روی سربازان، مهاجران و زندانی‌ها می‌پاشید؛ هم چنین آن را برای جلوگیری از شیوع تیفوس و نابود کردن لارو پشه در مناطق باتلاقی و مسکونی کردن این مناطق، به کار می برد. پس از جنگ جهانی دوم DDT را به عنوان حشره‌کش در کشاورزی و به صورت اسپری برای کشتن حشرات موذی در خانه‌ها نیز به کار گرفتند. در سال ۱۹۴۸ مولر به دلیل کشف خواص حشره‌کشی DDT جایزه نوبل دریافت کرد. اما مدینه فاضله‌ای که او ساخته بود عمر چندانی نیافت.

استفاده از DDT و دیگر مواد شیمیایی کلردار در اوایل دهه ۱۹۴۰ گسترش فراوانی یافت. در اوایل دهه ۱۹۵۰ تعداد پرندگان شکاری در آمریکا و انگلستان رو به کاهش گذاشت و مشاهده شد که پوست تخم‌های این پرندگان بسیار نازک شده است. در دهه ۱۹۶۰ دانشمندان دریافتند که باید رابطه‌ای میان افزایش تعداد سرطان‌ها و استفاده از حشره‌کش‌ها وجود داشته باشد. شواهد علمی فراوانی نشان داد که آن چه ما درباره این حشره‌کش نمی‌دانستیم بسیار بیشتر از آن‌هایی بود که می‌دانستیم.

در ۱۹۶۲ زیست‌شناسی به نام راشل کارسون شواهد فراوانی درباره رابطه میان سرطان و مواد شیمیایی سمی که در محیط آزاد می‌شوند ارائه کرد. کتاب او با عنوان بهار خاموش[6] جهان را با خطرات مواد شیمیایی صنعتی آشنا کرد. کتاب کارسون زمانی منتشر شد که دو دهه از پایان جنگ جهانی سپری شده بود، یعنی هم‌زمان با بروز سرطان‌های گوناگون. او در کتابش پیش‌بینی آینده‌ای بسیار خطرناک‌تر را کرده بود. مطالعات بعدی نشان داد حیواناتی که در معرض مقدار کمی مواد حشره‌کش و مواد شیمیایی که به مقدار زیاد استفاده می‌شود قرار می‌گیرند به سرطان دچار می‌شوند. کارسون پنج گروه شاهد ارائه کرد که بیانگر رابطه میان سرطان و محیط زیست بود. حتی امروز پس از گذشت سال‌ها یافته‌های او که به اختصار در زیر شرح داده شده است هم‌چنان

4. 1,1,bis(p-chlorophenyl)-2,2,2-trichloroethane
5. chlorinated hydrocarbon
6. Silent Spring

صحیح هستند.

۱) پس از پایان جنگ جهانی مواد بی‌شماری تولید شده‌اند که بسیاری از آنها مشخصا سرطان‌زا یا احتمالا سرطان‌زا هستند.

۲) پایداری این مواد در محیط زیست چنان زیاد است که هر کس در طول عمر خود در معرض آنها قرار می‌گیرد.

۳) موارد سرطان انسانی پیوسته در حال افزایش است.

۴) کارسون به مطالعاتی اشاره کرد که نشان می‌داد تماس با حتی مقدار کمی از حشره‌کش‌ها و مواد شیمیایی که مصرف زیاد دارند در حیوانات آزمایشگاهی ایجاد سرطان می‌کند، و بر احتمال تاثیر مشابه آنها در انسان تاکید کرد.

۵) او نظریه خود را در باره نحوه بروز سرطان نیز ارائه کرد. سه نظریه اصلی او عبارتنداز (۱) مواد شیمیایی صنعتی به کرموزوم‌ها آسیب می‌رسانند و منجر به جهش‌های ژنتیکی می‌شوند؛ (۲) خواص شیمیایی این مواد مشابه هورمون‌های جنسی است و موجب اختلال در عملکرد این هورمون‌ها می‌شوند؛ و (۳) آنها می‌توانند در فرایندهایی آنزیمی تغییر ایجاد کنند (فرایندهایی که در آن ملکول‌ها شکسته می‌شوند تا انرژی آزاد و مواد جدید ساخته شود).

جای تعجب نیست که صنایع شیمیایی حملات شدیدی را بر علیه کارسون آغاز کردند، او را شخصی عصبی و نامتعادل خواندند و دانشمند بودن او را زیر سوال بردند. درست یک سال پس از انتشار کتاب بهار خاموش، ۹۱ میلیون کیلوگرم DDT در آمریکا تولید شد. اما پژوهش‌های دهه‌های بعد نه تنها بر دانشمند بودن او صحه گذاشت بلکه او را به عنوان یک پیشگو به جهانیان معرفی کرد. زمانی که کارسون در حال نوشتن کتاب بهار خاموش بود مبتلا به سرطان پستان شد و در سال ۱۹۶۸، درست زمانی که اختلافات بر سر یافته‌های او بالا گرفته بود تسلیم مرگ شد.

بسیاری راشل کارسون را بنیان‌گذار حرکت‌های محیط زیستی می‌شناسند. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بیش از هر چیز به دلیل نگرانی‌هایی که کتاب بهار خاموش دامن زد، تاسیس شد. در حال حاضر حدود ۷۵،۰۰۰ ماده شیمیایی برای مصرف در دسترس عموم است و این تعداد پیوسته در حال افزایش است. تمام این مواد پس از سال ۱۹۵۴ ساخته شده‌اند و این رشد انفجاری اجازه نداده است که دولت بتواند استفاده از این مواد و نحوه نابود کردنشان را نظامند کند. از این تعداد ماده شیمیایی فقط ۱/۵ تا ۳ درصد آنها از نظر قابلیت سرطان‌زایی آزمایش شده‌اند.

براساس گزارش مواد سمی[7]، ۱/۰۲ میلیارد کیلوگرم مواد سمی در سال ۱۹۹۴ در محیط آزاد شده است. از این مقدار ۸۰ میلیون کیلوگرم آن سرطان‌زا هستند یا احتمال سرطان‌زایی دارند.

اغلب اتفاق می‌افتد که قبل از این که میزان سمی بودن محصولات مشخص شود آنها را به بازار عرضه می‌کنند. برای مثال در دهه ۱۹۲۰ تترا اتیل سرب به بنزین افزوده شد تا از تکان‌های موتور بکاهد. با وجودی که دانشمندان درباره خطر مسمومیت سرب و زیان‌های گازهایی که از لوله اگزوز ماشین‌ها خارج می‌شود هشدار داده بودند، اما سرب از بنزین تا دهه ۱۹۷۰ یعنی ۵۰ سال بعد حذف نشد.

اتفاق مهم دیگر در تولید مواد شیمیایی صنعتی در سال ۱۹۳۵ رخ داد. در این سال گروه بزرگی از مواد که حاوی مقدار زیادی کلر بودند به نام PCB[8] به صورت انبوه تولید شد. این مواد حشره‌کش نبودند بلکه مواد خنک‌کننده و مقاوم در برابر آتش‌سوزی بودند که در ساخت ترانسفورموتورهای الکتریکی از آنها استفاده می‌شد. چنین تصور می‌شد که این مواد خنثی و غیرسمی هستند. به همین دلیل از آنها در صنایع گوناگونی مانند روغن‌های صنعتی، مایعات هیدرولیکی، روغن‌های برش و بسیاری محصولات دیگر استفاده می‌شد. از PCB در ساخت رنگ‌ها، روغن جلا، جوهرها و حشره‌کش‌ها نیز استفاده می‌شد. از آنجا که مواد PCB غیرآتش‌زا و بسیار پایدار هستند به سرعت در محصولات چوبی، پلاستیکی و محصولات خانگی به کار گرفته شدند. از آنها حتی در کاغذهای بدون کاغذ کپی یا کاربن هم استفاده شد.

مواد PCB بسیار پایدارند. در برابر تجزیه طبیعی مقاومت می‌کنند و ده‌ها و حتی صدها سال در طبیعت باقی می‌مانند. مواد PCB و موادی که دارای ترکیبات با کلر بالا هستند مانند DDT در سلول‌های چربی انباشته می‌شوند و در بدن بیشتر انسان‌ها و جانوران جهان یافت می‌شوند. این مواد شیمیایی در اثر فرایند نمک‌زدایی در سطح جهان منتشر شدند. این مواد پس از خشک شدن به همراه باد پخش می‌شوند. بخشی از این مواد مجددا در نزدیک محل منشأشان فرود می‌آیند. اما بیشتر آنها پیش از آن که به زمین بازگردند، صدها هزار کیلومتر دور زمین مسافرت می‌کنند. به همین دلیل PCB را می‌توان در خاک دور افتاده‌ترین نقاط قطب‌های شمال و جنوب و حیوانات و گیاهان این مناطق نیز یافت. این مواد شیمیایی بر

7. Toxics Release Inventory
8. polychlorinated biphenyl

جریان عصبی و واکنش هورمون‌ها تأثیر نامطلوب می‌گذارد. آنها نقش مهمی در ایجاد سرطان‌های پستان و پروستات ایفا می‌کنند.

یکی دیگر از موادی که ترکیبات با کلر بالا دارد دی‌اکسین[9] است. این ماده از حشره‌کش‌ها یا ترکیبات PCB سمی‌تر است. بر خلاف بیشتر مواد شیمیایی صنعتی ساخت دی‌اکسین کاملا اتفاقی بود. این ماده، محصول جانبی فرایند تولید برخی مواد کلردار است، موادی مانند علف‌کش‌ها و نگهدارنده‌های چوب. کارخانه‌های کاغذ هنگام سفید کردن[10] خمیر کاغذ با کلر ماده دی‌اکسین تولید می‌کنند. سوزاندن زباله‌هایی که انواعی از پلاستیک را دارا هستند نیز تولید دی‌اکسین می‌کند. دی‌اکسین هم مانند DDT و مواد PCB بسیار پایدار است و در بافت‌های چربی انباشته می‌شود. این ماده هم مانند تمام مواد شیمیایی صنعتی پایدار است و در تمام نقاط جهان پراکنده شده‌است.

غلظت‌های بالای دی‌اکسین در ترکیبات نوعی علف‌کش به نام ماده نارنجی[11] یافت می‌شود؛ ارتش آمریکا بین سال‌های ۱۹۶۲ تا ۱۹۷۱ از این ماده به مقدار زیاد در جنگ ویتنام برای نابود کردن جنگل‌های آن کشور استفاده کرد. ماده نارنجی مخلوطی از علف‌کش‌های D - ۲،۴ و T - ۲،۴،۵ است. در سال ۱۹۷۹ سازمان محیط زیست آمریکا مصرف ماده T - ۲،۴،۵ را که در آن غلظت دی‌اکسین بالاست در بسیاری از موارد ممنوع اعلام کرد. اما از این ماده هم‌چنان برای از بین بردن علف‌های هرز چمن‌های حاشیه شهرها، فعالیت‌های کشاورزی، فضاهای سبز کنار بزرگراه‌ها، خطوط راه‌آهن و خطوط انتقال برق استفاده می‌شود.

در سال ۱۹۹۳ کنگره آمریکا از دانشمندان آکادمی ملی علوم[12] خواست به بررسی علت بیماری‌های سربازان آمریکایی در جنگ ویتنام و ارتباط آنها با ماده نارنجی بپردازند. در گزارش آنها تصریح شده است که شواهد فراوانی وجود دارد که تماس با علف‌کش‌های دارای دی‌اکسین منجر به بروز سرطان‌های بافت‌های نرم[13]، غدد لنفاوی غیر هوچکین[14] و بیماری هوچکین[15] می‌شود. مطالعات بعدی نشان داد که تماس داشتن حتی با مقدار کمی از دی‌اکسین که می‌تواند مانند یک هورمون قوی و پایدار عمل کند، منجر به بروز مشکلات مزمن فراوانی برای اشخاص می‌شود.

علف‌کش‌های کلروتریازین[16] که به نام‌های آترازین، سیمازین و سینازین[17] در بازار

9. dioxin
10. bleaching
11. Agent Orange
12. National Academy of Sciences
13. soft-tissue sarcoma
14. non-Hodgkin's lymphoma
15. Hodgkin's disease
16. chlorotriazine
17. atrazine, simazine, cyanazine

وجود دارند همه به عنوان مواد سرطان‌زا شناخته شده‌اند و طی ۳۵ سال گذشته در سراسر آمریکا از آن استفاده گسترده شده است. این مواد برای کنترل بسیاری از علف‌های پهن‌برگ و برخی از علف‌های معمولی استفاده می‌شوند. این مواد ابتدا فقط در کشت ذرت استفاده می‌شدند، اما به تدریج در کشت مرکبات، دانه‌های خشکبار، نیشکر، ذرت خوشه‌ای و پنبه هم به کار گرفته شد. آترازین یکی از دو نوع حشره‌کشی است که درکشاورزی آمریکا مصرف زیاد دارد. سیمازین در چمن‌کاری‌ها و باغ‌های میوه مانند پرتقال، سیب، آلو، زیتون، گیلاس، هلو، زغال اخته، توت‌فرنگی، انگور و گلابی استفاده می‌شود. از سینازین برای کنترل علف‌های معمولی و علف‌های پهن‌برگ مخصوصا در تولید ذرت استفاده می‌شود. در سال ۱۹۹۵ تولیدکننده‌ها موافقت کردند که طی مدت چهار سال تولید آن را متوقف کنند.

پساب‌های زمین‌های کشاورزی که از حشره‌کش‌های حاوی تریازین‌ها در آن‌ها استفاده شده بود موجب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است. تریازین‌ها علف‌کش‌های موثری هستند، زیرا مانع از فرایند فتوسنتز در گیاهان می‌شوند. پایداری این مواد موجب مسموم شدن پلانکتون‌ها، جلبک‌ها، گیاهان آبزی و تمام موجودات زنجیره غذایی آب‌های شیرین شده است. تریازین‌ها از راه آب آشامیدنی و مواد غذایی وارد بدن انسان می‌شود. مطالعاتی که روی انسان و حیوانات انجام شده است رابطه احتمالی میان سرطان‌های پستان و تخمدان و این مواد را آشکار کرده است. سازمان محیط زیست آمریکا تحقیقات بیشتر درباره تریازین‌ها را آغاز کرده است تا اطلاعات بیشتری درباره اثرات سرطان‌زایی آنها به دست آورد.

بسیاری از افراد نمی‌توانند رابطه میان اثرات حشره‌کش‌ها و خطرهایی که برای سلامت انسان دارند درک کنند. هیچ حشره‌کشی کاملا بی‌خطر نیست. آسیب‌هایی که حشره‌کش‌ها وارد می‌کند همیشه بلافاصله نمایان نمی‌شوند، بلکه معمولا سال‌ها بعد اثر خود را نشان می‌دهند. علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌هایی که کک‌ها، سوسک‌ها یا آفت‌های دیگر را از بین می‌برند ممکن است پس از ماه‌ها و سال‌ها موجب بیماری در انسان شوند. میلیاردها سلول، هورمون و آنزیم در فرآیندهای پیچیده بدن انسان درگیرند. اختلال در هر یک از این فرایندها ممکن است پس از چندین سال به بیماری‌های خطرناکی مثل سرطان منجر شود. جالب است بدانید که سازمان غذا و داروی آمریکا اعلام کرده است که ۵۰ درصد میوه‌ها و سبزی‌هایی که در آمریکا استفاده می‌شود دارای بقایای حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها هستند. موضوع بدتر این است که قسمت عمده‌ای از این ۵۰ درصد

حاوی بقایای بیش از یک نوع حشره‌کش هستند.

زندگی در پایان آبراه[18] نوشته دکتر ساندرا اشتاین‌گرابر اطلاعات وسیعی درباره مواد سمی که در طبیعت رها شده گردآوری کرده است که اکنون تحت عنوان قوانینی که باید بدانیم دردسترس همگان است. این کتاب مانند بهار خاموش، شواهد بیشتری در باره مواد شیمیایی صنعتی موجود در محیط زیست که به احتمال زیاد می‌توانند سرطان‌زا باشند ارائه کرده است. کتاب آینده‌ی به سرقت رفته ما[19] نوشته دکتر تیو کولبورن و همکارانش به بررسی این اثرات از بعد از دوره‌ای که در کتاب بهار خاموش بررسی شده بود، پرداخته‌اند. این کتاب شواهد نگران کننده‌ای را آشکار می‌کنند که چگونه مواد شیمیایی خطرناک ممکن است از ظرف‌های پلاستیکی به داخل مواد غذایی و محصولات دیگر نفوذ کنند.

مواد پلاستیکی آن چنان در زندگی ما وارد شده‌اند که نمی‌توانیم تصور کنیم چگونه جامعه می‌تواند بدون آنها به فعالیتش ادامه دهد. سال‌ها از مواد پلاستیکی فقط در لوله‌کشی و کارهای تاسیساتی استفاده می‌شد و چندان در زندگی روزمره مردم وارد نشده بود. صدها ماده شیمیایی که بسیاری از آنها سمی هستند برای ساخت مواد پلاستیکی به کار گرفته می‌شوند. پیش از این، عده‌ای از دانشمندان نگرانی‌اشان را در باره نگهداری مواد غذایی در ظرف‌های پلاستیکی اعلام کرده‌اند. نگرانی آنها درباره امکان نشت مقادیر کمی از مواد شیمیایی در محصولات غذایی بود.

شورای پلاستیک آمریکا[20] در سال‌های اخیر تبلیغات وسیعی را برای افزایش مصرف مواد پلاستیکی در بسته‌بندی مواد غذایی آغاز کرده‌است. حتی سطح داخلی بسیاری از قوطی‌های فلزی بسته‌بندی مواد غذایی پوششی از مواد پلاستیکی دارند. یکی از همین تبلیغات چندی پیش با حروف بزرگ نوشته بود: «پلاستیک، بخش مهمی از رژیم غذایی شما است». در همین تبلیغ نوشته بود که بسته‌بندی‌های پلاستیکی به شیوه‌های مختلف غذای ما را حفظ می‌کنند. پلاستیک محکم به سطح غذا می‌چسبد تا تازگی آن را برای مدت طولانی‌تری حفظ کند. البته این ادعای درستی است، اما بسته‌بندی‌های پلاستیکی ممکن است کارهایی دیگری، خیلی بیشتر از آنچه در تبلیغ گفته شده است انجام دهند.

18. Living Downstream (Addison-Wesley, 1997)
19. Our Stolen Future (Dutton, 1996)
20. American Plastic Council

بسیاری از یافته‌های اخیر نشان داده است که بعضی از پلاستیک‌ها آن طور که پیش از این تصور می‌شد خنثی نیستند. آن چه درباره خطر پلاستیک می‌توان گفت کمتر از DES، DDT و مواد PCB نیست. بررسی‌ها نشان می‌دهد مواد شیمیایی که از بعضی پلاستیک‌ها به مواد غذایی نشت می‌کند دارای اثرات هورمونی هستند. دکتر کولبورن گفته است که محصولات پلاستیکی به تمام زوایای زندگی ما نفوذ کرده و ما را با خطر بروز اختلالات هورمونی مواجه کرده‌اند.

مثل همیشه درک این واقعیت‌ها کاملا اتفاقی بوده است. در سال ۱۹۸۷ دکتر آنا سوتو و دکتر کارلوس سوننشاین در دانشگاه تافتز درشهر بوستن درباره چگونگی تکثیر پیوسته سلول‌ها و بروز سرطان مطالعه کردند. آن‌ها متوجه واکنش‌های عجیبی در ظرف‌های پلاستیکی شدند. سرم خونی که آنها برای کشت سلول‌ها در ظرف‌های پلاستیکی استفاده می‌کردند دارای خواصی مشابه هورمون استروژن بود. پس از چهار ماه کار طاقت‌فرسا و انجام آزمایش‌های مکرر و مستقل بالاخره به این نتیجه رسیدند که سرچشمه ماده ناشناسی که به دنبال آن بودند از ظرف آزمایش پلاستیکی است. آنها نتیجه‌ی یافته‌ی خود را با کارخانه سازنده، شرکت کورنینگ، در میان گذاشتند، شرکت مزبور اعتراف کرد که اخیرا رزین پلاستیک ظرف‌های آزمایش را تغییر داده است، اما شماره کالای آن را در کاتالوگ‌های خود عوض نکرده است. به همین دلیل پژوهشگران نمی‌دانستند که ترکیب شیمیایی ظرف‌ها با آنچه که در آزمایش‌های اولیه‌اشان استفاده می‌کردند تفاوت دارد. اما شرکت سازنده حاضر نشد ماهیت ماده جدیدی را که استفاده کرده است فاش کند و آن را جز اسرار تجاری‌اش معرفی می‌کرد. به همین دلیل پژوهشگران با پشتکار دو سال دیگر وقت صرف کردند تا ماده یاد شده که پارا-نانیل‌فنل[21] بود را شناسایی کنند. این ماده شیمیایی از خانواده آلیکل‌فنل[22] است. سازندگان نانیل‌فنل را به پلی‌استایرین و پلی‌ونیل‌کلراید (PVC) می‌افزایند و از آن به عنوان آنتی‌اکسیدانت که موجب افزایش مقاومت لوله آزمایش در برابر شکستن می‌شود استفاده می‌کنند. آلودگی به نانیل‌فنل در آبی که از ظرف‌های PVC عبور می‌کنند مشاهده می‌شود. در سال ۱۹۹۰ در آمریکا ۲۰۵ میلیون کیلوگرم نانیل‌فنل استفاده شده است. پژوهش‌های بیشتر نشان داد که از تجزیه

21. p-nonylphenol
22. alkylphenol

مواد شوینده صنعتی، حشره‌کش‌ها و مواد بهداشتی نیز نانیل‌فنل تولید می‌شود. دکتر سوتو و همکارانش نتیجه یافته‌هایشان را در سال ۱۹۹۱ منتشر کردند که نگرانی‌های جدیدی درباره به کارگیری مواد شیمیایی صنعتی و شباهتی که با هورمون استروژن دارند به وجود آورد.

تقریبا همزمان با اکتشاف پزشکان دانشگاه تافتز، یک گروه از دانشمندان دانشکده پزشکی دانشگاه استنفورد دریافتند که یک ماده شیمیایی صنعتی به نام بی‌سفنل ای[23] که دارای خصوصیات مشابه استروژن است از فلاسک‌های آزمایشگاهی پلی‌کربنات نشت می‌کند. این نوع پلاستیک استفاده‌های تجاری زیادی دارد از جمله این که بطری‌های آب آشامیدنی را با این ماده می‌سازند و هر سال ۱۳/۲۶ میلیون مترمکعب آب آشامیدنی در آمریکا در این بطری‌ها عرضه می‌شوند. در سال ۱۹۹۳ این گروه پژوهشی در استنفورد اطلاعات نگران کننده‌ای را در باره این ماده منتشر کردند. بر اساس این گزارش مقدار بسیار کمی از بی‌سفنل ای حتی ۲ تا ۵ واحد در میلیارد آن موجب رشد سلول‌های سرطانی پستان در آزمایشگاه می‌شود.

بر پایه این یافته‌ها پژوهشگران دانشگاه تافتز و دانشمندان اسپانیایی دانشگاه گرانادا مطالعات خود را درباره پوشش پلاستیکی داخل قوطی‌های کنسرو فلزی آغاز کردند. پوشش پلاستیکی از جنس بی‌سفنل ای در ۸۵ درصد قوطی‌های کنسرو در آمریکا استفاده می‌شود. بیست کنسرو ذرت، آرچیتوک[24] و نخود سبز که با نام‌های تجاری خاص در بازار آمریکا عرضه می‌شوند به این ماده شیمیایی آلوده‌اند. بعضی مواد غذایی تا ۸۰ واحد در میلیارد بی‌سفنل ای، یعنی ۲۷ برابر بیش از میزانی که پژوهشگران استنفورد اعلام کرده بودند موجب رشد سلول‌های سرطان سینه می‌شود، در خود دارند.

در گزارشی که در شماره فوریه ۱۹۹۹ مجله انجمن پزشکی آمریکا (JAMA)[25] منتشر شد، اعلام شد که ۴۳ درصد از زنان و مردان در آمریکا از ناتوانی جنسی که یکی از مهمترین نگرانی‌های بهداشتی جامعه است رنج می‌برند. آیا این عارضه را می‌توان به وجود مواد شیمیایی مشابه استروژن که در محیط زیست پخش شده‌اند نسبت داد؟ این مطالعات و این واقعیت که تقریبا ۳۵ درصد از مواد غذایی که در آمریکا مصرف می‌شود حاوی مقدار محسوسی مواد حشره‌کش

23. bisphenol A
24. artichoke نوعی محصول کشاورزی که در ایران رایج نیست
25. Journal of the American Medical Association (JAMA)

است نگران‌کننده است. اگر رنگ‌های صنعتی را که به مواد غذایی افزوده می‌شود نیز در نظر بگیریم چشم‌انداز آینده بسیار نگران کننده‌تر می‌شود.

از آغاز آفرینش انسان از مواد طبیعی برای ساخت مواد رنگی استفاده کرده است. در عهد باستان، مواد رنگی نادری در دسترس بودند که بیشتر از منابع گیاهی و حیوانی بدست می‌آمدند. ۳۰۰۰ پیش از میلاد، مصری‌ها از نیل برای رنگ استفاده می‌کردند. نیل ماده آلی است که به صورت طبیعی در برگ گیاه نیل [۲۶] یافت می‌شود. یکی دیگر از این مواد آلیزارین است که در ریشه گیاه روناس [۲۷] موجود است. از این ماده برای انواع رنگ‌های قرمز و آبی استفاده می‌شد. در دوران باستان برای این که پارچه را رنگ مخملی کنند، ابتدا آن را در محلول آب آهک خیس می‌کردند و سپس آن را در عصاره ریشه روناس می‌جوشاندند. رنگ ارغوانی از حلزون کوچکی [۲۸] که در رودخانه صور [۲۹] زندگی می‌کرد به دست می‌آمد. این حلزون به اندازه‌ای نادر و گران بود که فقط ثروتمندان می‌توانستند آن را خریداری کنند و به همین دلیل به ارغوانی «سلطنتی» شهرت یافت.

این مواد به اضافه تعداد اندکی دیگر، تمام مواد رنگی اصلی بودند که بشر تا اوایل قرن بیستم یعنی زمانی‌که تولید انبوه رنگ‌های صنعتی آغاز شد استفاده می‌کرد. امروزه، نیل، آلیزارین، ارغوانی صور و صدها رنگ دیگر را به صورت صنعتی از قطران ذغال‌سنگ که نسبتا ارزان‌تر است می‌سازند. تا سال ۱۹۶۳ تولید مواد رنگی صنعتی به ۱۰۰،۰۰۰ تن در سال رسید. در گذشته از رنگ‌های صنعتی فقط برای رنگ کردن پارچه و نخ استفاده می‌کردند، اما از دو سه دهه گذشته تا کنون از این مواد در غذاها، نوشابه‌ها، داروها و دیگر محصولات مصرفی به میزان نگران‌کننده‌ای استفاده می‌شود. این‌ها ترکیبات آلی پیچیده‌ای هستند که صرف نظر از آلوده‌کردن آب‌های جاری می‌توانند سلامت انسان را به شکل‌های مختلف از واکنش‌های ناشی از حساسیت گرفته تا سرطان به مخاطره اندازند.

مواد شیمیایی گروه «آزو» بزرگترین گروه رنگ‌های صنعتی هستند که انواع رنگ‌های گوناگون از آنها ساخته می‌شود، از جمله رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز. بعضی از ترکیبات گروه آزو به شدت سمی و سرطان‌زا هستند. یکی از مشکلات اصلی این رنگ‌ها این است که در فرایند

26. Indigofera sp
27. Rubia tinctorum
28. Murex bandaris
29. Tyre صور، در لبنان واقع است.

رنگرزی مواد شیمیایی کاملا به سطح پارچه نمی‌چسبد. این رنگ‌ها باعث بروز حساسیت‌های خفیف تا شدید در بعضی از اشخاص می‌شود. به همین دلیل بهتر است تمام این نوع پارچه‌ها و لباس‌ها قبل از استفاده شسته شوند. شستشو تا زمانی که دیگر پارچه یا لباس رنگ پس ندهد باید ادامه یابد.

در فرایند رنگرزی پارچه چنانچه پساب‌ها قبل از رها شدن در آب های جاری کاملا تصفیه نشوند، آلودگی های فراوان زیست‌محیطی به وجود می‌آورند. در صورتی که سازمان‌های مسئول، استانداردهای سخت‌تر وضع و اعمال کنند مقدار رنگ‌های صنعتی کمتر آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده می‌کنند.

برخی از رنگ‌ها، سمی و عامل رشد غدد شناخته شده‌اند. به همین دلیل، بعضی از کشورها استفاده از رنگ‌های صنعتی را در مواد غذایی و داروها منع کرده‌اند. رنگ‌ها ارزش غذایی مواد را افزایش نمی‌دهند و از فاسد شدن آنها جلوگیری نمی‌کنند و فقط ظاهر آنها را بهتر نشان می‌دهند. صنایع داروسازی از رنگ برای مشخص کردن انواع قرص‌ها استفاده می‌کنند، در صورتی که می‌توان با تغییر در شکل یا تعداد آنها، قرص‌ها را از هم تشخیص داد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که هر سال ۱۰۰،۰۰۰ آمریکایی به دلیل استفاده از داروها می‌میرند و میلیون‌ها نفر آسیب می‌بینند. افزودن رنگ‌های صنعتی به داروهایی که با نسخه و بدون نسخه استفاده می‌شوند عوارض جانبی استفاده از آنها را افزایش می‌دهد، اما موجب افزایش ارزش درمانی آنها نمی‌شود.

سازمان غذا و داروی آمریکا مسئولیت صدور گواهی سلامت رنگ‌ها را بر عهده دارد، اما گواهی‌هایی که این سازمان صادر می‌کند ضمانتی بر سلامت این مواد نیست. برای مثال، رنگ قرمز شماره ۲ [۳۰] زمانی یکی از پر مصرف‌ترین رنگ‌های خوراکی در محصولات تجاری بود، اما پس از مدتی سرطان‌زا بودن آن محرز شد. در سال ۱۹۸۲ مشخص شد که قرمز شماره ۳ [۳۱] در موش‌ها موجب سرطان می‌شود، اما از آن هم‌چنان در محصولات غذایی و داروها استفاده می‌شود. سازمان غذا و داروی آمریکا از یک‌سو تاکید می‌کند که سلامت هیچ یک از مواد را نمی‌توان به طور قطع تایید کرد، اما از سوی دیگر هم‌چنان مجوز استفاده از رنگ‌های افزودنی را، همان طور که در جدول زیر مشاهده می‌شود، برای همه محصولات مصرفی صادر می‌کند.

30. Red #2
31. Red #3

افزودنی‌ها به مواد غذایی که توسط سازمان غذا و داروی آمریکا تایید شده‌اند

نام صنعتی /نام رایج	رنگ	موارد استفاده
FC&C Blue No. 1 Brilliant Blue FCF	آبی روشن	نوشابه‌ها، محصولات لبنی، دسرهای پودری، ژله‌ها، شیرینی‌ها، چاشنی‌ها، محصولات یخی (یخمک)، شربت‌ها، آب‌میوه‌ها
FC&C Blue No. 2 Indigotine	آبی سلطنتی	مواد غذایی پخته شده، کورن فلکس، تنقلات، بستنی، شیرینی
FC&C Green No. 2 Fast Green FCF	سبز اقیانوسی	نوشابه‌ها، دسرهای (شبیه کرم کارامل)، بستنی، شربت‌ها، گیلاس‌های رنگ شده ، شیرینی‌ها، مواد غذایی پخته شده، محصولات لبنی
FC&C Red No. 40 Allura Red AC	نارنجی ـ قرمز	ژله‌ها، دسرهای (شبیه کرم کارامل)، محصولات لبنی، شیرینی‌ها، نوشابه‌ها، چاشنی‌ها
FD&C Red No. 3 Erythrosine	قرمز گیلاسی	گیلاس‌های رنگ شده دسرهای مخلوط میوه کنسروی و سالادها، شیرینی‌ها، مواد غذایی پخته شده، محصولات لبنی، تنقلات
FD&C Yellow No. 5 Tartrazine	زرد لیمویی	دسرهای (شبیه کرم کارامل)، نوشابه‌ها، بستنی، شیرینی‌ها، مواد نگهدارنده مواد غذایی، کورن فلکس
FD&C Yellow No. 6 Sunset Yellow	نارنجی	کورن فلکس، مواد غذایی پخته شده، تنقلات، بستنی، نوشابه، دسرهای پودری، شیرینی‌ها

منبع: سازمان غذا و دارو‌ی آمریکا

به دلیل استفاده مکرر و روزانه مواد شیمیایی صنعتی، تقریبا تعیین دقیق موادی که سرطان‌زا هستند ممکن نیست. بیماری سرطان که تا قرن گذشته تقریبا اصلا نامی از آن به گوش نمی‌رسید، امروز دلیل اصلی مرگ کودکان در آمریکا است. سرطان‌های کودکان با سرعت نگرانی‌کننده‌ای در حال افزایش است و هر سال تقریبا ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. از سال ۱۹۷۳ تا کنون آمار کودکان مبتلا به تومور مغزی تقریبا ۴۰ درصد افزایش یافته است. از ویژگی‌های این افزایش ارتباط آن با وضعیت اقتصادی خانواده‌ها است. مطالعات زیاد، رابطه میان سرطان‌های کودکان مانند لوسمی، لینفوما، نوروبلاستوما و تومور مغزی را با حشره‌کش‌ها نشان می‌دهند. آمار ارائه شده از جانب مرکز پژوهش‌های جامع سرطان نوریس در لوس‌آنجلس آمریکا، رابطه

میان افزایش تومورهای مغزی (مخصوصا کودکان زیر پنج سال) را با حشره‌کش‌های ضد کنه و کک که مادران در دوران بارداری به وفور در خانه‌ها استفاده می‌کردند نشان می‌دهد.

امروز بسیاری از کسانی که در اطراف شهرهای بزرگ زندگی می‌کنند علاقه زیادی به داشتن چمن به ویژه بدون وجود علف‌های هرز و حشرات دارند. ما با جدیت تمام سعی می‌کنیم کک‌های حیوانات خانگی‌امان را از بین ببریم و سوسک‌ها و دیگر حشرات موذی محیط زندگی‌امان را نابود کنیم. به همین دلیل بیشتر از میزان حشره‌کش که کشاورزان در هر هکتار استفاده می‌کنند، در حاشیه شهرهای بزرگ از حشره‌کش‌ها استفاده می‌کنیم. این مواد هنگام باران‌های شدید شسته می‌شوند به نهرها و مراکز تصفیه پساب سرازیر می‌شوند و در بسیاری موارد، سر انجام به سیستم آب آشامیدنی شهرها سرازیر می‌شوند.

در سال ۱۸۷۶، اصلی‌ترین علت مرگ و میردر آمریکا بیماری‌های عفونی بودند. اکنون بیماری‌های قلبی، سرطان، سکته‌مغزی و واکنش‌های نامناسب در برابر داروها، عامل اصلی مرگ و میر هستند. در سال ۱۸۷۶ کمتر از یک سوم از یک درصد آمریکایی‌ها از سرطان مردند. اکنون، هرسال بیش از ۵۰۰،۰۰۰ نفر از سرطان می‌میرند. به نظر می‌رسد درحال حاضر میانگین سن آمریکایی‌ها یک منحنی ثابت را از نظر سلامت و طول عمر دارا است. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی شهروندان بیست‌وسه کشور دیگر طول عمر بیشتری از آمریکایی‌ها دارند.

دلایل زیادی برای این تفاوت وجود دارد. با کشف آنتی‌بیوتیک‌ها در اوایل دهه۱۹۴۰ مرگ و میر ناشی از بیماری‌های عفونی به شدت کاهش یافت. شواهد روزافزونی رابطه مستقیم میان حدود ۷۵،۰۰۰ ماده شیمیایی صنعتی را که طی ۵۰ سال گذشته به محیط زیست ما افزوده شده‌اند و افزایش میزان سرطان را نشان می‌دهند. تغییرات فراوانی در نحوه تولید، آماده‌سازی و بسته‌بندی مواد غذایی ما رخ داده است. مواد و مصالح صنعتی جای مواد طبیعی را که تا چند دهه قبل با آنها ساختمان‌هایمان را می‌ساختیم و تجهیز می‌کردیم گرفته‌اند. حشره‌کش‌ها و مواد ضدعفونی‌کننده خانه‌های ما را پر کرده‌اند و ما از آنها در چمن‌زارها و باغ‌هایمان استفاده فراوان و بی حسابی می‌کنیم. اگر از همین امروز استفاده از حشره‌کش‌ها را متوقف کنیم، سال‌های زیادی طول خواهد کشید تا توازن زیست‌محیطی میان حشرات و عوامل طبیعی کنترل‌کننده آنها مجددا برقرار شود. در آمریکا از اوایل دهه ۱۹۷۰ استفاده از DDT و دیلدرین در موارد فراوانی ممنوع شد. اما سازمان دارو و غذای آمریکا هم‌چنان وجود این مواد را در مواد غذایی گوناگون گزارش می‌کند.

راه حل ها به اندازه ترکیبات مواد شیمیایی که درباره‌اشان صحبت کردیم پیچیده‌اند. برای مثال: ساخت مواد شیمیایی یک صنعت چند میلیارد دلاری است، جلوگیری از تولید آنها یا تاکید و تشدید استانداردهای تصفیه آنها مستقیما بر اقتصاد اثر می‌گذارد. به همین دلیل لابی‌های فراوانی برای جلوگیری از منع استفاده از این مواد در جریان است.

به نظر می‌رسد که با یک عزم ملی و فردی، باید به بررسی این که جامعه مصرف‌گرای ما با چه هزینه‌ای می خواهد به راه خود ادامه دهد بپردازیم. چرا ما در برابر شواهدی که حاکی از رابطه مستقیم سرطان و تماس ما با مواد شیمیایی وجود دارند ساکت یا بی تفاوت هستیم؟ بین سلامتی و رشد اقتصادی کدام یک را می خواهیم انتخاب کنیم؟ آیا ما بیش از حد به رفاهی که استفاده از مواد شیمیایی برای ما در پی داشته است، تن نداده‌ایم؟ اما چاره‌ای نداریم جز آن که بالاخره تصمیم سختی را که تاکنون از آن فرار کرده‌ایم، بگیریم.

به هیچ رو کنار گذاشتن دستاوردهایی که زندگی را برای ما آسان کرده‌اند و روی آوردن به زندگی بدوی را تجویز نمی‌کنیم. اما می‌توانیم رویکردی موثر و آگاهانه برای مبارزه با آلودگی‌های زیست‌محیطی اتخاذ کنیم. می توانیم استانداردهای سخت‌تر و دقیق‌تری را در مورد کیفیت هوا و آب اعمال کنیم. ما می‌توانیم وزارت کشاورزی و بقیه سازمان‌های مربوط را ترغیب کنیم تا از روش‌های مدیریت یک‌پارچه آفات[۳۲] حمایت کنند. با به کارگیری روش‌های IPM عوامل طبیعی و موادی که کمتر سمی هستند آفات را می‌توان کنترل کرد. برای مثال دنیای والت دیزنی توانسته است استفاده از حشره‌کش‌ها را تا ۷۰ درصد کاهش دهد.

دانشگاه می‌سی‌سی‌پی با هزینه‌ی ۳۵ میلیون دلار مرکز ملی پژوهش درباره محصولات طبیعی تاد کوچران[۳۳] را تاسیس کرده است. وزارت کشاورزی و دانشمندان این دانشگاه پژوهش‌هایی را درباره عصاره مواد طبیعی انجام می‌دهند. این پژوهش‌ها شامل بررسی مواد طبیعی، ساخت مواد دارویی، استاندارد کردن مواد گیاهی برای تولید مواد شیمیایی - گیاهی سازگار با طبیعت است. این مرکز در آمریکا منحصر به فرد است و برنامه‌هایی برای گسترش آن و انجام مطالعات بیشتر در آن در جریان است.

32. Integrated Pest Management (IPM)
33. Thad Cochran National Center for Natural Products Research

ما می‌توانیم از قدرت خرید خود استفاده کنیم و صنایع غذایی و دارویی را ترغیب کنیم از رنگ‌های صنعتی استفاده نکنند و برای بسته بندی از شیشه استفاده کنند. خوشبختانه در آمریکا دو صنعت کشاورزی ارگانیک و پزشکی جایگزین یا پیشگیرانه[۳۴] به سرعت در حال رشد هستند. مواد غذایی که به صورت ارگانیک تولید می‌شوند دارای نشان تولید بدون استفاده از حشره‌کش‌ها و مواد شیمیایی صنعتی هستند. پزشکی جایگزین افزایش مقاومت بدن در برابر بیماری‌ها از راه رژیم‌های غذایی، تغییر روش زندگی و استفاده از مکمل‌های غذایی (ویتامین‌ها، املاح و گیاهان) را تجویز می‌کند. اهالی شرق دور هزاران سال است که از این روش‌ها استفاده می‌کنند.

مجموعه اطلاعات و راهکارهایی که در این کتاب پیشنهاد شده است بیانگر تلاش جامعه توانای ما برای پاکسازی محیط طبیعی است. با تلفیق فناوری و طبیعت می توانیم محیط زیستی سالم‌تر برای نسل‌های بعد بسازیم.

