

نقش گیاهان آبی در تصفیهٔ پساب‌ها

● نازیلا مختاریان
سرگروه آموزشی ناحیهٔ ۲ استان قزوین

چکیده

آب مهم‌ترین مادهٔ حیات و آبادانی است. این مادهٔ گران‌بها سرآغاز حیات و جزء اصلی تشکیل‌دهندهٔ تمام موجودات زنده است. براساس نظریهٔ تکامل آب، متان و آمونیاک ترکیبات اصلی اولیهٔ موجود در جو زمین هستند که عامل تولید نخستین ترکیبات آمینواسید بوده‌اند. این ترکیبات به‌عنوان نقطهٔ آغازین حیات جانوری شناخته می‌شوند. درصد بالایی از جرم هر سلول زنده را آب تشکیل داده است. همچنین آب بخش عمده‌ای از شبکهٔ وسیع سلولی بدن انسان را تشکیل می‌دهد و بی‌شک بدون وجود آب، حیاتی وجود نخواهد داشت. در تمدن بشری نیز آب اهمیت ویژه‌ای داشته است. در ایران باستان، آب را یکی از چهار رکن اساسی (آب، خاک، باد و آتش) می‌دانستند. در قرآن کریم، ۵۶ آیه در مورد پیدایش و اهمیت آب و همچنین وابستگی حیات به این مادهٔ ارزشمند آمده است. آب یکی از فراوان‌ترین مواد موجود در کرهٔ زمین و یگانه ماده‌ای است که به‌صورت طبیعی در شکل‌های جامد (یخ)، مایع و گاز (بخار آب) وجود دارد. آشامیدن و رفع نیازهای فردی نخستین نگرش بشر به آب بوده است. در این پژوهش که به روش کتابخانه‌ای، تحلیلی، توصیفی و کیفی و با استفاده از فیش‌برداری اقدام به گردآوری داده‌ها شده است به اصول و کاربرد سیستم‌های گیاهان آبی در تصفیهٔ پساب‌ها (فناوری نوین گیاه‌پالایی آبی) اشاره شده است. بر آن شدیم شناختی کوتاه و بس مفید از اصول تصفیهٔ فاضلاب سیستم‌های تصفیهٔ آبی، کاربرد گیاهان آبی در تصفیهٔ پساب و ملاحظات زیست‌محیطی و بهداشت عمومی روش گیاه‌پالایی آبی داشته باشیم تا به این وسیله و با بهره‌برداری بیشتر از این نعمت خدادادی گامی کوچک در جهت حفظ منابع آبی به‌عنوان حیاتی‌ترین ماده‌ای که بشر به آن نیاز دارد برداریم و به منافع همگان توجه داشته باشیم تا از گسترش آلودگی آب‌ها و محیط زیست کاسته شود.

کلیدواژه‌ها: آب، پساب، تصفیه، آلودگی، گیاهان آبی

خدادادی، فشار مضاعفی را بر اکوسیستم کره زمین تحمیل می‌کند. این مسئله موجب شده است تا بشر همواره به دنبال روش‌هایی برای کاهش آلودگی پساب‌ها به محیط زیست باشد. یکی از مؤثرترین روش‌ها استفاده از گیاهان در تصفیه فاضلاب به صورت گسترده بوده است.

در قرن اخیر، رشد جمعیت، بزرگ شدن شهرها، تولیدات صنعتی و کشاورزی و مصرف مواد شیمیایی گوناگون باعث شده است که کره زمین بیش از هر زمان دیگر در معرض آلودگی قرار گیرد. ورود مواد آلاینده به آب‌ها و تجمع آن‌ها در آبریان به واسطه خطراتی که برای انسان و دیگر موجودات ایجاد می‌کنند، بخش مهمی از آلودگی محیط زیست است. آلودگی ناشی از نیترات‌ها و نیز یون‌های فلزات سنگین که روزبه‌روز با پیشرفت صنعت بر مقدار و انتشار آن افزوده می‌شود، از مهم‌ترین و خطرناک‌ترین آلوده‌سازهای زیست‌محیطی به شمار می‌آیند (واعظی و صیدمحمدی، ۱۳۸۲).

خطر اصلی این مواد به علت خاصیت تجمع‌پذیری آن‌ها در بدن موجودات زنده است که از طریق زنجیره غذایی در کل اکوسیستم به گردش درمی‌آیند و در اثر فعل و انفعالات شیمیایی به مواد سمی تر و خطرناک‌تر که خاصیت سرطان‌زایی دارند، تبدیل می‌شوند. از این‌رو، کنترل، کاهش بار آلودگی و تصفیه پساب‌ها از دیدگاه سلامت و بهداشت عمومی، پیشگیری از نابودی آبریان و جلوگیری از اختلال در زنجیره غذایی در اکوسیستم بسیار اهمیت دارد. در دنیای امروز رشد فزاینده جمعیت، مقدار آلاینده‌های زیست‌محیطی و مشکل آلودگی آن‌ها را با سرعت بیشتری گسترش داده است. بی‌شک پراکندگی جمعیت انسانی، معضل آلودگی‌های زیست‌محیطی از جمله پساب‌های تولیدی را دوچندان خواهد کرد. از این‌رو در دنیای پیشرفته امروزی، پیش‌بینی و جلوگیری از انتشار آلودگی در جوامع انسانی بسیار ضروری است، زیرا دفع آلودگی از محیط زیست به مراتب سخت‌تر است و دارای توجیه اقتصادی نیست و این موضوع لزوم استفاده از سیستم‌های پیشرفته تصفیه پساب را بیشتر نمایان خواهد کرد (جوادی و املشی، ۱۳۹۲).

پژوهشگران در تحقیق حاضر به دنبال پاسخگویی به این سؤال پژوهشی هستند که «سیستم‌های گیاهان آبی چه نقشی در تصفیه پساب‌ها دارند؟»

اهمیت و ضرورت تحقیق

اهمیت نظری پژوهش حاضر

این است که می‌توان از نتایج

آن در جهت آشنا شدن با برخی

از کاربردهای گیاه‌پالایی آبی و

اصول و کاربرد سیستم‌های گیاهان

آبی در تصفیه فاضلاب از

جمله تولید انرژی، رفع

آلودگی‌های نفتی

و ... بهره برد.

همچنین

با عث

مقدمه

وَاللّٰهُ اَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَاجِيَا بِهٖ الْاَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيَةً لِّقَوْمٍ يَّسْمَعُوْنَ (نحل/ ۶۵).

و خداوند از آسمان آبی (باران و برف) فرو فرستاد تا زمین را پس از مرگ زنده گرداند که به یقین در این امر نشانه‌ای از قدرت و حکمت خدا نهفته است برای آنان که سخن حق را می‌شنوند.