34. Alternative / Preventive Medicine

منابع

1. Brewster, Ray Q. *Organic Chemistry*. Prentice-Hall, Inc., New York, 1953, p. 709.
2. Carson, Rachel. *Silent Spring*. Haughton Mifflin Co., Boston, 1962 (Re-released 1994)
3. Colborn, Theo, D. Dumanoski and J. P. Myers. *Our Stolen Future*. Dutton (Penguin Group), New York, 1996.
4. Daniels, J. L., et al. "Pesticides and Childhood Cancers." *Environ. Health perspectives*, 1997, 105 (10): 1068-1077
5. David, J. R., et al. "Family Pesticide Use and Childhood Brain Cancer." *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1993, 23: 87-92.
6. Gurney, J. G., et al. "Trends in Cancer Incidence among Children in the U.S." Cancer, 1996, 78: 532-541.
7. Kettles, M.A., et al. "Triazine Herbicide Exposure and Breast Cancer Incidence: An Ecologic Study of Kentucky Counties." *Environ. Health perspectives*, 1997, 105(11): 1222-1227.
8. Kuchi, Michio and Alex Jack. *Diet For A Strong Heart*. St. Martin's Press, New York, 1985.
9. Leiss, J. K. and D. A. Savitz. "Home Pesticide Use and Childhood Cancer: A Case-control Study." *Am. J. Public Health*, 1995, 85: 249-252.
10. Lyon, T. "Estrogens in the Environment." *Environ. Health Perspectives*, 105(9): 910-917.
11. Noller, C. R. *Chemistry of Organic Compound*. W. B. Saunders Co,

Philadelphia, 1965, pp. 743-744.

12. Pogoda, J. M. and S. Preston-Martin. "Household Pesticides and Risk of Pediatric Brain Tumors." *Environ. Health Perspectives*, 1997, 105 (11):1214-1220.
13. "Safe Food Quiz," *Bottom Line/Health*, January 1999, Vol. 13, No. 1, pp. 9-12.
14. Schmidt, C. W. "Childhood Cancer: A Growing Problem." *Environ. Health perspectives*, 1997, 106(1): A19-A23.
15. Steingraber, Sandra. *Living Downstream*. Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, MA, 1997.
16. Weisburger, J. H. and E. K. Weisburger. "Chemicals as a Cause of Cancer," *Chemical and Engineering News*, February 7, 1966, pp. 124-142.

فصل سوم

تاریخچه‌ای از سیستم‌های تصفیه پساب انسانی و راه‌های طبیعی برای تصفیه آن

«انسان با درک طبیعت بر آن غلبه می‌کند، نه با جنگیدن با آن.»

ژاکوب برانوسکی

دانشمند و نویسنده انگلیسی

آنچه امروزه ما به عنوان سیستم‌های تصفیه پساب می‌شناسیم در تاریخ بی‌سابقه است. از آغاز تاریخ، نهرها و رودخانه‌ها به صورت طبیعی یا اختیاری، محل دفع زباله‌بوده‌اند. در تاریخی نه چندان دور پسماندها و پساب‌های انسان یا به نزدیک‌ترین نهرها سرازیر می‌شدند یا از آنها برای بارور کردن خاک کشاورزی استفاده می‌شد و به طور معمول، دفع پسماندها و پساب‌ها مشکلات زیست‌محیطی ایجاد نمی‌کرد. واکنش‌های زیستی به ویژه فعالیت باکتری‌ها فرایندی خودکار به وجود آورده بودند که منجر به تصفیه آب می‌شد. زمانی که مقدار پسماندها و پساب‌ها بیش از مقدار آب شود این فرایند با مشکل مواجه می‌شود.

در جوامع کشاورزی از پساب‌های انسانی برای بارورکردن خاک و تولید محصول استفاده می‌شد. واکنش توام گیاهان و میکروب‌ها در منطقه ریشه، مواد موجود در پساب‌ها را متلاشی کرده، آنها را به مواد اولیه و مواد غذایی مورد نیاز گیاهان تبدیل می‌کند. این همزیستی پیچیده‌ی میان گیاهان، میکروب‌ها و ریشه‌های آنها در یک فرایند تکاملی سیاره ما را برای زیستن از محیطی بسیار سمی و نامناسب به محیطی مناسب تبدیل کرده است. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که بیش از ۲۰۰۰ سال پیش یونانی‌ها در آتن از پساب‌های انسان برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌کرده‌اند. تا سال ۱۵۵۰ آلمان‌ها زمین‌های کشاورزی‌شان را با این پساب‌ها

آبیاری می‌کردند. انگلیسی‌ها هم تا سال ۱۷۷۰ از پساب‌های انسان در کشاورزی استفاده می‌کردند. کشورهای آسیایی نیز از قرن‌ها پیش، حتی امروزه از پساب انسان برای کشت برنج استفاده می‌کنند.

انسان پیوسته از زمین‌های نزدیک به منابع آب برای تجمع، زندگی و ساخت شهرهایش استفاده کرده است. این‌گونه تجمع همیشه منجر به تولید پسماندها و پساب‌های زیاد و مشکلات ناشی از آن‌ها شده است. بیماری‌های روده‌ای و مرگ معمولا نتیجه این گونه تجمع‌ها بوده است. آب‌هایی که با پساب انسان آلوده شده‌اند دارای باکتری‌های عادی و بیماری‌زا هستند. بیماری‌هایی که معمولا در اثر مجاورت با آب‌های آلوده به پساب انسان پدید می‌آیند عبارتنداز: حصبه (تیفوییید)، پاراتیفوییید، اسهال‌های ناشی از باسیل‌ها و آمیب‌ها، وبا، انگل ژیاردیا، ایکولی[1] بیماری‌زا و بسیاری از بیماری‌های انگلی دیگر. ویروس‌های بیماری‌زا نیز ممکن است در فضولات انسانی وجود داشته باشند، مانند: هپاتیت، فلج اطفال و برخی از بیماری‌های روده‌ای.

تا پیش از قرن ۱۹ سیستمی برای بهداشت آب و دفع زباله و پساب وجود نداشت. مدفوع و ادرار در خیابان‌ها و مسیرهای عبور تخلیه می‌شد و انواع اپیدمی‌ها جان بسیاری را می‌گرفت. در طول تاریخ چندین بار بیماری وبا در سطح وسیعی شیوع یافت. در کشور هند بیماری وبا ۲۰۰۰ سال رایج بود. این بیماری ۴۰۰ سال پیش از میلاد، اولین بار توسط پزشکان هندو شناسایی شد، اما تا اوایل ۱۸۰۰ به کشورهای عربی، ایران، ترکیه و جنوب روسیه راه نیافت. در قرن ۱۹ اپیدمی‌های زیادی در جهان شایع شد و جان بسیاری را گرفت. بیماری مسری وبا در آسیا در سال ۱۸۳۲ و در لندن در سال ۱۸۴۸ بیش از ۲۵،۰۰۰ نفر را کشت و به سرعت توسط آب‌های آلوده به پساب انسانی در نقاط دیگر جهان منتشر شد.

در میان سیستم‌های گردآوری پساب که در تاریخ ثبت شده‌اند، سیستم دفع پساب زیرزمینی شهر رم[2] بیشتر شناخته شده است. این سیستم در قرن ششم پیش از میلاد ساخته شد. از این سیستم برای جمع‌آوری پساب‌ها استفاده می‌شد، اما مستقیما به خانه‌ها متصل نبود. قرن‌ها طول کشید تا رابطه میان آب‌های آلوده و بیماری‌ها شناخته شوند. برای مثال در سال ۱۸۱۵ ریختن پساب‌های انسان در سیستم جمع‌آوری پساب شهر لندن ممنوع شد، درشهر بوستون در سال ۱۸۳۳ و در پاریس در سال ۱۸۸۰ همین تصمیم اتخاذ شد.

---

1. E. coli

2. Cloaca Maxima

با وجودی که سیستم جمع آوری پساب از عهد باستان مرسوم بوده است، اما تصفیه آن در سال‌های ۱۸۰۰ شروع شد. انقلاب صنعتی تغییرات اساسی در شیوه جمع‌آوری و تصفیه پساب به وجود آورد. یکی از اولین سیستم‌ها برای جمع‌آوری و تصفیه پساب در سال ۱۸۴۲ در شهر هامبورگ آلمان ساخته شد.

اطلاعات زیادی درباره اولین روش‌های جمع‌آوری پساب در آمریکا در دست نیست. مردم بیشتر خود به ساخت سیستم‌های شخصی می‌پرداختند یا در محله‌های مختلف سیستم‌های کوچکی با هزینه اهالی راه اندازی می‌شد. استفاده از تانک‌های سپتیک تک‌خانوار اولین بار در سال ۱۸۷۶ رایج شد. اولین سیستم فیلتر مکانیکی نشتی [3] در سال ۱۹۰۸ و اولین تاسیسات فعال تصفیه مکانیکی لجن [4] سال ۱۹۱۶ ساخته شد. در اوایل دهه ۱۹۲۰ حوضچه‌های تثبیت کننده (آبگیرهای پساب) در آمریکا به عنوان ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین شیوه تصفیه پساب ساخته شد.

با گسترش شهرها و افزایش روند صنعتی شدن، تقاضا برای آب به شدت افزایش یافت. ساحل رودخانه‌ها و مناطق ساحلی در مصب رودخانه‌ها بهترین نقاط برای احداث کارخانه‌ها بودند. شهرها و کارخانه‌هایی که نزدیک رودخانه‌ها قرار دارند حجم زیادی از آب رودخانه‌ها را استفاده می‌کنند. متاسفانه، آنها مجددا پساب‌های انسانی و مواد شیمیایی خطرناک را به رودخانه‌ها بر می‌گردانند. در نتیجه این گسترش و رشد صنعتی، بیشتر رودخانه‌ها و نهرهای بزرگ جهان آلوده شده‌اند. امروزه حجم پساب خانگی و صنعتی آن‌چنان آبراه‌ها را پر کرده است که فرایندهای طبیعی زیست‌محیطی نمی‌توانند کاملا آلودگی‌ها را تصفیه کنند. بنابراین حفظ و مدیریت کیفیت آب و تصفیه پساب‌ها برای حفظ بهداشت کشور بسیار ضروری است.

مهم‌ترین هدف‌ها در تصفیه پساب عبارتند از:

(۱) «کاستن از مواد بیوشیمیایی‌ای که به اکسیژن نیاز دارند» [5] (BOD)؛ (۲) کاستن از میزان «پسماندهای جامد» [6] (TSS)؛ (۳) کاستن از میزان آمونیاک و (۴) غیرفعال کردن هر نوع موجود میکروسکوپی بیماری‌زا. BOD مقیاس سنجش میزان اکسیژنی است که موجودات میکروسکوپی در اکسیداسیون مواد آلی استفاده می‌کنند. میزان BOD در پنج روز را به عنوان پارامتری در تصفیه پساب و مدیریت کیفیت آب در نظر می‌گیرند. باکتری‌ها از مواد BOD به عنوان منبع غذا و انرژی

3. mechanical trickling filter system
4. sludge mechanical treatment
5. bio-chemical oxygen demanding (BOD)
6. total suspended solids (TSS)

استفاده می‌کنند. باکتری‌ها هنگام تجزیه این مواد اکسیژن آب را مصرف می‌کنند. اگر BOD به مقدار زیاد در محیط وجود داشته باشد مقدار بیشتری اکسیژن مصرف می‌شود و زندگی بقیه موجودات آبزی را به خطر می‌اندازند.

میزان پسماند جامد(TSS) مقیاسی برای تشخیص تاثیر روش‌های اولیه تصفیه‌ی پسماندهای جامد از پساب است. این کار معمولا با وارد کردن پساب در حوضچه‌های ته‌نشین‌کننده و رسوب دادن این مواد صورت می‌گیرد.

فرایند ضد عفونی‌کننده طبیعت

باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا برای ادامه زندگی و تولید مثل نیاز به میزبان دارند و حضور آنها در آب موقت است. به همین دلیل، سیستم میکرو - اکولوژیک پیچیده‌ی گیاهان مردابی و نهرها محیطی نامناسب برای موجودات ذره‌بینی بیماری‌زا به حساب می‌آید.

در سال ۱۹۲۹ دکتر آلکساندر فیلیمنیگ یکی از بزرگترین پیشرفت‌های علم پزشکی را رقم زد. او متوجه شد که کپک پنی سیلین [7] ماده‌ای را ترشح می‌کند که موجب مرگ باکتری استافیلوکوس آریوس [8] می‌شود. امروزه ما این ماده را به نام آنتی بیوتیک پنی سیلین می‌شناسیم. از آن زمان تا کنون تعدادی زیادی کپک‌های دیگر که مانع رشد یا نابودی باکتری‌های بیماری‌زا می‌شوند شناسایی شده‌اند. بنابراین، مبانی استفاده از میکروب‌های غیربیماری‌زا برای از بین بردن باکتری‌ها و ویروس‌ها از آب‌های آلوده به خوبی شناخته شده است.

باکتری‌ها انواعی از موجودات میکروسکوپی هستند که غذا و انرژی خود را از گیاهان و جانوران مرده، پساب‌های انسان‌ها یا جانوران، باکتری‌ها، ویروس‌ها و مواد شیمیایی به دست می‌آورند. باکتری‌ها به دلیل سرعت تولید مثلی که دارند نقش مهمی را در تصفیه پساب‌ها و پاکیزه‌سازی نهرها ایفا می‌کنند. بعضی از باکتری‌ها در کمتر از ۱۵ دقیقه تولید مثل می‌کنند، به همین دلیل توانایی آنها در جهش، تطابق با محیط و تولید مثل تصاعدی است.

آغازیان [9] موجودات آبزی هستند که نقش مهمی در پاکیزه‌سازی نهرها دارند. آغازیان جانورانی تک یاخته‌ای هستند که از باکتری‌ها بسیار بزرگترند، اما باز هم میکروسکوپی به حساب

7. *Penicillin notatum*
8. *Staphylococcus aureus*
9. protozoa

می‌آیند. این موجودات با این که تک یاخته‌ای هستند تمام فرایندهای طبیعی یک جانور بزرگ را دارا هستند. آغازیان از نظر شکل و نحوه حرکتشان بسیار متنوع‌اند. بیش از ۴۰،۰۰۰ گونه این موجودات در انواع محیط‌های مرطوب و آبی زندگی می‌کنند. آغازیان را موجوداتی که نه گیاه و نه جانور هستند می‌شناسند با این حا ل دارای ویژگی‌هایی جانوری فراوانی هستند و تعداد آنها از تمام جانوران دیگری که در آبگیرها و دریاچه‌ها زندگی می‌کنند بیشتر است. در سال ۱۹۵۵، دانشمندان دانشگاه روتگرز متوجه شدند که گونه‌ای از آغازیان[10] می‌تواند ویروس آنفلوانزای ب را نابود کند.

جلبک‌ها گیاهان کوچکی هستند که می‌توانند فتوسنتز کنند. این گیاهان کوچک بستر گسترده‌ای را ایجاد می‌کنند که در آن زنجیره غذایی آبگیرها و دریاچه‌ها شکل می‌گیرد. در این زنجیره غذایی ماهی‌های کوچک و موجودات دیگر از جلبک‌ها تغذیه می‌کنند، اما بعدا توسط ماهی‌های بزرگتر یا پرندگان خورده می‌شوند و به همین ترتیب رده‌های بعدی زنجیره غذایی به وجود می‌آید. در شرایط رشد معمولی، جلبک‌ها اکسیژن تولید می‌کنند و در آب رها می‌سازند، به همین دلیل فعالیت حیاتی آنها برای بقیه موجوداتی که در نهرها زندگی می‌کنند مفید است. به این ترتیب اگر پساب‌های انسان و حیوان یا آلاینده‌های دیگر به نهرها وارد شوند، به دلیل مواد غذایی زیادی که دارند موجب رشد انفجاری جلبک‌ها می‌شوند. پس از آن که این جلبک‌ها مردند، توسط میکروب‌ها تجزیه می‌شوند و در نتیجه بیشتر اکسیژن نهرها مصرف شده و موجب مرگ ماهی‌ها می‌شود.

در دهه ۱۹۵۰ یک دانشمند آلمانی به نام دکتر کاته سایدل، نشان داد که بعضی گیاهان آبزی می‌توانند باکتری‌های بیماری‌زا را از آب حذف کنند. مطالعات بعدی نشان داده‌اند که گیاهان آبی مانند لویی و انواعی از بولراش، مواد ضد میکروب، ضد قارچ و ضد جلبک تولید می‌کنند. این مواد ضد عفونی‌کننده که موجب مرگ باکتری‌های بیماری‌زا می‌شود برای موجودات ذره‌بینی اطراف ریشه‌های گیاهان مضر نیستند.

مطالعات فراوانی که تا کنون صورت گرفته تاثیر حوضچه‌های تثبیت‌کننده را در نابود کردن باکتری‌ها و ویروس‌ها از فضولات انسانی اثبات کرده است. آبگیرهایی که ۳۰ روز آب در آنها می‌ماند می‌توانند تا ۹۹ درصد از باکتری‌های همراه مدفوع انسان را از بین ببرند. شمارش تعداد

10. Tetrahymena pyriformis

باکتری‌های روده‌ای در آب یکی از روش‌های استاندارد برای تعیین کیفیت تصفیه پساب است. اما این آزمایش برای سیستم تصفیه پساب به کمک گیاهان آبزی پذیرفته نشده است. باکتری‌های روده‌ای توسط تمام جانوران خونگرم دفع می‌شوند. برخی از این باکتری‌ها می‌توانند به صورت آزاد در طبیعت با تغذیه از باقی‌مانده گیاهان در حال تجزیه به زندگی خود ادامه دهند. با افزایش طول عمر اکوسیستم‌های گیاهان آبزی اندام‌های گیاهی قدیمی‌تر به طور طبیعی می‌میرند و تجزیه می‌شوند. در این سیستم انواعی از موجودات حیات‌وحش نیز دخالت دارند. وجود این جانوران به میزان باکتری‌های روده‌ای در علفزارهای آبگیرها می‌افزاید. با استفاده از روش‌های آزمایش استاندارد، باکتری‌های موجود در مدفوع جانوران از انواع انسانی آن‌ها قابل تشخیص نیست. سازمان حفاظت از محیط زیست و آژانس‌های نظارتی ایالتی در تایید این واقعیت که شمار باکتری‌های روده‌ای، شاخص مطمئنی برای نشان دادن وجود موجودات میکروسکوپی بیماری‌زا در سیستم‌های تصفیه پساب متکی بر گیاهان آبزی نیست، تعلل کرده‌اند.

گیاهان آبزی به همراه اکوسیستم پیچیده میکروبی طبیعت در علفزارهای باتلاقی، سیستمی قوی برای تصفیه پساب‌ها و ضد عفونی کردن آنها فراهم می‌آورند. علفزارهای باتلاقی که درست برای تصفیه آب طراحی شده باشند نیازی به ضد عفونی کردن ندارند. یکی از رایج‌ترین روش‌های ضد عفونی آب استفاده از کلر است. کلر بدون تردید بیشتر از روش‌های ضدعفونی که در آنها از کلر استفاده نمی‌شود به محیط زیست آسیب می‌رساند.

گاز کلر و محصولات دارای کلر فعال که برای تصفیه آب و پساب از آنها استفاده می‌شود سم‌های خطرناکی هستند. اما، مشکلات بهداشتی که از آب‌های کلر زده ناشی می‌شود مستقیما به کلر مرتبط نمی‌شود، بلکه مواد آلی کلرداری که از ترکیب مواد آلی موجود در شبکه آب با کلر به وجود می‌آیند مشکل‌زا هستند. مطالعات بسیاری که طی بیست سال گذشته انجام شده است رابطه میان کلر موجود در آب و سرطان مثانه و راست روده و در مواردی سرطان‌های کلیه، معده، لوزالمعده و مغز را اثبات کرده است. ترکیبات جانبی فراوانی از ترکیب کلری که برای ضدعفونی کردن آب به آن افزوده می‌شود، تولید می‌شود. برخی از این ترکیبات جانبی از مواد سرطان‌زای احتمالی در انسان به شمار می‌آیند. این یافته‌ها یکی از دلایل اصلی تولید آب آشامیدنی در بطری در سال‌های اخیر به شمار می‌رود. فرایند ضدعفونی کردن آب تا حد زیادی به مهارت کارکنان این صنعت بستگی دارد. نبود چنین کارکنانی در شهرهای کوچک و عدم امکان تامین چنین کارکنانی

مشکلات زیادی را برای اهالی به وجود می‌آورد.

استفاده از اشعه ماورای بنفش (UV) برای ضدعفونی کردن پساب، روش مطمئن‌تری به شمار می‌رود. اشعه ماورا بنفش مریی نیست، اما اگر با شدت کافی و مستقیم به باکتری‌ها تابانده شود، عامل موثری در از بین بردن آنها است. به همین دلیل دستگاه‌های مولد UV باید پیوسته تمیز شوند و آبی که برای میکروب‌کشی اشعه به آن تابانده می‌شود باید کمی کدر باشد. از آنجا که اشعه ماورای بنفش نمی‌تواند از شیشه عبور کند، حباب‌های مولد اشعه باید در پوششی از کوارتز قرار داده شوند. البته این روش ضدعفونی کردن از روش کلر زدن گران‌تر است.

آمونیاک و سمی بودن آن

در روش‌های پیشرفته تصفیه پساب، میزان مجاز آمونیاک در پساب به میزان سمی‌بودن آن برای حیات آبزیان بستگی دارد. تفاوت میان ۲ mg/l و ۱۰ mg/l آمونیاک در آب خروجی، پس از تصفیه، هزاران دلار است. بنابراین آشنایی با آمونیاک و خطرهای ناشی از آن بسیار ضروری است. بنا به گفته دکتر کلود ای. بوید از گروه ماهیان و آبزیان دانشگاه آبورن، آمونیاک یونیزه نشده (NH_3) برای ماهی‌ها سمی است، اما یون آمونیاک (NH_4^+) سمی نیست یا میزان سمی بودن آن نسبتا کمتر است. نسبت NH_3 و NH_4^+ به pH و دمای آب بستگی دارد. ممکن است غلظت NH_3 در آبگیرهای روباز هنگام گل دادن جلبک‌ها که با افزایش pH همراه است، زیاد باشد.

جدول زیر درصد سمی بودن پسابی را که در آن غلظت آمونیاک به ۱۰ mg/l می‌رسد در دماهای مختلف نشان می‌دهد. اگر pH پساب حدود ۷ باشد، مسمومیت زایی آمونیاک موجود در آن بسیار کم است. اطلاعاتی که طی ده‌ها سال به دست آمده است نشان می‌دهد که pH علفزارهای باتلاقی که برای تصفیه پساب استفاده می‌شوند بین ۶/۸ و ۷/۴ در نوسان است. بنابراین چنانچه pH محیط ثابت نگه داشته شود نیازی به کنترل پساب برای اطمینان از وجود غلظت ۲ mg/l آمونیاک آن نیست. رابطه مستقیم میان pH و آمونیاک روش موثری برای کنترل میزان آمونیاک در رودخانه‌ها و نهرها به دست می‌دهد و هزینه تصفیه را نیز پایین می‌آورد. سیستم‌های تصفیه به کمک گیاهان آبزی که درست طراحی شده باشند می‌توانند به مدت بیش از بیست سال میزان pH را در حدود (۰/۴- /+)۷ نگه دارند. پسابی که تا ۱۰ mg/l آمونیاک داشته باشد با ورود به نهرهای آب هیچ تاثیر مخربی بر حیات آبزیان ندارد.

میزان مسمومیت‌زایی آمونیاک در پساب دارای ۱۰mg/l آمونیاک

pH	۲۰°C آمونیاک (mg/l)	۲۸°C آمونیاک (mg/l)	۳۲°C آمونیاک (mg/l)
۷	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۹
۷/۴	۰/۱	۰/۱۷	۰/۲۲
۷/۶	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۳۵
۷/۸	۰/۲۴	۰/۴۳	۰/۵۵
۸	۰/۳۸	۰/۶۵	۰/۸۵
۹/۶	۶/۱۲	۷/۳۶	۷/۸۵

کشف مجدد راه حل‌های طبیعی برای زدودن آلودگی‌های محیطی توسط کارشناسان ناسا

در نگاه اول نمی‌توان رابطه‌ای میان ناسا و تصفیه پساب یافت. شاید باید تعجب هم کرد که پیشرفته‌ترین سازمان علمی و مهندسی جهان در زمینه فرایندهای زیستی و طبیعی و برای حل مشکل آلودگی‌های زیست‌محیطی مطالعات گسترده‌ای انجام می‌دهد و دستاوردهای چشمگیری هم داشته است. اما، با کمی دقت علت توجه ناسا به این مسئله مشخص می‌شود.

پس از آن که نیل آرمسترانگ در جولای ۱۹۶۹ موفق شد پا بر سطح کره ماه بگذارد، برنامه‌ریزی دراز مدت برای ساخت پایگاه‌های دائمی در ماه در دستور کار ناسا قرار گرفت. مطالعات اولیه ناسا نشان داد که هر چه تعداد ساکنان این پایگاه‌ها افزایش یابد و زمان توقف در فضا و فاصله آنها از زمین بیشتر شود، نیاز به آب، مواد غذایی و هوا بیشتر و تامین آن سخت‌تر می‌شود. به همین دلیل مراکز تحقیقاتی ناسا در اوایل دهه ۱۹۷۰ به مطالعه اکوسیستم‌های بسته و نیمه‌بسته‌ای پرداختند که امکان زندگی طولانی مدت فضانوردان در آنها فراهم شود. یکی از این مراکز مطالعاتی آزمایشگاهی در می‌سی‌سی‌پی[11] بود که در سال ۱۹۷۴ به لابراتوارهای فناوری فضایی ملی[12] تغییر نام یافت. در سال ۱۹۸۸ نیز به دستور رونالد ریگان رییس جمهور وقت، این مرکز به نام جان سی. استنیس، سناتوری که حمایت‌های بسیاری از مطالعات فضایی می‌کرد، تغییر نام

11. Mississippi Testing Facilities
12. National Space Technology Laboratories

داد. منظور از این مطالعات بررسی امکان استفاده از گیاهان برای تولید مواد غذایی، اکسیژن و آب آشامیدنی از پساب‌های انسان بود. هدف‌های اصلی این مطالعات عبارت بودند از:

۱) ابداع روشی اقتصادی برای تصفیه پساب‌های شیمیایی و شهری در این مرکز.

۲) ایجاد روشی مبتنی بر فناوری‌های زیستی برای استفاده در پایگاه‌هایی که در آینده بشر در فضا می‌سازد.

۳) نشان دادن ضرورت حل مشکلات ناشی از آلودگی‌های زیست‌محیطی در زمین.

قرن‌ها است که در برخی کشورها از پساب انسان به عنوان کود استفاده می‌شود. در مناطق روستایی آمریکا سال‌ها است که از پساب‌های حیوانات در کشاورزی استفاده می‌شود. این روش مخصوصا بین دهه‌های ۳۰ و ۴۰ که آمریکا با بحران اقتصادی مواجه بود بسیار رایج بود. پساب‌های انسان تمام موادی را که گیاهان برای رشد لازم دارند دارا هستند و بهترین کود طبیعی به شمار می‌آیند.

در گذشته استفاده از پساب‌ها غیر بهداشتی بود و در برخی موارد موجب شیوع بیماری می‌شد. فضولاتی که از بدن خارج می‌شود علاوه بر این که ممکن است دارای میکروب‌های بیماری‌زا باشند، دارای تمام شرایط لازم برای تداوم حیات ویروس‌ها و باکتری‌ها هستند. به همین دلیل هنگام استفاده از آنها به عنوان کود باید دقت شود. در روش‌های جدید هیدروپونیک از پساب انسان استفاده می‌شود، اما با رعایت بهداشت به طوری که امکان تماس انسان با این مواد از بین رفته است. تلقی منفی مردم عامل بازدارنده در استفاده از این روش‌ها است که باید آن را بر طرف کرد.

مطالعه درباره ادرار

اولین مطالعات کنترل شده علمی درباره امکان استفاده از پساب انسان به عنوان یک منبع غذایی کامل در کشت هیدروپونیک، در آمریکا در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ در مرکز فضایی جان سی. استنیس ناسا انجام شد. ادرار اشخاص سالم کاملا استریل و فاقد موجودات میکروسکپی است. به همین دلیل هزاران سال است که درمان انسان برای دفع ادرار پاک یکی از روش‌های تامین سلامت او بوده است.

این روش در غرب استفاده چندانی نداشته است، ولی در برخی کشورها مانند هند یکی از راه‌های متداول درمان بیماری‌ها است. مشخص شده است که بعضی از مواد موجود در ادرار انسان و حیوان ارزش فراوانی از نظر بهداشتی دارند. میلیون‌ها زن هر روز از قرص‌های پرامین برای درمان هورمونی استفاده می‌کنند. پرامین حاوی ترکیبات گوناگون استروژن است که از ادرار اسب ماده

باردار گرفته می‌شود.

ادرار تقریبا از ۹۵٪ آب، ۲/۵٪ اوره و ۲/۵٪ انواع مواد معدنی و آلی مانند هورمون‌ها، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها و غیره تشکیل شده‌است. اگر ادرار را با آب رقیق کنند به یکی از بهترین کودهای گیاهی تبدیل می‌شود. دانشمندان ناسا برای این‌که ارزش غذایی ادرار را برای گیاهان نشان دهند گوجه‌فرنگی، سبزیجات گلخانه‌ای و لوبیا سبز را با ادراری که با آب تا ۵٪ رقیق شده بود به شیوه هیدروپونیک کشت دادند. به این منظور به هر ۳/۷۸ لیتر آب ۱۹ سی سی ادرار افزودند.

ریشه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، در طول ۲۴ ساعت، هر ساعت ۱۵ دقیقه در تماس با این مایع رقیق شده قرار می‌گرفت. ادرار رقیق شده با غلظت ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم / لیتر به وسیله پمپ به ریشه این گیاهان فرستاده می‌شد و هر هفت روز محلول قبل با تقریبا ۱۰ لیتر ادرار جدید تعویض می‌شد. پس از تقریبا چهار ماه هر بوته به طور متوسط ۲۱۰ گوجه‌فرنگی داده و تا ارتفاع ۳/۴ متر رشد کرد. یعنی رشدی معادل ۲/۵ سانت در روز. علاوه بر این تعدادی هم گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای دیگر و لوبیا سبز نیز به روش هیدروپونیک، اما با استفاده از پساب شهری پرورش داده شدند.

ظرفی که قطر دهانه آن ۲۰ سانتی‌متر بود و با سنگریزه‌های کوچک و پوست میگوی دریایی پر شده بود در سوراخ‌هایی که قطر دهانه آن‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود و در لوله‌های پلاستیکی تعبیه شده بودند قرار داده شدند. مخزن این شبکه هیدروپونیک حاوی ۴۰ لیتر پساب شهری بود. آبی که گیاهان به صورت تعریق از دست می‌دادند با آب مقطر به شبکه افزوده می‌شد و هر هفت روز نیز پساب جدید به آن اضافه می‌شد. ریشه این گیاهان در طول ۲۴ ساعت، هر ساعت ۱۵ دقیقه با پساب شهری تماس داشت. میزان گوجه‌فرنگی برداشت شده از این آزمایش مشابه آزمایشی بود که با محلول ادرار صورت گرفته بود. توانایی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای و لوبیا سبز در ادامه حیات، رشد و میوه دادن با استفاده از پساب شهری در جدول زیر نشان داده شده است.

پارامترهای مورد آزمایش	میانگین مواد ورودی (mg/l)	میانگین مواد خروجی (mg/l)
BOD_5	۲۰۳	۲/۳
TSS	۵۷	۲/۳
NH_3	۱۸	<۰/۴۲
TP	۳/۹	۰/۹۶

این مطالعات نشان داد که پساب شهری نه تنها کود جایگزین کاملی برای کشت هیدروپونیک گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای و لوبیا سبز است، بلکه پسابی که در این سیستم به کار می‌رود پس از هفت روز مرحله سوم تصفیه پساب را نیز طی می‌کند. این مطالعات ثابت کرد که فناوری تصفیه پساب با استفاده از گیاهان گزینه‌ای مناسب برای تصفیه پساب است و پسمانده این فرایند ماده غذایی مناسبی برای رشد محصولات کشاورزی، تولید غذای دام یا برخی مواد اولیه صنعتی است.

خلاصه بحث

پس از سال‌ها پژوهش، ما درک بهتری از فعالیت‌های زیستی پیچیده طبیعی در تصفیه و پاکسازی محیط به دست آورده‌ایم. اکنون می‌توانیم از مکانیزم‌هایی که در اکوسیستم‌های طبیعی توازن محیط زیست را تامین می‌کنند حداقل برای تصفیه پساب‌ها استفاده کنیم. فقط باید سیستمی طراحی شود که در آن‌ها بتوان از فرایندهای طبیعی استفاده بهینه کرد. طبیعت شرایط و امکانات لازم را برای تصفیه پساب‌هایی که ما تولید می‌کنیم دارا است و انسان باید روش‌های خلاقانه‌ای برای به کارگیری آن‌ها بیابد. سیستم‌های طبیعی برای تصفیه پساب جایگزینی سالم و اقتصادی برای سیستم‌های تصفیه صرفا صنعتی است.

منابع

1. Boyd, Claude E. "Water Quality in Warmwater Fish Ponds," Auburn University, Agricultural Experiment Station, Auburn, Alabama, 1979.
2. Colt, J. and G. Tchobanoglous. "Evaluation of the Short-term Toxicity of Nitrogenous Compounds to Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*." *Aquaculture*, 1976, 8(3): 209-224.
3. Groupé, V., E. C. Hermann, Jr. and F. J. Rauscher, "Injection and Destruction of Influenza Virus by Free Living Ciliate *Tetrahymena* pyriformis," Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, 1955, Vol. 83: 479-482.
4. Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal*. McGraw-Hill Book Co., New York, 1972.
5. Seidel, Káthe. "Macrophytes and Water Purification," J. Tourbier and R.W. Pierson, Jr. (eds.) *Biological Control of Water Pollution*, Univ. of Penn Press, Philadelphia, 1976, pp. 109-121.
6. Volk, W. A. *Basic Microbiology*. (7th Ed.) Harper Collins Publishers, Inc., NewYork, 1992.
7. Wolverton, B. C. "Higher Plants for Recycling Human Waste into Food, Ptable Water and Revitalized Air in a Closed Life Support System," *NASA Research Report No. 192*, August 1980.

فصل چهارم

سیستم‌های کوچک دفع پسماندها

برای بیشتر مردم آمریکا پساب خانه‌ها چیزی بیشتر از کشیدن سیفون توالت یا مشاهده آبی که از سینک آشپزخانه‌ها خارج می‌شود نیست، و فقط زمانی به فکر دفع پساب‌ها می‌افتند که می‌خواهند هزینه ماهانه خدمات شهری را بدهند. اما، بیش از ۲۰ میلیون آمریکایی باید خودشان به فکر دفع پساب‌هایشان باشند. معمولا، مسئولان بهداشت وظیفه اعمال مقررات و نظارت بر شیوه دفع پساب‌های واحدهای منفرد را دارند. البته این مقررات از ایالت به ایالت متفاوت است. سیستم‌هایی که بزرگتر از یک خانوار هستند ممکن است لازم باشد تاییدیه سازمان حفاظت محیط زیست ایالت را نیز دریافت کنند، البته ممکن است محدودیت‌هایی نیز از جانب مسئولان محلی اعمال شود. بنابراین برای خریداران این قبیل خانه‌ها لازم است از مقرارت ایالتی و محلی مربوط به تصفیه پساب‌ها کسب اطلاع شود. اگر بررسی دقیقی در این باره صورت نگیرد ممکن است خانه‌ای خریداری شود که هیچ سیستم تصفیه پساب تایید شده‌ای نداشته باشند. این مسئله زمانی جدی‌تر می‌شود که خانه در کنار یک بستر آبی مانند نهر، رودخانه، دریاچه یا ساحل دریا قرار داشته باشد. مقررات گوناگونی که برای صدور مجوز، آزمایش خاک و شیوه تصفیه وجود دارد بدون تردید صاحبان این نوع املاک را وحشت‌زده می‌کند.

از آنجا که سیستم‌های دفع پساب معمولا پساب‌هایی که درست یا کاملا تصفیه

نشده‌اند را در محیط آزاد می‌کنند، نگرانی‌های جدی درباره آلوده شدن آب‌های زیرزمینی و سطحی وجود دارد. البته روش‌های دفع در محل، سال‌ها است به کار گرفته شده است و موفقیت‌هایی هم داشته است. برای درک کامل مشکلاتی که خانه‌ها، کسبه و اداره‌ها در بسیاری از مناطق روستایی برای تصفیه پساب‌ها با آن‌ها مواجهند، لازم است آشنایی مقدماتی با شیوه‌های گوناگون تصفیه داشته باشیم.

روش‌های استاندارد تصفیه

سپتیک تانک / سیستم‌های جذب محیطی

روشی که بیش از همه مورد تایید قرار گرفته است استفاده از تانک سپتیک و به دنبال آن جذب محیطی است. روش سپتیک تانک در نقاط مختلف کشور آمریکا، در خاک‌ها و دماهای مختلف به کار گرفته شده است. سپتیک تانک مخزنی است معمولا از جنس بتون که در زیر زمین تعبیه می‌شود تا پساب‌های خانه‌ها را جمع‌آوری و تصفیه کند. پساب‌های خانه‌ها معمولا شامل پساب توالت، آشپزخانه، حمام، ماشین‌های ظرفشویی و رختشویی و ... است. دستمال‌های توالت و فضولات جامد توالت‌ها در این مخزن ته نشین می‌شوند، در این قسمت مخزن که فاقد اکسیژن است باکتری‌ها به کندی مواد آلی را تجزیه می‌کنند و به میزان زیادی حجم مواد جامد را کاهش می دهند. این مایع نیمه تصفیه شده و سرشار از مواد آلی درون سپتیک تانک در محیط آماده‌سازی شده آزاد می‌شود تا جذب شود.

محیطی که پساب نیمه تصفیه شده در آن رها می‌شود شامل یک گودال است که کف آن با سنگریزه یا سنگ‌های خرد شده پوشیده است و روی این سنگ‌ها لوله‌های سوراخدار (آبکش مانند) قرار داده شده است. روی این لوله‌ها با خاک پوشانده می‌شود. فرض بر این است که این مایع بد بو از این لوله‌ها به بیرون نشت و به تدریج به درون خاک نفوذ می‌کند. خاک بر خلاف مخزن محیطی دارای اکسیژن است و تصفیه هوازی در آن انجام می‌شود. باکتری‌های موجود در خاک مواد آلی را از پساب می‌گیرند، اما توانایی تصفیه املاح را ندارند.

مشکل سپتیک تانک‌ها مخزن آن‌ها نیست، البته اگر درست نصب شده باشند، بلکه موادی است که در محیط آزاد می‌کنند. میزان و کیفیت جذب پساب‌های نیمه تصفیه شده به جنس خاک بستگی دارد. در بسیاری از موارد به دلیل عدم تخلل کافی خاک جذب به خوبی

صورت نمی‌گیرد و نمی‌تواند مواد بدبو را به داخل بکشد تا توسط باکتری‌ها تجزیه شوند. همان طور که گفته شد، حتی اگر جذب هم به طور کامل انجام شود فقط مواد آلی آنها تجزیه می‌شود و مواد معدنی مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن و غیره بدون تغییر باقی می‌مانند. به همین دلیل مواد معدنی و مواد آلی که کاملا تصفیه نشده‌اند موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شوند. اگر خاک رس و نفوذناپذیر باشد، پساب بدبوی سپتیک تانک نمی‌تواند جذب خاک شود و باعث ایجاد بوی تعفن و گازهای بدبو می‌شود و ممکن است موجب شیوع بیماری شود. محوطه‌هایی که برای دفع پساب نیمه تصفیه شده در نظر گرفته می‌شود نباید در زمین‌های پستی که دارای منابع آب‌های زیرزمینی نزدیک به سطح هستند، مانند کناره‌های ساحلی قرار داشته باشند، چون سپتیک تانک‌ها و محوطه‌های دفع پساب هرکدام میلیاردها لیتر پساب را در محیط رها می‌کنند و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

سپتیک تانکی که اندازه مناسب داشته باشد و درست نگهداری شود هر ۲۰ تا ۳۰ سال باید تمیز شود و لجن‌هایش خارج شود. سپتیک تانک و محوطه دفع پساب برای عمل تصفیه به باکتری‌ها متکی هستند. جمع شدن بیش از اندازه مواد جامد فقط در صورتی اتفاق می‌افتد که باکتری‌ها از بین رفته باشند. مواد سفیدکننده مانند وایتکس که گاهی اوقات در توالت‌ها یا هنگام شستشوی لباس‌ها استفاده می‌شود باکتری‌هایی که برای تصفیه ضروری هستند را از بین می‌برد. به همین دلیل استفاده از شوینده‌های کلردار باید محدود شود. استفاده از موادی مانند ریدکس[1] هر ماه یک بار یا پس از استفاده زیاد از شوینده‌های کلردار به تشکیل مجدد کلونی‌های باکتری در سیستم تصفیه کمک می‌کند.

سیستم تپه‌ای

سیستم تپه‌ای در واقع یک سیستم جذب توسط خاک است که بالاتر از سطح طبیعی زمین در نقطه مناسبی برای دفع پساب‌ها، قرار دارد. از این سیستم برای مقابله با محدودیت‌های موجود در محوطه‌های مختلف، مانند تراوایی خاک‌هایی که روی بسترهای آب در عمق کم قرار دارند یا خاک‌هایی که تراوایی کمی دارند استفاده می‌شود.

یک سیستم تپه‌ای از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

1. Rid-x®

۱) مواد مناسب پرکننده ۲) محوطه جذب ۳) شبکه توزیع
۴) درپوش ۵) خاک پوشاننده سطح

پساب خروجی از سپتیک تانک از طریق شبکه توزیع که در سطح بالایی قرار دارد به منطقه جذب پمپاژ می‌شود؛ تصفیه پساب هم مشابه روش استاندارد پخش کردن در محیط و جذب توسط خاک صورت می‌گیرد. در مواردی که محوطه‌های استاندارد برای نشت مواد به درون خاک وجود ندارد روش تپه‌ای موفق بوده است.

روش‌های دیگر تصفیه

از روش‌های دیگر دفع پساب می‌توان از سیستم‌های نشت به داخل سنگریزه، سیستم‌های لوله‌ای با فشار کم و سیستم قطره‌ای نام برد که البته دو مورد آخر نیاز به پمپاژ مکانیکی دارند. در مواردی از تجهیزات کوچک مکانیکی برای جایگزینی سیستم سپتیک استفاده می‌شود، البته نصب و نگهداری این تجهیزات گران است. این سیستم‌های مکانیکی هم نمی‌توانند مواد کانی را از آب حذف کنند. کانی‌ها معمولا موجب آلودگی دریاچه‌ها، نهرها، آبگیرها و آب‌های زیرزمینی می‌شوند. در این جا به جزییات بیشتر این سیستم‌ها نمی‌پردازیم، زیرا موضوع بحث ماسیستم‌های طبیعی است که به گیاهان و باکتری‌های همراه ریشه‌های آن‌ها، متکی هستند. فقط سیستم‌های متکی به گیاهان می‌توانند از پساب‌های منشا انسانی به عنوان مواد غذایی استفاده کنند و ضمن رشد و افزایش فضای سبز آب را نیز تصفیه کنند.

مطالعات ناسا

در سال ۱۹۷۱ ناسا مطالعه روی گیاهان آبزی و نیمه‌آبزی، میکروب‌های ریشه‌های آنها و توانایی‌شان در تصفیه پساب‌ها را آغاز کرد. در مطالعات اولیه از گیاهان شناور آبزی مانند گیاهی از خانواده سنبل[2] و عدسک آبی[3] در حوضچه‌هایی با پساب شهری استفاده شد. پس از کسب موفقیت در این آزمایش‌ها، مطالعات دیگری با گیاهان ریشه‌دار در حوضچه‌هایی که با سنگ پر شده بود انجام شد.

طی ده سال، مطالعات مکرری با استفاده از فیلترهای سنگی - گیاهی و با به کارگیری

2. *Eichhornia crassipes*
3. *Lemna sp*

گیاهان مختلف برای تصفیه پساب انجام شد. در این آزمایش‌ها از حوضچه‌های فیلتری با ابعاد زیر استفاده شد: ۶۰/۹ سانتی‌متر عرض در ۳۰۵ سانتی‌متر طول با عمق ۳۰/۵ سانتی‌متر. در هر حوضچه به عمق ۱۷/۸ سانتی‌متر سنگ زیر تراورس راه‌آهن و ۵/۱ سانتی‌متر سنگ‌ریزه به قطر نخود ریخته شد، پساب شهری پیوسته به عمق تقریبا ۱۷/۸ سانتی‌متر در هر حوضچه وجود داشت. با مطالعه روی گیاه نی[4] و تماس آن در فاصله‌ی زمانی ۶ و ۲۴ ساعت با پساب نتایج زیر به دست آمد:

نمونه	BOD_5 (mg/l)	TSS (mg/l)	آمونیاک (mg/l)
پسماند سپتیک تانک	۱۱۰	۶۸	۱۲/۴
آب خروجی سپتیک تانک	۷۲	۳۶	-
۶ ساعت با فیلتر سنگی - گیاهی	۸/۹	۵/۸	-
۲ ساعت با فیلتر گیاهی - سنگی	۲/۴	۴/۶	۰/۶

با گیاهان جدول زیر نیز مطالعاتی انجام شد که نتایج مشابهی در پی داشت.

نام عمومی	نام گیاه شناسی
بولراش جنوبی	*Scripus californicus*
کانا	*Canna sp.*
زانته دنشا	*Zantedeschia aethiopica*
زنبق مردابی	*Iris pseudacous*
تیر کمان آبی	*Saggitaria latifolia*
شیپوری	*Peltandra virginica*
کولوکازیا	*Colocasia esculenta*
هدیکیوم	*Hedychium coronarium*
سازوی افشان	*Juncus effusus*
ارزن مردابی	*Panicum repens*
گیاه غلافی	*Pontederia cordata*
لویی	*Typha sp*

4. Phragmites communis

حذف BOD_5 طی ۲۴ ساعت

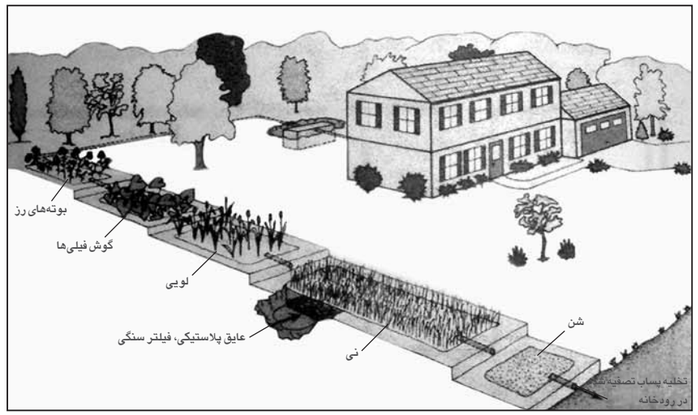
گیاهان مردابی	BOD_5 (mg/l)	
	ورودی	خروجی
تیرکمان آبی	۵۳	۲
گیاه غلافی	۴۷	۸
کانا	۴۲	۳
بولراش جنوبی	۹۰	۱۶
ارزن مردابی	۱۱۵	۲۳
نی	۷۱/۷	۲/۴
لویی	۹۴/۲	۸/۳
سازوی افشان	۶۷/۲	۷/۴

در این مطالعات ۲۴ساعته از دو روش استفاده شد: ۱) روش جاری که در آن پساب پیوسته و آهسته به درون هر حوضچه پمپ می‌شد؛ ۲) روش ثابت که در آن پساب در طول مدت مطالعه ساکن مانده بود. برای پساب‌هایی که در سطح زیرین قرار داشتند شرایط هوازی ایجاد شد تا از انتشار بوی بد جلوگیری شود. در نتیجه این مطالعات فیلترهای سنگی - گیاهی جایگزین میلیون‌ها سپتیک تانک و محوطه‌های تصفیه پساب خانه‌ها و محل‌های کار در جهان شده‌اند.

سپتیک تانک - سیستم فیلترهای سنگی - گیاهی

با تراکم جمعیت در مناطق روستایی استفاده از سپتیک تانک و محوطه‌های تصفیه پساب و به دنبال آن آلودگی آب‌های زیرزمینی و نهرهای کوچک نیز افزایش یافته است. ناسا درصدد رفع مشکلات ناشی از استفاده از سپتیک تانک با استفاده از فیلترهای سنگی - گیاهی است. در اولین مطالعاتی که انجام شد از گیاه نی[5] به این منظور استفاده شد، به همین دلیل این فیلترها سنگی - نی ای هم نامیده شده‌اند. (شماره ثبت: ۴،۴۱۵،۴۵۰؛ تاریخ ثبت: ۱۹۸۳؛ صاحب امتیاز: ناسا؛ مخترع: ب. س. وولورتون).

5. Tennessee Valley Authority



طی سال‌ها موسسات دیگری نیز مانند تی. وی. آ.[6] روش‌های متفاوت دیگری برای این منظور ابداع کردند. اما همه این روش‌ها از یک فکر و تغییراتی که در آن داده شده سرچشمه گرفته‌اند. با استفاده درست از این روش‌ها به جای روش‌های رایج دیگر، می‌توان به آسانی و به صورتی موثر و اقتصادی پساب‌ها را تصفیه کرد.

تمام این روش‌ها بر اصولی اثبات شده در تصفیه پساب‌ها استوارند. مرحله‌ی اول، تصفیه در سپتیک تانک صورت می‌گیرد که مواد جامد ته‌نشین می‌شوند و فقط مواد بدبو به صورت مایع از تانک خارج می‌شوند. اگر در یک خانه از سپتیک تانک برای دفع زباله هم استفاده می‌شود باید دو تانک پشت سر هم قرار داده شوند، تانک دفع زباله قبل از تانک پساب، تا مواد جامد وارد فیلترهای سنگی - گیاهی نشود. فیلترهای سنگی - گیاهی هیدروپونیک هستند و به کمترین میزان خاک برای تصفیه نیاز دارند. هیدروپونیک به معنی «کار آب» است. البته به دلیل مکانیزم این روش شاید بهتر باشد آن را «کار گیاه» معنی کرد. پساب مایع خارج شده از سپتیک تانک بهترین ماده غذایی طبیعی برای گیاهان است. این پساب وارد کانال‌های با سنگ پر شده می‌شود که از زیر با پوششی پلاستیکی از خاک جدا شده و در آنها گیاهان مختلفی پرورش داده شده‌است که علاوه بر تصفیه پساب‌ها بر زیبایی محل نیز می‌افزایند. گیاهان مواد غذایی موجود

6. TVA

فیلتر سنگی - گیاهی، مرکز فضایی استنیس

در پساب‌ها را می‌گیرند و میکروب‌های موجود در مجاورت ریشه‌ی آنها از مواد شیمیایی آلی به عنوان منبع غذا و انرژی استفاده می‌کنند.

ابعاد کانال‌های سنگی - گیاهی میزان تصفیه پساب را تعیین می‌کند. مطالعات ۲۵ سال اخیر نشان داده است که در کانال‌هایی که ۳۰/۵ سانتی‌متر یا کمتر عمق داشته و پوشش‌های سنگی ۱۰- ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح آب قرار دارند و مدت تماس ۴۸ ساعت یا بیشتر است تصفیه پساب درجه سه صورت می‌گیرد. در تصفیه درجه سه معمولا نتیجه زیر به دست می‌آید: BOD_5 ۵ mg/l، TSS ۵ mg/l و آمونیاک ۲ mg/l. پسابی که به این شکل و تا این درجه تصفیه شده است با عبور از فیلتر ماسه‌ای به تدریج جذب خاک می‌شود. پسابی که این مراحل را طی کرده است پاکیزه است و آسیب‌های زیست‌محیطی در پی نخواهد داشت و به این ترتیب استانداردهایی که مورد توجه بسیاری از سازمان‌های محیط زیست است رعایت شده است. بهترین استفاده‌ای که از این آب می‌توان کرد آبیاری فضاهای سبز و باغ‌ها است. برای مثال داگلاس وایت که در منطقه خشک و کوهستانی سنت توماس در جزیره ویرجین زندگی می‌کند و آب در آنجا ماده‌ای کمیاب است، می‌خواست نوعی سیستم تصفیه طبیعی داشته باشد که بتواند مجددا از آب تصفیه شده استفاده کند. سیستمی که برای او طراحی شد، استفاده از سپتیک تانک و فیلتر سنگی - گیاهی بود و پسابی که این مراحل تصفیه را می‌گذراند برای آبیاری از زیر فضای سبز استفاده می‌شود. فضای سبز حاره‌ای که با به کارگیری این روش در این منطقه خشک ایجاد شده است باعث تعجب بازدیدکنندگان می‌شود. آنها حتی نمی‌توانند تصور کنند که چگونه چنین محیطی به وجود آمده است. معمارها و طراحان محیط زیست به گرمی از این روش بازیافت استقبال کرده‌اند و فقط این روش مورد استقبال معمارهای معمولی قرار نگرفته است.

خانه مسکونی در جزایر ویرجین - آمریکا

سیستم‌های تصفیه طبیعی با استفاده از پسماندهای انسان‌ها و جانوران برای تغذیه و رشد گیاهان و میکروب‌ها، اکوسیستمی پایدار بوجود آورده‌اند. نکته مهمی که باید در طراحی این سیستم‌ها به آن توجه شود این است که پیش از این که بوی بد پساب گرفته و کاملا پاکیزه شود، نباید روی سطح زمین جاری شود.

امتیازهای سیستم‌های سنگی - گیاهی

بیشتر فیلترهای سنگی - گیاهی نیازی به نیروی برق نداشته و حتی وسیله مکانیکی فرسوده شدنی هم ندارند. این سیستم‌ها با جاذبه زمین کار می‌کنند و می‌توان آنها را در سرازیری تپه‌ها یا مناطق کوهستانی ایجاد کرد. در مناطق ساحلی که جریان آب به کمک جاذبه میسر نباشد استفاده از پمپ ضروری است.

گیاهان در اطراف ریشه خود[۷] مجموعه‌های بزرگ میکروبی به وجود می‌آورند. هر چه جمعیت این میکروب‌ها افزایش یابد عمل تصفیه بهتر صورت می‌گیرد. بر خلاف محوطه‌های تصفیه پساب یا روش‌های مکانیکی، فیلترهای سنگی - گیاهی می‌توانند کانی‌ها را از پساب‌ها جدا کنند. گیاهان از کانی‌ها به عنوان ماده غذایی استفاده می‌کنند. فیلترهای سنگی - گیاهی را می‌توان به گونه‌ای طراحی کرد که بخشی از فضای سبز باشد. در مناطق خشک و بیابانی پساب‌ها منبعی سرشار از آب و مواد غذایی برای گیاهان فضای سبز هستند. از پساب‌های تصفیه شده درجه سه می‌توان در آبیاری قطره‌ای فضاهای سبز استفاده کرد.

دمای زیاد پساب‌های خانگی که به سپتیک تانک‌ها وارد می‌شود شرایط مساعد برای فرایندهای زیستی را حتی هنگامی که دمای هوا کم باشد فراهم می‌کند. به این ترتیب هنگامی که زمین پوشیده از برف و یخ هم باشد اختلال چندانی در فرایند تصفیه به وجود نمی‌آید، زیرا میکروب‌های اطراف ریشه گیاهان کار اصلی تصفیه را انجام می‌دهند. در شرایطی که ممکن است شاخ و برگ گیاهان در اثر سرما خشک شده باشد ریشه آنها هم‌چنان به فعالیت‌های زیستی خود ادامه می‌دهند. ریشه گیاهان در ماه‌های سرد مواد کانی را از زمین جذب می‌کند و هنگامی که شرایط آب و هوایی مناسب شد از آنها برای تولید شاخ و برگ جدید استفاده می‌کند.

۷. ریزوسفر

در مناطقی که بستر آب‌های زیرزمینی در عمق کم قرار گرفته است، مانند مناطق ساحلی، استفاده از پوشش عایق پلاستیکی یا مواد عایق‌کننده دیگر ضروری است. این لایه موجب حفاظت از خاک می‌شود و ساخت آن نیز هزینه کمی دارد. در برخی مناطق حفاظت شده استفاده از سیستم فیلتر سنگی - گیاهی بسیار مناسب است، زیرا پساب‌ها را قبل از ورود به محیط زیست در حد مورد نیاز تصفیه می‌کند.

این سیستم‌ها ممکن است به مسیرهای طولانی تر و یا فیلتر ماسه‌ای در انتهای مسیر برای فرستادن آب تصفیه شده به زیر زمین نیاز داشته باشند. این سیستم‌ها تنوع فراوانی دارند. پساب خروجی از سپتیک تانک را می‌توان به داخل کانال‌های گلکاری شده با تنوع نامحدود هدایت کرد. اگرعمق آب ۱/۵ تا ۱۵/۲ سانتی‌متر پایین تر از سطح مجاور هوا قرار داشته باشد بیشتر گیاهان می‌توانند به زندگی ادامه دهند. اگر این روش‌ها در ساختمان‌هایی مثال خانه‌های ییلاقی که در طول سال پیوسته از آنها استفاده نمی‌شود به کار گرفته شوند، می‌توان از گیاهان نیمه‌آبزی که هم در محیط های مرطوب و هم خشک می‌توانند زندگی کنند استفاده کرد. گیاهانی مانند هدیکیوم[۸] و کانا[۹] برای چنین شرایطی مناسبند.

نکاتی که باید مورد توجه قرار گیرد

برای این که فیلترهای سنگی - گیاهی درست کار کنند باید نکات خاصی مورد توجه قرار گیرد. مانند هر فناوری دیگری آموزش شرط اول موفقیت است. در گذشته تعدادی از افرادی که از این سیستم‌ها استفاده می‌کردند به دلیل این که با مفاهیم اولیه آنها آشنا نبودند با مشکلاتی مواجه می‌شدند. مثلا بسیاری متوجه نبودند که استفاده از سفیدکننده‌های کلردار باکتری‌های موجود در سیستم را می‌کشد. در نتیجه رسوبات و لجن در سپتیک تانک‌ها انباشته یا به درون فیلترهای سنگی - گیاهی سرریز می‌کرد و باعث گرفتن آنها می‌شد.

اولین علت عدم موفقیت فیلترهای سنگی - گیاهی عدم آموزش صحیح کسانی بود که این سیستم‌ها را نصب می‌کردند. کارگران نصاب در تعیین و ایجاد شیبی که برای جریان دائمی پساب لازم بود خیلی دقت نمی‌کردند یا این که سنگ‌های خیلی کوچک در مسیر کانال‌ها کار

8. Hedychium sp.

9. Canna sp.

می‌گذاشتند که همه این‌ها موجب گرفتن مسیر جریان پساب می‌شد. قطر سنگ‌هایی که استفاده می‌شود باید حداقل ۲/۵ و حداکثر ۷/۶ سانتی‌متر باشد. عده‌ای هم سیستم تصفیه را کوچک‌تر از آنچه باید باشد می‌ساختند. مدتی که پساب در مجاورت گیاهان می‌ماند نیز عامل مهمی در کارکرد صحیح سیستم است. اگر اندازه سیستم کوچک‌تر از اندازه لازم باشد پساب در بالای سنگ‌ها جمع می‌شود. اگر این پساب در مجاورت هوا قرار گیرد بوی بد تولید می‌کند و محیط را غیر بهداشتی می‌سازد. بسیاری از کسانی که سپتیک تانک نصب می‌کنند با اصول زیست‌شناسی و قوانین هیدرولیکی که جریان پساب را ممکن می‌سازد آشنا نیستند. تا زمانی که سازمان‌های حفاظت محیط‌زیست این آموزش‌ها را به مالکان منازل و ساختمان‌ها و کارگران نصاب ندهند این مشکلات هم‌چنان ادامه خواهد داشت.

سیستم فیتو - گرو

شرکت خدمات زیست‌محیطی وولورتون[10] فرایندی را با عنوان فیتو - گرو[11] برای تصفیه پساب‌ها تعریف و طراحی کرده است که انعطاف قابل توجهی در تصفیه پساب دارد. این فرایند از گرفتگی فیلتر جلوگیری می‌کند و مقدار شن و سنگی لازم برای ساخت سیستم را کاهش می‌دهد.

از سال ۱۹۸۹ شرکت وولورتون با مسئولان دولتی سازمان بهداشت و مالکان مختلف مذاکره کرده است تا سیستم تصفیه‌ای سازگار با محیط‌زیست که نیاز به رسیدگی زیاد نداشته باشد را طراحی کند. در این فرایند از پساب انسانی برای پرورش گیاهانی استفاده می‌شود که مواد آلاینده را از آب جذب می‌کنند. این فرایند در حقیقت همان کاری را می‌کند که طبیعت برای زدودن فضولات انسانی و حیوانی انجام می‌دهد. توضیح بیشتر در بخش پیوست داده شده است.

سیستم فیتو -گرو برای تصفیه آب در یک واحد ساختمان

۱. مخزن ۴۰۰۰ لیتری سپتیک

۲. لایه نایلونی

۳. پوشش ۱۵/۲۴ سانتی‌متری شن

10. WES, Inc.

11. PhytoGro™

۴. گودال آب به عمق ۳۰/۴۸ سانتی‌متر

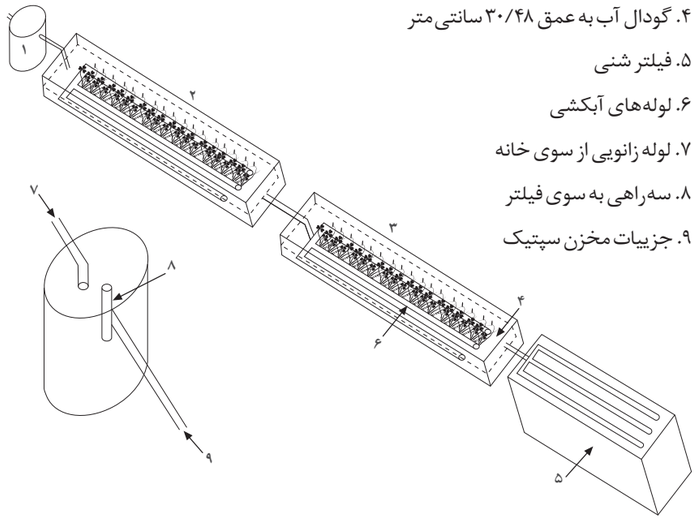
۵. فیلتر شنی

۶. لوله‌های آبکشی

۷. لوله زانویی از سوی خانه

۸. سه‌راهی به سوی فیلتر

۹. جزییات مخزن سپتیک



در سیستم فیتو - گرو از لوله‌های سوراخدار با قطر ۲۵ سانتی‌متر برای ساخت فیلترهای سنگی - گیاهی استفاده شده است. لوله‌های حد فاصل هر واحد فیلتر تصفیه ۱/۲ تا ۲/۴ متر طول دارند.

سیستم‌های با جریان کم

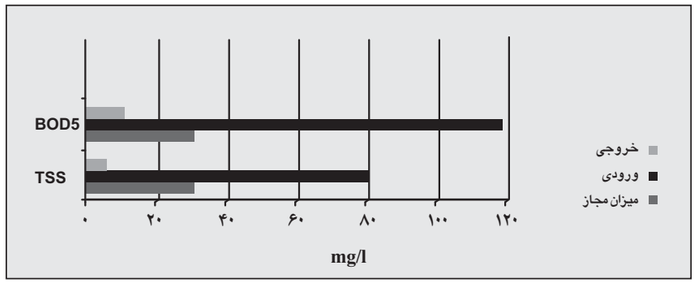
فیلترهای سنگی - گیاهی در سیستم‌های کوچک به بهترین صورت تصفیه پساب را انجام می‌دهند، اما استفاده از همین روش‌ها برای سیستم‌های بزرگ شهری نتایج متفاوتی در بر داشته است. عبور پساب در سیستم بزرگترین مشکل است. هنگام بارندگی‌های شدید، افزایش جریان آب موجب بالا آمدن آب در همان مرحله اول می‌شود. با گذشت زمان، بعضی سیستم‌ها با مشکل گرفتگی فیلترها مواجه شدند که خود موجب سرریز کردن آب و کوتاه شدن مدت تماس گیاه با پساب می‌شود.

بسیاری از سیستم‌های کوچک طی سال‌ها نتایج خوبی به همراه داشته‌اند. در سال ۱۹۸۷ یک سیستم کوچک برای توقفگاه تریلرهای سفری در شهر پرلینگتون در می‌سی‌سی‌پی ساخته شد. محل کمپ مجاور مرکز فضایی استنیس واقع شده است. ناسا این سیستم فیلتر

سنگی - گیاهی را برای به جای آوردن حق همسایگی برای این توقفگاه ساخت. در زمان احداث سیستم در این توقفگاه ۱۷ تا ۲۰ تریلر وجود داشت، اما این سیستم امکان پاسخگویی به تعداد بیشتر را نیز داشت.

فیلترهای سنگی - گیاهی این محل به دلیل وجود سفره‌های آب در عمق کم با پوشش پلاستیکی عایق‌بندی شده و زمان تماس پساب با گیاه هم ۴۸ ساعت یا بیشتر در نظر گرفته شده بود. بستر فیلتر به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر، با سنگ‌های زیر تراورس خط‌آهن و روی آن با ۱۵ سانتی‌متر دانه‌های شن در اندازه نخود ساخته شده بود. ابتدا انواع گونه‌های کانا کاشته شد و پس از چند سال گیاهان دیگر جایگزین شدند. هنگام کندن بستر برای جایگزین کردن زنبق‌ها، مقداری از شن‌ها به داخل لایه سنگ‌های بزرگتر نفوذ کردند، در نتیجه گرفتگی فیلتر و سرریز کردن آب در واحد اول رخ داد. برای رفع این مشکل به جای این که کار خاصی برای خارج کردن آب سرریز شده صورت گیرد یک مرکز لباسشویی عمومی نیز در محل احداث شد. در نتیجه آب بیشتری سرریز کرد که موجب بوجود آمدن پوشش گیاهی زیبایی، درست روی مکانی شد که اولین واحد فیلتر ساخته شده بود و در نتیجه آن عمل تصفیه به خوبی و با موفقیت انجام شد.

به کارگیری سیستم‌های دیگر هم نتایج بسیار خوبی در برداشته است و هم‌چنان کارآمد است. در حقیقت یکی از ویژگی‌های این سیستم، اگر درست طراحی و نصب شود، عمر نامحدود آن است. هر چه از عمر یک سیستم بیشتر می‌گذرد نتیجه کارش بهتر می‌شود. سیستم‌های فیلتر سنگی - گیاهی در مکان‌های دیگری مانند سالن‌های پذیرش، ایستگاه‌های رادیو، مراکز بهداشت و کلینیک‌ها، توقفگاه‌های بین راه، هربار یوم، کلیساها، رستوران‌ها و پارک‌های آبی کارایی بسیاری دارد.



منابع

1. Coombs, K. M. *Flush! Treating Wastewater.* Carolrhoda Books, Inc., Minneapolis,1995.
2. Wolverton, B. C. "Aquatic Plant/Microbial Filters for Treating Septic Tank Effluent," D. A. Hammer (ed.), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment,* Lewis Publishing, Inc., Chelsea, Ml, 1989, pp. 173-178.
3. Wolverton, B. C. "Natural Systems for Wastewater Treatment and Water Reuse for Space and Earthly Applications." Proceedings of American Water Works Association Research Foundation, Water Reuse Symposium IV, Denver, Colorado, 1987, pp. 729-741.
4. Wolverton, B. C. and R. C. McCaleb. "Pennywort and Duckweed Marsh System for Upgrading Wastewater Effluent from a Mechanical Package Plant," K. R. Reddy and W. H. Smith (eds.), *Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery*, Magnolia Publishing, Inc., Orlando, Florida, 1987, pp. 289-294.
5. Wolverton, B. C., R. C. McDonald and W. R. Duffer."Microorganisms and Higher Plants for Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Quality,* 1983, 12(2): 236-242.
6. Wolverton, B. C. "Hybrid Wastewater Treatment System Using Anaerobic Microorganisms and Reed (*Phragmites communis*)." Economic Botany, 36(4): 373-380.
7. Wolverton, B. C. "Higher Plants for Recycling Human Waste into Food, Potable Water and Revitalized Air in a Closed Life Support System," *NASA/ERL Research Report No. 192,* August 1980.
8. Wolverton, B. C., R. C. McDonald and R. M. Barlow. "Application of Vascular Aquatic Plants for Pollution Removal, Energy and Food Production," J. Tourbier and R. W. Pierson, Jr. (eds.) *Biological Control of Water Pollution,* Univ. of Penn Press, Philadelphia, PA, 1976, pp. 141-149.
9. Wolverton, B. C. and D. D. Harrison. "Aquatic Plants for Removal of Mevinphos from the Aquatic Environment," *Journal of the Mississippi Academy of Science,* 1973, 19: 84-88.
10. NASA - John C. Stennis Space Center, Mississippi, Wastewater Monitoring Data, 1976-1996.

فصل پنجم

تصفیه پساب‌های شهری

سازمان حفاظت محیط زیست در گزارش مطالعاتی که در سال ۱۹۹۶ در باره نیاز کشور به آب پاکیزه به کنگره تسلیم کرد، اعلام کرد که طی بیست سال آینده در آمریکا حدود ۱۴۰ میلیارد دلار باید هزینه شود تا سیستم‌های تصفیه پساب و کنترل آب باران و دیگر منابع آلاینده به روز شوند. سیستم‌های تصفیه مکانیکی، انرژی زیادی مصرف می‌کنند و بسیاری از آنها پیش از این که هزینه‌های ساخت‌اشان را بپردازند فرسوده می‌شوند. به دلیل نوسان‌های زیادی که در میزان پساب‌ها وجود دارد، بسیاری از سیستم‌های تصفیه مکانیکی نمی‌توانند آب باران جاری در سطح شهرها را تصفیه کنند و سیستم‌های تصفیه مکانیکی معمولا نمی‌توانند کانی‌های موجود در آب را تصفیه کنند. به همین دلیل در نهرهایی که پساب‌های خروجی از سیستم‌های تصفیه مکانیکی در آنها تخلیه می‌شوند رشد جلبک‌ها و باکتری‌ها شدت می‌یابد. ازدیاد میکروارگانیسم‌ها موجب بیماری آبزیان و انسان می‌شود، یا میزان اکسیژن موجود در آب را کاهش می دهد و باعث مرگ آبزیان می‌شود.

فیتو ریمدییشن[1] یا «رفع نواقص به کمک گیاهان در تصفیه پساب‌ها»، فرایندی طبیعی

1. phytoremediation (phyto = گیاه , remediation = جبران خطا، رفع اشکال)

است که علاوه بر اقتصادی بودن، با محیط زیست نیز سازگار است و می تواند مواد شیمیایی آلی و کانی‌ها را از پساب‌ها بگیرد. فناوری تصفیه‌ی متکی بر گیاهان به قدمت عمر زمین است و اجداد ما از آن استفاده می‌کرده‌اند؛ آنها از فضولات خود برای پرورش گیاهان استفاده می‌کردند. به کارگیری این روش‌ها از جهات مختلف بهترین جایگزین برای سیستم‌های متداول امروزی در تصفیه پساب‌ها است. هنگام مطالعه این روش‌ها نام‌های گوناگونی برای آنها انتخاب شد، مانند: فیلترهای سنگی - نی‌ای، مرداب‌های مصنوعی و بالاخره فیتو ریمدییشن. در فیتو ریمدییشن از فضولات انسان و حیوان به عنوان منابع تغذیه گیاهان و میکروب‌هایی که مجاور ریشه‌ی آنها زندگی می‌کنند استفاده می‌شود، در نتیجه پساب‌ها به آرامی وارد مناطق مردابی شده و تصفیه می‌شوند. میکروب‌های اطراف ریشه گیاهان مواد بیوشیمیایی موجود در پساب را که به اکسیژن زیادی نیاز دارند به عنوان غذا و منبع انرژی استفاده می‌کنند. گیاهان هم مواد کانی موجود در پساب شامل: نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و غیره را جذب و مصرف می‌کنند و بافت‌های گیاهی را می‌سازند و رشد می‌کنند. در طراحی سیستم تصفیه طبیعی عوامل مهندسی مانند نحوه جریان، عمق آب، اندازه و غیره نکات مهمی هستند که باید رعایت شوند. هر سیستم باید متناسب محیط خودش و مقررات سازمان محیط زیست محلی طراحی شود، در نتیجه پساب و مواد جامد آن نباید پیش از آنکه مرحله اولیه‌ی تصفیه را طی کنند وارد فیلتر گیاهی شود. بسیاری از شهرداری‌ها آبگیرها و حوضچه‌های خاصی برای این منظور احداث کرده‌اند.

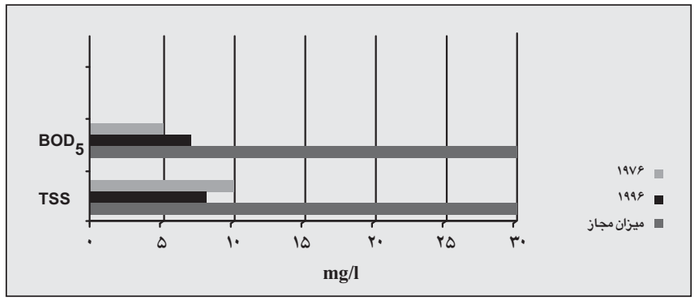
خوشبختانه با پژوهش‌هایی که مرکز مطالعات فضایی آمریکا انجام داده است، بسیاری از این روش‌های جدید در تصفیه پساب‌های شهرهای کوچک در نقاط مختلف جهان استفاده می‌شود. در حال حاضر شهرهای بزرگ به دلیل مشکل کمبود زمین، چاره‌ای جز استفاده از روش‌های مکانیکی ندارند. اگر از روش‌های طبیعی به طور کامل برای تصفیه پساب‌ها استفاده شود می توان آن‌ها را جایگزین سیستم‌های رایج بسیار گران تصفیه مکانیکی کرد و به کمک آنها مواد غذایی مورد نیاز حیوانات، کود لازم برای پرورش گیاهان و زیست توده برای تأمین انرژی مورد نیاز کارخانه‌ها را تولید کرد.

اطلاعات فراوانی در مورد نمونه‌های استفاده شده از فیتو ریمدییشن در شهرهای کوچک وجود دارد. در بسیاری از آنها شهرها حوضچه‌های تصفیه را داشتند و فقط باید به آنها فیلترهای گیاهی اضافه می‌شد تا مرحله پایانی تصفیه هم تکمیل شود. گاهی اوقات این حوضچه‌ها

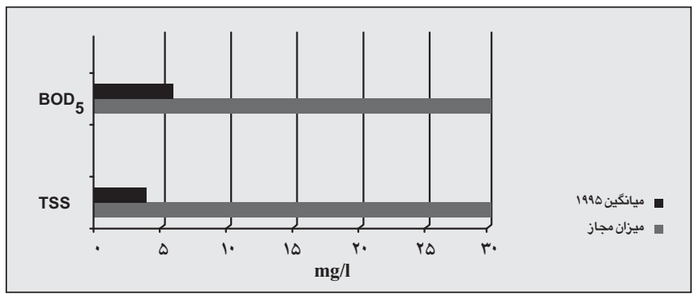
بسیار بزرگ بودند چون تنها محل تصفیه پساب بودند. با به کارگیری استانداردهای دقیق تر، مشخص شد که اقتصادی ترین روش برای به روز شدن این سیستم‌ها افزودن فیلترهای گیاهان آبزی بوده است. در مناطقی که این حوضچه‌ها وجود نداشتند، با احداث حوضچه‌هایی بسیار کوچکتر برای جمع‌آوری پسماندهای جامد و تجزیه آنها می توان سیستم تصفیه کاملی ساخت و نیازی به اختصاص زمین‌های وسیع نیست.

اولین سیستم بزرگ گیاهان آبزی در سال ۱۹۷۴ در مرکز فضایی جان سی. استنیس متعلق به ناسا، در می‌سی‌سی‌پی ساخته شد. در اواسط دهه ۱۹۷۰ گیاهان آبزی مانند زنبق مردابی، عدسک آبی، سنبل مرداب و بولراش[۲] تمام پساب مجتمع را که تقریبا ۵۰۰۰ نفر کارمند

حوضچه شماره ۱: مرکز فضایی استنیس (مقایسه ۲۰ ساله)



حوضچه شماره ۲: مرکز فضایی استنیس



2. bulrush برای گیاه بولراش مترادف فارسی یافت نشد. به همین دلیل عینا در متن استفاده شد.

داشت تصفیه می‌کرد. بیش از بیست سال است که ناسا از این فرایند طبیعی برای تصفیه تمام پساب‌ها در این مجتمع استفاده می‌کند و از نظر اقتصادی صرفه‌جویی زیادی کرده است. هر چه از عمر این سیستم‌های گیاهی می گذرد، کارآیی آن‌ها بهتر از زمانی که احداث شده بودند می‌شود. میزان آلاینده‌های پساب خروجی این سیستم بیش از ۲۰ سال است کـه کمتر از سطح مجاز است.

کالینز، می‌سی‌سی‌پی (جمعیت تقریبا ۳۰۰۰ نفر)

کالینز شهر کوچکی در جنوب مرکزی می‌سی‌سی‌پی است. این شهر دارای یک حوضچه‌ی بدون هوادهی بود که دیگر نمی توانست مرحله دوم تصفیه پساب‌ها (BOD_5 ۳۰ mg/l و TSS) را انجام دهد. در سال ۱۹۸۵ مسئولان این شهر تصمیم گرفتند در زمینی به وسعت ۴ هکتار یک سیستم تصفیه با گیاهان آبزی ایجاد کنند تا مرحله دوم تصفیه پساب‌ها را انجام دهد.

مانند بسیاری از طرح‌هایی که برای اولین بار انجام می‌شود طبیعی بود که اتفاق‌های غیرعادی رخ دهد. در گام اول پیمانکاری برای خرید و کاشت گیاهان مختلف آبزی و نصب فیلترها انتخاب شد. همه گیاهان از گلخانه‌ای در ایالت سروسیر ویسکانسین که گیاهان ریشه‌دار پرورش می‌داد خریداری شد. متاسفانه همه این گیاهان از بین رفتند. به ناچار گیاهان جدیدی در این مکان کاشتند، اما این بار فقط از گیاهان محلی مانند بولراش و عدسک آبی استفاده کردند. اجرای این طرح اگرچه هزینه‌های زیادی در پی داشت، اما اطلاعات ارزشمندی هم از آن به دست آمد. سیستم‌های بعدی هم که نصب شدند نشان دادند که در هر منطقه باید از گیاهان محلی استفاده شود. برای این که گیاهان در یک منطقه بتوانند به زندگی خود ادامه دهند، باید با شرایط آب و هوایی فصلی و دمای منطقه سازگاری داشته باشند. سیستم تصیفه گیاهی - آبی کالینز از سال ۱۹۸۶ تاکنون عملیات تصفیه مورد نیاز را در حد استاندارد انجام می‌دهد.

مرکز بیماری‌های هانسون (کارویل، لوییزیانا)

مرکز بیماری‌های هانسون، آزمایشگاهی متعلق به وزارت بهداشت است و در شهر کارویل در ایالت لوییزیانا قرار دارد. در سال ۱۹۸۶ سیستم تصفیه پساب این شهر را تغییر دادند تا استانداردهای جدید سازمان حفاظت محیط زیست (BOD_5 ۱۰ mg/l، TSS ۱۵ mg/l و ۵ mg/l آمونیاک)

رعایت شود. سیستم اولیه شامل دو حوضچه بود یکی به مساحت ۰/۴ هکتار و دیگری ۰/۶ هکتار. فیلترهای سنگی - گیاهی به عرض ۱۴ متر و عمق ۴۶ سانتی‌متر به این حوضچه‌ها اضافه شدند تا پساب خروجی اولیه را بهتر تصفیه کنند. سیستم گیاهان آبزی که به این مجموعه اضافه شد می‌توانست روزانه ۵۶۸ مترمکعب پساب را بپذیرد و در مجموع ۰/۳ هکتار فضا اشغال می‌کرد. بستر حوضچه با سنگ‌های بزرگ به قطر ۳/۸ سانتی‌متر تا ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر فرش شد و روی آن با شن تا ارتفاع ۱۵/۲ سانتی‌متر پوشانده شد. تیرکمان آبی [3] و گیاه غلافی [4] در فیلتر گیاهی کاشته شدند. اطلاعات گردآوری شده بین ماه‌های ژوئیه ۱۹۸۷ تا ژوئن ۱۹۸۸ موفقیت کامل سیستم را نشان می‌داد.

در سال ۱۹۹۰ تقریبا ۵۰۰ زندانی دولت فدرال و ۱۶۰ نفر از کارکنان زندان به این مرکز منتقل شدند. به همین دلیل مقدار پسابی که باید تصفیه می‌شد از ۵۶۸ مترمکعب در روز به ۱۵۱۵ مترمکعب رسید. این افزایش مشکلات زیادی را به همراه داشت. هیچ پیش‌بینی‌ای درباره تاثیر این افزایش دو برابری جمعیت در تصفیه پساب‌ها نشده بود. فیلتر سنگی - گیاهی مجتمع سرریز کرد و گرفت، در نتیجه شرایط محیطی آن بی‌هوازی شد و کیفیت پساب خروجی کاهش یافت. برای تامین شرایط تصفیه‌ای که مورد تایید سازمان حفاظت محیط زیست باشد، باید حوضچه فیلتر سنگی - گیاهی مجموعه اصلاح می‌شد. با کمک زندانیان طی دو سال، ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴، ساخت و اصلاح حوضچه انجام شد. تعمیر حوضچه با جمع کردن همه گیاهان و لایه ۱۵/۲ سانتی‌متری شن‌های به اندازه نخود صورت گرفت. این لایه شن با سنگریزه‌های بزرگتر جابه جا شد تا امکان عبور آسان‌تر آب از فیلتر فراهم شود. سه حوضچه مجموعه به صورت سری قرار داده شدند. چهار هواساز ۷/۵ hp به حوضچه اول افزوده شد تا از میزان BOD بکاهد. بررسی نتایج نشان داد که با وجودی که مجددا گیاه در حوضچه کاشته نشده بود، اما آمونیاک از مجموعه زدوده شده بود. با توجه به این نتایج دیگر برای اصلاح عملکرد فیلتر، گیاهی در آن کاشته نشد. تعمیر و به روز کردن سیستم تصفیه پساب در سال ۱۹۹۴ پایان یافت و بر خلاف انتظار، همزمان زندانیان و کارکنان به نقطه دیگری انتقال یافتند.

اطلاعاتی که از این سیستم در سال‌های ۱۹۸۷-۱۹۸۸ به دست آمده بود با آنچه پس از

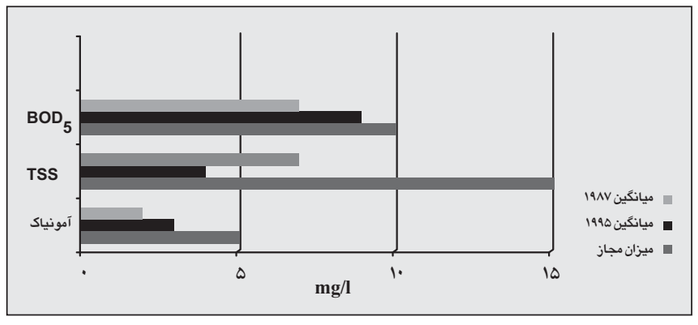
3. Pontederia cordata

4. Saggitaria lancifolia

انتقال زندانیان حاصل شده بود مقایسه شدند. نتایج به دست آمده از این فیلتر و بقیه فیلترهای سنگی - گیاهی اطلاعات ارزشمندی را برای طراحی سیستم‌های جدید تصفیه در اختیار می‌گذارند. از جمله این که عمق فیلتر برای زدودن آمونیاک بسیار مهم است. فیلترهایی که عمق‌شان از ۲۳ سانتی‌متر بیشتر است به تدریج توانایی‌شان در از بین بردن آمونیاک کمتر می‌شود، زیرا شرایط بی‌هوازی در محیط ایجاد می‌شود و امکان تجزیه آمونیاک از بین می‌رود.