گیاه‌پالایی تکنیک پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هواست. این روش برای زدودن آلودگی‌های نفت نیز به کار می‌رود که ما در تحقیق حاضر به بیان اصول و کاربرد سیستم‌های گیاهان آبی در تصفیه فاضلاب‌ها پرداخته‌ایم.

امروزه حفظ منابع طبیعی به‌عنوان حیاتی‌ترین ماده‌ای که بشر به آن نیاز دارد، به گونه‌ای فزاینده مورد توجه مجامع مختلف بین‌المللی قرار گرفته است. رشد روزافزون جمعیت و در نتیجه بهره‌برداری بیش از حد از منابع محدود آب از یک‌سو و آلودگی آن به سبب فعالیت‌های گوناگون زیستی، کشاورزی و صنعتی بشر از سوی دیگر، همگی دست به دست یکدیگر داده‌اند و زنگ خطر بحران آب را به صدا درآورده‌اند. بنابراین حفظ کیفیت فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی منابع آب ضرورت دارد و تاکنون تحقیق‌های بسیاری درباره روش‌های پرهزینه تصفیه آب انجام شده، ولی متأسفانه پژوهش‌های اندکی درباره اصول و نقش مؤثر گیاهان آبی در تصفیه پساب‌ها صورت گرفته است.

منابع آب شیرین در جهان محدود و آسیب‌پذیرند و این منابع محدود دارای ارزش اقتصادی ویژه همراه با آثار اجتماعی و زیست‌محیطی هستند. فاضلاب (پساب‌ها) یکی از عوامل آلودگی محیط زیست هستند و باید آن‌ها را جمع‌آوری و سپس پالایش و تصفیه کرد و در نهایت به گردش آب در طبیعت برگرداند. کاربرد دوباره فاضلاب‌ها به علت نیاز روزافزون به آب بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. این موضوع به‌ویژه در ایران به علت کمبود آب و نیز گرانی آب آشامیدنی، استفاده از فاضلاب‌های پالایش شده برای مصارف خانگی مانند آبیاری فضاهای سبز درون شهرها، پارک‌ها، جنگل‌کاری و شست‌وشوی خیابان‌ها و کانال‌های فاضلاب اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. البته باید یادآور شد که کاربرد فاضلاب‌های تصفیه شده برای مصارف آشامیدنی به علت عوامل اقتصادی و روانی هنوز در جهان جنبه گسترده و عملی به خود نگرفته است.

بیان مسئله

رابطه انسان عصر حاضر با محیط زیست دستخوش بحران است. این بحران در اثر دخالت و بهره‌برداری نامعقول و تخریب سودجویانه در محیط زیست ایجاد شده است و آثار زیان‌باری نیز برای انسان و محیط اطراف او به همراه دارد. در این میان، پساب‌های ناشی از تولیدات صنعتی و کارخانه‌ها و فاضلاب‌های شهری در کنار تخریب و کاهش منابع

و با هزینه کمتری نسبت به سایر روش‌های تصفیه بیولوژیکی، فلزات سمی را جذب کنند و برعکس سیستم‌های مصنوعی ضرری برای محیط زیست ندارند، بسیار مقرون به صرفه هستند و تنها باید محدودیت‌ها و استانداردهای استفاده از این روش از جمله مراقبت و رسیدگی به گیاهان و دفع بقایای گیاهی حاوی مواد سمی پس از استفاده در سیستم تصفیه مورد توجه قرار گیرند.»

البته این روش تاکنون در کشور ما تنها در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت آزمایشی انجام شده و به علت عدم آگاهی و بی‌توجهی مسئولان هیچ‌گاه به‌عنوان روشی مؤثر در تصفیه فلزات سنگین و پساب‌های صنعتی از آن استفاده نشده است. در حالی که براساس نظر کارشناسان، کشور ایران دارای گونه‌های بسیار متنوعی است که تا امروز ناشناخته مانده‌اند و چه بسا می‌توانند از گیاهان شناسایی شده در این روش مؤثرتر و بهتر عمل کنند. مزایای روش گیاه‌پالایی عبارتند از:

الف. هزینه‌های این روش نسبت به سایر هزینه‌های معمول کمتر است.

ب. درختان مورد استفاده در این روش قابل رصد هستند.

ج. امکان بازیافت و استفاده مجدد دارند. این فرایند به‌عنوان معدن کاری گیاهی معروف است.

د. به دلیل به‌کارگیری ارگانسیم‌ها و گیاهان طبیعی، این روش برای محیط زیست کمترین ضرر را دارد.

ه. منطقه آلوده به آلاینده‌ها توسط گیاه پوشش داده می‌شود و مانع جابه‌جایی خاک توسط باد و باران می‌شود.

و. کاشت، داشت و برداشت گیاهان فرایندی اشتغال‌زاست و میزان تولید مواد زاید نیز کمتر است، زیرا در روش‌های دیگر مانند شست‌وشوی خاک، مقدار زیادی مایعات حاوی فلزات سنگین به‌ویژه منیزیم، آهن و آلومینیوم تولید می‌شود.

سوابق و پیشینه تحقیق

الهیاری کمری و محسن فرشادفر در تحقیق خود با عنوان فناوری نوین گیاه‌پالایی برای ایجاد محیط زیست پایدار بیان کردند که گیاه‌پالایی برای پاک کردن محیط زیست مخصوصاً آب و خاک از آلاینده‌های محلول، روشی بسیار مناسب و به‌صرفه است؛ روشی سازگار با محیط زیست و دارای مزایای اقتصادی که ارزش زیباشناختی نیز دارد. مهم‌ترین ترکیبات معدنی آلاینده، فلزات سنگین‌اند و موجودات زنده این دو محیط قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی هستند. برای تجزیه میکروبی فلزات، گیاهان آن‌ها را به ترکیبات آلی تغییر می‌دهند و قابل استفاده می‌کنند (کمری و فرشادفر، ۱۳۹۱).

بیشتر آزمایش‌های گیاه‌پالایی در مقیاس آزمایشگاهی در محیط هیدروکربنیک و با تیمارهای فلزات سنگین در این محیط‌ها انجام می‌شود، در حالی که محیط خاک کاملاً متفاوت است و بسیاری از فلزات در شکل‌های نامحلول وجود دارند که قابلیت دسترسی به آن‌ها کم است. تعمیم نتایج آزمایشگاهی به محیط واقعی از کلیدی‌ترین

می‌شود
ما با بحران
عظیم کمبود
آب بیشتر آشنا
شویم، در جهت حفظ این
نعمت بزرگ الهی بکوشیم، از
آلوده شدن آن جلوگیری کنیم
و بتوانیم از پساب‌های تصفیه شده
بهره‌برداری کنیم.