نتایج مطالعات و موارد مشابه دیگر نشان می‌دهد که استفاده از سنگریزه‌های به اندازه نخود در فیلترهای سنگی - گیاهی مناسب نیست، زیرا پس از مدتی به داخل لایه سنگ‌های درشت‌تر رخنه می‌کنند، در نتیجه رسوب و آشغال لابلای آنها گیر می‌کند و موجب گرفتگی فیلتر و سرریز کردن آن می‌شود. بنابراین اگر شرایط بی‌هوازی بر مجموعه غالب شود امکان تجزیه آمونیاک، بسیار کم یا غیر ممکن می‌شود.

▼ مرکز بیماری‌های هانسن، مقایسه یافته‌ها

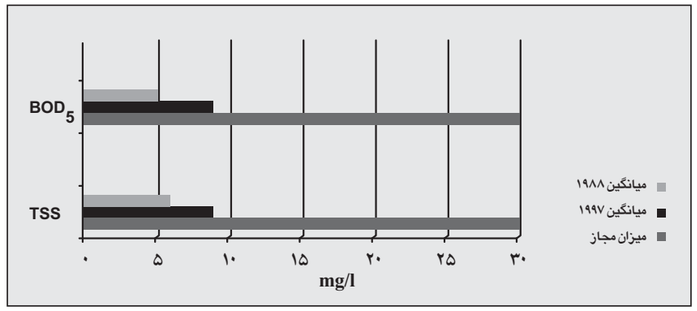


بنتون، لوییزیانا

بنتون شهر کوچکی با ۳۰۰۰ نفر جمعیت است و در ۲۱ کیلومتری شمال شهر بوسییر در لوییزیانا، حدود ۵۰ کیلومتری مرز ایالت آرکانزاس قرار دارد. تا پیش از سال ۱۹۸۷ تمام پساب تصفیه نشده شهر به داخل رودخانه سرخ ریخته می‌شد. در اواخر سال ۱۹۸۶ شهر از سوی مرکز بیماری‌های هانسن و سازمان حفاظت محیط زیست کمک مالی دریافت کرد تا برای تصفیه پساب تا مرحله‌ای که تخلیه آن در رودخانه سرخ بی‌ضرر باشد، اقدام کند. حوضچه‌ای به مساحت ۴ هکتار برای

تصفیه اولیه و فیلتر سنگی - گیاهی به مساحت ۰/۵ هکتار برای تصفیه پساب خروجی از حوضچه اولیه ساخته شد. هزینه ساخت فیلتر گیاهی حدودا ۲۶۲،۰۰۰ دلار بود. اطلاعاتی که از مسئولان شهری به دست آمد نشان می‌داد که هزینه‌های اجرایی و نگهداری آن در سال ۱۹۸۹ فقط ۳۵۷/۴ دلار بوده است. این سیستم بیش از ده سال است که با موفقیت هم‌چنان کار می‌کند.

بنتون، لوییزیانا: مقایسه یافته‌ها



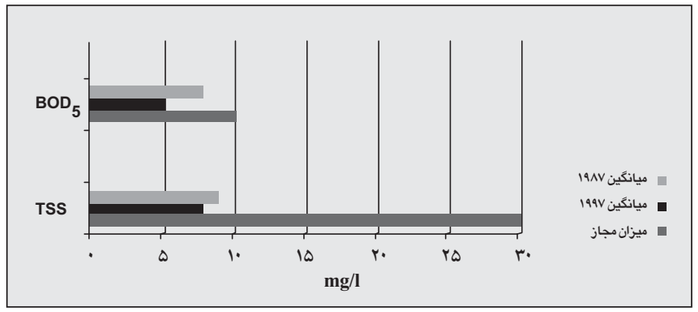
هاگتون، لوییزیانا

شهر هاگتون در شمال غربی لوییزیانا قرار دارد و جمعیت آن در سال ۱۹۸۷، ۲۱۰۰ نفر بود. پیش از این که سیستم فیلتر سنگی - گیاهی در این شهر نصب شود، ۳۳۰ مترمکعب پساب شهر به وسیله تاسیسات هوادهی مکانیکی تصفیه می‌شد. این تاسیسات از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۷ فعال بود. با افزایش جمعیت شهر سیستم مکانیکی دیگر پاسخگو نبود؛ هزینه تامین انرژی این تاسیسات نیز افزایش یافته بود. به همین دلیل مسئولان شهری تصمیم گرفتند سیستم مکانیکی تصفیه را متوقف کند و سیستم تصفیه‌ای متشکل از گیاهان و آبگیر احداث کند.

در سال ۱۹۸۶ این شهر یک آبگیر به حجم ۴ مترمکعب به عمق ۱/۵ متر و یک فیلتر سنگی - گیاهی به ابعاد ۱۸/۳متر در ۲۸۳/۵متر ساخت. در اولین مراحل آغاز به کار این سیستم هزینه برق شهر به میزان چشمگیری کاهش یافت. پیش از نصب سیستم جدید، هر ماه هزینه تأمین برق تاسیسات تصفیه مکانیکی مبلغ ۱۴۰۰ دلار بود. این مبلغ پس از احداث سیستم جدید به ۳۹۰ دلار در ماه کاهش یافت که این هزینه نیز مربوط به انتقال پساب‌ها از مرکز جمع‌آوری آنها

به سیستم فیلتر سنگی - گیاهی بود. علاوه بر این هزاران دلار هزینه اجرایی و نگهداری سیستم هم دیگر پرداخت نمی‌شد. با این که طی ده سال فعالیت این سیستم اشکال‌های کوچکی در فیلتر بروز کرد، اما همان طور که نمودار زیر نشان می‌دهد کیفیت تصفیه پساب شهر از سال ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۷ بهبود یافته است.

هاگتون، لوییزیانا، مقایسه ۱۰ ساله



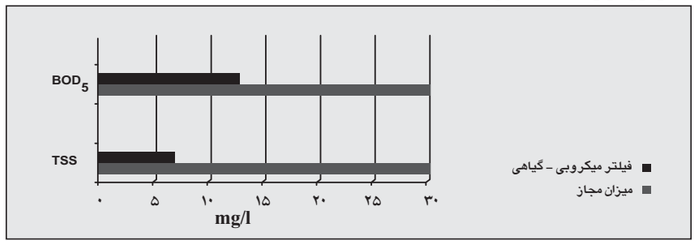
مونتری، ویرجینیا

در سال ۱۹۸۵ شهر مونتری در ویرجینیا که در منطقه کوهستانی آلگنی نزدیک مرز غربی ویرجینیا قرار دارد و دارای طبیعتی بسیار زیبا است، با مشکل جدی مواجه شد. سازمان کنترل کیفیت محیط زیست ویرجینیا اعلام کرد که مخزن ایمهاف[5] که آنها برای تصفیه اولیه پساب‌ها استفاده می‌کنند با استانداردهای جدیدی که در این ارتباط وضع شده است مطابقت ندارد. در آن زمان شهر مونتری فقط ۱۴۹ مشترک تصفیه پساب داشت و احداث یک تصفیه‌خانه دیگر از نمونه‌های رایج حدود ۵۰۰،۰۰۰ دلار هزینه در برداشت. این مبلغ بیش از هفت برابر بودجه جاری شهر بود. بیش از نیمی از ساکنان شهر بیشتر از ۶۵ سال سن داشتند و درآمد اکثر آنها ثابت بود و حتی پرداخت هزینه جاری تصفیه پساب برایشان آسان نبود. خوشبختانه شهردار این شهر، جورج ای. مک هورتر، یک شهردار عادی نبود. او یک مهندس عمران سرشناس بود که این شهر را برای زندگی انتخاب کرده بود.

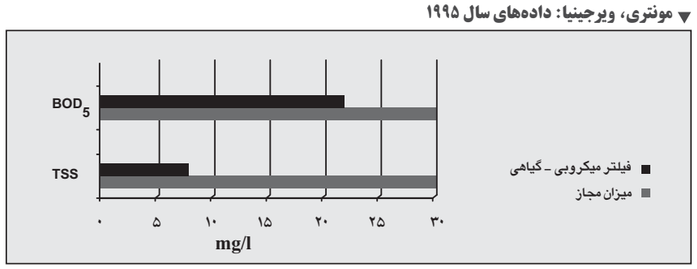
5. Imhoff tank

این شهردار در آن زمان ۷۲ ساله بود و مطالبی درباره مطالعات ناسا در تصفیه و بازیافت پساب‌ها و پسماندها به کمک گیاهان آبزی برای استفاده در پروژه‌های فضایی‌اش شنیده بود. او اطلاعاتی هم درباره هزینه پایین تامین این امکانات دریافت کرده بود. به همین منظور با ناسا تماس گرفت و جلسه‌ای در شهر لکزینگتون ویرجینیا با مقام‌های ایالتی و دکتر بی. سی. وولورتون از ناسا تشکیل داد. پس از این جلسه مسولان ایالتی به مونتری اجازه دادند که برای تصفیه یک ششم پساب روزانه شهر (۷۵/۸ مترمکعب) به طور آزمایشی فیلتر سنگی - گیاهی احداث شود. آنها هم‌چنین اعلام کردندکه اگر فیلترهای سنگی - گیاهی بتوانند پساب‌های تصفیه شده تا حد استاندارد مرحله اول تصفیه توسط تانک ایمهاف را تا استاندارد پذیرفته شده برای مرحله دوم تصفیه کنند، اجازه می‌دهند از این روش برای تصفیه تمام پساب شهر (۴۵۴/۵ مترمکعب در روز) استفاده شود. فیلتر آزمایشی در ابعاد ۷ متر در ۱۹/۵ متر در ۰/۸۴ متر در سال ۱۹۸۹ با استفاده از بولراش بومی احداث شد. مدت زمان توقف پساب در این فیلتر ۱۷ ساعت است. این فیلتر توانست پساب خروجی از تانک ایمهاف را تا مرحله دوم تصفیه کند. نگرانی مسولان ایالتی بیشتر از عدم کارآمدی این فیلتر در ماه‌های سرد زمستان بود، زمانی که دمای شهر حتی به $-7^{\circ}C$ می‌رسید. این فیلترها توانستند در تمام شرایط از عهده تصفیه پساب‌ها برآیند.

▼ **مونتری، ویرجینیا: داده‌های سال ۱۹۹۰**



▼ **مونتری، ویرجینیا: داده‌های سال ۱۹۹۵**



یونیون، می‌سی‌سی‌پی

یونیون شهر کوچکی در بخش شرقی - مرکزی ایالت می‌سی‌سی‌پی است و جمعیت آن ۲۰۰۰ نفر است. این شهر دارای یک سیستم مکانیکی تصفیه پساب بود که تا آخرین حد ظرفیت و توانش کار می‌کرد. در اوت ۱۹۸۶، اداره کنترل آلودگی می‌سی‌سی‌پی اعلام کرد که سیستم تصفیه پساب این شهر استاندارد جدید قانون آب پاکیزه دولت فدرال را رعایت نمی‌کند. بنابراین شهر باید سیستم خود را بهبود می‌بخشید یا تاسیسات جدید تصفیه احداث می‌کرد. این شهر از سال ۱۹۷۳ که سیستم تصفیه مکانیکی پساب خود را احداث کرده بود مبلغ ۳۳۴،۰۰۰ دلار مقروض بود. اداره و نگهداری این سیستم مکانیکی حدود ۸۵،۰۰۰ دلار برای شهر هزینه داشت.

این شهر یک گروه مهندسی را به کار گمارد تا اقتصادی‌ترین روش مبتنی بر استاندارد جدید را شناسایی و معرفی کنند. در دسامبر ۱۹۸۷ نتیجه مطالعه گروه مهندسی به این شرح اعلام شد: «به نظر می‌رسد ساختن یک سیستم جدید تصفیه پساب از اصلاح سیستم کنونی موثرتر باشد». هزینه‌ای که برای اصلاح سیستم قدیمی اعلام شد ۶۶۰،۰۰۰ دلار به علاوه ۶۴،۰۰۰ دلار هزینه اداره و تعمیر سالانه بود. هزینه تقریبی برای احداث یک سیستم مکانیکی جدید هم تقریبا ۱/۲ میلیون دلار بود. اعلام این هزینه‌ها موجب بحث و مشاجره در شورای شهر برای تامین منابع آن شد. شورای حفاظت و توسعه منابع جنوب‌شرقی می‌سی‌سی‌پی به شهر یونیون پیشنهاد کرد که امکان استفاده از سیستم‌های تصفیه طبیعی را بررسی کند، و به این منظور جلسه‌ای را با حضور دکتر وولورتن، شهردار و شورای شهر برگزار کرد تا درباره احداث علفزارهای مردابی برای تصفیه پساب مذاکره شود. وقتی که هزینه احداث سیستم‌های مختلف برای آنها توضیح داده شد، آنها استفاده از سیستم‌های طبیعی با استفاده از گیاهان آبزی را انتخاب کردند. هزینه‌های هریک از سیستم‌ها در جدول زیربرای مقایسه آورده شده است:

▼ **مقایسه هزینه‌ها**

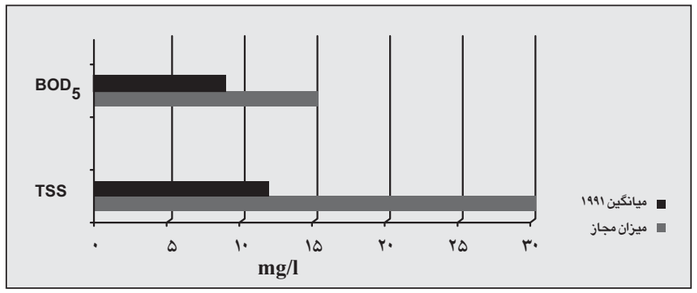
نوع سیستم	هزینه ساخت	هزینه سالانه اجرا و نگهداری	مقدار مصرف برق در سال (هزینه)
سیستم مکانیکی قدیمی	۶۰۰،۰۰۰ دلار (به هزینه ۱۹۷۴)	۵۵،۰۰۰ دلار	۴۹۸،۶۶۵ کیلووات ساعت (۳۰،۰۰۰ دلار)
اصلاح سیستم قدیمی	۶۶۰،۰۰۰ دلار	۵۵،۰۰۰ دلار	۱،۰۶۶،۶۶۷ کیلووات ساعت (۶۴،۰۰۰ دلار)
احداث سیستم جدید	۱،۲۰۰،۰۰۰ دلار	۵۵،۰۰۰ دلار	۹۹۷،۳۳۰ کیلووات ساعت (۶۰،۰۰۰ دلار)
سیستم میکرو آگرو	۵۵۰،۰۰۰ دلار (به علاوه هزینه زمین)	۵۵۰،۰۰۰ دلار	۹،۹۷۴ کیلووات ساعت (۶۰۰ دلار)

شورای حفاظت و توسعه منابع جنوب‌شرقی می‌سی‌سی‌پی

این سیستم دارای فیلتر زوج است که در صورت نیاز به تعمیر، یک فیلتر از گردش خارج می‌شود، اما سیستم متوقف نمی‌شود. آخرین بخش از هر کانال زیرزمینی و پوشیده از سنگریزه‌های رسی است و زمان توقف پساب در آن ۲۰ ساعت است. در سال ۱۹۹۰، یک سیستم ۵/۶ هکتاری برای تصفیه ۱۸۹۴ مترمکعب پساب در روز با توقف تقریبا ۲۰ روزه در این شهر ساخته شد. این سیستم جدید برای تصفیه پساب با استانداردهای پیشرفته است. هزینه‌ی اعلام شده برای احداث این سیستم شامل خرید زمین نیز می‌شد.

این سیستم هم مانند هر طرح جدیدی در طول سال‌های استفاده با مشکلات کوچکی مواجه شد. استفاده از سنگریزه‌های رسی موجب گرفتگی فیلترها و سرریز کردن پساب شد. به همین دلیل فیلترهای زیرزمینی به تدریج تبدیل به کانال‌های سطحی شدند و طرح‌های جدیدتری به کار گرفته شد. تغییر ابعاد فیلتر گیاهی، عمق و حذف کانال‌های زیرزمینی، برخی از این تغییرات برای بهبود سیستم بودند. بسیاری از نارسایی‌هایی که در سیستم جدید رخ می‌داد خیلی ناچیز و رفع آنها کم هزینه بود.

یونیون، می سی سی پی



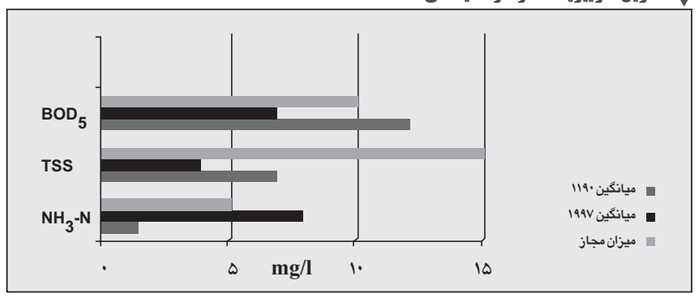
مندویل، لوییزیانا

شهر ۱۰،۰۰۰ نفری مندویل در شمال دریاچه پانچنترین نزدیک نیوارلئان قرار دارد. این شهر در سال ۱۹۹۰ یک سیستم تصفیه پساب جدید شامل یک حوضچه هوادهی و فیلترهای سنگی - گیاهی با امکان ضد عفونی ماورای بنفش احداث کرد. گنجایش اسمی این سیستم ۵،۶۸۲ مترمکعب

در روز بود. در مقایسه با سیستم‌هایی که در هاگتون و بنتون لوییزیانا ساخته شده بود، این سیستم جدید بزرگ محسوب می‌شد.

در این سیستم پساب‌ها از مخزن جمع‌آوری به تاسیسات تصفیه هدایت می‌شوند و در مسیر از میان نرده هایی که مانع عبور آشغال‌های بزرگ هستند رد می‌شوند. سپس پساب‌ها از سه حوضچه هوادهی به گنجایش $183m^3$، $61m^3$ و $3m^3$ عبور می‌کنند. پساب از درون این حوضچه‌ها به صورت مارپیچ عبور می‌کند. پساب خروجی از این حوضچه‌ها وارد فیلترهای سنگی - گیاهی می‌شود که ۰/۸ هکتار وسعت دارند. پساب در این فیلترها به مدت ۲۴ ساعت توقف می‌کند، سپس با اشعه ماورای بنفش ضد عفونی می‌شود. آخرین پساب، پیش از ورود به دریاچه پانچنترین از علفزارهای آبزی عبور می‌کند.

مندویل، لوییزیانا: نمودار مقایسه‌ای



میزان مجاز مواد خروجی از پساب‌ها بر اساس قوانین ایالتی و دولت فدرال عبارتند از: BOD_5 ۱۰mg/l، TSS۱۵mg/l و ۵mg/l آمونیاک و تعداد باکتری‌های روده‌ای ۲۰۰ کولونی در ۱۰۰ml است.

مطالعه‌ای که در سال ۱۹۹۷ صورت گرفت نشان داد که سیستم احداث شده در شهر مندویل بیش از میزان مجاز آمونیاک موجود در پساب ورودی به فیلترها را تصفیه می‌کند. حد مجاز اعلام شده برای میانگین سالانه آمونیاک ۸/۱ mg/l و pH ۷/۴ است. همان‌طور که در فصل «تاریخچه تصفیه طبیعی پساب» توضیح داده شد دو نوع آمونیاک وجود دارد یکی به صورت یون (NH_4^+) و دیگری غیر یونی (NH_3). معمولا آمونیاک غیریونی با غلظت ۰/۶ mg/l تا ۲ برای موجود آبزی مسموم کننده است. زیست‌شناسان و ماهی‌شناسان معمولا یون آمونیاک را غیرسمی

یا با قابلیت مسموم‌کنندگی کم می‌شناسند. عواملی که در میزان غلظت این دو نوع آمونیاک در آب تاثیر می‌گذارد دما و pH آب است. در pH ۷ یا کمتر تقریبا تمام آمونیاک موجود غیرسمی است. میانگین سالانه آمونیاک در پساب مندویل در سال ۱۹۹۷ mg/l ۰/۰۸ در دمای ۲۰°C؛ mg/l ۰/۱۴ در دمای ۲۸°C و mg/l ۰/۱۸ در دمای ۳۲°C بود. این مقادیر بسیار کمتر از آن است که برای موجودات آبزی سمی تشخیص داده شده است و نشانی از تاثیر منفی میزان آمونیاک موجود در پساب مندویل بر زندگی علفزارهای طبیعی منطقه دیده نمی‌شود. بنابراین، دلایل علمی کافی وجود دارد که بتوان میزان مجاز آمونیاک در این سیستم را حتی mg/l ۵ اعلام کرد.

سیستم تصفیه پساب با گیاهان آبزی امکان تامین شرایط پایدار با pH بین ۶/۸ و ۷/۵ را فراهم می‌کند. مطالعات چند ده ساله نشان داده است که به دلیل توانایی علفزارهای مردابی در پایدارسازی محیط، آمونیاک موجود در آن در سطح غیرسمی باقی مانده است. علفزارهای مردابی در تصفیه پساب‌ها کاملا با صرفه اقتصادی و سازگار با محیط زیست شناخته شده‌اند. در واقع برای بسیاری از شهرهای کوچک استفاده از آنها تنها روش قابل توجیه است. به نظر می‌رسد زمان آن رسیده است که سازمان حفاظت محیط زیست استانداردهایش برای میزان آمونیاک و باکتری‌های روده‌ای را در سیستم‌های وابسته به علفزارهای آبزی مجددا ارزیابی کند، زیرا استانداردهای رایج این سازمان براساس تصفیه‌کننده‌های مکانیکی تدوین شده‌اند. در سیستم‌های مکانیکی زمان توقف پساب کوتاه است، بنابراین نمی‌توانند شرایط پایدار[6] که علفزارها به وجود می‌آورند ایجاد کنند. اگر استانداردهای سیستم‌های تصفیه‌کننده طبیعی به سیستم‌های مکانیکی نیز تعمیم یابد امکان حفاظت از محیط زیست میسر می‌شود. البته نباید انتظار داشت که استانداردهای کاملا مشابه و یکسان برای روش‌های متفاوت در نظر گرفته شود و هر روش باید با توجه به قابلیت‌های خودش بررسی شود.

مندویل نمونه بسیار خوبی از یک شهر است که باید میلیون‌ها دلار هزینه می‌کرد تا میزان آمونیاک موجود در پساب‌هایش را به میانگین mg/l ۸/۱ تا mg/l ۵ برساند. اعمال چنین هزینه‌هایی به شهری که کاملا امکان استفاده از سیستم‌های طبیعی تصفیه پساب را دارد اجحاف به نظر می‌رسد.

6. buffer

فیلترهای سنگی - گیاهی

آنچه آموخته‌ایم

مطالعات اولیه در مقیاس کوچک که در آزمایشگاه‌های ناسا انجام می‌شد نتایج عالی به دنبال داشت، اما اجرای آنها در مقیاس شهری اشکال‌هایی را نیز به دنبال داشت. از یک سو رشد زیاد جلبک‌ها در حوضچه‌ها باعث گرفتگی فیلترهای سنگی می‌شد و از سوی دیگر جلبک‌ها و آشغال‌ها در میان سنگ‌های کوچک فیلترها گیر می‌کردند و همه این‌ها موجب جمع شدن پساب و سرریز کردن آن‌ها می‌شد. مشکل دیگر افزایش حجم پساب و نحوه جریان یافتن آن بود. مطالعاتی که درباره فیلترهای در حال بهره‌برداری صورت گرفت نشان داد که پس از یک سال کار، میزان آمونیاک موجود در پساب خروجی آنها افزایش می‌یابد.

با استفاده از سنگ‌های بزرگتر مشکل گرفتگی فیلترها برطرف شد، اما مشکل افزایش آمونیاک هم‌چنان ادامه داشت. بررسی‌های بیشتر نشان داد که دلیل موفقیت کامل مدل‌های آزمایشی ناسا در تجزیه آمونیاک موجود در پساب، عمق کم پساب تقریبا (۱۸ سانتی‌متر) بوده است. این عمق کم امکان رسیدن ریشه گیاهان را به بخش تحتانی فیلتر فراهم می‌ساخت. گیاهان آبزی بر خلاف گیاهان خشکی می‌توانند اکسیژن را به ریشه‌های خود بفرستند و به همین دلیل اکسیژن کافی برای تجزیه آمونیاک در عمق آب برایشان وجود دارد. اما در سیستم‌های بزرگ که عمق فیلترهای سنگی - گیاهی بیشتر است امکان زدودن آمونیاک از بین می‌رود.

آنچه که درباره فناوری‌های دیگر هم شاهد بوده‌ایم در اینجا اتفاق افتاد؛ بزرگ شدن سیستم نتایج پیش‌بینی نشده‌ای به دنبال داشت. تعدادی از اولین فیلترهای سنگی - گیاهی در مقیاس شهری در ایالت لوییزیانا ساخته شد، به همین دلیل این ایالت با بیشترین مشکلات ناشی از اجرای طرح در مقیاس بزرگ مواجه شد. اولین مشکل در سیستم فیلترهای سنگی - گیاهی در شهر دنهام اسپرینگ این ایالت رخ داد. بروز چنین مشکلاتی در این سیستم که در زمان خودش بزرگترین سیستم (تقریبا ۳۲/۴ هکتار حوضچه و ۶/۱ هکتار فیلتر سنگی - گیاهی) بود غیر منتظره نبود. از آن جایی که هزینه احداث سیستم را سازمان حفاظت محیط زیست از محل بودجه طرح‌های نو پرداخت کرده بود، بنابراین هزینه رفع اشکال‌های آن را نیز از همین محل بودجه پرداخت کردند.

برای از بردن آمونیاک، افزودن یک فیلتر سنگی - گیاهی دیگر با عمق کم که بتواند اکسیژن لازم را تامین کند پیشنهاد شد. البته می شد کارهای دیگری هم انجام شود، مانند استفاده از یک سیستم مکانیکی هوادهی پس از آخرین مرحله فیلتر سنگی - گیاهی.

سیستم های قدیمی هم نیاز به رفع اشکال و نو شدن داشتند تا بتوانند مطابق با استانداردهای جدید کار کنند. این سیستم‌ها، حتی با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به نو شدن آنها باز هم از سیستم‌های مکانیکی بیشتر مقرون به صرفه‌اند. استانداردهای دقیق تر و بالا رفتن هزینه‌های تامین سنگ‌هایی که برای ساخت این فیلترها لازم است، استفاده از سیستم‌های سنگی - گیاهی را تنها در مقیاس کوچک ممکن می‌سازد. فیلترهای سنگی - گیاهی سیستم مناسبی برای دفع زباله در مقیاس کوچک محلی است. استفاده از سپتیک تانک و در ادامه آن فیلتر سنگی - گیاهی امکان تصفیه پساب و حتی تجزیه آمونیاک را فراهم می‌آورد. در حال حاضر در سیستم‌های بزرگ شهری هم از واحدهای رو باز تصفیه استفاده می شود.

پیکایون، می‌سی‌سی‌پی

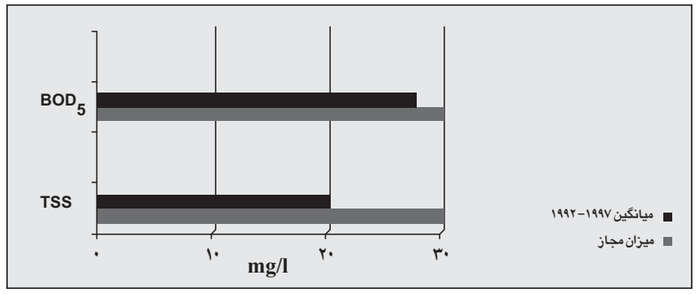
شهر پیکایون تقریبا ۱۴،۰۰۰ نفر جمعیت دارد و در جنوب غربی ایالت می‌سی‌سی‌پی قرار دارد. در سال ۱۹۹۱، این شهر از یک شرکت مهندس مشاور درخواست کرد برای رفع مشکل جمع‌آوری پساب‌های شهری و جلوگیری از جریان یافتن و نفوذ آن طرحی به همراه آنالیز هزینه‌هایی که در بردارد تهیه کند. شرکت یاد شده مشکلات را شناسایی کرد و هزینه رفع آنها را ۱۱،۵۸۱،۲۲۰ دلار برآورد کرد. در این طرح هزینه‌های بازسازی یا جایگزینی سیستم تصفیه پساب فرسوده ۲۴ ساله شهر برآورد نشده بود. به دلیل هزینه زیاد رفع اشکال سیستم تصفیه مکانیکی برای دریافت آب باران، شهر تصمیم گرفت از سیستم تصفیه طبیعی علفزارهای مردابی استفاده کند تا قابلیت پذیرش آب‌های سطحی هنگام باران‌های سیل آسا را نیز داشته باشد. مسئولیت این کار را شرکت مهندسی وولورتون به عهده گرفت.

برای این منظور یک حوضچه ۲/۸ هکتاری برای جمع‌آوری و تجزیه بخش جامد آن در نظر گرفته شد. از دستگاه‌های شناور هواده هم برای کاهش میزان BOD پساب پیش از ورود به مرداب ۶ هکتاری استفاده شد تا مرحله دوم تصفیه را (BOD_5 و TSS به میزان ۳۰mg/l یا کمتر) انجام دهد. در سال ۱۹۹۲ ساخت علفزار مردابی بدون احتساب دستگاه‌های هواده با هزینه

۲۵۳،۰۰۰ دلار پایان یافت.

متاسفانه در اکتبر ۱۹۹۲ حجم زیاد پسماندهای چوب با غلظت فراوان پنتاکلروفنل در سیستم تصفیه پساب پدیدار شد. این ماده برای میکروب‌ها و گیاهان بسیار سمی است. در نتیجه آن گیاهان آبزی و میکروب‌های موجود در حوضچه و مرداب موقتا نابود شدند. میکروب‌هایی که می‌توانستند این شرایط را تحمل کنند در آزمایشگاه تولید شدند و دستگاه‌های هواده بیشتری به سیستم اضافه شد و سیستم توانایی تصفیه خود را باز یافت. به این ترتیب مرداب تصفیه‌کننده از ورود این ماده شیمیایی به شدت مسموم کننده در رودخانه‌ای که پساب نهایتا به آن سرازیر می‌شد جلوگیری کرد. شهر به تازگی دستگاه‌های هواده را با دمنده جایگزین کرده است. سیستم تصفیه پساب پیکایون یکی از کوچکترین سیستم‌های گیاهی - مردابی است که می‌تواند حجم زیادی پساب (۷۵۷۵ تا ۱۵،۱۵۱ مترمکعب) را در روز تصفیه کند. اگر چه سیستم موجود توانسته است استاندارد مجاز در تصفیه پساب‌ها را رعایت کند، اما طی پنج سال اخیر شهر گسترش سریع و توسعه زیادی داشته است. به همین دلیل فیلتر گیاهی - مردابی شهر باید در آینده نزدیک توسعه یابد تا قابلیت پاسخگویی به این گسترش را داشته باشد.

پیکایون، می سی سی پی، میانگین ۵ ساله

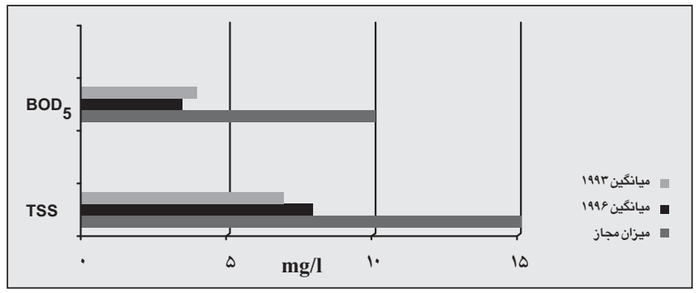


دلکامبر، لوییزیانا

در سال ۱۹۹۲ شهر دلکامبر سیستم تصفیه مکانیکی قدیمی خود را با سیستم تصفیه به کمک گیاهان آبزی که می‌تواند روزانه ۱۸۹۴ مترمکعب پساب را تصفیه کند جایگزین کرد. این سیستم شامل یک حوضچه نوسانی ۴ هکتاری بدون هوادهی است که در امتداد آن یک مرداب ۲/۶

هکتاری سطحی قرار دارد تا پساب مرحله دوم روی آن به جریان بیفتد. این سیستم در ژانویه ۱۹۹۳ راه‌اندازی شد، تا کنون BOD_5 پساب‌ها را تا ۵ mg/l و کمتر کاهش داده است. با این که سیستم تصفیه دلکامبر برای کاهش میزان آمونیاک طراحی نشده بود، اما تاکنون توانسته است سطح آمونیاک پساب‌ها را کمتراز ۴ mg/l نگه دارد.

دلکامبر، لوییزیانا: نمودار مقایسه‌ای



کارتاژ، می‌سی‌سی‌پی

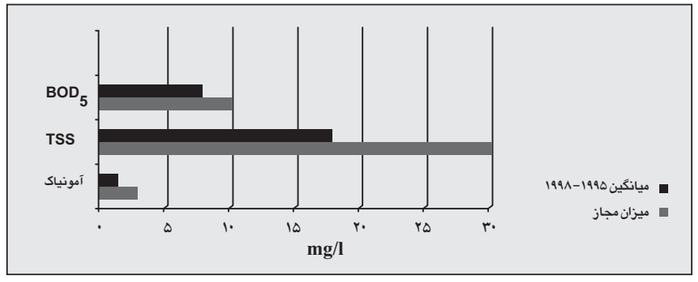
کارتاژ، شهری با ۴۰۰۰ نفر جمعیت، مانند بسیاری شهرهای کوچک دیگر با محدودیت‌های جدیدی از سوی سازمان NPDES برای تصفیه پساب‌هایشان مواجه بودند. در سال ۱۹۹۱ سازمان کیفیت محیط زیست می‌سی‌سی‌پی مقررات سختی را برای پساب‌های خروجی شهرها اعمال کرد. به موجب قانون جدید میزان مجاز مواد موجود در پساب‌ها به این شرح بود: BOD_5 ۱۰-۴۵ mg/l، TSS ۳۰-۹۵ mg/l و ۲ mg/l یا کمتر آمونیاک. برای رسیدن به این استاندارد تغییرات زیادی باید در سیستم تصفیه پساب شهر داده می‌شد. برای بررسی روش‌های ممکن برای تامین این استاندارد و هزینه‌هایی که در برداشت با یک شرکت مهندس مشاور قرار داد بسته شد. نتیجه مطالعات پرداخت ۱/۸ میلیون دلار برای احداث یک سیستم مکانیکی جدید تصفیه و سالانه ۲۰۰،۰۰۰ دلار هزینه نگهداری آن بود. این همان شرکت مهندس مشاوری بود که به شهر یونیون می‌سی‌سی‌پی هم پیشنهاد مشابهی داده بود.

مسولان شهر کارتاژ همان کاری را انجام دادند که شهر یونیون انجام داد. آنها تصمیم گرفتند از سیستم ارزان‌تر فیلترهای سنگی - گیاهی استفاده کنند. با اتخاذ این تصمیم مسولان

شهری برای احداث این سیستم تصفیه تحت فشارهای زیادی قرار گرفتند. خوشبختانه خانم شهردار، زنی سرسخت و یکی از اعضاء قدیمی و مورد اعتماد شورای شهر بر احداث سیستم ارزان‌تر تاکید کردند، زیرا شهر توان پرداخت هزینه‌های بیشتر را نداشت. در پایان شهردار پیروز شد و احداث یک مرداب در امتداد حوضچه اولیه جمع‌آوری پساب تصویب شد. براساس اطلاعاتی که از شهرداری کارتاژ دریافت شده است هزینه احداث مرداب ۶۰۰،۰۰۰ دلار و هزینه نگهداری آن سالانه ۱۰،۰۰۰ دلار می‌شد. بسیاری شهرهای کوچک دیگر در ایالت‌های ارگان، کنتاکی و اکلاهما هم که از پیشنهادهای اداره‌های کنترل آلودگی آب و شرکت‌های مهندسی مشاور نگران شده بودند به استفاده از فیلترهای طبیعتی مردابی روی آوردند.

باید توجه داشت که شهر کارتاژ یک حوضچه قدیمی برای تصفیه پساب و زمین کافی در اطراف آن برای احداث تاسیسات جدید در اختیار داشت. به همین دلیل یک سیستم فیلتر بزرگ‌تر که امکان افزایش سطح تماس با هوا را داشت برای آن در نظر گرفته شد تا از هزینه مصرف انرژی بکاهد. اگر زمین کافی برای این منظور در اختیار نبود باید از مساحت حوضچه کاسته می‌شد و تجهیزات هوادهی به آن افزوده می‌شد.

کارتاژ، می سی سی پی، میانگین: ۳ ساله



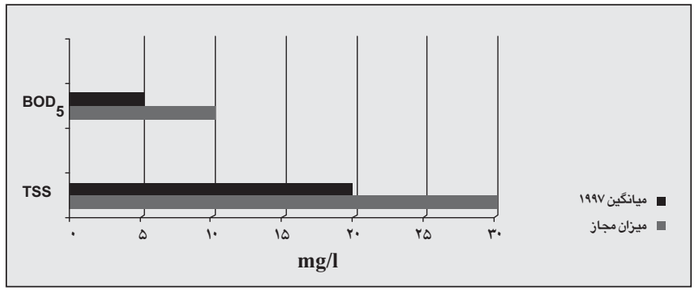
دکالب، می‌سی‌سی‌پی

شهر کوچک دکالب با جمعیت ۱۳۰۰ نفری در شرق و مرکز ایالت می‌سی‌سی‌پی قرار دارد. مشهورترین ساکن این شهر سناتور جان سی. استنیس است که در سال ۱۹۹۵ در سن ۹۴ سالگی درگذشت. استنیس ۴۲ سال در سنای آمریکا خدمت کرد و از نظر طول مدت حضور در سنا دومین

نفر در تاریخ آمریکا است. به دلیل خدمات ارزنده او، ناسا نام آزمایشگاه‌های ملی فناوری فضایی‌اش را در سال ۱۹۸۸ به نام او تغییر داد. یکی از اولین نمونه‌های تصفیه طبیعی پساب به کمک گیاهان در این شهر توسط ناسا به اجرا درآمد. سیستم تصفیه پساب شهر دکالب در سال ۱۹۶۲ در آبگیری به مساحت ۱/۸ هکتار ساخته شد. در سال ۱۹۸۹ دو فیلتر ماسه‌ای به این سیستم افزوده شد تا پاسخگوی استانداردهای جدید محیط زیست باشد. متاسفانه فیلترهای ماسه‌ای نتوانستند این استانداردها را تامین کنند. رشد زیاد جلبک‌ها در آبگیر باعث گرفتگی فیلترهای ماسه‌ای و سرریز کردن پساب‌ها شد. پساب خروجی از فیلترها هم پر از جلبک بود. سیستم جمع‌آوری پساب‌ها هم به شدت با مشکل جریان یافتن پساب‌ها و نفوذ کردن آن‌ها مواجه بود. طی چندین سال مشکلات اخیر باعث افزایش رسوبات کف آبگیر و در نتیجه کاهش زمان توقف پساب‌های ورودی در آبگیر می‌شد.

باید برای حل این مشکلات چاره‌اندیشی می‌شد تا مقررات جدید سازمان‌های نظارتی که میزان مجاز آلاینده‌ها را در حد BOD_5 ۱۰ mg/l یا کمتر و TSS ۳۰ mg/l یا کمتر اعلام کرده بودند، رعایت شود. برای این منظور از شرکت وولورتون دعوت شد تا با احداث علفزارهای مردابی این مشکل را برطرف کند. رسوبات کف آبگیر برداشته شد و برای از بین بردن BOD_5 و بوی پساب سیستم‌های هواده سطحی نصب شد. فیلتر مردابی به مساحت ۴/۹ هکتار که در آن گیاهان لویی، عدسک‌آبی و بولراش کاشته شده بود جایگزین فیلترهای ماسه‌ای شد. هزینه ساخت این سیستم جدید ۲۴۰،۰۰۰ دلار شد. این سیستم از اواسط سال ۱۹۹۶ با هزینه نگهداری ۵۰۰۰ دلار در سال به بهره‌برداری رسید و از آن پس تاکنون حاصل عملکرد آن منطبق بر استانداردهای زیست‌محیطی بوده است.

▼ دکالب، می سی سی پی، ۱۹۹۷



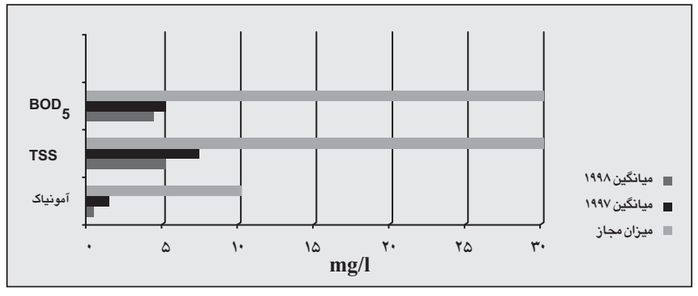
والنات کاو، کارولینای شمالی

والنات کاو شهر کوچکی با جمعیت ۲۰۰۰ نفر است و در شمال غربی ایالت کارولینای شمالی قرار دارد. چون حد مجاز استاندارد تعیین شده برای پساب مرحله دوم در تصفیه پساب این شهر حاصل نمی‌شد، به همین دلیل باید حوضچه تصفیه‌اش اصلاح یا این که سیستم مکانیکی جدیدی در این شهر احداث می‌شد. برای پاسخگویی به رشد سریع شهر باید سیستمی که بتواند دو برابر ظرفیت پساب موجود یعنی ۱۸۹۴ مترمکعب را در روز تصفیه کند احداث می‌شد. شرکت مهندس مشاور شهر احداث یک سیستم مکانیکی جدید با هزینه ۲/۵ میلیون دلاری را پیشنهاد کرد. مسولان شهری در شرف امضای قرارداد برای خرید سیستم مکانیکی بودند که با روش‌های ارزان قیمت طبیعی «میکرو آگرو» ساخت شرکت خدمات زیست‌محیطی وولورتون آشنا شدند. این سیستم ساده باعث شد که شهر مبلغ تقریبا دو میلیون دلار در مرحله نصب و میلیون‌ها دلار دیگر برای نگهداری در طول زمان بهره‌برداری صرفه‌جویی کند.

سیستم تصفیه پساب سنگی - گیاهی والنات کاو

پس از مشاوره با مقامات ایالتی، شهر تصمیم گرفت حوضچه تصفیه اولیه پساب شهر را با افزودن فیلتری از گیاهان آبزی به مساحت ۴ هکتار اصلاح کند. طبق دستور سازمان محیط زیست،

▼ والنات کاو، کارولینای شمالی، نمودار مقایسه‌ای



منابع طبیعی و بهداشت کارولینای شمالی باید بستری که گیاهان آبزی برآن می‌رویند عایق‌سازی می‌شد تا از آلودگی آب‌های زیرزمینی جلوگیری شود. پیشنهاد آنها با استفاده از عایق‌سازهای بنتونیت ژئوکامپوزیت[7] به اجرا در آمد و در سال ۱۹۹۵ مورد تایید سازمان قرار گرفت. با وجودی که افزودن این لایه عایق‌بندی هزینه طرح را دو برابر افزایش داد باز هم سقف هزینه از ۶۰۰،۰۰۰ دلار بالاتر نرفت. این سیستم از سال ۱۹۹۶ فعال است.

آن طور که نتایج دو سال کار فیلتر میکروآگرو نشان می‌دهد گیاهان آبزی پساب‌ها را بسیار بیشتر از آنچه انتظار می‌رفت تصفیه کرده‌اند. در ماه می ۱۹۹۷ این سیستم مورد آزمایش بسیار سنگینی قرار گرفت. در اثر یک طوفان شدید علفزار آبی زیر آب رفت، اما آلاینده‌های پساب خروجی از آن باز هم بسیار کمتر از میزان مجاز بود.

عدسک آبی

عدسک آبی[8] گیاهی آوندی و شناور است که گسترش جهانی دارد و در فیلتر میکروآگرو نیز از آن استفاده شده است. چهار جنس از این گونه گیاهی شناسایی شده است[9]. عدسک آبی به دلیل تولید مثل و رشد سریع اش شهرت دارد. این گیاه به صورت گروهی رشد می‌کند و پوششی شناور را روی سطح آب ایجاد می‌کند. در صورت وجود شرایط مناسب یک توده عدسک آبی می‌تواند هر دو یا سه روز دو برابر رشد کند. برخی از گونه‌های عدسک آبی می‌توانند در آب و هوای بسیار سرد نیز زندگی کنند، اما حداقل دمای لازم برای رشد آن $18^{\circ}C$ - $3/4^{\circ}C$ است. مناسب‌ترین دما برای رشد این گیاه $30/2^{\circ}C$ - $20^{\circ}C$ است.

زمانی که سرما شرایط را برای رشد نامساعد می‌کند، بسیاری از گونه‌های عدسک آبی تا زمانی که دما مساعد شود به حالت خواب می‌روند. گاهی اوقات برخی از گونه‌های مقاوم‌تر در این شرایط ممکن است دانه، برگ‌های بادبزنی یا جوانه‌های غیرفعال تولید کنند. این اندام‌های گیاه به عمق آب فرو می‌روند تا شرایط مناسب به وجود آید. جوانه‌زدن گیاه با تولید حباب‌های هوا در بافت‌های گیاه آغاز می‌شود. حباب‌های هوا جوانه‌ها را روی سطح آب شناور می‌کنند و

7. Bentonite Geoccmposite Liner
8. *Lemnaceae sp*
9. *Spirodela, Lemna, Wolffia, Wolffiella*

امکان رشد برگ‌های بادبزنی را برای گیاه فراهم می‌کند. بهترین محیط رشد برای عدسک آبی پسابی است که آمونیاک آن زیاد باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که آمونیاک یکی از اولین موادی است که توسط عدسک آبی از بین می‌رود.

دکتر سعید در دانشگاه ایالتی لوییزیانا رشد عدسک آبی را در چهار فصل رشد پی در پی (هر یک ۹-۱۰ ماه) در منطقه جنوب آمریکا بررسی کرد. وزن خشک این گیاه در سال در صورتی که در پساب رشد کرده باشد تقریبا ۱۷،۸۱۳ کیلوگرم در ۰/۴ هکتار بود. نسبت مواد مختلف در این گیاه عبارت بود از: تقریبا ۶٪ ازت، ۲٪ پتاسیم، ۱٪ کلسیم، ۱٪ فسفر، ۱٪ کلر، ۰/۸٪ منگنز، ۰/۸٪ گوگرد و ۴۵-۳۵٪ پروتیین. بدون تردید این درصد به نسبت مواد موجود در پسابی که عدسک در آن رشد کرده، متغیر است.

۰/۴ هکتار عدسک آبی می تواند در سال تقریبا ۱،۰۶۹ کیلوگرم ازت، ۱۷۸ کیلوگرم فسفر، ۳۵۶ کیلوگرم پتاسیم، ۱۷۸ کیلوگرم کلر را در مناطق جنوب آمریکا از پساب‌ها جدا کند. تقریبا ۶،۸۱۸ کیلوگرم از مواد پروتیینی با ارزش را می توان از ۰/۴ هکتار عدسک آبی که در پساب فضولات حیوانی، مرغداری‌ها، کشتارگاه‌ها و پساب‌های شهری رشد کرده است به دست آورد.

مطالعات دکتر روسوف در دانشگاه ایالتی لوییزیانا نشان داد که گوساله‌های نژاد هول‌اشتاین که ۱۵۰- ۳۰۰ کیلوگرم وزن دارند با رژیم غذایی که ۶۷٪ وزن خشک آن را عدسک آبی تشکیل می‌داد (یعنی ۳۷٪ مواد پروتیینی) و ۳۳٪ دیگر را پسماندهای گیاه ذرت، نسبت به زمانی که فقط از پسماندهای گیاه ذرت استفاده می‌شد ۱۰۰٪ رشد بیشتری داشتند. مرغ‌هایی که در رژیم غذایشان ۹۵٪ یونجه و ۵٪ عدسک آبی خشک‌شده (یعنی ۴۰٪ مواد پروتیینی) دارد، ۱۰٪ بیشتر از آنهایی که فقط یونجه می‌خوردند رشد کردند. پژوهش‌هایی که در این زمینه در آلمان صورت گرفت نیز نشان داد که خوک‌هایی که روزانه حدود نیم کیلوگرم عدسک آبی در رژیم غذایی‌اشان وجود دارد ۲۰٪ بیشتر از آنهایی که این گیاه در رژیم غذایی‌اشان وجود ندارد رشد می‌کنند. این‌ها فقط نمونه‌های معدودی از پژوهش‌های انجام شده درباره عدسک آبی در ۳۰ سال گذشته بوده است.

جدول صفحه بعد کیفیت مواد پروتیینی موجود در وزن خشک عدسک‌آبی که در پساب‌های شهری رشد می‌کنند را نشان می‌دهد. ویتامین‌ها و کانی‌ها و مواد دیگری که در وزن خشک عدسک‌آبی وجود دارد نیز در جدول‌های بعدی ارائه داده شده است.

بررسی مقایسه‌ای عدسک آبی خشک شده که با پساب شهری رشد کرده و گیاه سویا (ارزش پروتیینی)

اسیدهای آمینه گرم/۱۰۰ گرم پروتیین	عدسک آبی	سویا
آرژنین	۷/۹۹	۷/۳۰
هیستادین	۲/۰۵	۲/۹۰
ایزولوسین	۴/۶۵	۶/۰۰
لوسین	۸/۸۹	۸/۰۰
لیسین	۶/۴۴	۶/۸۰
متاینیین	۲/۱۶	۱/۷۰
فنیل آلانین	۵/۶۹	۵/۳۰
تریونین	۴/۶۱	۳/۹۰
تریپتوفین	۲/۱۰	۱/۴۰
والین	۵/۸۲	۵/۳۰

مواد موجود در عدسک آبی رشد یافته در پساب شهری

درصد وزن خشک	مواد تشکیل دهنده
۳۷/۱۰	پروتئین ناخالص
۳/۴۰	چربی
۱۵/۶۰	فیبر
۱۲/۵۰	خاکستر
۴۷/۰۰	کل مواد نشاسته‌ای (هیدرو کربن)

با اجازه از مرکز تحقیقات ناسا در استنیس

جدول ویتامین‌های موجود در عدسک آبی رشد یافته در پساب شهری

ویتامین‌ها	میزان (mg) در هر ۱۰۰ گرم وزن خشک
ریبوفلاوین	۲/۶۴
تیامین	۱/۳۸
ب-۱۲	۵۳/۰۰
پروکسیدین	۰/۸۸۲
نیاسین	۱۳/۰۰
C	۴/۹۰
E	۶/۹۰
اسید پنتوتنیک	۵/۵۰

مواد کانی موجود در عدسک آبی رشد یافته در پساب شهری

ویتامین‌ها	میزان (mg) در هر ۱۰۰ گرم وزن خشک
نیتروژن	۵/۹۴
فسفر	۱/۰۱
پتاسیم	۲/۱۳
سدیم	۰/۷۴
کلسیم	۰/۸۸
مس	۱/۴۱
روی	۱۸/۹۰
آهن	۱۴۵/۰۰
گوگرد	۰/۸۵

عدسک آبی همچنین می تواند مواد شیمیایی و فلزات سنگین را از پساب‌ها جدا کند. به همین دلیل پیش از این که عدسک آبی که با پساب رشد کرده به دام‌ها داده شود یا از این پساب‌ها به عنوان کود گیاهی استفاده شود باید ترکیبات موجود در آن دقیقا آزمایش شود. گیاهانی که با پساب کارخانه‌ها رشد می‌کنند باید جداگانه جمع‌آوری و نابود شوند تا از انتقال آلودگی به موجودات دیگر و آلوده کردن آنها جلوگیری شود.

پشه

در سیستم‌های زیرسطحی تصفیه پساب، پساب معمولا در معرض مستقیم هوا قرار نمی‌گیرد. به همین دلیل مشکلی از بابت پشه وجود نخواهد داشت. سیستم‌هایی که در آن جریان روباز پساب وجود دارد معمولا در مناطق دور از دسترس و با فاصله از مناطق مسکونی و تجاری ساخته

می‌شوند، مکان‌هایی که قیمت زمین آنها ارزان است، مانند نقاط نزدیک مرداب‌ها و برکه‌ها که رشد و وجود پشه مشکلی به وجود نمی‌آورد.

سیستم تصفیه پساب به کمک گیاهان در پیکایون می‌سی‌سی‌پی نزدیک یک منطقه مسکونی قرار دارد، با این حال طی ده سال گذشته که این سیستم در آنجا راه‌اندازی شده است مشکلی از بابت پشه در این منطقه مشاهده نشده است. چنانچه این سیستم‌ها از این لحاظ ایجاد مشکل کنند باید برای کنترل جمعیت نوزاد پشه‌ها (لارو) اقدام شود. در این صورت از ماهی پشه‌خوار[10] استفاده می‌شود. این ماهی‌کوچک اشتهای فراوانی برای نوزاد پشه دارد و به همین دلیل جمعیت آنها را کنترل می‌کند.

نگهداری

از سیستم تصفیه گیاهی برای تصفیه مرحله دوم، می‌توان سال‌ها استفاده کرد بدون این که نیازی به بریدن گیاهان باشد. تجربه این واقعیت را درباره بولراش‌هایی که در کانال‌های کم‌عمق انتهایی کاشته می‌شوند اثبات کرده است. اما برای انطباق با استاندارد سخت‌تری که درباره میزان آمونیاک و BOD_5 در پساب‌های تصفیه اعمال شده است، باید گیاهان مرده در بخش پایانی کانال‌ها سوزانده یا بریده شوند. بهتر است که این کار هر چندگاهی، به صورت منظم در مورد گیاهانی که در فصل زمستان می‌میرند انجام شود. آمونیاک و BOD_5 نسبت به مواد گیاهی در حال فساد حساس هستند، بنابراین مطالعه مداوم برای کنترل از بین بردن گیاهان مرده ضروری است.

در کانال‌های عمیق‌تر اگر عدسک آبی به صورت یک لایه ضخیم روی سطح آب را گرفت برداشتن بخش‌هایی از آن ضروری است. برای رفع این مشکل جریان دادن مقدار کمی آب معمولی در کانال‌هایی که عدسک‌آبی در آنها روییده است راه حل مناسبی است. عدسک آبی سرشار از مواد غذایی آلی است. اجازه دادن به عموم برای برداشتن مقداری از این گیاه در فصل تابستان برای کاشتن در باغچه‌هایشان به کاهش جمعیت آن و باز شدن بخش پایانی کانال‌ها کمک می‌کند.

سیستم‌های تصفیه گیاهی برای پساب‌های شهری، معمولا حوضچه‌هایی برای

10. Gambuzia

جمع‌آوری لجن پساب اولیه دارند. شرایط بی‌هوازی کف حوضچه تولید سولفیدهایی می‌کند که با فلزات سنگینی که ممکن است در پساب‌های شهری وجود داشته باشد ترکیب می‌شوند و رسوب می‌دهند. این ترکیبات سولفیدی در کف حوضچه همراه با لجن رسوب می‌کند. به همین دلیل گیاهانی که با پساب‌های شهری رشد کرده‌اند، احتمالا نباید حاوی فلزات سنگین باشند و می‌توان آنها را خشک کرد و به عنوان کود و غذای حیوانی استفاده کرد.

مروری بر آنچه گفته شد

صدها سیستم تصفیه پساب در جهان وجود دارد که از گیاهان آبزی استفاده می‌کنند. بسیاری دیگر در مرحله طراحی یا در دست احداث هستند، مانند نمونه‌هایی که در شهرهای کوچک داج‌سیتی، هارپلند و لیسمن در ایالت آلاباما در دست احداث‌اند. نمونه‌هایی که در این فصل مطرح شدند فقط به منظور معرفی روند شکل‌گیری و نحوه استفاده از آن‌ها بوده است. با هر پیشرفتی که در فناوری صورت می‌گیرد طبیعی است که سیستم‌های موجود بهینه شوند. از مطالعات آزمایشگاهی سیستم‌های شهری کاملا فعال نتیجه‌های بسیار شگفت‌آوری حاصل شده است؛ برخی بسیار موفق بوده و برخی هم نیاز به تغییرات داشته‌اند. بیست و پنج سال تجربه در به کارگیری این سیستم‌ها دستاوردهای ارزشمندی را به دنبال داشته‌اند که در ساخت سیستم‌های جدیدتر بسیار راهگشا هستند.

طراحی این سیستم‌ها بسیار قابل انعطاف هستند تا بتوانند استانداردهایی را که سازمان‌های ناظر اعلام می‌کنند پاسخ بدهند. در صورتی که فقط زمین کمی در اختیار باشد از علفزارهای مردابی استفاده می‌شود تا به همراه هوادهی مکانیکی تصفیه قابل قبول و استاندارد صورت گیرد. معمولا ۱۲ هکتار زمین برای تصفیه کامل روزانه ۳،۷۸۸ مترمکعب پساب لازم است. با استفاده از سیستم‌های هوادهی و برای تصفیه درجه دو، ۷۵۷۶ مترمکعب پساب در روز فقط ۹ هکتار زمین نیاز است، مشابه سیستمی که در پیکایون می‌سی‌سی‌پی احداث شده است.

چند دهه پس از به کارگیری سیستم‌های تصفیه علفزار مردابی منافع مادی دیگری هم به دست می‌آید. این سیستم‌ها علاوه بر تصفیه پساب‌های شهری مقدار بسیار زیادی هم توده‌های گیاهی به وجود می‌آورند. گیاهانی مانند عدسک‌آبی که قابلیت خشک کردن و استفاده به جای کود و غذای دام دارند. بزودی شهرداری‌ها می‌آموزند که سیستم‌های طبیعی تصفیه پساب علاوه

بر هزینه بسیار کمتری که نسبت به سیستم‌های مکانیکی دارند می توانند منابع درآمد هم باشند. فشارهای اقتصادی موجب به کارگیری بیشتر این سیستم‌های طبیعی خواهد شد و بالاخره شهرهای کوچک تحت فشارهای مالی با آگاهی از درآمدی که این سیستم می توانند به همراه داشته باشند به استفاده از آنها ترغیب می شوند.

منابع

1. Dudley, D. D., Jr., E. Rejmankova, J. Kvet and J. B. Frye. "Production, Chemical Quality and Use of Duckweed (Lemnaceae) in Aquaculture, Waste Management and Animal Feeds," J. W. Avault, Jr. (ed.) *Journal of the World Mariculture Society* Vol. 12(2): 27-146.
2. NASA - John C. Stennis Space Center, MS. Wastewater Quality Monitoring Data, 1976-1996.
3. Reddy, K. R. and W. H. Smith (eds.). *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*. Magnolia Publishing Co., Orlando, FL, 1987.
4. Rusoff, L. L., E. W. Blakeney, Jr. and D. D. Culley, Jr. "Duckweed *(Lemnaceae Family)*: A Potential Source of Protein and Amino Acids." Journal of Agriculture Food Chemistry, 1980, Vol. 28: 848-850.
5. Rusoff, L. L., S. P. Zeringue, A. S. Achacoso and D. D. Culley, *Jr. Journal of Dairy Science*, 1978, Vol. 61, Supplement 1, p. 186.
6. Sutton, D. L. and W. H. Ornes. "Phosphorus Removal from Static Sewage Effluent Using Duckweed," *Journal of Environmental Quality*, 1975, Vol. 4(3): 367-370.
7. Volk, W. A. Basic Microbiology. (7th Ed.) Harper Collins Publishers, Inc., New York, 1992.
8. Whitehead, A. J., K. U. Lo and N. R. Bulley. "The Effect of Hydraulic Retention Time and Duckweed Cropping Rate on Nutrient Removal from

Dairy Barn Wastewater," K. R. Reddy and W. H. Smith (eds.) *Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery*, Magnolia Publishing, Inc., Orlando, Florida. 1987,697-703.
9. Wolverton, B. C and R. C. McDonald. "Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plants," *Journal of Water Pollution Control Federation*, 51: 305-313.
10. Wolverton, B. C. and R. C. McDonald. "Wastewater Treatment Utilizing Water Hyacinths (Eichhornia crassipes) (Mart.) Solms," *Treatment and Disposal of Industrial Wastewaters and Residues*. Proceedings of the National Conference on Treatment and Disposal of Industrial Wastewaters and Residues, Houston, Texas, 1977, pp. 205-208.

فصل ششم

تصفیه پساب‌های صنعتی و کشاورزی

در حال حاضر حدود ۷۵،۰۰۰ ماده شیمیایی صنعتی وجود دارد و هر سال تعدادی زیادی ماده جدید ابداع می‌شود، در نتیجه میلیون‌ها تن مواد شیمیایی که معمولا سمی نیز هستند به خاک و آب‌ها راه می‌یابند. بسیاری از آلودگی‌های صنعتی ناشی از تصفیه ناقص نیست، بلکه به دلیل عدم تصفیه است. در سال ۱۹۹۰ سازمان حفاظت محیط زیست تعداد ۳۲،۶۴۵ منطقه دفع مواد شیمیایی را شناسایی کرد. برخی از این مکان‌ها بسیار خطرناک هستند. بسیاری از این مناطق مراکز تولید محصولات مختلف هستند که مقدار زیادی مواد شیمیایی را در محل رها کرده‌اند و آلوده‌ترین این مناطق در فهرست سازمان حفاظت محیط زیست به ترتیب فوریت پاکسازی آنها نام برده شده‌اند. در سال ۱۹۹۱ شورای ملی پژوهش اعلام کرد که از هر شش آمریکایی یک نفر در فاصله یک مایلی از این مناطق زندگی می‌کند.

سازمان حفاظت محیط زیست و موسسه‌های نظارتی دیگر، استانداردهای سخت‌تری برای گازها و پساب‌هایی که در هوا و آب تخلیه می‌شوند اعلام کرده‌اند. قانون «حق دانستن» به مردم اجازه دستیابی به اطلاعات بیشتر در باره مواد آلاینده‌ای که در محیط آزاد می‌شوند داده است. با این حال در سال ۱۹۹۴ حدود ۱/۲ میلیارد کیلوگرم سم‌های شیمیایی در محیط زیست تخلیه شد. ۸۰ میلیون کیلوگرم این مواد سرطان‌زا بوده‌اند.

زباله‌های خطرآفرین از منابع گوناگونی مانند محوطه‌های دفن زباله به محیط راه می‌یابند. تزریق زباله‌ها در چاه‌های عمیق، نشت پساب زباله‌های دفن شده و مخازن زیرزمینی ویژه زیرزمینی دفن زباله، سرریز کردن اتفاقی پساب‌ها، سیلاب‌ها و سرریز آب‌های کشاورزی و پساب های صنعتی موجب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود.

فعالیت‌های کشاورزی بیشترین سهم را در آلوده کردن آب دارند. سالانه هزاران تن نیتروژن و فسفات همراه با تقریبا ۱۶۰ میلیون تن پساب و کود دام و مرغ در آمریکا تولید می‌شود. امروزه تعداد مزارع در آمریکا حتی نسبت به دوران جنگ‌های داخلی کمتر است، اما این مزرعه‌ها پیوسته بزرگ و بزرگتر می‌شوند و در نتیجه غلظت پساب‌های کشاورزی در بعضی مناطق بسیار بیشتر شده است. در مزرعه‌های بزرگ استفاده از سم گسترش بیشتری یافته است، بسیار بیشتر از میزانی که یک خانواده کشاورز قبلا استفاده می‌کرد. تا سال ۱۹۹۰ تعداد ۵۰۴ حشره و ۲۷۳ گیاه هرز مقاوم در برابر سموم به وجود آمده است. ما تازه در آستانه درک این مساله هستیم که رفع مشکلات زیست‌محیطی با مواد شیمیایی ممکن نیست. به دلیل بالا رفتن آگاهی عموم و تمایل آنها به استفاده از محصولات فاقد مواد شیمیایی، مصرف حشره‌کش‌ها در حال کاهش است.

معمولا برای تصفیه پساب‌های صنعتی از سیستم‌های مکانیکی استفاده می‌شود. اما افزایش هزینه‌های نصب، بهره‌برداری و نگهداری این سیستم‌ها برای بسیاری از صنایع مقرون به صرفه نیست. علاوه بر این سیستم‌های مکانیکی معمولا نمی‌توانند مواد سمی آلی پساب‌ها را پیش از این که در آب‌های روان رها شوند کاملا حذف کنند. در کشاورزی برخلاف صنعت بیشتر از حوضچه‌ها و آبیاری بارانی استفاده می‌شود. سازمان‌های ناظر استانداردهای سخت‌تری برای مناطق با تراکم جمعیت زیاد اعلام کرده‌اند، اما نتایج بهتری به دست نیاورده‌اند.

کتاب‌های زیادی درباره آسیب‌هایی که تصفیه پساب‌های صنعتی و کشاورزی به روش مکانیکی به محیط زیست وارد می‌کنند نوشته شده است. در این جا روش دیگری که می‌تواند کاملا جایگزین روش‌های متداول تصفیه شود یا به صورت مکمل آنها عمل کند پیشنهاد شده است. فقط باید کمی وقت صرف کرد و توانایی پاکسازی طبیعت را مشاهده کرد، آن وقت متوجه می‌شویم که صنعت می‌تواند حتی برای سخت‌ترین مشکلات ناشی از آلودگی‌های زیست محیطی راه‌حل ارائه دهد.

مطالعات ناسا

بیش از ۲۵ سال پیش[1] دانشمندان ناسا در مرکز فضایی جان سی. استنیس نشان دادند که گیاهان آبزی و نیمه‌آبزی می توانند سموم شیمیایی صنعتی را از پساب‌ها حذف کنند. مطالعات آزمایشگاهی در باره فیلترهای سطحی و زیرسطحی که به منظور حذف تک تک مواد شیمیایی و مواد ترکیبی آلی شیمیایی از رودخانه‌ها و پساب شهری به کار گرفته شده بودند بسیار موفقیت‌آمیز بوده است. آب‌های آلوده به مواد شیمیایی از میان فیلترهای سنگی - گیاهی و فیلترهای سطحی که انواع گیاهان آبزی و نیمه‌آبزی در آنها کاشته شده بود عبور داده شدند. در بیشتر این مطالعات آب‌های آلوده به مدت ۲۴ ساعت با این گیاهان در تماس بودند. محیط آزمایش تشکیل شده بود از ناودان‌هایی که در آزمایشگاه تعبیه شده بودند و از نظر اندازه کاملا مشابه نمونه‌هایی بودند که در عمل برای تصفیه پساب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطالعات دیگری نیز برای حذف فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب، جیوه و نقره هم از محیط خاک و هم آب انجام شد. عناصری مانند کبالت، سزیوم و استرانتیوم هم با گیاهان خشکی و آبزی آزمایش شد.

تری کلرو اتیلن

سازمان حفاظت محیط زیست تری کلرو اتیلن (TCE) را که زمانی غیرسمی قلمداد می‌شد، ماده‌ای احتمالا سرطان‌زا اعلام کرده است. این ماده یک حلال شیمیایی است و موارد مصرف زیادی دارد، برای مثال از آن در زدودن چربی فلزات، جداسازی روغن‌ها و چربی‌ها، خشکشویی لباس‌ها، یخچال‌ها و مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. از این ماده هم‌چنین در لاک غلطگیری، پاک‌کننده رنگ و چسب، مواد لکه‌گیری و شستشوی فرش استفاده می‌شود. این ماده غیرقابل اشتعال است و باعث فرسایش فلزات حتی در مجاورت رطوبت، نمی‌شود؛ با حلال‌های مختلف آلی مخلوط می‌شود، اما قابلیت انحلال آن در آب کم است. تنفس شدید یا طولانی مدت TCE به دستگاه عصبی آسیب وارد می‌رساند. عوارض ناشی از تماس با این ماده عبارتند از: احساس خماری، سردرد، گیجی، احساس شادی زیاد، بی حسی موضعی صورت و ضعف. آسیب‌های دیگری نیز به دستگاه گوارش، کبد، کلیه و پوست وارد می سازد.

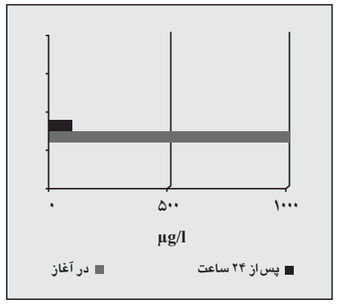
---

۱. ۶۸، تاریخ انتشار این کتاب سال ۲۰۰۱ بوده است. مترجم

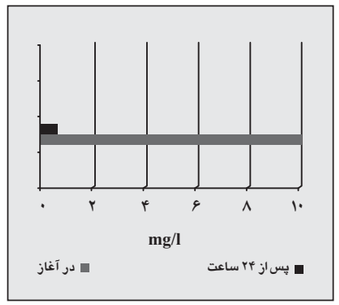
موسسه‌های دولتی، ارتش و کارخانه‌ها از TCE زیاد استفاده می‌کنند. ابتدا تصور بر این است که این ماده یک حلال کاملا بی خطر است و هنگام استفاده و دور ریختن آن دقت و توجه زیادی صورت نمی‌گیرد. به همین دلیل خاک تمام نقاط آمریکا، آلود به این حلال آلی است.

برای از بردن TCE می‌توان از سه روش ابتدایی: فیزیکی، شیمیایی و زیستی استفاده کرد. یکی از روش‌ها تهویه فیزیکی هوا و جذب است. با این روش این ماده از محیط کار خارج می‌شود و هوای بیرون را آلوده می‌کند. تهویه فیزیکی کار ساده‌ای است و مدت‌ها است که اعمال می‌شود. زدودن TCE از آب‌های زیرزمینی به این روش و آزاد کردن آن در جوزمین و محیط بسیار غیر مسئولانه است و دیگرکسی آن را تایید نمی‌کند. در روش تصفیه شیمیایی از مواد شیمیایی و کاتالیزورها برای اکسید کردن این ماده استفاده می‌شود. در این روش TCE به گاز کربنیک، آب و کلر تجزیه می‌شود، اما این روش بسیار پرهزینه است. روش‌های بیوشیمیایی به کمک میکروب‌ها می توانند آلاینده‌های آلی را تجزیه و تصفیه کنند. مطالعات نشان داده است که گیاهان می توانند این فرایند بیوشیمیایی را با ایجاد محیط زیستی مناسب در اطراف ریشه‌هایشان تسریع کنند. دانشمندان ناسا بیش از ده سال پیش نشان دادند که گیاهان در همزیستی با میکروب‌ها می توانند تجزیه مواد شیمیایی گوناگون از جمله TCE را سرعت بخشند. گیاهان پسماندهای آلی گوناگونی را با ریشه‌هایشان جذب می‌کنند. پس از جذب این مواد توسط ریشه‌ها بلافاصله از میزان سمی بودن آنها کاسته می‌شود یا کاملا تجزیه می‌شوند. بنابراین به کارگیری فرآیند زیستی موجود در گیاهان بهترین جایگزین و مقرون به صرفه‌ترین روش برای زدودن TCE از خاک و آب است.

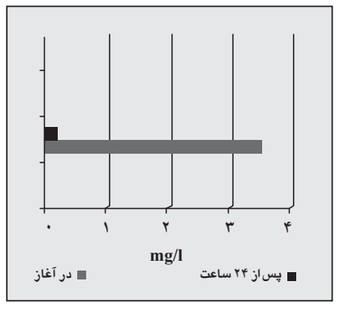
زدودن تری کلرواتیلن از پساب شهری با فیلتر سنگی - بولراش



زدودن تری کلرواتیلن از آب رودخانه با فیلتر سنگی - بولراش

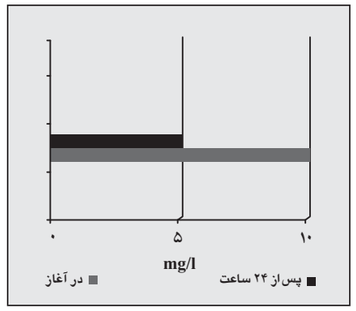


زدودن تری کلرواتیلن از پساب شهری با فیلتر سنگی - ارزن آبی



بَنزِن

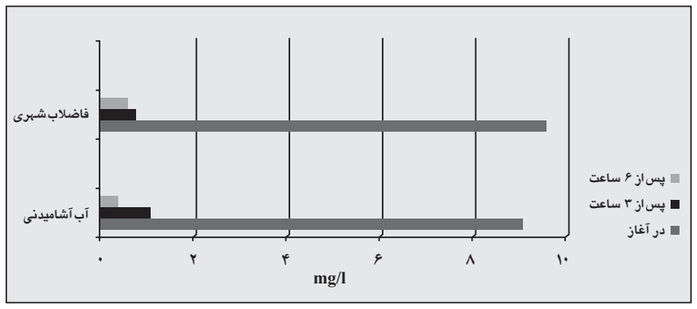
سازمان حفاظت محیط‌زیست بنزن را در اولین گروه مواد سرطان‌زا برای انسان قرار داده است. بنزن مایعی فرار، بی‌رنگ و به شدت آتش‌زا است و مقدار کمی از آن در آب حل می‌شود. از این ماده سال‌ها است در تولید استایرین، فنل، شوینده‌های صنعتی، رنگ، نایلون، حشره‌کش‌ها، مواد منفجره، رنگ‌های صنعتی، مواد دارویی و بسیاری محصولات دیگر استفاده می‌شود. از بنزن هم‌چنین برای استخراج روغن دانه‌های روغنی و بعضی روش‌های چاپ استفاده می‌شود. بنزن در گازهای حاصل از سوختن زغال‌سنگ و نفت، سوخت خودروها و بخار بنزین در پمپ بنزین‌ها و در حلال‌های صنعتی یافت می‌شود. این ماده در دود توتون و بنزین هم وجود دارد و یکی از آلاینده‌های اصلی هوا است. آب‌های آلوده به بنزن یکی از دلایل ابتلای انسان به سرطان است.



▲ زدودن بنزن از آب رودخانه با فیلتر سنگی ـ ارزن مردابی

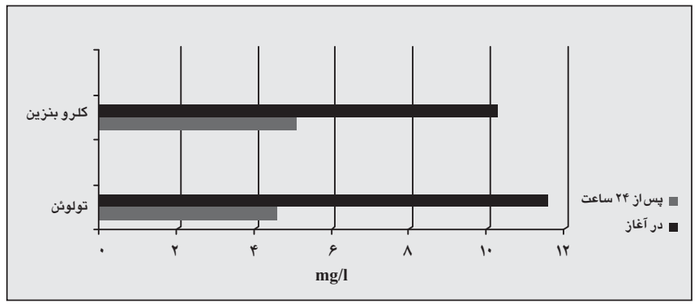
ناسا نشان داده است بنزن که یکی از مواد سمی آلی موجود در آب و خاک است توسط گیاهان از بین می‌رود. برای اطلاعات بیشتر درباره نقش گیاهان در از بین بردن بنزن به کتاب «**چگونه هوای تازه بکاریم**» نوشته بی. سی. وولورتون، چاپ گروه مهندسین مشاور ره‌شهر رجوع کنید.

▼ زدودن بنزن از آب‌های آلوده با فیلتر سنگی ـ نی

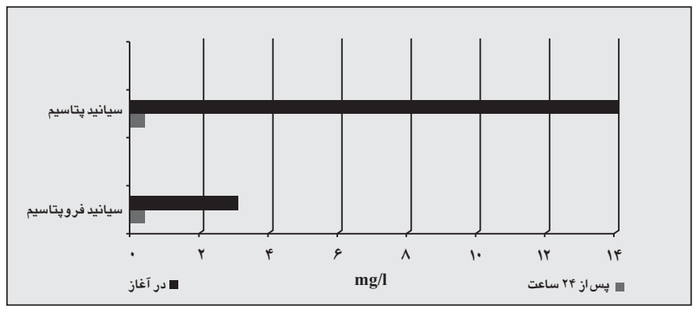


با استفاده از فیلترهای سنگی - گیاهی برای زدودن مواد شیمیایی گوناگون از آب رودخانه‌ها نتیجه زیر به دست آمده است.

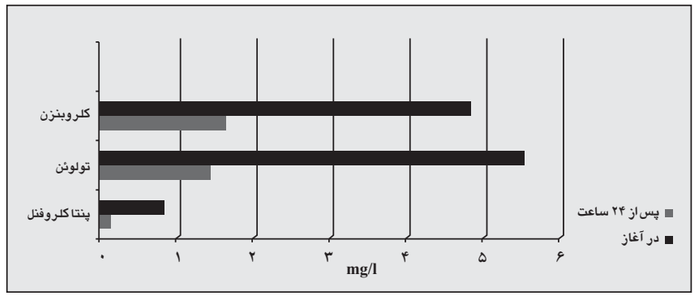
▼ زدودن مواد شیمیایی از آب رودخانه با فیلتر سنگی ـ بولراش



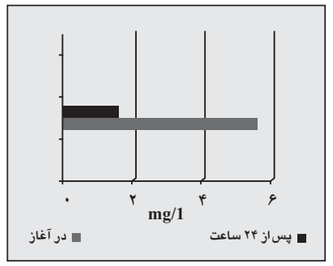
▼ زدودن سیانید از آب رودخانه فیلتر سنگی ـ بولراش



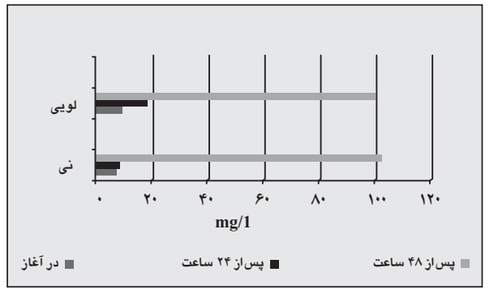
▼ زدودن مواد شیمیایی از آب رودخانه با فیلتر سنگی ـ ارزن مردابی



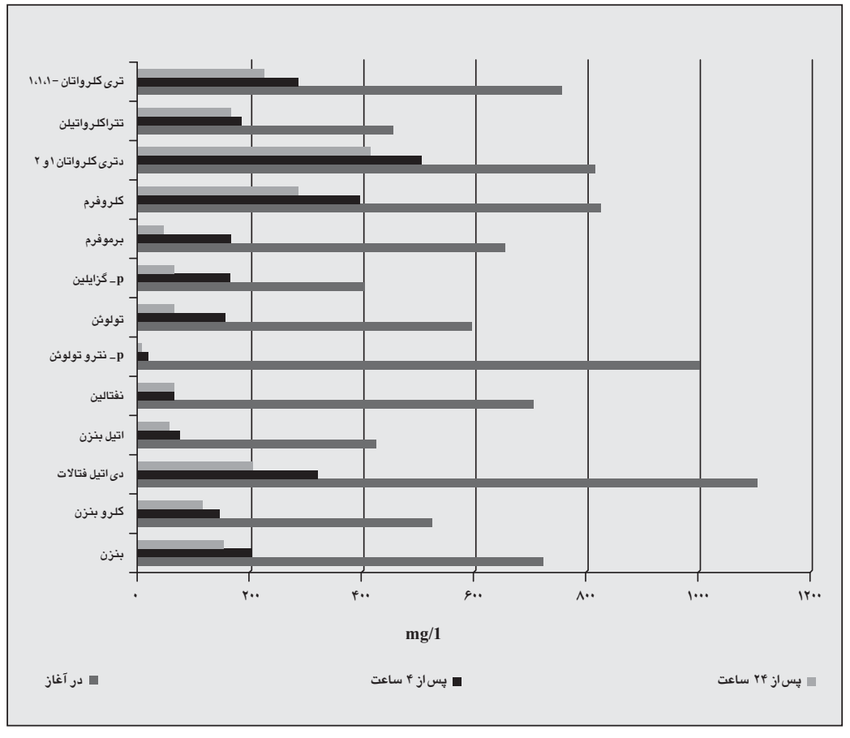
زدودن مواد شیمیایی از آب رودخانه با فیلتر سنگی - گیاهی
ارزن مردابی



زدودن فنل از آب رودخانه با فیلتر سنگی - گیاهی



زدودن مواد شیمیایی از آب رودخانه با فیلتر سنگی - نی



فلزات سنگین

تمام عناصر در پوسته زمین، خاک و آب یافت می‌شود. این عناصر در غلظت‌های گوناگون از بسیار کم که با دستگاه‌های بسیار پیشرفته قابل تشخیص است تا بسیار زیاد موجودند. انسان در اثر فعالیت‌های صنعتی‌اش این عناصر را از محیط طبیعی خود استخراج کرده و باعث افزایش غلظت این عناصر شده و آن‌ها را به موادی مسموم‌کننده تبدیل کرده است. از انقلاب صنعتی تاکنون تولید فلزات سنگین مانند سرب، مس و روی رشد تصاعدی داشته است. بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۹۰ تولید این سه فلز تقریبا ده برابر شده است. این فلزات استخراج شده صدها سال در طبیعت باقی خواهند ماند.

آنچه بیش از هر چیز باعث نگرانی‌های زیست‌محیطی می‌شود آلودگی‌های ناشی از مواد شیمیایی مانند حشره‌کش‌ها، PCB ها و دی‌اکسین است. اما فلزات سنگین از خطرناک‌ترین آلاینده‌ها هستند و ما کمتر درباره آنها می‌دانیم. فلزات سنگین به صورت طبیعی در پوسته زمین وجود دارند و همان طور که گفته شد در آب و خاک یافت می‌شوند. وجود مقدار کمی از بعضی از آنها برای سلامت انسان ضروری است، اما برخی دیگر حتی به مقدار کم هم بسیار سمی هستند. کادمیوم، سرب و جیوه، فلزات سمی‌ای هستند که به فراوانی در محیط زیست پراکنده شده‌اند. فلزات سمی چون در فرایندهای زیستی نابود نمی‌شوند مشکل آفرین هستند.

کادمیوم

کادمیوم بسیار سمی و در سطح وسیعی پراکنده شده است. این ماده به صورت طبیعی و به مقدار بسیار در خاک و آب یافت می‌شود. کاربرد صنعتی این فلز در ۳۰ سال گذشته افزایش یافته است و در ساخت رنگ، باتری، رنگ‌های صنعتی و بسیاری محصولات دیگر استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده است که وجود طولانی مدت این ماده حتی به مقدار میلیونیم در مواد غذایی، یا تنفس آن، موجب تحلیل رفتن استخوان‌ها می‌شود. کادمیوم به مرور زمان در کلیه‌ی افراد (پستانداران) انباشته و در ساختار پروتیینی سلول‌ها وارد می‌شود. میزان بسیار کم آن هم می‌تواند باعث افزایش فشار خون در پستانداران شود. با افزایش مقدار کادمیوم در محیط زیست عوارض فشار خون و ناراحتی قلبی نیز افزایش می‌یابد.

عوارض ناشی از تماس طولانی مدت و غلظت زیاد این فلز بسیار شدید است. در سال ۱۹۵۵

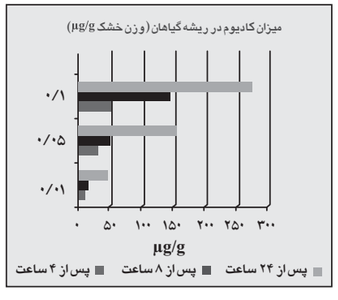
در روستای کوچکی نزدیک شهر تویاما در ژاپن، مسمومیت شدید کادمیوم رخ داد. عوارض این مسمومیت با دردهای شدید کمر یا مفاصل شروع می‌شود و در نهایت به از کار افتادن کامل حرکت استخوان‌ها می‌انجامد. منبع این مسمومیت استفاده از برنج با غلظت بالای کادمیوم تشخیص داده شد. یک کارخانه ذوب روی پساب‌هایش را در حوضچه‌های آبی که در منطقه وجود داشت می‌ریخت. آب حاوی کادمیوم با غلظت بسیار زیاد این حوضچه‌ها برای آبیاری مزارع برنج استفاده می‌شد. بین سال‌های ۱۹۶۲ و ۱۹۶۸ بیش از ۲۰۰ مورد مسمومیت کادمیوم در ژاپن گزارش شد.