در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مسائل روز، آلودگی محیط زیست به وسیله تولید فاضلاب‌های مختلف است. روش رایج کنترل این نوع آلودگی‌ها، استفاده از سیستم‌های مکانیکی تصفیه فاضلاب نظیر لجن فعال، صافی چکنده و ... است که هزینه‌های گزاف ساخت و بهره‌برداری این سیستم‌ها باعث شده که محققان برای یافتن روش‌های کم‌هزینه و ساده به سمت روش‌های طبیعی روی آورند. یکی از ابعاد تصفیه بیولوژیکی، استفاده از گیاهان در تصفیه فاضلاب‌ها به‌خصوص فاضلاب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین از جمله جیوه، کروم، سیانید و ... است که در چند دهه اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. فلزات سنگین حاصل از پساب کارخانه‌ها و کارگاه‌های صنعتی به راحتی در محیط زیست تجزیه نمی‌شوند و آثار زیان‌باری را حتی در غلظت‌های کم برای انسان و سایر موجودات به همراه دارند. این فلزات با روش‌های بسیار پیشرفته تصفیه نیز به سختی تخریب می‌شوند، اما با استفاده از گیاهان، کاشت آن‌ها در استخرهای تصفیه و به‌کارگیری تکنیک‌های جدید این شیوه، درصد قابل ملاحظه‌ای از فلزات سنگین پس از جذب آن‌ها توسط گیاهان از محیط حذف می‌شوند. در حال حاضر کشورهای بی‌شماری از جمله آلمان، آمریکا، کانادا، چین، کشورهای آسیای جنوب شرقی و ... به‌طور گسترده از این فناوری در کنترل مواد سمی تولیدات صنعتی خود بهره می‌برند. گیاهانی از خانواده نی، پر طوطی، صنوبر و ... دارای آنزیم‌هایی هستند که توانایی سم‌زدایی علف‌کش‌ها و سایر مواد آلاینده را دارند. آن‌ها این مواد را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند و پس از تمام شدن ظرفیتشان به رنگ زرد درمی‌آیند.^۱

دکتر رضا مرندی با اشاره به ویژگی‌های این دسته از گیاهان می‌گوید: «گیاهان از آنجا که می‌توانند در سطح وسیعی رشد کرده

فعالیت‌های پژوهشی است که بتوان از پتانسیل واقعی گیاهان در پالایش فلزات سنگین و سمی، آلاینده‌های معدنی و آلودگی‌های نفتی استفاده کرد. توانایی بسیاری از گیاهان هنوز ناشناخته مانده و همچنین تولید گیاهان تراریخته توسط مهندسی ژنتیک از چشم‌اندازهای آینده نقش گیاهان در پاک‌سازی محیط زیست انسان است (رهنما، ۱۳۹۴).

انگیزه تحقیق

به‌طور کلی هر جمعیتی هر دو نوع پسماند مایع و جامد را تولید می‌کند. بخش مایع پساب اساساً آبی است که بعد از استفاده‌های گوناگون آلوده می‌شود. از دیدگاه منابع آبی پساب ممکن است به‌عنوان ترکیب مایع یا آب حامل پسماندهای خروجی از منازل مسکونی فرایندهای تولیدی و تأسیسات تجاری و صنعتی تولید شود (متکالف و ادی، ۱۹۹۱). آلودگی آب‌ها وقتی که مقدار بسیار زیادی از مواد نامطلوب و مضر وارد جریان آب می‌شود، روی می‌دهد. در این وضعیت قابلیت طبیعی جریان آب برای جداسازی مواد نامطلوب از حد انتظار فراتر می‌رود.

در مفهوم کلی، گیاه‌پالایی می‌تواند به‌عنوان فرایند پاک‌سازی مواد آلاینده که اصولاً توسط گیاهان فتوسنتزی صورت می‌گیرد، تعریف شود. پاک‌سازی به‌صورت تخریب، غیرفعال‌سازی یا عدم تحرک ماده آلاینده به یک شکل بی‌خط (بی‌ضرر) تعریف می‌شود. در این شیوه گیاهان بلندتر و جلبک‌ها هر دو به‌عنوان عوامل گیاه‌پالایی اولیه در نظر گرفته می‌شوند، اما استفاده از گیاهان برای ایجاد محیط فیزیکی و شیمیایی مناسب برای دفع مسمومیت آلاینده‌ها توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها نیز به‌طور ویژه در نظر گرفته می‌شود. فیتوپلانکتون‌های کوچک و جلبک‌های متصل نیز می‌توانند در گیاه‌پالایی مهم باشند.

ساختار تحقیق

تحقیق حاضر مشتمل بر پنج فصل است که در فصل اول کلیات تحقیق از جمله بیان مسئله، هدف، اهمیت و ضرورت تحقیق، روش تحقیق، انگیزه و مراحل تحقیق بیان شده است. در فصل دوم به برخی از اصول تصفیه فاضلاب پرداخته شده است. فصل سوم به سیستم‌های تصفیه آبی و همچنین نقش آن‌ها در تصفیه پساب‌ها پرداخته است. فصل چهارم به ملاحظات زیست‌محیطی و بهداشتی فناوری گیاه‌پالایی و فصل پنجم به انواع تالاب‌ها و نقش آن‌ها در تصفیه بهینه آب و در نهایت ارائه نتیجه‌گیری و پیشنهادهای کاربردی پرداخته که امید است مقبول افتد.

تصفیه آب و فاضلاب در ایران

در ایران از زمان‌های بسیار دور لجن حاصل از چاه‌های جذب‌کننده در فاضلاب به‌عنوان کود کشاورزی به‌کار گرفته می‌شده است، ولی در تمام این روش‌ها بیشتر تکیه بر باز یافت مواد کودی فاضلاب و نه تصفیه آن بوده است.

روش‌های تصفیه فاضلاب

فاضلاب را بسته به میزان و نوع بار آلودگی با روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی

تصفیه می‌کنند که هر یک از این روش‌ها از زیرمجموعه‌ها و روش‌های مختلفی تشکیل شده‌اند. شیوه معمول و رایج تصفیه فاضلاب به نام لجن فعال است که در آن ترکیبی از سه روش فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مرحله اول یا تصفیه اولیه با تصفیه فیزیکی و شیمیایی ذرات جامد موجود در پساب به‌صورت دستی یا مکانیکی توسط یک سری آشغال‌گیر با شبکه‌بندی‌های ریز و درشت جدا می‌شوند و سپس ذرات شناور باقی می‌مانند. در مرحله بعد بر اثر اختلاف وزن (ته‌نشینی) رخ می‌دهد و سپس برای ورود به مرحله تصفیه ثانویه یا مرحله بیولوژیکی به وسیله هوادهی و تزریق میکروارگانیسم به محیط آماده می‌شود.