یکی از دلایل اصلی وجود کادمیوم در دانه‌های گیاهی استفاده از کودهای شیمیایی است. مطالعه پنج نوع کود شیمیایی وجود غلظت بین ۹ تا ۳۶ واحددر میلیون را در ترکیبات فسفاته آنها نشان می‌داد. از دیگر منابع افزایش دهنده کادمیوم در محیط تولید فلزات غیرآهنی، سیمان، سوزاندن چوب و سوخت‌های فسیلی است.

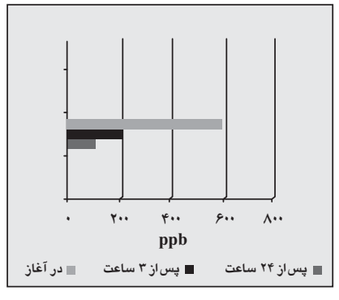
ناسا در مطالعات خود از سنبل مرداب برای جذب کادمیوم (۷۶۰ ppb) از آب رودخانه استفاده کرد. این گیاه توانست ۶۷ درصد این فلز را در ۳ ساعت و ۸۴ درصد را در ۲۴ ساعت جذب کند. کادمیوم از بین نمی‌رود بلکه گیاهان آنها را جذب و در بافت‌های خود انباشته می‌کنند. این مطالعات نشان داد که ۹۲ درصد از کادمیوم جذبی در ریشه گیاه انباشته می‌شود. برای اندازه‌گیری مقدار این فلز در گیاه، آن را خشک کردند و مورد آزمایش قرار دادند. (نمودارهای زیر)

این مطالعات نشان دادند که چگونه فلزات سنگین می‌توانند به آسانی وارد زنجیره غذایی شوند. برخی گیاهان می‌توانند فلزات سنگین را در غلظت‌هایی هزاران برابر آنچه که در خاک و آب محل زندگی آن‌ها وجود دارد در خود ذخیره کنند.

کنترل کامیودم از آب رودخانه توسط سنبل مرداب



زدودن کامیودم از آب رودخانه توسط سنبل مرداب



جیوه

جیوه فلز سنگینی است که در اثر فعالیت‌های آتشفشانی به مقدار کم در اقیانوس‌ها و دریاها و هوا یافت می‌شود. یک چرخه طبیعی وجود دارد که از زمین آغاز می‌شود، به آب و هوا منتقل می‌شود و سپس مجددا به زمین باز می‌گردد. جیوه یکی از سمی‌ترین موادی است که تا کنون انسان شناخته است، مخصوصا زمانی که با اتم‌ها یا ملکول‌های دیگر مانند متیل‌ها یا کلریدها ترکیب شود بیشترین آسیب را به سلول‌های مغزی می‌رساند.

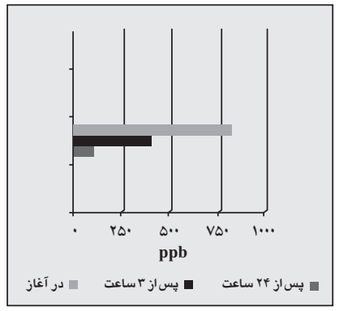
جیوه با وجود سمی بودن زیاد در پالایش طلا، ساخت وسایل الکترونیکی، ساخت داروها، رنگ و کاغذ مصرف فراوان دارد. از این فلز در تولید ونیل‌کلراید، ماده اولیه تولید بسیاری از مواد پلاستیکی، هم استفاده می‌شود. از جیوه در تولید مواد ضد قارچ برای ذخیره دانه‌ها نیز استفاده می‌شود، به دلیل سمی بودن زیاد استفاده از آن در کشاورزی ممنوع شده است. بسیاری از مردم دندان‌هایشان را با آمولگام دندانپزشکی پر می‌کنند که حاوی جیوه و نقره است. نگرانی اصلی درباره این ماده مربوط به استفاده آن در دندانپزشکی و وجود این فلز با غلظت بالا در ماهیان است. ماهی‌ها نسبت به این ماده سمی حساسیتی ندارند؛ به همین دلیل آنها می‌توانند این ماده را در غلظت‌هایی که برای انسان و دیگر موجودات ماهیخوار ایجاد مسمومیت می‌کند در بافت‌های خود ذخیره کنند.

آشنایی با اثرات جیوه بر انسان در نتیجه حادثه‌ای که در میناماتا در ژاپن اتفاق افتاد حاصل شد. این شهر نیمه‌صنعتی و نیمه‌ماهیگیری بود و تعداد زیادی از اهالی آن به شغل ماهیگیری اشتغال داشتند. بین سال‌های ۱۹۵۳ تا ۱۹۶۰ شرکت چیسو از سولفات جیوه به عنوان کاتالیزور برای تولید ونیل‌کلراید استفاده می‌کرد. پساب‌های آلوده به جیوه به آبگیرهای رسوبگیری ریخته شده و از آن‌جا از راه کانال‌هایی به خلیج میناماتا فرستاده می‌شدند. مطالعه ماهی‌ها و صدف‌های این خلیج وجود آلودگی فراوان جیوه را نشان می‌داد. ساکنانی که غذایشان از ماهی‌های این خلیج تامین می‌شد به تدریج عوارضی از بی‌حسی نوک انگشتان و لب‌ها و اختلال در شنیدن و صحبت کردن تا لرزش و حرکات شدید غیر ارادی ماهیچه‌ای در خود مشاهده کردند. ۲۹۰۰ نفر شدیدا آسیب دیدند و یک‌سوم آنها در اثر مسمومیت شدید مردند. شکایت‌هایی که اخیرا در دادگاه مطرح شده است حاکی از آسیب‌های شدید به ۱۰،۰۰۰ نفر دیگر بوده است.

برای جلوگیری از مسمومیت جیوه باید میزان مصرف ماهی را کاهش داد و از پر کردن

دندان‌ها با آمولگام اجتناب کرد. مطالعات بیشتر نشان داده است که غذاهای جانبی که با ماهی خورده می‌شوند می‌توانند جیوه و فلزات سنگین دیگر را به خود جذب کنند. آلگینات سدیم موادی هستند که در جلبک‌های دریایی یافت می‌شوند و به صورت کاتالیزور در زدودن این فلز عمل می‌کند. کلسیم، منگنز، روی و سلنیوم می‌توانند مانع جذب فلزهای سنگین سمی مانند جیوه، سرب، کادمیوم و آلومینیوم شوند یا این که جلوی آسیب‌های ناشی از آنها را بگیرند.

زدودن جیوه از آب رودخانه توسط سنبل مرداب



در مجموع جلوی، آلودگی ناشی از جیوه باید پیش از ورود این ماده به زنجیره غذایی گرفته شود. مطالعات ناسا نشان داده است که سنبل مرداب می‌تواند طی ۲۴ ساعت ۹۲ درصد جیوه‌ی موجود در آب رودخانه‌ای که غلظت جیوه آن ۸۷۵ ppb است را جذب کند.

سرب

سرب از قدیمی‌ترین آلاینده‌های جوی است. استفاده از کوره‌های ذوب سرب به حدود ۸۰۰۰ سال پیش باز می‌گردد. رومی‌ها از سرب برای ساخت لوله‌های آب و ظرف‌های ذخیره شیره گیاهان و شراب استفاده می‌کردند. زنان هم از مواد آرایشی حاوی سرب استفاده می‌کردند. طبیبان رومی از مدت‌ها پیش از این که دانش سم‌شناسی به وجود آید با مسمومیت‌های ناشی از سرب آشنا بودند. برخی معتقدند که یکی از علل سقوط امپراطوری روم مسمومیت‌های ناشی از استفاده گسترده سرب بوده است. تا چندی پیش سرب در کارهای متفاوتی از جمله جوش دادن قوطی‌های کنسرو مواد غذایی، بسته‌بندی‌های شکلات، خمیردندان، حشره‌کش‌ها، رنگ‌ها، شیشه‌های مشروب و در آلیاژ وسایل آشپزخانه استفاده می‌شد.

گسترش آلودگی ناشی از این ماده سمی از سال ۱۹۲۵ با افزودن آن به بنزین آغاز شد. درختانی که بین سال‌های ۱۹۳۷ و ۱۹۶۰ در فضای میانی بزرگراه‌های پر رفت و آمد کاشته شده بودند مملو از آلودگی به این فلز بودند. درصد غلظت سرب در چمن‌ها و علف‌هایی که کنار جاده‌ها

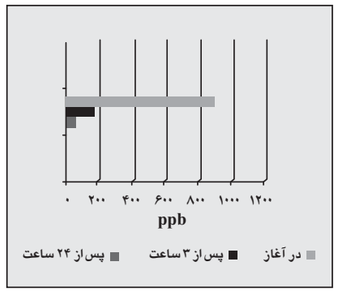
می‌رویدند نیز بسیار بالا بود. گاوها و حیواناتی که غذایشان فقط از این گیاهان تامین می‌شد دچار مسمومیت سرب می‌شدند. گیاهان پیوسته در حال جذب سرب از هوا و آب باران آلوده به این فلز هستند و آن را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند. در دهه ۱۹۷۰ سرب موجود در بنزین را با ماده آلی سرطان‌زای دیگری به نام بنزن جایگزین کردند. با این حال هنوز بیشتر از یک‌سوم کشورهای جهان از بنزین سرب‌دار استفاده می‌کنند.

یکی دیگر از مواد آلوده به سرب که توجه زیادی را به خود جلب کرده است رنگ‌های حاوی سرب است. بسیاری ازکودکان در اثر خوردن رنگ‌های پوسته شده، مسموم شده و دچار صدمات مغزی و بیماری‌های کلیوی شده‌اند.

منابع دیگر آلوده به سرب خیلی مورد توجه و شایان ذکر نیستند. دشت‌هایی که شکارچیان در آنها پرنده شکار می‌کنند معمولا دارای آلودگی‌های شدید ناشی از سرب هستند. ساچمه‌ها و گلوله‌های تفنگ شکارچیان در دشت‌ها که گیاهان در آنها می‌رویند پراکنده اند. گیاهان از خاک آلوده به این سرب‌ها تغذیه می‌کنند و آن‌ها را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند. دفن زباله یکی دیگر از علت‌های آلودگی به سرب است. باتری‌ها و بسیاری محصولات دیگر دارای سرب به صورت زباله دفن می‌شوند. نشت این مواد به آب‌های زیرزمینی که حتی در فاصله‌ی دورتری از این مناطق قرار دارند موجب آلوده شدن آن‌ها می‌شود.

گیاهان آبزی مانند سنبل مرداب و آلترنانترا[2] برای تشخیص قابلیت جذب سرب مورد آزمایش قرار گرفتند. سنبل‌های مرداب که در آب با غلظت آلودگی سربی ppb۱۱۰۰ رشد کرده بودند توانستند در ۳ ساعت ۸۲ درصد و در ۲۴ ساعت ۹۵/۵ درصد این فلز را جذب کنند. آلترنانترا، ۶۴ درصد سرب موجود در آب رودخانه که غلظت سرب در آن ppm ۰/۹۸ بود را در ۲۴ ساعت جذب کردند. سنبل مرداب هم به ازا هر گرم از وزن خشکش، توانست ۰/۲۱۶ میلی‌گرم از سرب محیط را جذب کند و آلترنانترا فقط توانست معادل نیمی از این مقدار را جذب کند.

زدودن سرب از آب رودخانه توسط سنبل مرداب



2. aligator weed

سزیم، استرانتیوم و کبالت

ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای و استفاده از مواد رادیواکتیو برای تولید انرژی گروه جدیدی آلاینده‌ی آب و خاک به وجود آورده است. مقدار زیادی از این مواد در نتیجه عملیات استخراج اورانیوم از معادن و پالایش آن در محیط زیست پراکنده می‌شوند.

براساس گزارش یک گروه ناظر دولتی در آمریکا۲۰ میلیون نفر از شهروندان آن کشور ۵۳۰ برابر حد مجاز به مواد رادیواکتیو اورانیوم آلوده شده‌اند. ساکنان لاسوگاس، آریزونا و جنوب کالیفرنیا که آب آشامیدنی‌شان از رودخانه کلورادو تامین می‌شود به طور مستقیم تحت تاثیر این مواد آلاینده قرار دارند، زیرا مواد یک معدن قدیمی اورانیوم به این رودخانه نشت می‌کند.

آزمایش‌های هسته‌ای و آزاد شدن تصادفی مواد از نیروگاه‌های هسته‌ای موجب آلوده شدن خاک و آب به سزیم-۱۳۷ و استرانتیوم-۹۰ شده است. باید هر چه زودتر روش‌های دقیق و اقتصادی برای زدودن آب و خاک از این مواد معرفی شود.

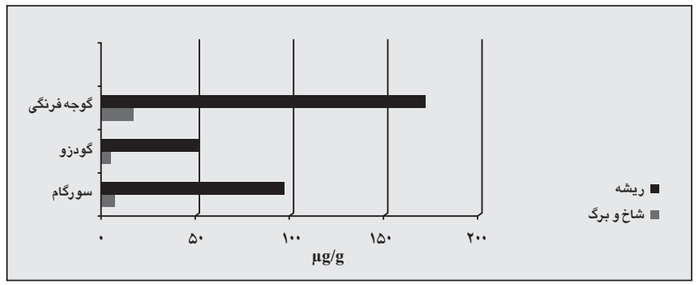
مطالعات ناسا در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ موجب پیشرفت‌های زیادی در به کارگیری گیاهان آوندی در فرایندهای تصفیه‌کننده شد. شش نوع از گیاهانی که در این مطالعات شناسایی شدند عبارتند از: سنبل مرداب[3]، نی[4]، لویی[5]، کودزو[6]، سورگام[7] و گوجه‌فرنگی[8].

گوجه فرنگی، کودزو و سورگام به مدت شش هفته در خاکی که حاوی ۱۵۰ mg/g سزیم، ۳۰۰ mg/g کبالت و ۱،۰۰۰ mg/g استرانتیوم بود پرورش داده شدند. سنبل مرداب، نی و لویی نیز در معرض آب رودخانه‌ای قرار داده شدند که به طور ثابت دارای ۲۰۰ mg/l از هر یک از سه فلز یاد شده بود.

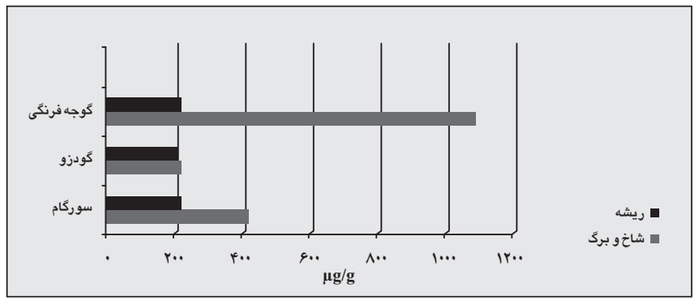
این مطالعات مقدماتی نشان می‌دهد که گیاهان می‌توانند پسماندهای رادیواکتیو را از آب و خاک جذب کنند. برخلاف آلاینده‌های آلی، مواد رادیواکتیو از بین نمی‌روند، یعنی این عناصر که در بافت‌های گیاهی انباشته می‌شوند طی فرایندهای زیستی نابود نمی‌شوند. به همین دلیل باید دقت زیادی کرد که این گیاهان آلودگی‌های‌شان را به نقاط دیگر منتقل نکنند. با خشک کردن، سوزاندن یا ترکیب کردن می‌توان آلودگی‌های مربوط به بافت‌های این گیاهان را کنترل کرد. کاستن حجم پسماندها با صرف وقت و هزینه کم هم قابل انجام است.

3. Eichhornia crassipes
4. Phargmites communis
5. Typha latifolia
6. pueraria lobata
7. Sorghum Sudanese
8. Lycopersicon esulentum

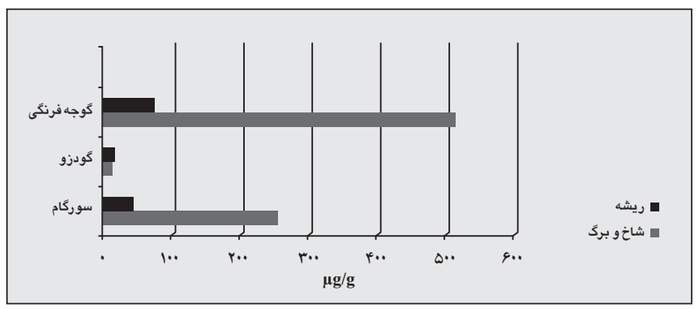
جذب کبالت از خاک آلوده که غلظت کبالت در آن توسط گیاهان ۳۰۰ µg/g است (مطالعه ۶ هفته‌ای)



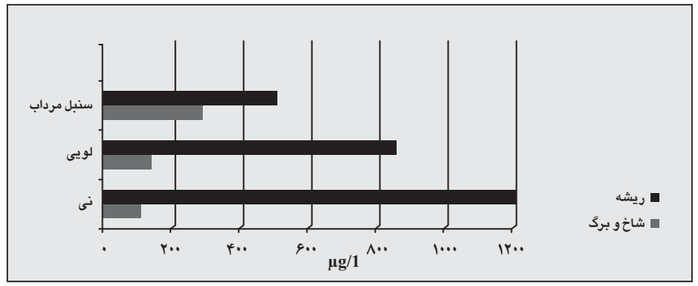
جذب استرانتیوم از خاک آلوده که غلظت استرانتیوم توسط گیاهان در آن ۱۰۰۰ µg/g است (مطالعه ۶ هفته‌ای)



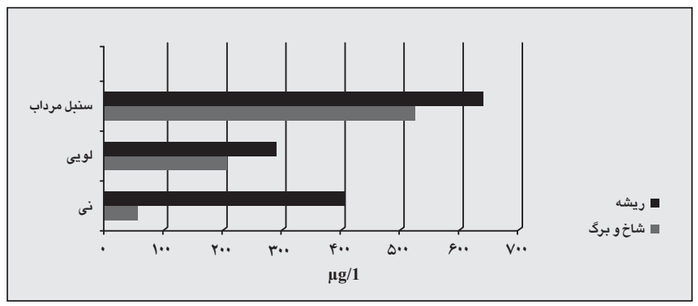
جذب سزیم از خاک آلوده که غلظت سزیم در آن توسط گیاهان ۱۵۰ µg/g است (مطالعه ۶ هفته‌ای)



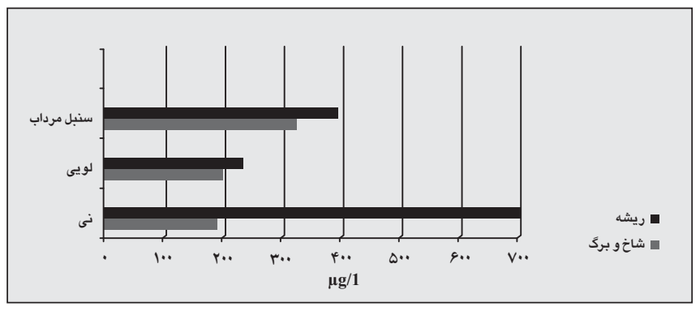
▼ جذب کبالت از آب رودخانه که غلظت کبالت در آن ۲۰۰ µg/l است (مطالعه ۴هفته‌ای)



▼ جذب استرانتیوم از آب رودخانه آلوده که غلظت استرانتیوم در آن ۲۰۰ µg/l است (مطالعه ۴ هفته‌ای)



▼ جذب سزیم از آب رودخانه آلوده که غلظت منیزیم آن ۲۰۰ µg/l است (مطالعه ۴هفته‌ای)



سیستم‌های اجرایی

سیستم تصفیه شیمیایی پساب ناسا

یکی از اولین سیستم‌های تصفیه پساب‌های صنعتی با کمک گیاهان در سال ۱۹۷۴ در مرکز جان سی. استنیس ناسا در می‌سی‌سی‌پی احداث شد. از سال ۱۹۷۴ تا اوایل دهه ۱۹۸۰ این سیستم به صورت یک جریان سطحی پساب فعالیت می‌کرد. این سیستم به صورت یک کانال خاکی عایق‌بندی نشده مارپیچ ساخته شده بود. ابعاد تقریبی آن ۷۵ سانتی‌متر عمق، ۶۵ سانتی‌متر عرض و ۳۳۲ متر طول بود. هر روز این سیستم ۷۶ تا ۱۵۲ مترمکعب پساب لابراتوآرهای عکاسی و شیمیایی دیگر را در مجاورت سنبل مرداب تصفیه می‌کرد. میانگین فعالیت این سیستم در نمودار زیر نشان داده شده است. مقدار فلزات سنگینی که در این گیاهان وجود داشت نیز پیش از آزمایش و شش هفته پس از استفاده در این سیستم تصفیه اندازه‌گیری شدند. (نمودار پائین)

▼ اطلاعات به دست آمده پس از سیستم تصفیه پساب شیمیایی

آلودگی mg/l	مدت تماس ۲۰-۱۰ روز	
	پساب ورودی	پساب خروجی
نقره	۱/۹	۰/۰۴
BOD_5	۱۴۴	۴/۸
TOC	۹۶	۲۱
COD	۳۶۵	۴۲/۳

میانگین سالانه مواد موجود در سیستم جریان سطحی

▼ مقدار فلزات سنگین موجود در سنبل مرداب قبل و بعد از شش هفته تماس (غلظت ppm ، سنبل مرداب، وزن خشک)

فلز	ریشه ها		برگ ها	
	قبل	بعد	قبل	بعد
نقره	۰/۸	۹	۳/۶	۱۱۳
کادیوم	<۰/۱	۲	<۰/۱	۱۶۴
سرب	۸/۴	۳۳	۴۰	۲۹۷
کرم	<۰/۱	۴	<۰/۱	۲۹۶
مس	۱۷/۵	۳۲	۲۴	۵۹۴

پنج سال پس از آغاز فعالیت این مرکز سازمان حفاظت محیط زیست استانداردهای شدیدی را برای تصفیه پساب‌ها در این مرکز اعلام کرد، در نتیجه سیستم باید بهینه می‌شد. برای بهینه‌سازی سیستم نیمه اول آن با افزودن ۲۰ سانتی‌متر خاک‌رس و غشاء عایق‌کننده هایپلون[9] به فیلتر زیرزمینی تبدیل شد. گیاهان ریشه‌دار مانند نی، بولراش، لویی، عدسک‌آبی و سازوی افشان در یک بستر ۴۵ سانتی‌متری از سنگ تراورس راه‌آهن کاشته شد. نیمه دوم این سیستم مانند قبل به صورت یک فیلتر سطحی دارای سنبل مرداب بود که روی آن آب جریان داشت. این سیستم تا سال ۱۹۹۸ که استانداردهای جدید اعلام شد به خوبی فعالیت می‌کرد. در حرکتی برای تلفیق چندین سیستم از گیاهان آبزی، ناسا یک بخش پیش تصفیه نیز به این مجموعه افزود. به این ترتیب مواد شیمیایی و عکاسی پیش از آغاز تصفیه نهایی به یک آبگیر دیگر ریخته می‌شدند.

شرکت دگوسا[10]

شرکت دگوسا اولین شرکت در آمریکا بود که در تاسیسات خود در تئودور آلاباما در زمینی به وسعت ۲۰۲/۵ هکتار از گیاهان آبزی برای تصفیه پساب استفاده کرد. در آغاز آنها حاضر به پذیرش این طرح نبودند. از آنجا که هیچ‌یک از سیستم‌های متعارف نتوانسته بود مشکل تصفیه پساب آن منطقه را حل کند، مسولان نسبت به موفقیت یک سیستم طبیعی به شدت تردید داشتند. این تاسیسات در کنار خلیج موبیل که یکی از نقاط حساس زیست‌محیطی است و بخشی از منبع غذایی منطقه را تشکیل می‌دهد قرار دارد. سیستمی که شرکت دگوسا تا آن زمان به کار گرفته بود یک سیستم چند میلیون دلاری اکسیژن‌دهی و دو صاف‌کننده بود. اما در پایان مقدار کمی از سموم در پساب خروجی از سیستم که به یک کانال مصنوعی کور ختم می‌شد باقی می‌ماند. به همین دلیل به تدریج غلظت مواد سمی در آن افزایش می‌یافت و در پایان به خلیج موبیل نشت می‌کرد. وجود این میزان سم در آب مطابق استاندارد برای پرورش ماهی‌ها و حیوانات دیگر در محیط زیست نبود.

برای رفع این مشکل سازمان حفاظت محیط زیست از شرکت دگوسا خواست که پساب‌های خود را با لوله به نقطه‌ای دورتر در خلیج هدایت و تخلیه کند. اما سازمان غیر دولتی آدبون[11] به شرکت دگوسا پیشنهاد کرد که پیش از این اقدام با استفاده از فیلترهای گیاهان آبزی تا

9. Hypalon
10. Degussa Corportation
11. Audubon

حد امکان از میزان سموم موجود در آب بکاهد. شرکت دگوسا پذیرفت به صورت آزمایشی یک سیستم فیلتر سنگی - گیاهی را برای کاهش میزان مواد سمی و رساندن میزان BOD_5 به ۴ mg/l یا کمتر احداث کند. موفقیت نمونه آزمایشی به حدی بود که مسولان شرکت پذیرفتند که یک سیستم کامل احداث کنند. پساب خروجی از سیستم تصفیه مکانیکی به یک آبگیر هدایت می‌شود که با لایه ۶۰ میلیمتری از پلی اتیلن فشرده عایق‌بندی شده است. یک لایه شناور از علف‌های ارزن مردابی سطح آبگیر را که هر سه روز یک بار عوض می‌شود می‌پوشاند. پساب وارد این فیلتر سنگی - گیاهی ۱/۴ هکتاری می‌شود. در این فیلتر گونه‌های مختلف گیاهان آبزی کاشته شده‌اند. طی چند سال، ارزن مردابی گیاه غالب فیلتر شده و سطح آبگیر را پوشانده است. این فیلتر گیاهان آبزی با جاذبه زمین کار می‌کند و روزانه می‌تواند ۱۵۱۵ مترمکعب پساب را تصفیه کند. ساخت این سیستم در سال ۱۹۸۸ حدود ۳۰۰،۰۰۰ دلار هزینه داشت.

این سیستم هم‌چنان با بازده کامل فعال است. سازمان غیر دولتی آدبون نیز به دلیل موفقیت در اجرای این طرح به شرکت دگوسا نشان محیط زیست اعطا کرد. این از موارد نادری است که میان شرکت‌های تولید کننده مواد شیمیایی و سازمان‌های حامی محیط زیست اتفاق نظر به وجود می‌آید.

شرکت گلف استیت کانرز

در سال ۱۹۹۲ سیستم چند منظوره میکروآگرو برای تصفیه پساب‌ها در شرکت گلف استیت کانرز متعلق به شرکت کوکاکولا در شهر کلینتون می‌سی‌سی‌پی نصب شد. وظیفه این سیستم تصفیه که با گیاهان آبزی ساخته شده است کاهش غلظت زیاد BOD_5 در آبگیرهای هوادهی است. مقدار BOD_5 و آمونیاک در این آب‌ها باید به ترتیب به ۱۰ و ۲ mg/l برسد. دلیل اصلی انتخاب این سیستم تصفیه گیاهی هزینه کم و نگهداری آسان آن بود. از زمان احداث این سیستم طبیعی غلظت BOD_5 و آمونیاک به پایین تر از سطح مجاز رسیده است.

شرکت آلبمارل

این شرکت دارای کارخانه مواد شیمیایی در شهر ماگنولیا در آرکانزاس است و مسئولیت تصفیه آب باران‌هایی که به سیستم شرکت می‌ریزد نیز بر عهده این شرکت گذاشته شد. به همین دلیل این

شرکت اقدام به احداث سیستم تصفیه غیرمتعارف پساب برای تکمیل فرایند تصفیه کرد و با کسب مجوز از سازمان‌های مطالعاتی و نظارتی ذیربط این سیستم را در کارخانه جنوبی خود راه‌اندازی کرد.

این سیستم که در سال ۱۹۹۳ ساخته شده با استفاده از گیاهان آبزی می‌تواند به طور میانگین روزانه حدود چهار میلیون لیتر پساب کارخانه و آب باران را تصفیه کند. این سیستم شامل ۱/۶ هکتار آبگیر مخلوط‌کننده برای توقف پساب است؛ در امتداد آن دو فیلتر علفزار مردابی به صورت موازی قراردارد و در انتها ۱/۲هکتار زمین باز برای تخلیه آب باران ساخته شده است. آبگیر مخلوط‌کننده، محل توقف پساب برای کاهش دما و تعدیل pH آن است. به طور معمول پساب‌ها چهار روز در این آبگیر باقی می‌ماند.

هر یک از فیلترهای گیاهی حدود ۶۱۰ متر طول و ۵۵ متر عرض دارند. به دلیل وجود عوارض طبیعی شکل آنها مانند «S» است. مدت توقف پساب در این فیلترها پنج روز است. حدود ۴۰،۰۰۰ گیاه در هر فیلتر کاشته شده که شامل پانیکوم، بولراش و لویی جنوبی هستند. پساب‌های خروجی در انتها به هم می‌پیوندند و یک نهر را می‌سازند. آب این نهر پیش از ریختن به رودخانه هورسهد[12] آزمایش می‌شود. مجاور این علفزار مردابی یک مرداب طبیعی ۱۲ هکتاری قرار دارد. این مکان محل توقف آب باران است و تعداد زیادی سد خاکی در آنها وجود دارد، همه این‌ها موجب می‌شود پساب خروجی مدت طولانی‌تری متوقف شود. این منطقه جنگلی است و گیاهان دیگری مانند بلوط، سرو، راش، بید و غیره در آن وجود دارند که محل زندگی موجودات فراوانی هستند.

نتیجه‌ی موفقیت‌آمیزی که از احداث این سیستم تصفیه طبیعی بدست آمد موجب شد که مسئولان شرکت آلبمارال تصمیم بگیرند که سیستم مشابهی را در کارخانه غربی هم راه‌اندازی کنند. در اکتبر ۱۹۹۵ سیستم جدیدی راه‌اندازی شد. این سیستم دارای یک آبگیر به مساحت حدود ۰/۸ هکتار است و دو فیلتر گیاهی به مساحت ۴ هکتار به طور موازی در امتداد آن قرار دارد. این آبگیر بین ۵۱ تا ۵۶ سانتی‌متر عمق دارد، وگنجایش آن تقریبا ۱۴،۰۰۰ مترمکعب است. این گنجایش برای جمع آوری پساب‌ها پس از باران‌های سیل‌آسا ضروری است.

12. Horsehead Creek

طرح‌های مناطق صنعتی

امروزه دیگر زندگی روستایی ناپدید شده و مرغداری و دامداری که در روستاها انجام می‌شد تبدیل به مجتمع‌های بزرگ شده است. برای مثال طی ۱۵ سال گذشته تعداد مزارع خوک از ۶۰۰،۰۰۰ به ۱۵۷،۰۰۰ کاهش یافته است. اما همین تعداد مزرعه همان تعداد خوک پرورش می‌دهند. این مزرعه‌های پرورش دام یا شاید بهتر است بگوییم «کارخانه‌های تولید دام»، حیوانات را در فضایی محدود نگهداری می‌کنند و فقط به آنها غذا می‌دهند تا هر چه سریعتر فربه شوند و به مصرف برسند. در نتیجه حجم فضولاتی که تولید می‌شود بسیار بیشتر از قبل است. بررسی‌های سال ۱۹۹۷ نشان داد که در آمریکا هر سال ۱/۳۷ میلیارد تن فضولات حیوانی تولید می‌شود و بیشترین میزان آلودگی آب نهرها و رودخانه‌ها در آمریکا به دلیل مدیریت نادرست پسماندها و پساب‌های ناشی از فعالیت‌های دامداری و کشاورزی است.

مقدار تقریبی تولید فضولات دامی در آمریکا (۱۹۹۷)

دام	فضولات جامد (تن/ سال)
گاو	۱،۲۲۹،۱۹۰،۰۰۰
خوک	۱۱۶،۶۵۲،۳۰۰
مرغ	۱۴،۳۹۴،۰۰۰
بوقلمون	۵،۴۲۵،۰۰۰
جمع	۱،۳۶۵،۶۶۱،۳۰۰

گردآوری و دور ریختن فضولات حیوانات که تصفیه نشده یا ناقص تصفیه شده‌اند موجب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و بالاخره تهدیدی برای سلامت انسان‌ها می‌شود. یکی از راه‌های رایج تصفیه فضولات حیوانی تولید شده در مزرعه‌های مکانیزه پرورش دام، انباشتن آنها در مخازن عمیق بی‌هوازی و سپس پخش کردن پساب خروجی از آنها در زمین‌های مجاور است. مزرعه‌هایی که از این روش برای دور ریختن فضولات حیواناتشان استفاده می‌کنند موجب آلودگی هوا با آمونیاک و انتشار بوی بد ترکیبات سولفیدی و موجودات میکروسکپی بیماری‌زا می‌شوند.

مزرعه‌های بزرگ پرورش دام برای جلوگیری از بیماری دام‌ها و هم‌چنین درمان آنها و یا افزایش وزنشان به مقدار زیاد از آنتی‌بتوتیک‌ها استفاده می‌کنند. استفاده‌های مستمر از آنتی‌بیوتیک‌ها موجب به وجود آمدن میکروب‌های مقاوم بیماری‌زایی می‌شود که هم برای انسان و هم حیوانات مضرند. این باکتری‌های بیماری‌زای مقاوم شده می‌توانند از حیوان به انسان یا بالعکس منتقل شوند.

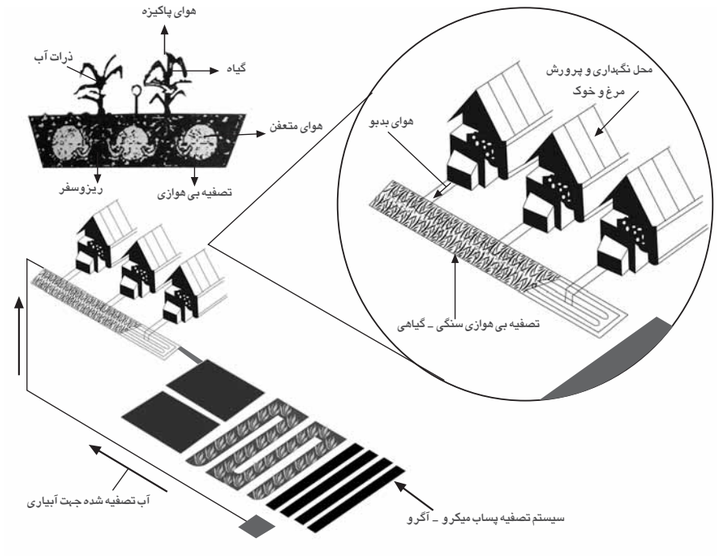
آلودگی هوا نیز از عوامل جدی نگرانی درباره فعالیت مزرعه‌های پرورش دام است. پخش مقدار زیادی پساب در سطح زمین موجب پراکنده شدن بوی بد و آب‌های آلوده می‌شود. برای مقابله با این مشکل پنکه‌های بزرگی در این مزرعه‌ها نصب می‌شود تا هوای بد آنها به محیط‌های مجاور فرستاده شود. به همین دلیل شکایت همسایگان این مناطق موضوعی عادی شده است.

تالاب تصفیه بی‌هوازی پساب یک مرغداری

زمان	BOD_5 (mg/l)		TSS (mg/l)		NH_3 (mg/l)	
	پساب ورودی	پساب خروجی	پساب ورودی	پساب خروجی	پساب ورودی	پساب خروجی
ژوئیه ۱۹۹۰	۱،۲۵۹	۴۵۷	۴۰۳	۱۴۶	۳۰.۳	۲۵.۳۸
ژوئن ۱۹۹۱	۲،۰۵۳	۱۷۸	۸۵۸	۹۳	۳۵.۳	۷۸.۷۰

در صورتی که پساب‌های حیوانات تصفیه شوند و از فضولات آنها به عنوان کود برای پرورش گیاهان استفاده شود کاری مسئولانه از نظر معیارهای زیست‌محیطی و از نظر اقتصادی سودآور صورت گرفته است. ساخت یک مخزن بی‌هوازی مناسب که بتواند بوی بد را نیز کنترل کند اقتصادی‌ترین روش برای دفع فضولات جانوری است. در صورتی که پخش کردن فضولات نیمه‌تصفیه شده در محیط به هیچ رو کاری مسئولانه نیست. راه بهتر برای تصفیه این فضولات احداث علفزارهای مردابی است. از پساب‌های تصفیه شده به این روش می‌توان برای آبیاری و پرورش گیاهان این علفزارها، تولید خوراک دام و تامین کود مورد نیاز کشاورزی استفاده کرد. انعطاف‌پذیری‌ای که در این نوع روش‌های تصفیه وجود دارد در هیچ‌یک از روش‌های دیگر دیده نمی‌شود.

کاربردی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای پیش‌تصفیه فضولات زیاد حیوانی، استفاده از حوضچه‌های بی‌هوازی است. یک حوضچه بی‌هوازی، آبگیری عمیق و عاری از اکسیژن است که امکان رشد موجودات ذره‌بینی در آنها وجود دارد. این موجودات می‌توانند BOD، روغن و مواد چرب را به روشی اقتصادی‌تر که کمتر نیاز به نظارت دارند از پساب‌ها بگیرند. فرایندی که این کارها را انجام می‌دهد باید کاملا به دور از اکسیژن باشد. این فرایند طی دو مرحله در این حوضچه‌ها صورت می‌گیرد. در مرحله نخست فضولات به اسید کارباکسیلیک و آمونیاک و در مرحله دوم اسید کارباکسیلیک به متان و گاز کربنیک تبدیل می‌شود.



پساب‌های کشاورزی و شهری

مدت‌ها است که فهمیده‌ایم تالاب‌های طبیعی نقش فیلترهای طبیعی را بازی می‌کنند و به بیان ساده‌تر همان طور که کلیه‌ها در بدن ما وظیفه تصفیه و فیلتر کردن ناخالصی‌ها را به عهده‌دارند این اکوسیستم‌ها آلودگی‌ها و ناخالصی‌های موجود در محیط را از بین می‌برند. علاوه بر این، تالاب‌های

طبیعی مواد غذایی را دریافت کرده، نگه‌می‌دارند و بازیافت می‌کنند. این مواد غذایی به نوبه خود زندگی گیاهان میکروسکپی و ماکروسکپی را تامین می‌کنند. گیاهان در این محیط اکوسیستم پیچیده‌ای به وجود آورده‌اند که در آن مواد معدنی به مواد آلی که زندگی گیاهان و حیوانات به آنها وابسته است تبدیل می‌شود.

تالاب‌ها معمولا نقش واسط میان محیط‌های خشکی و آبی هستند. ما به تازگی به ارزش آنها در حفظ سواحل، جلوگیری از فرسایش و نقش آنها در کنترل سیلاب‌ها پی برده‌ایم. در کنار این وظایف مهم، شاید مهمترین نقش آنها حفظ کیفیت آب است. تالاب‌ها در جذب آلودگی‌ها و تبدیل آنها به مواد آلی، نگهداشتن مواد جامد، فلزات و مواد غذایی مازاد نقش موثری دارند. با افزایش جمعیت، ما به محدوده این سرزمین‌ها تجاوز کرده‌ایم، در نتیجه تالاب‌های معدودی که باقی مانده است نمی‌توانند از عهده تصفیه مواد آلاینده‌ی فراوانی که تولید می‌کنیم برآیند. مواد آلاینده مازاد و سیلاب یکی از اصلی‌ترین دلایل آلودگی منابع آبی ما هستند. این سیلاب‌ها در اثر بارندگی یا ذوب شدن برف‌ها و انتقال آلاینده‌ها از نقطه‌ای به نقطه دیگر بوجود می‌آیند. منشا اصلی این گونه سیلاب‌ها فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، جنگلداری، معدن کاوی و توسعه شهری هستند.

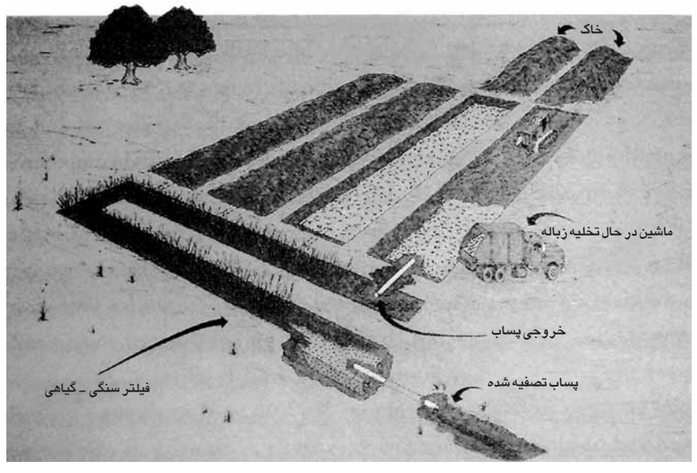
جمع‌آوری و تصفیه این سیلاب‌ها چون از نقطه‌ای به نقطه‌دیگر برده می‌شوند مشکل است. بنا به گزارش سازمان حفاظت محیط زیست ۷۵ درصد آلودگی دریاچه‌ها در نتیجه سیلاب‌های آلوده‌ای است که منشا آلودگی آنها نقطه مشخصی نیست. بیشتر این آلودگی‌ها منشا کشاورزی یا شهری دارند. بیشتر آلاینده‌ها ناشی از کودهای کشاورزی، رسوب‌ها، فضولات حیوانی، نمک و حشره‌کش‌ها هستند. حدود ۹۰ درصد سطح شهرها را بام‌ها و سطح خیابان‌ها تشکیل می‌دهد. سیلاب‌های شهری شامل همه چیزهایی می‌شود که آب باران از روی این سطح‌ها می‌شوید و با خود حمل می‌کند، موادی مانند روغن، انواع چربی‌ها، حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، خاک، فضولات حیوانات خانگی و غیره. این آب‌های تصفیه نشده مستقیما بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی ما تاثیر می‌گذارند.