در بخش دوم، فاضلاب به استخرهای بزرگ ریخته می‌شود و سپس میکروارگانیسم‌های مختلف از جمله باکتری‌ها، قارچ‌ها، مخمرها و تک‌یاخته‌ها در زمان‌های مختلف به سیستم تصفیه تزریق می‌شوند. با انجام هوادهی و ایجاد شرایط رشد میکروارگانیسم‌ها، فاضلاب به‌عنوان ماده غذایی این موجودات مورد تخریب و تجزیه قرار می‌گیرد و آب، آمونیاک و دی‌اکسید کربن حاصل از این واکنش به محیط وارد می‌شود. توده باقی‌مانده نیز وارد مرحله تصفیه نهایی می‌شود و پس از گندزدایی به‌عنوان کود برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کلرزنی، تابش پرتو فرابنفش به پساب و سیستم کربن فعال، سه روش عمده برای گندزدایی فاضلاب در مرحله نهایی هستند. کلر به دلیل ظرفیت بالای اکسیدکنندگی، رشد باکتری‌ها و جلبک‌ها را متوقف می‌کند و رنگ و بوی پساب را کاهش می‌دهد. تشعشع فرابنفش قابلیت کشتن ویروس‌ها و باکتری‌های موجود در فاضلاب را بدون تولید مواد خطرناک دیگری دارد و کربن فعال نیز در تماس با مواد آلی، رنگ و بوی آن را به خود جذب می‌کند. البته در کشورهای پیشرفته، مراحل تصفیه فاضلاب و پخش لجن فعال با روش‌های تخصصی تری صورت می‌گیرد، اما در کشور ما این روش معمولاً به شکل ناقص انجام می‌شود و تنها تعداد انگشت‌شماری از صنایع این شیوه را به‌طور کامل انجام می‌دهند. تصفیه فاضلاب در تصفیه‌خانه‌های مصنوعی و طبیعی به سه روش انجام می‌شود (هاشمی اصل، ۱۳۸۲):

۱. تصفیه مکانیکی یا فیزیکی؛
۲. تصفیه زیستی یا بیولوژیکی؛
۳. تصفیه شیمیایی.

سیستم‌های تصفیه آب طبیعی

آب‌های طبیعی اقلیمی منابع اصلی تأمین آب آشامیدنی هستند. آب چشمه به دلیل شرایط طبیعی بهترین آب دارای استانداردهای بهداشتی است و به‌طور کلی نیاز به تصفیه خاص ندارد. همچنین آب زیرزمینی معمولاً دارای مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خوبی است، زیرا باکتری‌ها و ویروس‌های موجود از طریق فرایند فیلتراسیون طبیعی به کمک جابه‌جایی و انتقال آب حذف می‌شوند. مشخص کردن یک روش دقیق برای تصفیه آب‌های سطحی غیرممکن است، زیرا کیفیت این گونه آب‌ها متفاوت‌اند. با این همه، یک سری از فرایندهای متداول مانند غربالگری، پالایش، اکسایش، تصفیه انعقادی و فیلتراسیون می‌توانند مورد توجه باشند. این روش‌ها با گذراندن مراحل خاصی می‌توانند برای جداسازی آلاینده‌های خاص به‌کار گرفته شوند.^۲

انواع آلاینده‌های آب

آلاینده‌های آب می‌توانند به گروه‌های زیر

دسته‌بندی شوند:

عوامل بیماری‌زا، پسماندهای مصرف‌کننده اکسیژن، مواد مغذی گیاهی، جامدات معلق و رسوبات، جامدات حل‌شده، آلودگی حرارتی (گرما)، مواد سمی، مواد رادیواکتیو، نفت و روغن و اسیدها.

تصفیه زیستی به کمک باکتری‌های هوازی

اساس کار در این روش رسانیدن اکسیژن به فاضلاب است. با اکسیژن محلول در فاضلاب، تولید مثل باکتری‌های هوازی شدت می‌یابد و این باکتری‌ها با تغذیه از مواد آلی فاضلاب تولید لخته می‌کنند. این لخته‌ها که توسط باکتری‌های هوازی جابه‌جا می‌شوند، در روش‌های تصفیه زیستی نقش مهمی ایفا می‌کنند.

تصفیه زیستی به کمک باکتری‌های بی‌هوازی

در صورتی که به فاضلاب اکسیژن نرسد، باکتری‌های بی‌هوازی شروع به فعالیت می‌کنند. اساس کار این باکتری‌ها آن است که اکسیژن مورد نیاز خود را از تجزیه مواد آلی و معدنی موجود در فاضلاب به دست می‌آورند. مهم‌ترین کاربرد آن‌ها استفاده در مخازن سربسته لجن است. این مرحله شامل حذف لجن است که در دو مرحله تخمیر اسیدی و متانی انجام خواهد شد. در فرایند تصفیه زیستی، بدون هیچ‌گونه عملیاتی فسفات از فاضلاب گرفته می‌شود.

هدف و کاربرد سیستم‌های تصفیه پساب

کاربرد فاضلاب در تالاب‌ها و سیستم‌های برکه آبی باید عاری از خطرات غیرقابل قبول در ارتباط با سلامت عمومی باشد. موجودات زنده بیماری‌زا ممکن است در فاضلاب‌ها و لجن‌ها وجود داشته باشند. کنترل این موجودات یکی از دلایل اصلی برای مدیریت پسماند است.

طبقه‌بندی سیستم‌های آبی

در سیستم‌های آبی، پساب اصولاً توسط متابولیسم باکتریایی و تهنشینی فیزیکی تصفیه می‌شود. این روش‌های تصفیه در سیستم‌های لجن فعال معمولی و سیستم‌های صافی چک‌های مورد استفاده قرار می‌گیرند. گیاهان آبی خودشان موجب تصفیه اندک پساب می‌شوند. عملکرد این گیاهان نگهداری اجزای سازنده محیط زیست آبی است که قابلیت تصفیه پساب یا قابلیت اطمینان زیست‌محیطی را بهبود می‌بخشند. عملکرد گوناگون گیاهان آبی در سیستم‌های تصفیه آبی به بخش‌های گیاهی شامل این دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱. ریشه‌ها و ساقه‌ها در آب: تصفیه سطوحی که روی آن‌ها باکتری‌ها

رشد می‌کنند و تصفیه محیط‌های فیلتراسیون و جذب سطحی جامدات. ۲. ساقه‌ها یا برگ‌ها در سطح آب یا بالای سطح آب، نور خورشید را تضعیف می‌کنند و در نتیجه می‌توانند از رشد جلبک‌ها جلوگیری کنند و آثار وزش باد روی آب را که باعث انتقال گازها بین اتمسفر و آب می‌شود، کاهش دهند (جوادی و املشی، ۱۳۹۲).