در سال ۱۹۹۴ باکتری بیماری‌زای *Cryptosporidium* آب آشامیدنی شهر ملواکی در ایالت ویسکانسین را آلوده کرد و موجب آسیب‌های شدید بهداشتی در تعداد زیادی از شهروندان

شد. سیلاب‌هایی که از مناطق تغذیه حیوانات به جریان می‌افتند حامل باکتری بیماری‌زای *Pfiesteria piscicida* هستند که موجب آلودگی ماهیان و بیماری شدید ساکنان ایالت‌های کارولینای شمالی، ویرجینیا و مریلند شده‌اند.

برای جلوگیری از وقوع این گونه بیماری‌ها و اطمینان از این که آب آشامیدنی سالم برای شهروندان تامین می‌شود، باید هر چه زودتر برنامه‌ریزی جدی و جامعی برای مبارزه با آلودگی‌های ناشی از سیلاب‌ها صورت گیرد. چه منبعی با ارزش‌تر از آب پاکیزه می‌توان یافت؟ با تقویت قانون آب سالم و به کار بستن جدی سیاست‌های اجرایی به طور هم‌زمان، می‌توان نتیجه مطلوب به دست آورد. اما باید توجه داشت که فقط با قانونگذاری توسط دولت نمی‌توان مشکل را برطرف کرد.

در نهایت وظیفه هر یک از اعضای جامعه است که جلوی آلودگی را از آغاز بگیرند. می‌توان به سادگی همه تقصیر را به گردن صنایع و کشاورزی انداخت. اما تمایل ما به داشتن فضای سبز بیشتر بدون وجود حشرات و علف‌های هرز بسیار بیش از فعالیت‌های کشاورزی موجب آلودگی محیط می‌شود. بسیاری از این حشره‌کش‌ها همراه آب باران به رودخانه‌ها و نهرها راه می‌یابند، رودخانه‌هایی که منبع اصلی آب آشامیدنی ما هستند. تغییر عادت در زندگی کار ساده‌ای نیست. اما، آیا راه حل مناسب‌تر دیگری جز این می‌توان یافت؟



در این جا هم طبیعت مشکل گشاست! اگر آب باران را از زمین کشاورزی یا شهرها پیش از این که به رودخانه‌ها سرازیر شوند از علفزارهای مردابی عبور دهیم، نتیجه بسیار موثری در تامین آب سالم خواهد داشت. اگر این علفزارها به درستی طراحی شوند، می‌توانند به خوبی سیلاب‌هایی که از معادن، محل دفن زباله‌ها و محل فعالیت‌های کشاورزی عبور می‌کنند را تصفیه کنند. اگر این سیستم‌ها به صورت انبوه از گیاهان پوشیده شوند می‌توانند ارزشمندترین منبع حیاتی ما را کاملا حفاظت کنند.

خلاصه

در حالی که پساب‌ها و پسماندهای انسانی و حیوانی دارای تمام مواد غذایی و عناصر نادری هستند که برای پرورش گیاهان و میکروب‌ها ضروری‌اند، پساب‌هاب صنعتی معمولا فاقد مواد غذایی برای این موجودات‌اند و سمی هستند. اگر از فیلترهای گیاهی برای تصفیه مواد شیمیایی صنعتی استفاده می‌شود باید به آنها مواد غذایی افزوده شود تا قابل استفاده گیاهان و باکتری‌ها باشد. در صورت مخلوط کردن پساب‌های شهری و صنعتی می‌توان از آنها برای رشد گیاهان استفاده کرد و در نتیجه می‌توان از سیستم‌های تصفیه گیاهی برای تصفیه این پساب‌ها استفاده کرد.

با توجه به این که پساب‌های صنعتی دارای ترکیب یکسان نیستند و مواد شیمیایی آنها از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت است، سیستم‌های تصفیه هم باید متناسب با شرایط ویژه هر محل طراحی و احداث شود و معمولا باید سیستم‌های تصفیه در مقیاس واقعی به صورت آزمایشی اجرا شود. به همین دلیل فیلترهای گیاهی تصفیه پساب‌های صنعتی به سرعتی که انتظار می‌رود به اجرا در نیامده‌اند.

نگرانی عمومی درباره آب آشامیدنی باید پشتوانه قانونی لازم را برای تصفیه پساب‌های کشاورزی و شهری در پی داشته باشد. افزایش بحران جهانی آب، به کارگیری روش‌های موثر و اقتصادی را برای حفظ گرانبهاترین منبع موجود در کره زمین به ویژه در قرن بیست‌ویکم اجتناب ناپذیر کرده است.

منابع

1. Ferlow, D. L. "Stormwater Runoff Retention and Renovation: A Back Lot Function or Integral Part of the Landscape," G. A. Moshiri (ed.) *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Lewis Publishing, Inc. 1993, pp. 373-379.
2. Higgins, M. J., et al. "Controlling Agricultural Runoffby Use of *Constructed Wetlands", G.A. Moshiri (ed.) Constructed Wetlands far Water Quality Improvemen*t, Lewis Publishing, Inc. 1993, pp. 359-367
3. "Impact of Polluted Runoff on Our Nation's Waters," 1997, National Wildlife Federation. Available from http://www.igc.acp.org/nwf/water/facts/impacts.html (28 July 1998); INTERNET.
4. McDonald, R. C. "Vascular Plants for Decontaminating Radioactive Water and Soil". *NASA Tech. Memorandum* TM-X-72740, August 1981.
5. Page, A.L., F. T. Bingham and C. Nelson. "Cadmium Absorption and Growth of Various Plant Species As Influenced by Solution Cadmium Concentration". *Journal of Environmental* Quality 1972, Vol. 1(3): 288-291.
6. Schroeder, H. A. and J. J. Balassa. "Cadmium: Uptake by Vegetables from *Superphosphate in Soil*". Science, 1963, Vol. 140: 819-820.
7. Schroeder, H. A. *The Trace Elements and Man*. The Devin-Adair Company, Old Greenwich, Connecticut, 1973.
8. Steingraber, S. *Living Downstream*. Addison-Wesley Publishing Co., Inc. Reading, MA, 1997.
9. Surface, J. M., et al. "Effect of Season, Substrate Composition and Plant Growth on Landfill Leachate Treatment in a Constructed Wetlands," G. A. Moshiri (ed.) *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Lewis

Publishing, Inc. 1993, pp. 461-472.

10. Tucker, A. *The Toxic Metals*. Ballantine Books, Inc., New York, 1972.
11. Wolverton, B. C. and B. K. Bounds. "Aquatic Plants for pH Adjustment and Removal of Toxic Chemicals and Dissolved Minerals from Water Supplies." *Journal of the Mississippi Academy of Sciences*, 1988, 33: 71-80.
12. Wolverton, B. C. "Aquatic Plants for Wastewater Treatment: An Overview." K. R. Reddy and W. H. Smith (eds.), *Aquatic Plants for Wastewater Treatment and Resource Recovery*, Magnolia Publishing, Inc., Orlando, Florida, 1987, pp. 3-15.
13. Wolverton, B. C. and R. C. McDonald-McCaleb.″ Biotransformation of Priority Pollutants Using Biofilms and Vascular Plants." *Journal of the Mississippi Academy of Science*, 1986, 31: 79-89.
14. Wolverton, B. C. and R. C. McDonald. "Natural Processes for Treatment of Organic Chemical Waste." *Environmental Professional*, 1981, Vol. 3: 99-104.
15. Wolvenon, B. C. and R. C. McDonald. "Wastewater Treatment Utilizing Water Hyacinths (*Eichhornia crassipes*) (Mart.) Solms," *Treatment and Disposal of Industrial Wastewaters and Residues*. Proceedings of the National Conference on Treatment and Disposal of Industrial Wastewaters and Residues, Houston, Texas, 1977, pp. 205-208.
16. Wolverton, B. C. and D. D. Harrison. "Aquatic Plants for Removal of Mevinphos from the Aquatic Environment," *Journal of the Mississippi Academy of* Science, 1973, 19: 84-88.
17. Wolverton, B. C. "Natural Systems for Wastewater Treatment and Water Reuse for Space and Earthly Applications," proceedings of Water Reuse Symposium IV, American Water Works Association, Denver, Colorado. August 1987, pp. 729-740.

18. Wolverton, B. C., R. C. McDonald and L. K. Marble. "Removal of Benzene and Its Derivatives from Polluted Water Using the Reed/Microbial Filter Technique." *Journal of the Mississippi Academy of Sciences*, 1984, VoL. 29: 119-127.
19. Wolverton, B. C. and R. C. McDonald. "Bio-accumulation and Detection of Trace Levels of Cadmium in Aquatic Systems Using Eichhornia crassipes. Presented at the National Institute of Environmental Health Sciences Workshop on Higher Plant Systems as Monitors of Environmental Mutagens, Orlando, FL, January 1978. *Environmental Health Perspectives,* U. S. Department of HEW, Vol. 27: 161-164.
20. Wolverton, B. C. "Water Hyacinths for Removal of Cadmium and Nickel from Polluted Waters," NASA Technical Memorandum TM-X-72721, 1975.
21. Wolverton, B. C. and R. C. McDonald. "Water Hyacinths and Alligator Weeds for Removal of Lead and Mercury from Polluted Waters," NASA Technical Memorandum TM-X-72723, 1975.

فصل هفتم

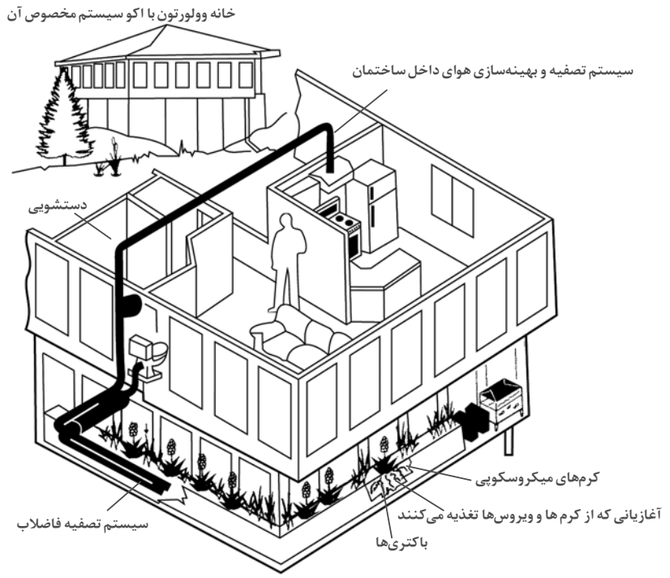
فناوری‌های زیستی پایدار برای قرن ۲۱

با افزایش روز افزون جمعیت جهان بسیاری از شهرها با مشکل گسترش بی‌رویه مواجه‌اند. به همین دلیل کمتر امکان اختصاص زمین لازم برای تصفیه پساب‌ها به هر روشی فراهم می‌شود. گرانی بهای زمین و محدودیت‌های دیگر اقتصادی کسانی را که به دنبال گسترش طرح‌های تصفیه پساب به روش‌های طبیعی هستند به جستجوی فناوری‌هایی پایدار واداشته است. یکی از این روش‌ها در نظر گرفتن یک ساختمان به عنوان یک اکوسیستم پایدار است که در آن روش‌های تصفیه طبیعی به صورت مستقل به کار گرفته شده است. به بیان دیگر هر ساختمان محیط‌زیست خود را خواهد داشت و به طور مستقل مسئول از بین بردن پسماندهایش است.

ساخت سیستم‌های تصفیه پساب به کمک گیاهان نیاز به احداث علفزارهای مردابی در زمین‌های با مساحت زیاد دارد، زمین‌هایی که هر روز چندین ساعت آفتاب مستقیم بر آنها بتابد. به همین دلیل به کارگیری این فناوری در داخل یک ساختمان نه عملی و نه اقتصادی است. ولی

برای پاسخگویی به این نیاز شرکت خدمات زیست‌محیطی وولورتون[1] با استفاده از گیاهانی که در نور کم هم می‌توانند به حیات خود ادامه دهند توانسته است علاوه بر تصفیه پساب ساختمان‌ها، هوای آنها را نیز تصفیه کند. این فناوری وابسته به گیاهان، ساختمان را کاملا پایدار می‌سازد.

در سال ۱۹۸۹ این فکر با افزودن یک ساختمان جدید به خانه محل زندگی وولورتون تحقق یافت. با احداث یک گلخانه هیدروپونیک در امتداد دیوار درونی و بیرونی یکی از اتاق‌های آفتابگیر عملا چهار نیاز برطرف شد: زیبایی محیط زندگی، تصفیه هوا، تصفیه پساب و کنترل رطوبت درون ساختمان. یک پمپ مرکزی هوای گرم را از اتاق آفتابگیر می‌گیرد و در تمام فضای ساختمان جدید بخش می‌کند. این سیستم منحصر به فرد که به ثبت رسیده دارای یک پاک‌کننده گازهای نامناسب است که در یکی از واحدهای گلخانه‌ای نصب شده است. یک پنکه (فن)، بو و گازهای دیگری که در آشپزخانه و سرویس بهداشتی تولید می‌شود را به فضای گلخانه منتقل می‌کند و با استفاده از فیلترهای ذغالی بوی این گازها گرفته می‌شود. میکروب‌های موجود در



1.WolvertonEnvironmental Services, Inc.

ریشه گیاهان گازهای نامناسب را تجزیه کرده و از آنها به عنوان منبع غذایی و انرژی استفاده می‌کنند. در واقع گیاهان و میکروب‌ها یک سیستم پاک‌کننده طبیعی را به وجود آورده‌اند. تنها منبع آب و مواد غذایی مورد نیاز گیاهان و میکروب‌ها پساب‌های سرویس‌های بهداشتی است.

پساب مازادی که به گلخانه وارد می‌شود به یک سیستم بیرونی منتقل می‌شود و برای آبیاری فضای سبز و در پایان ریختن به یک حوض ماهی به کار می‌رود. این سیستم بدون کوچک‌ترین مشکلی ده سال است که کار می‌کند و به دلیل طراحی مبتکرانه‌اش توجه جهانی را جلب کرده است.

نتیجه تصفیه پساب داخل ساختمان

پارامترها	مخزن جمع آوری لجن خروجی	مخزن پساب خروجی از فیلتر گیاهی
BOD_5 (mg/l)	۸۴	۲
آمونیاک	۴۰	۶/۵
باکتری‌های پساب (تعداد/۱۰۰ml)	۴×۱۰^۴	<۱/۰

در سال ۱۹۹۳ ساختمان جدید ریاضیات و علوم دانشگاه می سی سی پی[۲]، اولین ساختمان عمومی که در آن از گیاهان برای تامین سلامت فضای کار و زندگی استفاده می‌شود، ساخته شد. تصفیه هوا و پساب ساختمان به وسیله گیاهانی که در فضای داخل ساختمان کاشته شده، انجام می‌شود. یک سیستم گیاهی در فضای نورگیر ساختمان کار تصفیه هوای دفتر و اتاق کنفرانس را انجام می‌دهد. در این بخش از ساختمان کمتر تهویه صورت می‌گیرد و هوا به صورت چرخشی جا به جا می‌شود. پساب‌های دو سرویس بهداشتی کارکنان، منبع غذایی این گیاهان است. پساب‌ها همان طور که به تدریج از زیر گیاهان عبور می‌کنند تصفیه می‌شوند. آب‌های اضافی به کمک نیروی جاذبه به محیط بیرون ساختمان هدایت می‌شود تا بیشتر تصفیه شود. کارکنان ساختمان بیشتر مایلند اتاق‌های کار نزدیک به نورگیر را اشغال کنند و تا کنون هیچ شکایتی درباره کیفیت هوای ساختمان نشده است.

ایجاد اکوسیستم‌های پایدار در ساختمان‌هایی که در برابر هوای بیرونی کاملا

2. Northeast Mississippi Community College

عایق‌بندی شده‌اند در میان دست‌اندرکاران صنعت ساختمان‌سازی و مردم عادی فکری پذیرفته شده است. ترکیبی از سیستم تصفیه پساب داخل و خارج ساختمان که بتواند هوای سالم و آب پاکیزه را نیز تامین کند و بر زیبایی محیط زندگی هم بیافزاید بخشی از فناوری زیستی است که زمان استفاده از آن فرا رسیده است.

برای این که از این سیستم‌ها بیشتر استقبال شود شرکت وولورتون و شرکت آکتری موراتای ژاپن گلدان‌های سبک و ضدآبی ساخته‌اند. این گلدان‌ها با تنوع و قابلیت تعمیری که دارند به معماران امکان می‌دهند فضای داخل ساختمان‌ها را مانند فضاهای سبز باز طراحی کنند. این گلدان‌ها دارای سیستم خودکار آبیاری هستند و طوری طراحی شده‌اند که کمترین میزان مواد نگهدارنده (ریگ‌های خنثی) را لازم دارد، بنابراین جا به جایی گیاهان با یکدیگر و کاشتن گیاهان جدید در آن‌ها آسان است. این گلدان‌ها در اواخر سال ۲۰۰۱ به بازار عرضه می‌شود[۳].

در شهرهای پر جمعیت، زمین گران قیمت‌ترین کالا است. کمبود زمین و قیمت آن احداث سیستم‌های تصفیه پساب بزرگ را با مشکل مواجه ساخته است. معمولا شهرها نسبت به تصفیه پساب‌ها و مسایل زیست‌محیطی وابسته به آن بسیار کوته‌بین هستند و بسیاری از راه‌حل‌هایی که انتخاب می‌کنند به ضررشان تمام می‌شود. برای مثال می‌توان به شهر سیدنی در استرالیا اشاره کرد. این شهر بدون توجه به حیات اقتصادی‌اش پساب‌های نیمه تصفیه شده شهر را با لوله به اقیانوس هدایت می‌کرد. در نتیجه سواحلی که اقتصاد آنها به شدت به آن وابسته است از بین رفت. راه حلی که آنها برای مقابله با این مشکل اتخاذ کردند طویل‌تر کردن لوله و هدایت پساب به فاصله دورتری از اقیانوس بود. البته این فقط شهر سیدنی نیست که با چنین مشکلی مواجه است. بسیاری شهرهای دیگر در جهان هم مشکل‌های مشابهی دارند و در این‌باره باید تصمیم‌های جدی بگیرند.

تصور کنید وقتی اولین بار با مشکل تراکم خودروها مواجه شدیم و مکانی برای پارک ماشین‌ها نیافتیم چه کردیم. ساخت توقفگاه‌های چند طبقه یکی از اولین راه حل‌ها بود. شاید حالا هم باید به فکر طراحی روش‌هایی برای تصفیه طبیعی پساب‌ها در طبقات باشیم. ساختمان‌های پراکنده در سطح شهرها می‌توانند برای تصفیه پساب‌های شهری به کار گرفته

۳. تاریخ انتشار این کتاب سال ۲۰۰۱ بوده است. مترجم

شوند. می‌توان حوضچه‌هایی زیرزمینی برای تجزیه بی‌هوازی و تصفیه مقدماتی پساب‌ها احداث کرد. سپس می‌توان این پساب را به طبقه‌ی بالای ساختمان برای آبیاری گیاهانی که در آن‌جا کاشته شده هدایت کرد. از گاز متانی که از تجزیه بی‌هوازی مواد به دست می‌آید می‌توان به عنوان نیروی محرک برای راندن پساب‌ها به طبقه بالا استفاده کرد. با عبور آرام پساب‌های نیمه تصفیه شده از مجاورت ریشه درختان تصفیه نهایی انجام می‌شود. و بالاخره به کمک نیروی جاذبه پساب تصفیه شده به خاک برگردانده می‌شود. این آب برای آبیاری پارک‌ها، فضاهای سبز، زمین‌های گلف و محوطه‌های سبز دیگر قابل استفاده است. شاید باید مهندسین فضای سبز نیز در طراحی سیستم‌های تصفیه طبیعی پساب‌ها وارد عمل شوند! شاید کارهایی از این دست به نظر خیال‌پردازی و دور از دسترس باشد، اما در هر صورت باید ابتکار و خلاقیت خود را برای رفع مشکل تصفیه پساب در آینده به کار گیریم.

طرح‌های متکی بر فرایندهای زیستی برای بسیاری از ناظران دولتی، معماران، مهندسان ساختمان و مردم عادی موضوعی جدید است. برای تحقق و تعمیم فکرهای جدید نیاز به کارشناسان دوراندیش است. از هم اکنون باید به ماورای این فناوری‌های جدید بنگریم و بتوانیم مشکلات جمعیت شهرنشین جهان را برطرف کنیم. تا زمانی که دانشگاه‌ها به آموزش فناوری‌های زیستی پایدار نپردازند، معماران و مهندسان هم‌چنان از پاسخگویی صحیح به مشکلات ناتوان خواهند ماند. هیچ‌کس به تنهایی نمی‌تواند مشکلات ناشی از آلودگی محیط زیست را برطرف کند. پاسخ به این گونه مشکلات نیازمند بهره‌گیری از نیروهای جادویی طبیعت و خلاقیت بشر است تا به کمک این دو نیازهای بشر قرن بیست و یکم پاسخ گفته شود. این راه حل‌ها شاید به سادگی با به کارگیری گیاهان فراهم شود. کسانی که دور اندیش‌اند موفق خواهند شد.

منابع

1. Wolverton, B. C. Eco-Friendly Houseplants. Weidenfeld & Nicholson, London, 1996; Released in U.S. as *How To Grow Fresh Air*. Penguin, New York, 1997.
2. Wolverton, B. C. and J. D. Wolverton. "Interior Plants: Their Influence on Airborne Microbes Inside Energy-Efficient Buildings," *Journal of the Mississippi Academy of Sciences*, 1996, 41(2): 99-105.
3. Wolverton, B. C. and J. D. Wolverton. "Plants and Soil Microorganisms — Removal of Formaldehyde, Xylene and Ammonia From the Indoor Environment. "*Journal of the Mississippi Academy of Sciences*, 1993, 38(2): 11-15-
4. Wolverton, B. C. and J. Wolverton. "Bioregenerative Life Support Systems for Energy-Efficient Buildings," Proceedings of International Conference of Life Support and Biospherics. Huntsville, Alabama, 1992, pp. 117-126.
5. Wolverton, B. C., Rebecca McCaleb and W. L. Douglas. "Bioregenerative Space and Terrestrial Habitat." Ninth Biennal Princeton Conference on Space Manufacturing, Space Studies Institute, Princeton, New Jersey (May 11, 1989).
6. Wolverton, B. C. "Plants and Their Microbial Assistants: Nature's Answer to Earth's Environmental Pollution Problems." Biological Life Support Technologies: Commercial Opportunities, M. Nelson and G. Soffen (eds.), Proceedings from a workshop sponsored by NASA, Biosphere 2 Site, Oracle, AZ, 1989, pp. 60-65.
7. Wolverton, B. C., R. C. McDonald and E. A. Watkins, Jr. "Foliage Plants for Removing Indoor Air Pollutants from Energy-Efficient Homes," *Economic Botany*, 1984, 38(2): 224-228.

فصل هشتم

گیاهان تصفیه کننده پساب‌ها

سنبل مرداب Water hyacinth

Eichhornia crassipes

سنبل مرداب به صورت شناور روی آب‌های شیرین می‌روید و یکی از موفق‌ترین گیاهان اشغالگر محسوب می‌شود. این گیاه از مناطق حاره آمریکای جنوبی در بیش از ۵۰ کشور، در نقاط دیگر جهان پراکنده شده است. این گیاه شناور می‌تواند در گل‌های حاشیه‌آب‌ها نیز ریشه بدواند و رشد کند. برگ‌هایی معمولا سبز رنگ و پف‌کرده و بادکنک مانند دارد. گل‌هایش به رنگ بنفش، آبی یا سفید جلوه می‌کند و در آب گرم سریع‌تر رشد می‌کند. به همین دلیل در مناطق حاره و تحت‌حاره، آبراه‌ها با این گیاه پوشیده می‌شود و مزاحمت ایجاد می‌کند. توانایی رشد سریع این گیاه که اغلب باعث ناراحتی می‌شود، در حقیقت نقطه قوت آن محسوب می‌شود و درست به همین دلیل است که یکی از بهترین گیاهان برای جذب مواد غذایی از پساب و تصفیه آنها است. این گیاه همزمان با تصفیه آب‌های آلوده می‌تواند مقدار زیادی مواد معدنی به صورت بافت‌های گیاهی تولید کند.

زنبق مرداب Water iris

Iris pseudacous

زنبق مرداب در آب و هوای سرد چندساله و با دوام است، اما در مناطق گرمسیر سواحل جنوبی آمریکا همیشه سبز است. این گیاه از اروپا به آمریکا راه یافت. در اوایل بهار گل‌های زرد رنگی تولید می‌کند و به همین دلیل به آن پرچم زرد هم می‌گویند. زنبق مرداب در آبگیرهای کم‌عمق یا مناطق باتلاقی گرم بهتر رشد می‌کند. گونه‌های دیگر این گیاه گل‌های آبی کم‌رنگ و ارغوانی تولید می‌کنند و به همین دلیل به آنها پرچم آبی هم می‌گویند. این گیاه بومی آمریکا است؛ ارتفاعی متوسط دارد و تا ۱/۲ متر قد می‌کشد؛ از ریشه زیرزمینی می‌روید و در مناطق گوناگونی از آبگیرها و زمین‌های مرطوب لوییزیانا و کناره خلیج مکزیک می‌روید.

ارزن مردابی Torpedo grass

Panicum repens

ارزن مردابی گیاهی چندساله است که در خاک و محیط‌های آبی به خوبی می‌روید. این گیاه به آسانی با گیاه پانیکوم اشتباه گرفته می‌شود؛ از ریشه‌ای سخت می‌روید که نوک آن باریک و مانند اژدر است. بسیار مهاجم است و رشد سریعش می‌تواند ایجاد مزاحمت کند. برگ‌هایش کوچک و عرض آن معمولا ۱/۵ تا ۶ میلی‌متر است و ساقه‌های رونده‌ای به طول ده‌ها سانتی‌متر تولید می‌کند. این گیاه را می‌توان در کناره جویبارها و به صورت پوشش شناور روی جویبارها مشاهده کرد.

تیرکمان آبی Arrowhead

Sagittaria lancifolia

تیرکمان آبی گیاهی آبزی و چندساله است که در محیط‌های آبی و مرطوب کناره دریاچه‌ها، آبگیرها، رودخانه‌ها و مرداب‌ها می‌روید. این گیاه بومی آمریکا است و در تمام نقاط آمریکا دیده می‌شود، مگر مناطق جنوب غربی. گل‌های سفید رنگ و تماشایی این گیاه که بر ساقه‌های کلفتش می‌روید معمولا از سطح برگ‌ها بلندتر می‌شوند. این‌ها ویژگی‌هایی هستند که تشخیص این‌گیاه را در طبیعت آسان می‌سازد. دو گونه این گیاه از نظر ظاهری تفاوت‌هایی با هم دارند، *lancifolia* برگ‌های کشیده و تیغه شکلی دارد، در صورتی که *latifolia* برگ‌هایی پهن،بزرگ و پیکان مانندی دارد.

بولراش نرم ساقه Soft-stem bulrush

Scirpus validus

بولراش نرم ساقه گیاهی آبزی و چندساله است که ریشه‌اش شبکه گسترده ایجاد کرده و در سطح وسیعی رشد می‌کند. این گونه به اندازه گونه جنوبی بلند نمی‌شود و آنها را می‌توان در گل، آب‌های کم‌عمق و مرداب‌ها در نقاط گوناگون آمریکا یافت.

بولراش بزرگ Giant bulrush

Scripus californicus

بولراش بزرگ، در نقاط مختلف جهان گونه‌های متعددی دارد. محیط زندگی آن‌ها آب‌های کم‌عمق آبگیرها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مرداب‌ها است. گونه‌ای که معمولا برای تصفیه فاضلاب از آن استفاده می‌شود موسوم به بولراش جنوبی (*Scirpus californicus*) است و گونه نرم‌ساقه آن (*Scirpus validus*) نام دارد. گونه جنوبی آن بلند است و ساقه‌های رونده کلفت دارد. ساقه‌هایش سه گوش است و بین ۹۰ سانتی‌متر تا سه متر قد می‌کشد. ساقه‌ها صاف و به رنگ سبز تیره‌اند و فاقد برگ‌اند. این گیاه بومی مرداب‌های آب شیرین و قلیایی مرکزی و مرداب‌های آب شیرین و شور مناطق ساحلی کالیفرنیا تا کارولینای جنوبی، تگزاس، لوییزیانا، می‌سی‌سی‌پی، آلاباما و فلوریدا است و می تواند در آب‌هایی که تا یک متر عمق دارند رشد کند. این گیاه به اندازه پانیکوم و لوبی در برابر خشکسالی مقاوم نیست، اما می تواند مدت کوتاهی بدون این که آسیب زیادی ببیند در خاک کاملا خشک زنده بماند. غرق شدن این گیاه در سیلاب به مدت کوتاه به آن آسیب نمی‌رساند.

شیپوری Calla lily

Zantedeschia aetiopica

شیپوری گیاهی علفی، چندساله و رطوبت دوست است. ۶۰ تا ۹۰ سانتی متر قد می‌کشد و در طول سال گل‌های سفیدی که قدشان به ۱۰ سانتی متر می‌رسد تولید می‌کند. برگ‌هایی پرپشت، سبز رنگ و پیکان شکل دارد. اصلا گرمسیری است، اما زمستان‌های مناطق معتدل را هم تحمل می‌کند. نیمه‌آبزی است و در آب‌های راکد خوب رشد نمی‌کند.

کانا Canna lily

Canna flaccida

کانا گیاهی چندساله است که در مناطق مرطوب و در طول حاشیه ساحلی جنوب آمریکا می‌روید، این گیاه را در حاشیه ساحلی شرقی از جنوب کارولینا تا فلوریدا نیز می‌توان مشاهده کرد. در مناطق جنگلی نمی‌روید. این گیاه را به خاطر گل‌های زرد، قرمز و نارنجی زیبای‌شان پرورش می‌دهند. کانا ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر قد می‌کشد، برگ‌هایش کشیده و مانند پیکان است؛ ۶۰ سانتی‌متر طول و ۱۲ سانتیمتر عرض دارد. گونه‌های دیگر این گیاه تا ۱/۵ متر قد می‌کشند و برگهای‌شان سبز یا قرمز با رگبرگ‌های برجسته است.

لویی Cattail

Typha latifolia

لویی گیاهی آبزی و چندساله است و در مناطق مردابی یا آب‌های کم‌عمق می‌روید و از رایج‌ترین گیاهان آبزی است. بیش از ۲/۵ متر قد می‌کشد و ریشه‌هایی رونده دارد که توسط آنها تکثیر می‌شود. بسیاری اوقات یک منطقه را کاملا می‌پوشاند، مخصوصا زمانی که ارتفاع آب نوسان داشته باشد. وجه تسمیه Cattail (دم گربه‌ای) گل‌های استوانه‌ای شکلش است که تا ۳۰ cm رشد می‌کند. دو گونه‌ای که بیشتر در آمریکا یافت می‌شود عبارتند از: *Typha latifolia, Typha augustifolia*.

عدسک آبی Duckweed

Lemmna, Spirodela, and Wolffia sp.

عدسک آبی گیاهی کوچک و شناور است و در تمام نقاط جهان روی آب‌های راکد و مردابی می‌روید. معمولا به صورت پوشش ضخیم، مخصوصا روی آب‌هایی که سرشار از پساب حیوانی یا انسانی باشد رشد می‌کند. در این پوشش‌های ضخیم معمولا هر سه گونه این گیاه با هم دیده می‌شوند. عدسک آبی در آب و هوای گرم و سرد رشد می‌کند. زمانی که روی پساب‌ها بروید به سرعت رشد می‌کنند و سرشار از پروتیین، ویتامین و مواد معدنی هستند. به همین دلیل علاوه بر اهمیت‌شان در تصفیه پساب، به دلیل مواد جانبی که تولید می‌کنند ارزش فراوانی دارند.

گوش فیلی Elephant ear

Colocasia esculenta

گوش فیلی در اکثر مناطق جهان دیده می‌شود. ریشه‌های لوله مانند این گیاه سرشار از نشاسته است و آن‌ها را می‌توان مانند سیب‌زمینی پخت، کباب یا در روغن سرخ کرد. البته فقط در مصر، فیلیپین، هاوایی و مناطق خاصی از جزایر پاسیفیک و کارائیب آنها را به عنوان غذا پرورش می‌دهند. این گیاه در مناطق مردابی و آب‌های راکد می‌روید و برخی از گونه‌های آن در برابر نمک مقاوم‌اند. این گیاه در آب‌های کم‌عمق می‌تواند زندگی کند و در آب و خاک غنی سریع رشد می‌کند. در شرایطی که بارندگی کافی باشد یا آبیاری به اندازه کافی صورت گیرد گوش فیلی در خاک خشک هم رشد می‌کند. مناسب‌ترین شرایط برای رشد این گیاه آب و هوای حاره است، اما در آب و هوای متعدل هم که بین ۶ تا ۸ ماه درسال یخبندان نباشد می‌تواند رشد کند.

هدیکیوم Ginger lily

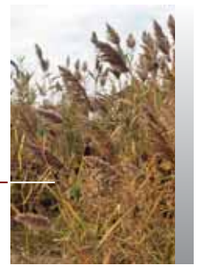
Hedychium coronarium

هدیکیوم گیاهی چندساله است، برگ‌هایش بزرگ و سبز رنگ است و به canna lily شباهت دارند. در مناطق متعدل رشد می‌کند و گل‌های سفید رنگ و خوشبویی دارد. گونه *gardnerianum* آن گل‌هایی رنگ زرد و بوی آن شبیه گیاه گاردنیا است. هدیکیوم در محیط مرطوب به خوبی تا ارتفاع نزدیک ۲ متررشد می‌کند.

گیاه غلافی Pickerelweed

Potederia cordata

گیاه غلافی گیاهی چندساله و آبزی است، ارتفاعش به حدود ۹۰ سانتی‌متر می‌رسد. برگ‌هایش صاف و به رنگ سبز تیره است و ساقه‌هایش صاف به طرف بالا ایستاده‌اند. گل‌هایش به رنگ آبی آسمانی با زمینه‌ای دانه دانه است که در انتهای ساقه‌ها قرار دارند. این گیاه علاقه زیادی به آفتاب دارد و در مناطق معتدل به ندرت دیده می‌شود. اغلب در مناطق مرطوب و آب‌های کم‌عمق در بخش‌های جنوبی، شرقی و مرکزی آمریکا یافت می‌شود.



نی Common reed

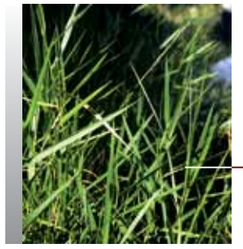
Phragmites communis

نی گیاهی چندساله و آبزی است که در خشکی هم می‌روید و ارتفاعش به ۴/۵ متر هم می‌رسد. در حاشیه آب‌های شیرین و شور که چند ده سانتی‌متر عمق داشته باشد هم می‌روید. این گیاه را می‌توان در کناره مرداب‌ها، ساحل دریاها و کانال‌های آب مشاهده کرد. رشد سریع و گسترده این گیاه گاهی بسیار ایجاد مزاحمت می‌کند. ساقه این گیاه معمولا تا ۲/۵ سانتی‌متر قطر دارد، بسیار محکم است و برگ‌های آن به صورت یک در میان و متقابل در نیمه بالای آن می‌رویند. شکوفه‌های نی بزرگ، بسیار ظریف هستند و بین ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر طول و تا حدود ۱۰ سانتی‌متر عرض‌شان است و در انتهای ساقه‌ها می‌رویند. این گیاه را در تمام نقاط آمریکا می‌توان یافت.

سازوی افشان Soft rush

Juncus effusus

سازوی افشان گیاهی همیشه سبز است که در کناره‌های جنوبی آمریکا می‌روید و در مناطق سردتر به صورت چندساله دیده می‌شود. این گیاه به صورت دسته‌جمعی و انبوه، از ریشه‌های کوتاه و کلفت در آب‌های شیرین و شور می‌روید. ساقه‌های سبز روشن آن صاف می‌ایستد و بین ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر قد می‌کشد. برگ ندارد و گاهی اوقات آن را با بولراش اشتباه می‌گیرند. هر ساقه گل‌های فراوانی دارد که پایین‌تر از نوک آن رشد می‌کنند. تفاوت آنها با بولراش در همین است، زیرا گل‌های بولراش در نوک ساقه می‌روید. محل رشد آنها خاک‌های مرطوب یا آب‌های کم‌عمق کناره رودخانه‌ها، آبگیرها، دریاچه‌ها و جویبارها است.



پانیکوم Maidencane

Panicum hemitomon

پانیکوم گیاهی چندساله و آبزی است که در شرایط نیمه‌آبزی هم می‌تواند رشد کند. به بیان دیگر در آب‌های راکد و خاک کاملا مرطوب هم رشد می‌کند. این گیاه در حاشیه کم‌عمق دریاچه‌ها، آبگیرها و جویبارها و معمولا در پوشش وسیع دیده می‌شود. برگ‌هایش بیشتر پهن است و عرض آن به ۲/۵ سانتی‌متر می‌رسد. معمولا به صورت انبوه و تا ارتفاع حدود ۴۰ سانتی‌متر رشد می‌کند. این گیاه در آب‌های کم‌عمق و مناطق مرطوب در امتداد سواحل شرقی و جنوبی آمریکا می‌روید.

هیدرو کاتیل Water pennywort

Hydrocotyle umbellata

هیدروکاتیل بسیار فراوان است و معمولا به صورت شناور روی سطح آب‌ها دیده می‌شود. این گیاه دارای ساقه دراز و خزنده‌ای است که پوشش ضخیمی روی آب می‌سازد. این گیاه را می‌توان نزدیک آبگیرها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مرداب‌ها مشاهده کرد و بیشتر از سنبل مرداب در برابر سرما مقاوم است. از ویژگی‌های این گیاه برگ‌ها و ساقه‌های در هم تنیده آن است. ساقه‌های آن سرشار از مواد قندی است و رشد بسیار زیادی دارند. برگ‌هایش دایره شکل است به اندازه سکه‌های صد ریالی بزرگ قدیمی و لبه‌های آنها دالبر است.

مارانتا Water canna

Thalia dealbata

مارانتا گیاهی آبزی و چندساله است و در آبگیرهای کم‌عمق، لجنزارها و مرداب‌ها می‌روید. تیغه‌هایی به طول حدود ۲/۵ متر دارد و گل‌هایش آبی و بنفش است. گل‌هایش شش گلبرگ دارد که در انتهای ساقه بدون برگی می‌روید معمولا اواخر تابستان و اوایل پاییز گل می‌دهد. این گیاه را در کناره‌های ساحلی از فلوریدا تا تگزاس و به طرف شمال تا میسوری و کارولینای جنوبی می‌توان مشاهده کرد.

آلترانانترا Alligator weed

Alternanthera philoxeroides

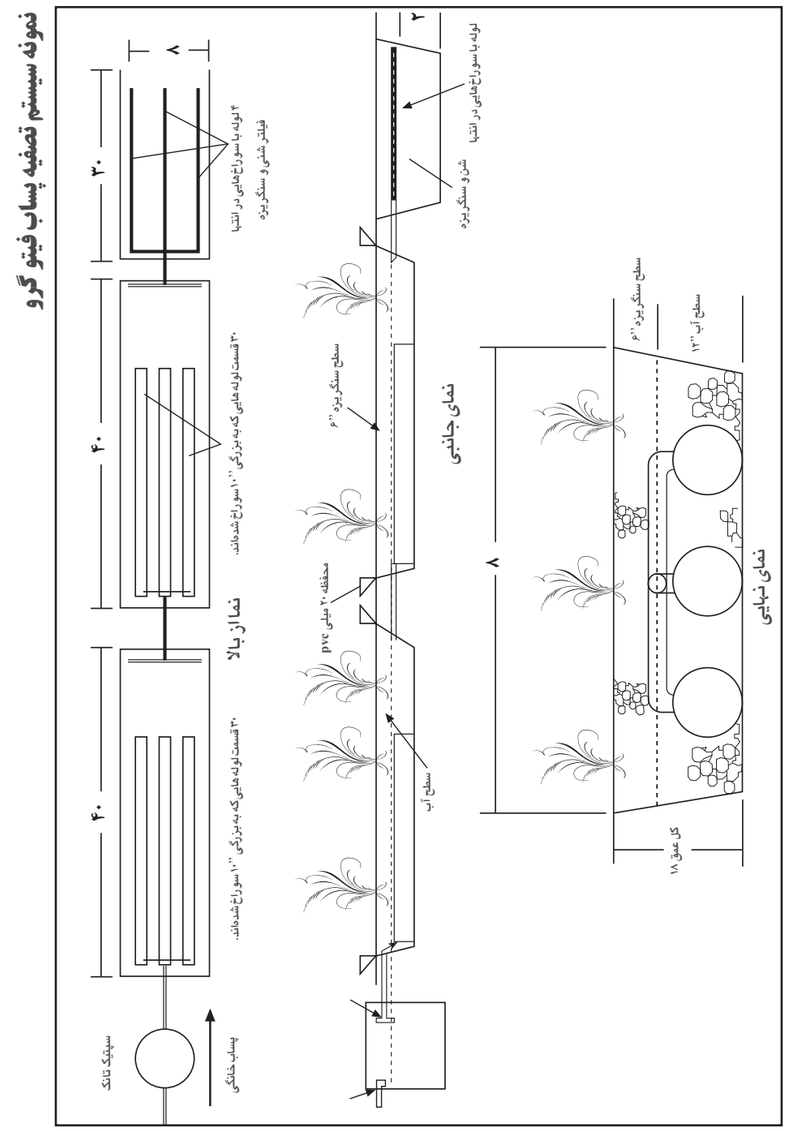
آلترنانترا گیاهی آبزی و چندساله است که در جنوب شرقی آمریکا می‌روید و از آمریکای جنوبی به آن جا راه یافته است. این گیاه را می‌توان در جنوب کالیفرنیا هم مشاهده کرد. زیستگاه‌های متفاوتی دارد و می‌تواند در زمین‌های خشک یا به صورت شناور در آبگیرها و جویبارها زندگی کند. گل‌های این گیاه سفید و کاغذی هستند و روی ساقه جداگانه می‌رویند. چون این گیاه را نوعی آفت آبی می‌دانند اداره کشاورزی انواعی سوسک آبی[1] از زیستگاه‌های دیگر به این نقطه منتقل کرده است تا این گیاه را کنترل کند. در اثر فعالیت سوسک‌های آبی برگ‌های این گیاه سوراخ سوراخ به نظر می‌رسد.

پلتاندرا Arrow arum

Peltandra viginica

پلتاندرا در زمین‌های مرطوب، باتلاق‌ها، چاله‌ها، کانال‌های آب، مرداب‌ها و کناره‌های ساحلی می‌رویند و بیشتر در مناطق جنوب‌شرق و مرکز آمریکا مشاهده می‌شوند. این گیاه برگ‌های سبز مایل به زرد پیکان مانند دارد که تا ارتفاع حدود یک متر بر روی ساقه‌های شیرابه‌ای‌اش رشد می‌کنند.

1. Weevil



پیوست: جدول‌های نتیجه مطالعات

ناسا، مرکز فضایی استنیس، می سی سی پی، تالاب شماره ۱

مدت زمان ثبت گزارش	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	حجم پساب (گالن/ روز)
حد مجاز	۳۰/۰	۳۰/۰	
ژانویه ۱۹۹۵	۳/۱	۲/۰	۱۳۳،۵۰۰
فوریه ۱۹۹۵	۱۰/۱	۱۶/۰	۱۸۱،۱۴۰
مارس ۱۹۹۵	۱۲/۷	۱۶/۰	۱۶۴،۰۰۰
آوریل ۱۹۹۵	۷/۰	۱۴/۰	۱۷۴،۴۰۰
می ۱۹۹۵	۷/۲	۱۰/۰	۱۴۱،۱۶۰
ژوئن ۱۹۹۵	۵/۹	۴/۰	۸۳،۱۰۰
ژوئیه ۱۹۹۵	۷/۴	۹/۰	۸۴،۷۰۰
اوت ۱۹۹۵	۱۲/۰	۱۱/۰	۱۵۲،۲۰۰
سپتامبر ۱۹۹۵	۱۰/۳	۴/۰	۱۰۸،۳۰۰
اکتبر ۱۹۹۵	۱۳/۳	۷/۰	۱۴۸،۷۰۰
نوامبر ۱۹۹۵	۶/۴	۹/۰	۹۹،۱۰۰
دسامبر ۱۹۹۵	۱۲/۹	۱۲/۰	۹۸،۶۰۰
میانگین سالانه	۹/۰	۹/۵	۱۳۱،۰۰۰

ناسا، مرکز فضایی استنیس، می سی سی پی ، میانگین سالانه تالاب اصلی شماره ۱

مدت ثبت گزارش	میزان جریان (گالن/ روز)	پساب ورودی BOD_5 (mg/l)	پساب ورودی TSS (mg/l)	حجم پساب BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)
۱۹۷۶	۱۲۵،۴۰۰	۱۰۸	۹۸	۵/۲	۱۱
۱۹۹۶	۱۴۰،۳۲۶	۱۴۰	۹۸	۸/۹	۱۰

ناسا، مرکز فضایی استنیس، می سی سی پی، تالاب شماره ۲

مدت زمان ثبت گزارش	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	حجم پساب (گالن/ روز)
حد مجاز	۳۰/۰	۳۰/۰	
ژانویه ۱۹۹۵	۱/۴	۲/۰	۳۴،۶۰۰
فوریه ۱۹۹۵	۱/۸	۱/۰	۶۰،۱۰۰
مارس ۱۹۹۵	۲/۳	۱/۰	۵۷،۷۰۰
آوریل ۱۹۹۵	۱/۵	۶/۰	۷۷،۸۰۰
می ۱۹۹۵	۴/۸	۵/۰	۳۰،۴۰۰
ژوئن ۱۹۹۵	۵/۴	۲/۰	۳۶،۴۰۰
ژوئیه ۱۹۹۵	۵/۳	۶/۰	۷۷،۷۰۰
اوت ۱۹۹۵	۶/۲	۴/۰	۷۶،۸۰۰
سپتامبر ۱۹۹۵	۵/۳	۱/۰	۳۲،۲۰۰
اکتبر ۱۹۹۵	۶/۲	۳/۰	۰۰۰۰
نوامبر ۱۹۹۵	۴/۲	۴/۰	۵۳،۱۰۰
دسامبر ۱۹۹۵	۴/۶	۶/۰	۴۶،۹۰۰
میانگین سالانه	۴/۰	۳/۴	۵۶،۲۰۹

هاگتون، لوییزیانا، سیستم تصفیه زیرسطحی پساب، فیلتر سنگی - گیاهی

تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	حجم پساب (گالن/ روز)
اوت ۸۷	۱۰/۴	۱۰/۲	اوت ۹۶	۲/۱	۶/۰	۹۷،۹۰۰
سپتامبر ۸۷	۶/۴	۹/۵	سپتامبر ۹۶	۵/۵	۱۰/۲	۱۴۵،۴۰۰
اکتبر ۸۷	۱۱/۴	۷/۵	اکتبر ۹۶	۳/۳	۹/۰	۱۹۷،۳۰۰
نوامبر ۸۷	۹/۱	۶/۰	نوامبر ۹۶	۱۳/۴	۱۹/۷	۲۶۷،۸۰۰
دسامبر ۸۷	۸/۲	۵/۰	دسامبر ۹۶	۳/۹	۶/۱	۱۵۸،۸۰۰
ژانویه ۸۸	۱۴/۰	۱۳/۰	ژانویه ۹۷	۲/۸	۳/۷	۳۴۹،۱۰۰
فوریه ۸۸	۱۶/۲	۱۲/۵	فوریه ۹۷	۶/۲	۱۵/۰	۳۹۲،۴۰۰
مارس ۸۸	۱۶/۲	۱۹/۰	مارس ۹۷	۳/۷	۱۲/۰	۲۳۲،۳۰۰
آوریل ۸۸	۵/۸	۲/۵	آوریل ۹۷	۳/۸	۹/۷	۳۲۸،۵۰۰
می ۸۸	۳/۱	۱۴/۵	می ۹۷	۴/۴	۶/۰	۱۳۴،۰۰۰
ژوئن ۸۸	۱/۰	۸/۰	ژوئن ۹۷	۳/۰	۴/۲	۴۶۴،۰۰۰
ژوئیه ۸۸	۱/۰	۴/۵	ژوئیه ۹۷	۲/۱	۴/۰	۴۶۴،۰۰۰
میانگین	**۸/۶**	**۹/۴**	**میانگین**	**۴/۵**	**۸/۸**	**۲۳۶،۲۹۲**

یونیون، می سی سی پی

مدت زمان ثبت گزارش	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی pH
حد مجاز	۱۵/۰	۳۰/۰	۶/۰ - ۹/۰
سه ماه چهارم ۱۹۹۰	۷/۰	۱۴/۰	۷/۷
سه ماه اول ۱۹۹۱	۹/۰	۷/۰	۷/۵
سه ماه دوم ۱۹۹۱	۶/۰	۱۱/۰	۷/۸
سه ماه سوم ۱۹۹۱	۱۰/۰	۱۵/۰	۷/۷
سه ماه چهارم ۱۹۹۱	۱۵/۰	۱۵/۰	۷/۵
میانگین	**۹/۴**	**۱۲/۴**	**۷/۶**

پیکایون، می سی سی پی، سیستم تصفیه پساب میکرو - آگرو

مدت زمان ثبت گزارش	پساب ورودی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی BOD5 (mg/l)	پساب ورودی TSS (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	حجم پساب (میلیون گالن/روز)
میزان مجاز	**N/A**	**۳۰**	**N/A**	**۳۰**	
۱۹۹۲	۱۳۹	۲۷	۹۶	۱۵	۱/۶۵
۱۹۹۳	۱۰۲	۲۹	۱۱۳	۲۵	۱/۷۵
۱۹۹۴	۱۳۰	۲۳	۱۶۳	۲۵	۱/۶۳
۱۹۹۵	۱۲۲	۳۰	۱۰۴	۲۳	۱/۶۰
۱۹۹۶	۹۵	۲۹	۹۱	۲۳	۱/۶۷
۱۹۹۷	۱۰۰	۲۹	۹۹	۱۵	۱/۷۶
میانگین	**۱۱۵**	**۲۸**	**۱۱۱**	**۲۱**	**۱/۶۸**

دکالب، می سی سی پی، سیستم پساب میکرو - آگرو

مدت زمان ثبت گزارش	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	آمونیاک
حد مجاز	**۱۰/۰**	**۳۰/۰**	۰
سه ماه سوم ۱۹۹۶	۱۱/۰	۲۰/۰	۰/۳۳
سه ماه چهارم ۱۹۹۶	۴/۰	۱۶/۰	۲/۹۰
سه ماه اول ۱۹۹۷	۳/۹	۲۶/۵	۱/۸۵
سه ماه دوم ۱۹۹۷	۵/۳	۲۳/۰	۲/۰۴
سه ماه سوم ۱۹۹۷	۶/۰	۲۱/۰	۰/۱۲
سه ماه چهارم ۱۹۹۷	۵/۰	۱۸/۰	۰/۲۴

مندویل، لوییزیانا

تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	حجم پساب (میلیون گالن/ روز)
حد مجاز	**۱۰/۰**	**۱۵/۰**	**۵/۰**		**۱۰/۰**	**۱۵/۰**	**۵/۰**	
ژانویه ۹۰	۷/۳۸	۱۰/۰	۳/۴۶	ژانویه ۹۷	۸/۰	۴/۰	۷/۲	۱/۹۵۰
فوریه ۹۰	۱۳/۸۰	۹/۵۰	۰/۲۱	فوریه ۹۷	۱۰/۰	۵/۸	۲۰/۰	۲/۱۸۰
مارس ۹۰	۹/۱۱	۷/۶۰	۰/۲۹	مارس ۹۷	۷/۱	۳/۳	۴/۶	۱/۷۲۰
آوریل ۹۰	۱۱/۲۵	۲/۸۸	۱/۱۴	آوریل ۹۷	۴/۸	۴/۹	۳/۶	۱/۹۳۰
می ۹۰	۱۱/۲۰	۱۰/۲۰	۰/۲۹	می ۹۷	....	....	....	....
ژوئن ۹۰	۹/۶۳	۲/۵۰	۰/۶۸	ژوئن ۹۷	۴/۶	۴/۵	۲/۶	۱/۲۳۰
ژوئیه ۹۰	۱۰/۰۰	۹/۵۶	۰/۸۲	ژوئیه ۹۷	۶/۵	۳/۸	۵/۲	۱/۷۶۰
اوت ۹۰	۱۷/۴۵	۴/۷۸	۰/۶۶	اوت ۹۷	۷/۰	۲/۴	۶/۱	۱/۴۷۰
سپتامبر ۹۰	۱۴/۱۴	۱۰/۱۳	۰/۶۷	سپتامبر ۹۷	۶/۲	۲/۲	۸/۱	۱/۱۵۰
اکتبر ۹۰	۱۴/۸۹	۳/۲۲	۰/۲۱	اکتبر ۹۷	۷/۰	۲/۱	۱۲/۸	۱/۱۲۵
نوامبر ۹۰	۷/۵۶	۳/۱۳	۰/۸۴	نوامبر ۹۷	۹/۸	۳/۱	۹/۶	۱/۵۰۰
دسامبر ۹۰	....	....	....	دسامبر ۹۷	۱۰/۹	۳/۸	۹/۴	۱/۴۴۰
میانگین	**۱۱/۴۹**	**۶/۶۸**	**۰/۸۴**		**۷/۴۵**	**۳/۶۳**	**۸/۱۱**	**۱/۵۸۳**

دلکامبر، لوییزیانا

تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	حجم پساب (میلیون گالن/ روز)
حد مجاز	**۳۰/۰**	**۳۰/۰**	**N/A**		**۳۰/۰**	**۳۰/۰**	**N/A**	
ژانویه ۹۳	۳/۰	۴/۰	۰/۱۳	ژانویه ۹۶	۵/۰	۱۵/۰	۰/۵۵	۶۷۰،۰۰۰
فوریه ۹۳	۲/۰	۷/۰	۰/۳۲	فوریه ۹۶	۱۰/۰	۱۴/۰	۲/۵۴	۳۵۰،۰۰۰
مارس ۹۳	۴/۰	۶/۰	۱/۱۰	مارس ۹۶	۴/۰	۱۴/۰	۱/۱۶	۲۱۰،۰۰۰
آوریل ۹۳	۹/۰	۲۱/۰	۱/۴۰	آوریل ۹۶	۲/۰	۲/۰	۲/۹۱	۱۸۹،۰۰۰
می ۹۳	۶/۰	۱۱/۰	۱/۲۶	می ۹۶	۴/۰	۴/۰	۲/۹۰	۱۵۰،۰۰۰
ژوئن ۹۳	۶/۰	۱۰/۰	۳/۳۱	ژوئن ۹۶	۵/۰	۵/۰	۵/۰۵	۳۱۰،۰۰۰
ژوئیه ۹۳	۳/۰	۱۳/۰	۵/۲۷	ژوئیه ۹۶	۷/۰	۳/۰	۵/۴۸	۲۴۰،۰۰۰
اوت ۹۳	۴/۰	۲/۰	۵/۸۵	اوت ۹۶	۳/۰	۴/۰	۵/۹۷	۵۲۰،۰۰۰
سپتامبر ۹۳	۴/۰	۴/۰	۵/۵۹	سپتامبر ۹۶	۲/۰	۶/۰	۵/۰۵	۳۷۰،۰۰۰
اکتبر ۹۳	۵/۰	۱/۰	۵/۶۰	اکتبر ۹۶	۴/۰	۹/۰	۳/۷۲	۵۴۰،۰۰۰
نوامبر ۹۳	۴/۰	۵/۰	۲/۶۱	نوامبر ۹۶	۴/۰	۱۰/۰	۱/۲۶	۷۵۰،۰۰۰
دسامبر ۹۳	۵/۰	۲/۰	۳/۰۱	دسامبر ۹۶	۲/۰	۹/۰	۱/۸۲	۵۷۰،۰۰۰
میانگین	**۴/۵۸**	**۷/۱۷**	**۲/۹۵**		**۴/۳۳**	**۷/۹۲**	**۳/۲۰**	**۴۰۵،۷۵۰**

▼ وال نوت کاو، کالیفرنیای شمالی، سیستم تصفیه پساب میکرو - آگرو (ژوئیه ۹۶ - دسامبر ۹۷)

تاریخ	پساب ورودی BOD_5 (mg/l)	پساب ورودی TSS (mg/l)	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	حجم پساب (گالن/روز)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	پساب pH
حد مجاز			۳۰/۰۰		۳۰/۰	۱۰/۰	
ژوئیه ۹۶	۱۶۷	۱۴۳	۷/۰۰	۱۷۵،۶۰۰	۵/۰	<۰/۱۰	۶/۶
اوت ۹۶	۷۸	۲۳۸	۸/۰۰	۱۸۶،۳۴۰	۲/۰	<۰/۱۰	۷/۰
سپتامبر ۹۶	-	-	۲/۰۰	-	۴/۰	۰/۵۰	-
اکتبر ۹۶	۱۴۱	۱۶۰	۴/۰۰	۲۰۲،۸۲۰	۱/۰	<۰/۱۰	۷/۰
نوامبر ۹۶	۱۱۹	۷۰	۱/۰۰	-	۲/۰	<۰/۱۰	۶/۶
دسامبر ۹۶	۱۳۶	۱۱۹	۲/۰۰	۲۴۱،۴۰۰	۲/۰	<۰/۱۰	۶/۷
ژانویه ۹۷	۱۱۱	۷۱	۴/۰۰	۱۸۴،۷۴۰	۱/۰	<۰/۱۰	۶/۸
فوریه ۹۷	۱۰۰	۱۰۰	۲/۰۰	۲۳۱،۱۱۵	۲/۰	<۰/۱۰	۷/۰
مارس ۹۷	۱۰۶	۱۱۰	۲/۷۵	۲۰۸/۳۵۰	۱/۰	۰/۱۲۵	۷/۳
آوریل ۹۷	۱۳۹	۸۰	۳/۵۰	۱۷۱،۰۱۲	۲/۰	<۰/۱۰	۶/۵
می ۹۷	۱۳۵	۶۸	۴/۵۰	۱۰۳،۵۴۰	۱۹/۰	<۰/۱۰	۶/۶
ژوئن ۹۷	۱۰۹	۶۷	۶/۷۵	۱۱۷،۱۵۰	۱۳/۷	<۰/۱۰	۶/۸
ژوئیه ۹۷	۱۰۷	۴۲	۶/۰۰	۱۱۱،۰۹۰	۱۶/۰	۰/۳۰	۶/۸
اوت ۹۷	۱۰۳	۵۹	۵/۸۰	۷۴،۰۱۰	۸/۰	۰/۸۰	۶/۸
سپتامبر ۹۷	۹۸	۸۶	۴/۷۰	۱۳۰،۳۶۰	۸/۰	۰/۴۰	۶/۳
اکتبر ۹۷	۱۲۸	۶۲	۳/۴۰	۱۰۴،۱۶۰	۶/۰	۰/۳۰	۶/۵
نوامبر ۹۷	۱۴۸	۶۱	۲/۰۰	۹۹،۳۴۰	۴/۰	۰/۱۳	۶/۶
دسامبر ۹۷	۱۷۲	۷۷	۱/۵۰	۱۱۸،۴۸۰	۶/۳	۰/۴۵	۶/۴

▼ وال نوت کاو، کالیفرنیای شمالی، سیستم تصفیه پساب میکرو - آگرو (ژانویه ۹۸ - آوریل ۹۹)

تاریخ	پساب ورودی BOD_5 (mg/l)	پساب ورودی TSS (mg/l)	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	حجم پساب (گالن/روز)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	پساب pH
حد مجاز			۳۰/۰۰		۳۰/۰	۱۰/۰۰	
ژانویه ۹۸	۹۹	۷۲	۳/۷۰	۲۶۱،۵۷۰	۴/۰	۱/۳۰	۶/۷
فوریه ۹۸	۶۴	۷۰	۳/۵۰	۲۸۶،۴۵۰	۲/۷	۰/۳۵	۶/۹
مارس ۹۸	۹۵	۱۲۰	۲/۰۰	۱۸۹،۷۲۰	۲/۵	<۰/۱۰	۶/۸
آوریل ۹۸	۸۸	۷۹	۵/۴۰	۲۱۲،۰۴۰	۱۰/۴	۰/۲۰	۶/۸
می ۹۸	۸۵	۳۶	۷/۵۰	۱۴۹،۸۷۰	۶/۸	۰/۶۰	۶/۶
ژوئن ۹۸	۹۹	۶۰	۷/۲۵	۱۲۶،۲۱۰	۹/۲	۱/۲۰	۶/۴
ژوئیه ۹۸	۸۵	۴۳	۴/۶۰	۵۵،۱۳۰	۷/۲	۰/۳۰	۶/۷
اوت ۹۸	۸۷	۸۷	۳/۵۰	۸۱،۱۲۰	۵/۵	<۰/۱۰	۶/۶
سپتامبر ۹۸	۹۷	۴۸	۳/۲۰	۹۴،۹۳۰	۸/۶	۰/۱۰	۶/۸
اکتبر ۹۸	۱۲۵	۵۶	۲/۳۰	۱۰۲،۱۱۰	۳/۸	<۰/۱۰	۶/۶
نوامبر ۹۸	۱۲۵	۹۸	<۲/۰۰	۸۵،۱۰۰	۲/۰	<۰/۱۰	۶/۶
دسامبر ۹۸	۱۳۲	۱۲۴	<۲/۰۰	۱۶۲،۳۲۰	۸/۴	۰/۳۰	۶/۷
ژانویه ۹۹	۱۱۰	۷۱	۳/۰۰	۱۸۴،۶۲۰	۱۰/۵	۲/۲۰	۶/۸
فوریه ۹۹	۱۲۶	۸۴	۲/۸	۱۴۴،۷۰۰	۶/۳	۰/۹۰	۷/۰
مارس ۹۹	۱۲۴	۹۸	۳/۶	۱۶۰،۰۰۰	۴/۷	<۰/۱۰	۶/۹
آوریل ۹۹	۱۲۰	۹۸	۵/۲۵	۲۲۵،۷۷۰	۱۴/۵	۰/۵۷	۶/۹

▼ بنتون، لوییزیانا، سیستم تصفیه زیرسطحی پساب، فیلتر سنگی - گیاهی

تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب pH	حجم پساب (گالن/روز)
حد مجاز	**۳۰/۰**	**۳۰/۰**				**۶/۰-۹/۰**	
می ۸۸	۵/۳	۵/۳	ژانویه ۹۷	۵/۳	۱۰/۰	۶/۸	۳۵۱،۱۵۰
ژوئن ۸۸	۵/۳	۲/۰	فوریه ۹۷	۱۰/۲	۱۶/۰	۶/۸	۳۲۶،۸۱۵
ژوئیه ۸۸	۱/۲	۱۱/۰	مارس ۹۷	۹/۵	۸/۰	۷/۳	۳۷۴،۷۵۰
اوت ۸۸	۶/۰	۲/۹	آوریل ۹۷	۱۰/۸	۱۲/۰	۷/۲	۳۱۸،۳۰۰
سپتامبر ۸۸	۴/۸	۰۰۰۰	می ۹۷	۶/۹	۵/۰	۷/۱	۱۹۵،۹۰۰
اکتبر ۸۸	۸/۵	۰۰۰۰	ژوئن ۹۷	۷/۳	۶/۰	۷/۰	۲۹۱،۵۰۰
نوامبر ۸۸	۵/۲	۸/۸	ژوئیه ۹۷	۹/۳	۶/۳	۷/۱	۲۷۶،۵۰۰
دسامبر ۸۸	۳/۵	۵/۵	اوت ۹۷	۱۲/۲	۷/۰	۶/۷	۲۷۲،۸۰۰
ژانویه ۸۸	۲/۰	۶/۳	سپتامبر ۹۷	۱۱/۰	۵/۰	۶/۷	۱۵۰،۹۵۰
فوریه ۸۸	۳/۰	۵/۸	اکتبر ۹۷	۰۰۰۰	۰۰۰۰	۰۰۰۰	۰۰۰۰
مارس ۸۸	۵/۵	۳/۳	نوامبر ۹۷	۴/۷	۶/۰	۷/۲	۴۷۹،۸۰۰
آوریل ۸۸	۳/۱	۴/۲	دسامبر ۹۷	۶/۳	۷/۵	۷/۲	۶۱۶،۰۰۰
میانگین	**۴/۵**	**۵/۵**	**میانگین**	**۸/۵**	**۸/۱**	**۷/۰**	**۳۳۲،۲۲۴**

▼ مرکز بیماری‌های هانسن، کارویل، لوییزیانا

تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	تاریخ	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	پساب خروجی آمونیاک (mg/l)	حجم پساب (میلیون گالن/ روز)
حد مجاز	**۱۰/۰**	**۱۵/۰**	**۵/۰**		**۱۰/۰**	**۱۵/۰**	**۵/۰**	
ژوئیه ۸۷	۳/۵	۳/۵	۰/۴	ژانویه ۹۵	۹/۰	۱۰/۵	۰/۹	۱۴۴،۰۰۰
اوت ۸۷	۷/۵	۲/۵	۰/۷	فوریه ۹۵	۶/۵	۳/۰	۲/۸	۸۲،۰۰۰
سپتامبر ۸۷	۷/۰	-	۱/۶	مارس ۹۵	۴/۵	۲/۲	۲/۸	۱۰۸،۰۰۰
اکتبر ۸۷	۷/۵	۷/۰	۰/۵	آوریل ۹۵	۹/۰	۱/۵	۱/۷	۱۲۰،۰۰۰
نوامبر ۸۷	۳/۵	۶/۰	۰/۴	می ۹۵	۱۹/۲	۱/۵	۱/۷	۱۵۰،۰۰۰
دسامبر ۸۷	۳/۰	۱/۰	۰/۷	ژوئن ۹۵	۱۵/۵	۰/۵	۱/۵	۷۲،۰۰۰
ژانویه ۸۸	۱۴/۵	۱۸/۵	۰/۴	ژوئیه ۹۵	۳/۵	۲/۲	۱/۱	۳۵،۰۰۰
فوریه ۸۸	۴/۵	۹/۰	۰/۱	اوت ۹۵	۶/۰	۰/۷	۱/۲	۷۲،۰۰۰
مارس ۸۸	۱۰/۰	۸/۵	۱/۱	سپتامبر ۹۵	۸/۰	۴/۲	۰/۴	۶۹،۰۰۰
آوریل ۸۸	۱۰/۰	۱۱/۰	-	اکتبر ۹۵	۸/۴	۷/۲	۰/۶	۵۸،۰۰۰
می ۸۸	۵/۰	۳/۰	۲/۰	نوامبر ۹۵	۱۱/۷	۵/۰	۰/۶	۱۰۸،۰۰۰
ژوئن ۸۸	۸/۵	۷/۰	۱/۰	دسامبر ۹۵	۹/۲	۰/۵	۰/۵	۳۶۴،۰۰۰
میانگین	**۷/۰**	**۷/۰**	**۰/۸**		**۹/۱**	**۳/۲**	**۱/۳**	**۱۱۵،۱۶۶**

کارتاژ، می سی سی پی، سیستم تصفیه پساب میکرو - آگرو

مدت زمان ثبت گزارش	پساب خروجی BOD_5 (mg/l)	پساب خروجی TSS (mg/l)	pH پساب
حد مجاز	**۱۰/۰**	**۳۰/۰**	**۲/۰**
آوریل - ژوئن، ۱۹۹۵	۸/۴	۲۵/۰	۰/۱۷
ژوئیه - سپتامبر، ۱۹۹۵	۹/۰	۲۷/۰	....
اکتبر - دسامبر، ۱۹۹۵	۱۰/۰	۲۰/۰	۱/۷۰
ژانویه - مارس، ۱۹۹۶	۹/۰	۱/۰	<۰/۱۰
آوریل - ژوئن، ۱۹۹۶	۷/۵	۲۲/۰	۱/۴۰
ژوئیه - سپتامبر، ۱۹۹۶	۳/۳	۱۰/۰	۱/۶۴
اکتبر - دسامبر، ۱۹۹۶	۲/۰	۱۱/۰	۰/۲۴
ژانویه - مارس، ۱۹۹۷	۵/۶	۲۷/۰	۳/۸۵
آوریل - ژوئن، ۱۹۹۷	۵/۸	۲۱/۰	۰/۷۴
ژوئیه - سپتامبر، ۱۹۹۷	۶/۰	۱۱/۰	۰/۷۴
اکتبر - دسامبر، ۱۹۹۷	۸/۴	۲۸/۰	۰/۲۰
ژانویه - مارس، ۱۹۹۸	۵/۴	۱/۰	۱/۹۰
میانگین ۳ سال	**۶/۷**	**۱۷/۰**	**۱/۱۵**

فهرست موارد منتشر شده

گروه مهندسین مشاور ره‌شهر تا کنون ۹۷ نشریه با عناوین ذیل منتشر کرده است:

۱. کاربرد جدید شیشه در نمای ساختمان (تابستان ۱۳۷۱)
۲. پارکینگ مراکز تجاری (پائیز ۱۳۷۱)
۳. محافظت در مقابل زلزله (زمستان ۱۳۷۱)
۴. جمع‌آوری و دفع زباله و مسائل ناشی از آن (زمستان ۱۳۷۱)
۵. طرح اسکان سریع (زمستان ۱۳۷۱)
۶. مجموعه مقالات راجع به ژئوسنتز (بهار ۱۳۷۲)
۷. مهار آب با آب (بهار ۱۳۷۲)
۸. تحول سبز در معماری (بهار ۱۳۷۲)
۹. روندیابی و مدیریت سیلاب (بهار ۱۳۷۲)
۱۰. مطالعات اقتصادی جهت احداث مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۲)
۱۱. نگاهی کوتاه بر طراحی فضای سبز - «تجربیات کشورهای مختلف» (تابستان ۱۳۷۲)
۱۲. بازیافت آب در صنایع شن و ماسه‌شوئی (پائیز ۱۳۷۲)
۱۳. بناهای چوبی (کنده‌ای) در ایران و تجربیات کشورهای دیگر (پائیز ۱۳۷۲)
۱۴. نکاتی در مورد طراحی ساختمان‌های بتنی پیش ساخته پیش تنیده در مناطق زلزله خیز (پائیز ۱۳۷۲)
۱۵. اتوماسیون و بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع الکتریکی (زمستان ۱۳۷۲)
۱۶. انرژی دریاها (زمستان ۱۳۷۲)
۱۷. پارکینگ‌های مکانیکی اتوماتیک و نیمه اتوماتیک (بهار ۱۳۷۳)
۱۸. انرژی باد (بهار ۱۳۷۳)
۱۹. اصول طراحی ساختمان‌های اداری و بانک‌ها (بهار ۱۳۷۳)
۲۰. انرژی خورشیدی (بهار ۱۳۷۳)
۲۱. طراحی مرکز خرید - جلد اول: مطالعات مقدماتی جهت طراحی مراکز خرید (تابستان ۱۳۷۳)
۲۲. شهر سالم با آمورتون (تابستان ۱۳۷۳)
۲۳. شهر سالم - کاربرد سیستم‌های فتوولتائیک از میلی‌وات تا مگاوات (تابستان ۱۳۷۳)
۲۴. شهر سالم - اصول طراحی برای افراد دارای کهولت، ناتوانی، اختلال و معلولیت (تابستان ۱۳۷۳)
۲۵. نسل چهارم نیروگاه‌ها (پائیز ۱۳۷۳)
۲۶. بازیافت آب در صنایع نساجی (پائیز ۱۳۷۳)
۲۷. مراکز درمانی و بیمارستان‌های آینده (پائیز ۱۳۷۳)
۲۸. شهر سالم - انبوه سازی (انبوه سازان اسکان) (زمستان ۱۳۷۳)

۲۹. سیستم‌های مدیریت بار و مدیریت انرژی در شبکه‌های انرژی الکتریکی (زمستان ۱۳۷۳)
۳۰. بازیافت آب - «تصفیه پساب صنایع لبنی» (بهار ۱۳۷۴)
۳۱. شهر سالم - صنعت چوب و کاغذ و نقش آن در فرهنگ، اقتصاد و سیاست (در ایران و جهان) (بهار ۱۳۷۴)
۳۲. صرفه‌جوئی انرژی در ساختمان‌های مسکونی (بهار ۱۳۷۴)
۳۳. شهر سالم - معماری و پرورش فکری کودکان و نوجوانان (تابستان ۱۳۷۴)
۳۴. شهر سالم - بازیافت زباله و مصالح ساختمانی و نقش آن در حفظ خاک و پاکسازی محیط (پائیز ۱۳۷۴)
۳۵. شهر ما کجاست (زمستان ۱۳۷۴)
۳۶. حفاظت سواحل دریا و رودخانه‌ها - معرفی روش‌های سنتی و پیشرفته (زمستان ۱۳۷۵)
۳۷. بهینه‌سازی آموزش عالی - نگاهی کوتاه بر کارکرد نظام آموزشی ایران و جهان (زمستان ۱۳۷۵)
۳۸. استفاده از ژئوگرید در راه‌ها و باند فرودگاه‌ها (بهار ۱۳۷۶)
۳۹. اقتصاد گردشگری (جلد اول) (زمستان ۱۳۷۶)
۴۰. نگرش هایی نوین به طراحی فضای باز اداری (تابستان ۱۳۷۷)
۴۱. اقتصاد گردشگری جلد دوم (فصول سوم و چهارم) (زمستان ۱۳۷۷)
۴۲. فهرست مطابقه‌ای عملیات اجرایی جهت تسهیل در امر نظارت (پائیز ۱۳۷۸)
۴۳. دانسته‌هایی در مورد مناطق آزاد و ویژه اقتصادی در جهان (پائیز ۱۳۷۸)
۴۴. هدایت منابع مالی و فنی غیردولتی جهت اجرای طرح‌های عمرانی (زمستان ۱۳۷۸)
۴۵. پژوهش در تاریخچه، مفهوم و سیر تحول شهرسازی و شهر سالم در فرهنگ ایران و اسلام (زمستان ۱۳۷۸)
۴۶. پارک انرژی‌های نو (تابستان ۱۳۷۹)
۴۷. فضای باز اداری - مدیریت تجهیزات و طراحی داخلی (پائیز ۱۳۷۹)
۴۸. شهرک ترافیکی کودکان (زمستان ۱۳۷۹)
۴۹. فضای باز اداری - استانداردهای طراحی فضاهای اداری جداکننده‌ها، قطعات و اتصالات (زمستان ۱۳۷۹)
۵۰. فضای سبز - مناطق صنعتی - پارک‌های صنعتی (تابستان ۱۳۸۰)
۵۱. تنظیم شرایط محیطی - بخش اول: استانداردهای عملکرد حسی - جلد اول: محیط روشنایی (پاییز ۱۳۸۰)
۵۲. تنظیم شرایط محیطی - بخش اول: استانداردهای عملکرد حسی - محیط های صوتی و حرارتی (پاییز ۱۳۸۰)
۵۳. منظرسازی - جلد اول: طراحی کاشت (زمستان ۱۳۸۰)
۵۴. منظرسازی - جلد دوم: آبیاری و نگهداری منظر (زمستان ۱۳۸۰)
۵۵. تنظیم شرایط محیطی - بخش دوم: سیستم‌های کنترل محیط - جلد اول: تولید و کنترل نور و صدا (زمستان ۱۳۸۰)
۵۶. تنظیم شرایط محیطی - بخش دوم: سیستم‌های کنترل محیط - جلد دوم: تولید و کنترل حرارت (زمستان ۱۳۸۰)
۵۷. منظرسازی - جلد سوم: راهبردهای تکمیلی آراستن مناظر (بهار ۱۳۸۱)
۵۸. تنظیم شرایط محیطی - بخش دوم: سیستم‌های کنترل محیط - جلد سوم: سیستم جامع محیطی (تابستان ۱۳۸۱)
۵۹. شهر سالم - توسعه (کلان شهر تهران) (تابستان ۱۳۸۱)
۶۰. فن‌آوری اطلاعات - بخش اول: مفاهیم کلی (پاییز ۱۳۸۱)
۶۱. منظرسازی - جلد چهارم: چمن (روش‌های تکثیر و کاشت و نگهداری) (زمستان ۱۳۸۱)

۶۲. فن‌آوری اطلاعات - بخش دوم: مدیریت فن‌آوری اطلاعات (زمستان ۱۳۸۱)
۶۳. فن‌آوری اطلاعات - بخش سوم: تجارت الکترونیکی (بهار ۱۳۸۲)
۶۴. فن‌آوری اطلاعات - بخش چهارم: تجارت الکترونیکی «امنیت و تجارت بی‌سیم» (تابستان ۱۳۸۲)
۶۵. ساختمان‌های سبز و پایدار «شناخت و لزوم ساختمان‌های سبز و پایدار» (تابستان ۱۳۸۲)
۶۶. فن‌آوری اطلاعات - بخش پنجم: دولت الکترونیکی (تابستان ۱۳۸۲)
۶۷. منظرسازی - جنگل‌های مانگرو (حرا): بخش اول - کلیات (پاییز ۱۳۸۲)
۶۸. فن‌آوری اطلاعات - بخش ششم: بازاریابی الکترونیکی (پاییز ۱۳۸۲)
۶۹. فن‌آوری اطلاعات - بخش هفتم: شهرداری الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۲)
۷۰. فن‌آوری اطلاعات - بخش هشتم: آموزش الکترونیکی (بهار ۱۳۸۳)
۷۱. فن‌آوری اطلاعات - بخش نهم: دانشگاه الکترونیکی (بهار ۱۳۸۳)
۷۲. فن‌آوری اطلاعات - بخش دهم: سیستم‌های اطلاعات مدیریتی ساختمان (تابستان ۱۳۸۳)
۷۳. فن‌آوری اطلاعات - بخش یازدهم: دانشگاه الکترونیکی (پاییز ۱۳۸۳)
۷۴. فن آوری اطلاعات - بخش دوازدهم: مدیریت پرونده‌های الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۳)
۷۵. فن‌آوری اطلاعات - بخش سیزدهم: دموکراسی الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۳)
۷۶. فن‌آوری اطلاعات - بخش چهاردهم: انتخابات الکترونیکی (زمستان ۱۳۸۳)
۷۷. فن‌آوری اطلاعات - بخش پانزدهم: حقیقت مجازی (تابستان ۱۳۸۴)
۷۸. برگزاری مناقصه‌های دولتی (تصویب شده سال ۱۳۸۳) (تابستان ۱۳۸۴)
۷۹. چین دومین مصرف کننده انرژی در جهان (تابستان ۱۳۸۴)
۸۰. مدیریت پروژه - استانداردهای مدیریت پروژه (بخش اول . تابستان ۱۳۸۴)
۸۱. فن‌آوری اطلاعات - بخش شانزدهم: توسعه فن آوری اطلاعات در روستاها (عدالت اجتماعی) (پاییز ۱۳۸۴)
۸۲. فن‌آوری اطلاعات - بخش هفدهم: مدیریت ارتباط با مشتریان (پاییز ۱۳۸۴)
۸۳. مدیریت پروژه - استانداردهای مدیریت پروژه (بخش دوم . زمستان ۱۳۸۴)
۸۴. مهندسی ارزش - بخش اول: اصول، مبانی و فرآیند (زمستان ۱۳۸۴)
۸۵. مدیریت پروژه - استانداردهای مدیریت پروژه (بخش سوم - فروردین ۱۳۸۵)
۸۶. فن‌آوری اطلاعات - بخش هجدهم: پایتخت الکترونیکی - تجلی عدالت اجتماعی (تابستان ۱۳۸۵)
۸۷. مدیریت پروژه - دفتر مدیریت پروژه (بخش اول - تابستان ۱۳۸۵)
۸۸. متدولوژی‌های مدیریت پروژه (تابستان ۱۳۸۵)
۸۹. صنایع انرژی‌بر، نظریه‌ها و دیدگاهها (تابستان ۱۳۸۵)
۹۰. آشنایی مقدماتی با ارزیابی محیط زیست (پاییز ۱۳۸۵)
۹۱. آشنایی با فرآوری‌های گازی CNG، LPG، LNG (زمستان ۱۳۸۵)
۹۲. رهنمون‌هایی برای توسعه (زمستان ۱۳۸۵)
۹۳. خبرنامه تحولات توسعه در حوزه خلیج فارس (بهار ۱۳۸۶)
۹۴. متدولوژی مکان‌یابی صنایع (تابستان ۱۳۸۶)

۹۵. خبرنامه تحولات توسعه در حوزه خلیج فارس (جلد دوم) (تابستان ۱۳۸۶)

۹۶. خبرنامه تحولات توسعه در حوزه خلیج فارس (جلد سوم) (تابستان ۱۳۸۶)

۹۷. معماری سبز، (انرژی آفتاب در معماری) (پاییز ۱۳۸۶)

همچنین نشریات تخصصی ذیل نیز توسط بخش های مختلف گروه مهندسین مشاور ره شهر منتشر گردیده اند:

- حقایقی در مورد شرکت‌های بزرگ (بخش تحقیق و توسعه) (زمستان ۱۳۷۲)
- انتخاب محل و نوع سد براساس شرایط ژئومورفولوژی و ژئولوژی (بخش عمران آب) (زمستان ۱۳۷۲)
- تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوضه های شمالی تهران (بخش عمران آب) (بهار ۱۳۷۳)
- اصول طراحی مراکز دیسپاچینگ (بخش انرژی) (زمستان ۱۳۷۲)
- پارک پویش: اندیشه سالم / بدن سالم در شهرک فاطمیه منطقهٔ ۲۰ شهرداری تهران (بخش شهر سالم) (پائیز ۱۳۷۲)
- شهرک ترافیکی کودکان (بخش شهر سالم) (پائیز ۱۳۷۲)
- سازماندهی کارکردهای بهینهٔ نمایشگرهای دیجیتالی (بخش شهر سالم) (زمستان ۱۳۷۲)
- استفاده از مولتی ویژن در مراکز پرتردد شهری (بخش شهر سالم) (بهار ۱۳۷۳)
- پارک انرژی های نو (بخش شهر سالم) (تابستان ۱۳۷۳)
- بهینه سازی خدمات پرواز (بخش شهر سالم) (زمستان ۱۳۷۳)
- بازارچه صنایع دستی در کوهپایه های شمال تهران (بخش شهر سالم) (تابستان ۱۳۷۴)

ضمناً کتب زیر نیز توسط گروه مهندسین مشاور ره شهر منتشر گردیده است:

۱. سازهٔ پارکینگ های طبقاتی (PARKING STRUCTURES) (۱۳۷۲)

۲. سازه های آبی (HYDRAULIC STRUCTURES) (۱۳۷۳)

۳. خودآموز اتوکد ۱۲ (AUTO CAD. V.۱۲ USER S GUIDE) (۱۳۷۳)

۴. برنامه ریزی و طراحی هتل (دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور - ۱۳۷۵)

۵. بیست‌وپنج جلد استانداردهای صنعت آب کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور - ۱۳۷۵)

۶. راهنمای برنامه نویسی سه بعدی OPEN GL (۱۳۸۲)

۷. معماری سبز - هوای پاکیزه بکاریم (۱۳۸۴)

۸. HSE در سفر (۱۳۸۵)

همچنین کتب زیر بزودی منتشر می شوند:

۱. منظرسازی (طراحی، اجراء) LANDSCAPING PRINCIPLES & PRACTICES (مترجم: ره‌شهر)

۲. اصول زمین کردن الکتریکی (اتصال زمین) ELECTRICAL GROUNDING (مترجم: ره‌شهر)