نقش سیستم‌های تصفیه طبیعی در تصفیه

پساب‌ها

در طول چند دهه گذشته، تالاب‌های مصنوعی متعددی در کشورهای گوناگون برای تصفیه پساب‌ها و بهبود آلودگی‌های آب حاصل از منابع غیرنقطه‌ای نصب، آزمایش و بهره‌برداری شده‌اند. بررسی این سیستم‌ها نشان داده است که این سیستم‌ها می‌توانند غلظت ماده آلی و جامدات معلق و باکتری‌های شاخص را به میزان بیش از ۹۰ درصد کاهش دهند، در حالی که نیازمند نگهداری بسیار کمی هستند. تالاب‌های مصنوعی نیز به‌طور فزاینده‌ای برای پاک‌سازی پسابی که قبلاً تصفیه شده‌اند به‌عنوان کمک فرایند فناوری‌های مورد استفاده به منظور تصفیه سیال خروجی معمولی به کار می‌روند.

سیستم‌های گیاهی آبی

همان‌طور که بیان شد، سیستم‌های گیاهی آبی، تالاب‌های کم‌عمق با گیاهان آبی شناور یا غوطه‌ور هستند. این گونه سیستم‌ها، سیستم‌هایی هستند که از سنبل آبی یا عدسک آبی استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها شامل دو نوع بر مبنای انواع گیاهان غالب‌اند. در اولین نوع این سیستم‌ها از گیاهان شناور استفاده می‌شود و با توجه به توانایی این گیاهان در استخراج دی‌اکسید کربن و دریافت اکسیژن از اتمسفر به‌طور مستقیم متمایز می‌شوند. این گیاهان، مواد مغذی معدنی خود را از آب دریافت می‌کنند.

نوع دوم این سیستم‌ها شامل گیاهان غوطه‌ور است و با توجه به توانایی این گیاهان در جذب اکسیژن، دی‌اکسید کربن و مواد معدنی از آب متمایز می‌شوند. فعالیت گیاهان غوطه‌ور به واسطه کدریت بالا در آب نسبتاً آسان متوقف می‌شود، زیرا بخش‌های فتوسنتزی آن‌ها زیر آب قرار دارند (جوادی و املشی، ۱۳۹۲).

ماکروفیت‌ها^۳ یا گیاهان آبی

گیاه یک جزء مهم در سیستم تالاب است. گیاهان آوندی (گیاهان بلندتر) و گیاهان غیرآوندی (جلبک‌ها) در تالاب‌های مصنوعی مهم‌اند. گیاهان تالابی (آبی) می‌توانند آلاینده‌ها را در بافت‌های خود هضم کنند و یک سطح و یک محیط را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم کنند. رشد ریشه‌ها درون محیط فیلتر به تجزیه ماده آلی کمک می‌کند و از انسداد ناشی از ایجاد کانال‌ها برای عبور آب از درون سیستم جریان عمودی دارای بارگذاری تناوبی جلوگیری خواهد کرد. فرایند فتوسنتز توسط جلبک‌ها محتوی اکسیژن حل‌شده در آب را افزایش خواهد داد. برخی از گیاهان تالاب، اکسیژن کافی را به درون ناحیه ریشه آزاد می‌کنند تا از فعالیت میکروبی هوازی ۹۰ درصد به یک سوپسترای^۴ تالاب باشد.

با وجود این، سهم نسبی انتقال اکسیژن گیاهی در تصفیهٔ پساب مورد بحث باقی می‌ماند.

برخی از طراحان تالاب انتقال اکسیژن گیاهی را مهم می‌دانند، در حالی که برخی دیگر آن را در نظر نمی‌گیرند. ظرفیت گیاهی در تأمین اکسیژن به ناحیهٔ ریشه در میان گونه‌ها به واسطهٔ تفاوت‌های موجود در بافت‌های آوندی، متابولیسم و توزیع ریشه تغییر می‌کند. اولین آزمایش‌ها با استفاده از ماکروفیت‌های تالاب برای تصفیهٔ پساب توسط دکتر کاتر سیدل در آلمان در اوایل ۱۹۵۰ صورت گرفته‌اند. سیستم‌های تالاب مصنوعی برای تصفیهٔ پساب ممکن است مطابق شکل زندگی (حیات) ماکروفیت‌های غالب درون سیستم‌های دارای ماکروفیت‌های غوطه‌ور و بیرونی (ظاهری) ریشه‌دار شناور آزاد طبقه‌بندی شوند. اغلب تالاب‌های مصنوعی برای تصفیهٔ پساب با ماکروفیت‌های بیرونی کشت شده‌اند، اما طراحی سیستم‌ها بر حسب محیط‌ها تغییر می‌کند. هر چند که نقش ماکروفیت‌ها در تالاب‌های تصفیه‌ی بحث‌برانگیز است، برخی محققان اثبات کرده‌اند که ماکروفیت‌ها می‌توانند جداسازی آلاینده‌ها را بهبود دهند، هر چند که با وجود چنین توانایی، ماکروفیت‌ها در مقایسه با میکروارگانیزم‌ها، تنها نقش ثانویه را در تجزیهٔ مادهٔ آلی در سیستم‌های کشت شده و کشت نشده تعیین نمی‌کنند. با وجود تناقض دریافت‌های علمی، گیاهان نقش غیرمستقیم در تصفیهٔ آلاینده‌ها در تالاب‌های مصنوعی بازی می‌کنند.

ضرورت گیاه‌پالایی در حذف آلاینده‌ها

در مفهوم کلی گیاه‌پالایی می‌تواند به‌عنوان فرایند پاکسازی مواد آلاینده که اصولاً توسط گیاهان فتوسنتزی صورت می‌گیرد، تعریف شود. پاک‌سازی به‌صورت تخریب، غیرفعال‌سازی یا عدم تحرک مادهٔ آلاینده به یک شکل بی‌خطر (بی‌ضرر) تعریف می‌شود. در این شیوه، گیاهان بلندتر و جلبک‌ها هر دو به‌عنوان عوامل گیاه‌پالایی اولیه در نظر گرفته می‌شوند، اما استفاده از گیاهان برای ایجاد محیط فیزیکی و شیمیایی مناسب برای دفع مسمومیت، آلاینده‌ها توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها نیز به‌طور ویژه در نظر گرفته می‌شوند. فیتوپلانکتون‌های کوچک و جلبک‌های متصل^۵ نیز می‌توانند در گیاه‌پالایی آبی مهم باشند.

اثر آلودگی آب بر زندگی آبی

اغلب رودخانه‌ها و جریان‌های آب شیرین در کشور ما به‌طور نامناسب با پسماندهای صنعتی یا سیالات خروجی (فاضلاب‌ها) آلوده می‌شوند. آلودگی پسماندهای صنعتی که وارد آب می‌شوند خطرناک است. فاضلاب شهرهای بزرگ اغلب به رودخانه‌ها تخلیه می‌شوند. فاضلاب، رشد فیتوپلانکتون‌ها را افزایش می‌دهد. این رشد فزاینده، اکسیژن آب را کاهش خواهد داد. این کاهش اکسیژن و وجود پسماندهای سمی، جمعیت ماهیان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و استخرها نیز به‌طور مستقیم توسط افراد گوناگون و برای استحمام و یا شست‌وشو استفاده می‌شوند. این وضعیت آب را با میکروب‌ها و بیماری‌های ویروسی مانند وبا، اسهال خونی، هیپاتیت‌ها، تیفوئید، التهاب معده، تب حلزونی، تب روده‌ای و مالاریا آلوده می‌کند.^۶

ملاحظات بهداشتی

محافظت از بهداشت عمومی، هدف اصلی تصفیهٔ آب است. حفاظت زیست‌محیطی دومین هدف اصلی در این خصوص است. به‌طور کلی هدف مسئولان، مهندسان و دانشمندان و ارگان‌های عمومی درگیر در حوزهٔ بهداشت عمومی و زیست‌محیطی، تضمین سیستم‌های تصفیهٔ آب برای دستیابی به آب پاک و غیرآلوده است. دو روش مشابه، مهندسان را به بررسی فرایندهای طبیعی مانند سیستم‌های تالاب مصنوعی و سیستم‌های آبی تشویق می‌کنند:

اولین روش، تقاضای رو به افزایش آب در زمانی است که منابع آبی دارای حداقل هزینه پیش از این استفاده شده‌اند. دومین روش افزایش حجم پساب‌های بیولوژیکی و شیمیایی است که به‌طور بالقوه از تأسیسات تصفیهٔ پساب وارد سیستم آب‌های سطحی می‌شوند.

تأثیرات نامناسب و سوء پساب‌ها

پساب‌ها، اکسیژن بیوشیمیایی مورد نیاز (BOD) و بیماری‌ها را ایجاد می‌کند. فسفر و نیتروژن حاصل از کاربری اراضی کشاورزی و شهری، کودها و پساب‌های حاصل از تصفیهٔ فاضلاب موجب یوتروفیکاسیون مصنوعی^۷ می‌شوند.

نیترات‌ها در آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی می‌توانند موجب آلودگی و آسیب به اکوسیستم‌ها و افراد شوند. فلزات سنگین رهاشده از کاربردهای کشاورزی، شهری و صنعتی شامل جیوه، سرب، سلیسیم، کادمیوم و ... موجب آسیب قابل توجه اکوسیستم و ایجاد مشکلات سلامتی در انسان‌ها می‌شوند. آلودگی به وجود آمده در اثر رسوبات آزاد شده از رواناب‌های سطحی از جایگاه‌های ساختمانی، رواناب‌های کشاورزی و فرسایش طبیعی، کیفیت آب را کاهش می‌دهند و باعث اتلاف منابع خاکی می‌شوند.

مواد مغذی که مصرف اکسیژن را توسط باکتری‌ها و سایر میکروارگانیزم‌های تجزیه‌کننده به‌عنوان نمونه در یک رودخانه یا دریاچه افزایش می‌دهند، ممکن است سبب مرگ ماهیان شوند، اما رشد اجتماع موجودات تجزیه‌کننده را تحریک می‌کنند.

اگرچه انواع منابع و آثار آلاینده‌های آبی اغلب به هم وابسته‌اند، تقسیم آن‌ها به گروه‌های اصلی زیر ساده خواهد بود:

- مشکلات بهداشتی: عواقل عفونی
- باکتریایی و تهنشینی فیزیکی تصفیه می‌شود. این روش‌های تصفیه در سیستم‌های لجن فعال معمولی و سیستم‌های صافی چکه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند.

گیاهان برتری‌های متعددی نسبت به جلبک دارند. اول از همه اینکه گیاهان ریشه دارند و می‌توانند مقدار قابل توجهی از مواد مغذی را از بستر دریافت کنند. حتی

در برکه‌ای که مقدار نیتروژن و فسفات بسیار بالاست، تعدادی از ریزمغذی‌ها مانند آهن بیشتر در بستر یافت می‌شوند

(مسری)،
مواد

شیمیایی آلی،
مواد شیمیایی معدنی
و مواد رادیواکتیو.

۲. اختلالات اکوسیستمی:

رسوب، مواد مغذی گیاهی، اکسیژن مورد نیاز پسماندها و حرارت و شفافیت آب تحت تأثیر فراوانی از گانیسم‌های پلانکتون قرار می‌گیرد و معیار سودمندی از کیفیت آب و آلودگی آب است. یوتروفیکاسیون، افزایش در مقادیر مواد مغذی و میزان تولید بیولوژیکی بخش معمول تغییرات متوالی در اغلب دریاچه‌هاست. جریان‌های فرعی در آن دسته از رسوبات و مواد مغذی ایجاد می‌شوند که رشد گیاه را تحریک می‌کنند. میزان تولید بیولوژیکی بالای سیستم یوتروفیک^۸ (سیستم وابسته به دریاچه که آب آن از نظر مواد مغذی غنی است به گونه‌ای که خزّه و سایر گیاهان آبی در آن به اندازه‌ای رشد می‌کنند که به علت فقدان یا کمبود اکسیژن باعث خفگی ماهیان می‌شود) اغلب به صورت شکوفه‌دار شدن جلبک‌ها یا رشد انبوه گیاهان آبی و مقادیر بالای تجمع رسوبات بیان می‌شود. پدیده یوتروفیکاسیون نیز در اکوسیستم‌های دریایی به‌ویژه در آب‌های نزدیک ساحل و تا حدی خلیج‌های بسته یا خورها (دهانه رودخانه‌ها) روی می‌دهد. شکوفه‌های ارگانیسم‌های لحظه‌ای که دیو تاژک‌دارها (انواع جلبک‌های تک‌باخته و عضو پروتوزواها هستند) نامیده می‌شوند، می‌توانند سبب مرگ ماهیان شوند. مشکلات آلودگی آب در آب‌های سطحی اغلب بسیار مشهودند و تهدیدی مستقیم برای کیفیت زیست‌محیطی به شمار می‌روند.

تالاب‌های تصفیه فاضلاب

به‌طور کلی تالاب‌های تصفیه فاضلاب (سیستم‌های تالابی) به دو دسته تالاب‌های طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند.

تعریف و نقش تالاب‌های مصنوعی در تصفیه پساب

تالاب‌های تصفیه مصنوعی تالاب‌های ساخته‌شده‌ای هستند که برای تصفیه آلاینده‌ها در پساب‌هایی که از درون آن‌ها جریان می‌یابند، توسعه می‌یابند و کنترل می‌شوند. تالاب‌های تصفیه مصنوعی، سیستم‌های مهندسی هستند که با استفاده از عملکردهای طبیعی پوشش گیاهی تالاب، خاک‌ها و جمعیت‌های میکروبی آن به منظور تصفیه آلاینده‌ها در جریان‌های آب سطحی، آب زیرزمینی یا پسماندی (پساب) طراحی و ساخته شده‌اند. کاربردهای موفقیت‌آمیز این سیستم‌ها برای تصفیه پساب شهری به جست‌وجوی فناوری تصفیه پساب از چندین منبع

مختلف شامل منابع صنعتی، کشاورزی، بارش‌های شدید طوفانی، فاضلاب‌های زیرزمینی اسیدی، جریان‌های سطحی شهری و... انجامیده است. تالاب‌های مصنوعی نیز دارای هزینه‌های طول عمر کلی بسیار کمتر و اغلب هزینه‌های سرمایه‌ای پایین‌تر نسبت به سیستم‌های تصفیه معمولی هستند و می‌توانند با استفاده از الکتروسیسته کمتر و نیروی کار کمتر راه‌اندازی شوند و مورد استفاده قرار گیرند.

تالاب‌های مصنوعی با الهام از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی موجود در اکوسیستم‌های طبیعی به منظور حذف و جداسازی آلاینده‌ها از پساب طراحی می‌شوند. تالاب‌های مصنوعی می‌توانند سیستم‌های تصفیه‌ای در نظر گرفته شوند که از فرایندهای طبیعی برای تثبیت، جداسازی، تجمع و یون‌سازی آلاینده‌ها استفاده می‌کنند. اگرچه کاربردهای تالاب‌های مصنوعی به تصفیه اولیه آب باران و پساب‌های شهری محدود شده است، این تالاب‌ها اکنون به‌صورت فناوری جدید و برای آلاینده‌های جدید استفاده می‌شوند. در سیستم‌های تصفیه تالاب‌های مصنوعی از گیاهان ریشه‌دار تالاب و از خاک کم‌عمق یا اشباع‌شده برای تأمین تصفیه پساب استفاده می‌شود.^۹

تالاب‌های طبیعی

تالاب‌های طبیعی، دریاچه‌های کم‌عمق هستند که گیاهان آبی در آن‌ها رشد کرده‌اند. از نمونه‌های این تالاب‌ها در ایران می‌توان به تالاب انزلی در گیلان و چونگ خرگوشی در سیستان اشاره کرد. رشد گیاهانی مانند سنبل آبی، سیزاب و انواع نی و خزّه موجب می‌شود که باکتری‌های بی‌هوازی روی ساقه و بدنه آن‌ها تجمع و مواد آلی فاضلاب را تجزیه کنند.

تالاب‌ها زمین‌هایی هستند که به وسیله آب‌های سطحی یا زیرزمینی اشباع می‌شوند. این محیط ممکن است به‌صورت طبیعی وجود داشته باشد یا از طریق خاک‌برداری، تسطیح و نفوذناپذیر کردن زمین به وجود بیاید. تالاب‌های طبیعی مکان‌هایی هستند که سطح آب سالانه آن‌ها به مدت طولانی نزدیک به سطح زمین است. در نتیجه، خاک حالت اشباع‌شده خود را حفظ می‌کند. تالاب‌ها همیشه پر از آب نیستند. بعضی از آن‌ها بعد از باران شدید یا در بعضی از فصول سال پر از آب می‌شوند. تالاب‌ها از خصوصیات زیر برخوردارند:

۱. مناطقی که با گیاهان آبی پوشیده شده‌اند.
۲. مناطقی دارای خاک اشباع‌شده از آب و کاملاً مرطوب که به شرایط بی‌هوازی و محدودیت گیاهان می‌انجامد.
۳. مناطقی دارای بستر غیرخاکی نظیر شن یا سنگ که در بعضی از فصول سال اشباع از آب هستند (درگاهی و الماسی، ۱۳۹۰).

نتیجه‌گیری

هزینه بالای برخی از فرایندهای متداول تصفیه، موجب ایجاد فشارهای اقتصادی شده‌اند و مهندسان را بر آن داشته‌اند که جست‌وجوی روش‌های خلاق، بهره‌ور و دوست‌دار محیط زیست برای کنترل آلودگی آب باشند. در این خصوص، یک روش فنی مهندسی، ساخت زیست‌بوم‌های مصنوعی به‌عنوان بخش کارکردی و عملیاتی فرایند تصفیه پساب‌هاست. پساب‌های موجود با

استفاده از فرایندهای مربوطه تصفیه می‌شوند و به گونه‌ای موفقیت‌آمیز به‌عنوان منابع آبی و مواد مغذی در کشاورزی، پرورش درختان جنگلی، پرورش آبزیان و آبیاری زمین‌های بازی گلف و کمربند سبزی مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرند. تغییر مفهومی که این فرایندهای ابتکاری را امکان‌پذیر ساخته است، دستیابی به تصفیهٔ پساب از طریق کنترل آلودگی آب همراه با ایجاد منابع سودمند (آب و مغذی‌های گیاهی) است نه اینکه به‌عنوان یک مسئولیت فرایندی مطرح شود.

پیشنهادها

نکتهٔ کلیدی و برتری این مطالعات بر دیگر مطالعات و پژوهش‌ها بررسی برتری گیاه بر جلبک در تصفیه‌خانه و استفاده از آن است که مزایای زیر را دارد: گیاهان برتری‌های متعددی نسبت به جلبک دارند. اول از همه اینکه گیاهان ریشه دارند و می‌توانند مقدار قابل توجهی از مواد مغذی را از بستر دریافت کنند. حتی در برکه‌ای که مقدار نیتروژن و فسفات بسیار بالاست، تعدادی از ریزمغذی‌ها مانند آهن بیشتر در بستر یافت می‌شوند.

دومین برتری گیاهان استفاده از مقدار بسیار بیشتری از شدت نور است. آنان ضمن استفاده از مقدار فوتون‌های بیشتر نور و فتوسنتز بیشتر، می‌توانند جلبک را از میان بردارند.

سوم اینکه گیاهان می‌توانند مواد غذایی بسیار بیشتری را ذخیره کنند. در بعضی از گیاهان خصوصاً آن‌هایی که ریشه دارند می‌توانند تا ۲۰ درصد کربوهیدرات را در طول سال و در زمان‌های مختلف ذخیره کنند. یکی از موانع اجرای تجاری گیاه‌پالایی، چگونگی مصرف گیاهان آلوده است. پس از برداشت، آلودگی آب و خاک کاهش می‌یابد، اما مقدار زیادی زیست‌جرم خطرناک تولید می‌شود.

بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهند تولید کمپوست و متراکم کردن، دو روشی است که برای مدیریت زیست‌جرم گیاهان آلوده توسط بسیاری از محققان پیشنهاد شده‌اند، اما بهترین روش برای مصرف زیست‌جرم تولیدشده توسط گیاه‌پالایی، تغییر و تبدیل‌های ترموشیمیایی است که در این روش زیست‌جرم به‌عنوان یک منبع انرژی مصرف تجاری دارد. این زیست‌جرم شامل کربن، هیدروژن و اکسیژن است که با عنوان هیدروکربن‌های اکسیژنه^۱ شناخته می‌شوند. جزء اصلی هر زیست‌جرم شامل لیگنین، همی سلولز، مواد معدنی و خاکستر است که دارای مقادیر بالای رطوبت، مواد آلی فرار و جرم مخصوص ظاهری هستند، اما ارزش گرمایی پایینی دارند. درصد این اجزا از گونه‌ای به گونهٔ دیگر متفاوت است که مدیریت این حجم از مواد زائد بسیار مشکل است و بنابراین نیاز به کاهش حجم دارد.

محدودیت‌ها

۱. کمبود یا فقدان منابع علمی قابل دسترس و استفادهٔ منابع علمی بسیار کم و محدود، حداقل به زبان فارسی در این زمینه موجود است که به‌طور مستقیم به موضوع مورد مطالعه و تحقیق مربوط می‌شود. به همین دلیل نیازمند استفاده از منابع لاتین هستیم که خود مشکلات دیگری همچون برگرداندن درست متون لاتین به فارسی و یکدست کردن آن‌ها را به همراه دارد.

۲. کار مشابه در این زمینه انجام نشده بود.
۳. با وجود تلاش بسیار، موفق به پیدا کردن پژوهشی که به‌طور مستقیم به این موضوع پرداخته باشد، نشدیم.
۴. بودجه لازم برای انجام و پیشبرد کار وجود نداشت.
در این زمینه مشکلات دیگری نیز وجود دارد که موجب شده خدمات تحقیقاتی از قبیل دسترسی به کتب، مجلات، آمار، آزمایش‌های موجود در خصوص روش نوین گیاه‌پالایی و ... در کشور به راحتی ممکن نباشد. بخشی از این مشکل ناشی از فقدان یا کمبود خدمات لازم برای تحقیق و پژوهش است.

پی‌نوشت‌ها

1. Reed, S.C, EG 1987.
2. Process Design Manual 1981
3. Macrophytes
4. Substrate
۵. این جلبک‌ها به دلیل دارا بودن ساختارهای برگ‌مانند و ساقه‌مانند شبیه گیاهان آبی ریشه‌دار هستند
6. Colman, J. Helen, K Garbutt, K, Sextone A, Bissonnette, G and Skousen, J (2001)
7. Artificial eutrophication
8. Eutrophic System
9. Gersberg, R.M., S.R. Lyon, BV. Elkins and C.R 1985
10. Oxygenated hydrocarbons

منابع

۱. قرآن کریم.
۲. جوادی، نسرتین و بهبودی املشی، علی (۱۳۹۲). اصول و کاربرد سیستم‌های گیاهان آبی در تصفیه فاضلاب. تهران: انتشارات آوای قلم.
۳. درگاهی، ع و الماسی، ع (۱۳۹۰). «کارایی برکه تثبیت بی‌هوازی در حذف ترکیبات آلی از فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه». مجلهٔ تحقیقاتی علوم پزشکی زاهدان، ۱۳ (۱)، ۷۱.
۴. رازقی، ناصر (۱۳۶۴). تصفیه انتقال و توزیع آب. جلد اول، جهاد دانشگاهی دانشکده بهداشت تهران: دانشگاه علوم پزشکی.
۵. رهنما، حسن (۱۳۹۴). گیاه‌پالایی، مبانی و کاربردها. تهران: مؤسسه انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت.
۶. علی‌دادی، حسین (۱۳۹۷). ضدعفونی‌کننده‌ها در تصفیهٔ آب و فاضلاب. اصفهان: انتشارات تصفیه‌خانهٔ آب.
۷. فرزادکیا، م (۱۳۸۲). «بررسی کارایی برکه‌ها و تالاب‌های تثبیت در تصفیهٔ فاضلاب کشتارگاه شهر کرمانشاه». آب و فاضلاب، ۵۱: ۱۵ - ۱۰.
۸. کمری، الهیار و فرشادفر، محسن (۱۳۹۱). «فناوری نوین گیاه‌پالایی برای ایجاد محیط زیست پایدار». مجله/ایمنی زیستی، دورهٔ پنجم، شمارهٔ دوم، دانشگاه پیام‌نور، مرکز کرمانشاه.
۹. مصباح، شمس (۱۳۴۷). شیمی و تصفیهٔ آب. تهران: انتشارات دانشگاه، شمارهٔ ۱۱۷۲.
۱۰. مقدم ارجمند، معصومه (۱۳۸۱). مبانی عوامل ضد میکروبی و کاربرد آن در مهندسی محیط زیست. تهران: انتشارات نخل.
۱۱. نفری، محمدرضا (۱۳۸۲). بررسی روش‌های ضدعفونی آب‌های آشامیدنی، بهداشتی و صنعتی. تهران: انتشارات سرسبز.
۱۲. واعظی، فروغ و صیدمحمدی، عبدالمطلب (۱۳۸۲). مقررات گندزدایی آب و بهره‌برداری از گندزداها. تهران: انتشارات سه استاد.
۱۳. هاشمی‌اصل، احمد (۱۳۸۲). گندزدایی آب و فاضلاب. تبریز: دانشگاه علوم پزشکی.
14. Colman, J. Helen, K Garbutt, K, Sextone A, Bissonnette, G and Skousen, J. (2001). "Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands". Water Air, solid Pollute. 128 (4).
15. Gersberg, R.M., S.R. Lyon, BV. Elkins and C.R. Goldman. "Proceedings of the water Reuse Symposium III". San Diego, Ca. AWWA Research Foundation, Denver, CO, 1985.
16. Metcalf and Eddy. wastewater engineering. treatment and reuse, 1991.
17. Process Design Manual. "Land Treatment of Municipal Wastewater". Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. EPA 1-625013-81, 1981.
18. Reed, s.c., E.J. Middlebrooks and R.W. crities. Natural system for waste management and treatment. McGraw Hill Book Co. NY, 1987.