



بررسی فرآیند تصفیه پسابهای صنعتی توسط روش گیاه پالایی

امین احمدپور^{*}، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آبادان

محمد پاکدل، شرکت ملی صنایع پتروشیمی - شرکت پتروشیمی شهید تندگویان

تقیه سریرچی عبودزاده، دانشگاه صنعتی شریف

*عهده دار مکاتبات: aminahmadpour@yahoo.com

چکیده

آلودگی‌های جهان به فلزات سنگین و مواد ضدزیست^۱ و توسعه‌ی فناوری‌های گیاه‌پالایی^۲، استفاده از روش‌های رفع آلودگی مبتنی بر گیاهان را مورد توجه قرار داده‌است. استفاده از این فناوری‌ها در حال حاضر برای زیرمجموعه‌هایی از آلودگی‌ها همچون آرسنیک وجود دارد. آلودگی‌های موجود که دارای جیوه، آرسنیک، کروم و روی هستند با این فناوری‌ها جذب گیاه شده و حتی امکان بازیافت فلزات گران‌بهای مثل طلا نیز پس از جذب وجود خواهد داشت. واژه‌ی گیاه‌پالایی (آلایش‌زدایی گیاهی) در واقع استفاده‌ی مهندسی از گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط‌زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو است. هدف از کاربرد این فناوری، افزایش انتقال آلاینده‌ها از خاک به بخش‌های هوایی گیاه است، به گونه‌ای که با هر بار محصول‌دهی، بیشترین میزان آلاینده‌ها از محیط خاک خارج شود. در این مقاله به بررسی فرآیند تصفیه پسابهای صنعتی توسط این روش پرداخته شده و مزایا و محدودیتهای آن تشریح می‌گردد.

کلمات کلیدی: تصفیه پساب صنعتی، گیاه پالایی، زیست فناوری

¹ xenobiotics
² Phytoremediation



مقدمه

در هر اجتماعی بر اثر فعالیتهای روزمره انسان و متعلقات زندگی اش، مقادیر قابل توجهی مواد زائد به اشکال جامد، مایع و گاز تولید و وارد محیط زیست می شود. بخش مایع این زائدات یا به عبارت دیگر پساب، اساساً همان آب مصرفی جامعه است که در نتیجه کاربردهای مختلف آلوده شده است. مصرف آب در واحدهای مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی بسیاری از ناخالصیها را وارد آن می کند که در صورت دفع بی رویه در محیط زیست خطرات قابل ملاحظه ای بدنبال خواهد داشت. تجزیه قسمتی از این ناخالصیها می تواند به ایجاد بوی تعفن منجر شود. به علاوه پسابها محتوی میکروارگانیسم های مختلف بیماریزا، مواد سمی، مواد مغذی محرک رشد گیاهان آبی، مواد معلق، مواد شناور و بسیاری از آلاینده های دیگر می باشد. حجم آب مصرفی توسط واحدهای صنعتی سالانه حدود یک میلیارد متر مکعب برآورد شده است که با احتساب بازگشت هشتاد درصد آن به صورت پساب به محیط زیست و با توجه به اینکه هر متر مکعب فاضلاب می تواند ۴۰ تا ۵۰ برابر حجم خود را آلوده کند، نقش صنایع در لطمه بر منابع آب و خسارت بر محیط زیست آشکارتر می شود. هزینه های رفع این آلودگی بر دوش نسل کنونی و آیندگان تحمیل خواهد شد. برخی از ترکیبات دارای درجه سمیت بالا هستند و نفوذ آنها به مقدار کم موجب آلودگی و بیماریزایی حجم بزرگی از آب می شود. به عنوان مثال ورود یک گرم جیوه می تواند یک میلیون لیتر آب را آلوده و غیر قابل آشامیدن کند. بسیاری از واحدهای بزرگ صنعتی مجهز به سیستم تصفیه پساب می باشند. اما متأسفانه در اکثر مواقع کیفیت پساب خروجی به هیچ وجه با استانداردهای محیط زیست مطابقت نمی کند. برخی دیگر از واحدهای صنعتی که تعداد آنها قابل ملاحظه می باشد دارای واحد تصفیه پساب نیستند که با توجه به وجود ترکیبات شیمیایی و سمی و وجود عناصر سنگین و مواد آلی در این قبیل پسابها می توانند خسارات جبران ناپذیری به بار آورند. در همه کشورها و به ویژه کشورهای در حال توسعه، رقابت زیادی در زمینه درخواست بودجه های موجود برای توسعه پایدار وجود دارد. در طول سالها به طور فزاینده معلوم شده است که تصفیه پساب به روشهای ساده و کم هزینه به معنی تصفیه پساب با کیفیت پایین نیست. آبهای مصرفی در اجتماعات اعم از مصارف اجتماعی یا شهری و یا صنعتی و حتی کشاورزی، به منابع اولیه خود برگردانیده خواهند شد، ولی باید توجه داشت که این آبها با همان کیفیت آب نخواهند بود، بلکه مایعی هستند که علاوه بر ترکیب آب مصرفی، محتوی مقادیر ناچیزی از کلیه موادی هستند که در زندگی روزمره مورد استفاده انسان قرار می گیرد و یا محتوی مقادیر کمی از کلیه مواد اولیه مصرفی در صنایع هستند.

گیاهپالایی فرایندی طبیعی است که توسط گیاهان انجام می شود و شامل موارد زیر می باشد [1]:

- ۱- حذف فلزات و برخی از ترکیبات آلی ۲- تجمع و یا پردازش شیمیایی این مواد از طریق لیگنیفیکاسیون^۳، تبخیر، متابولیز و یا معدنی کردن آنها (تبدیل مواد به آب و یا دی اکسید کربن)

³ Lignification



۳- بهره‌گیری از آنزیم‌ها برای شکست مولوکول‌های پیچیده‌ی آلی به مولکول‌های ساده‌تر (و در نهایت تبدیل آنها به آب و دی‌اکسید کربن)

۴- افزایش محتوای کربن - اکسیژن اطراف ریشه‌ها در درون خاک (و در نتیجه افزایش فعالیت میکروبی و قارچی در اطراف ریشه‌ها)، از طریق آزادسازی مواد شیمیایی^۴ و یا پوسیدگی ساقه‌ها

۵- جذب آب‌های زیرزمینی (حتی آب‌های آلوده) و بهره‌گیری از آن برای فرایندهای گیاهی

انواع فرایندهای گیاه‌پالایی

دسته‌بندی‌های مختلفی برای نشان دادن انواع گیاه‌پالایی مطرح می‌شود که معروف‌ترین آنها به شرح زیر می‌باشد:

الف) استخراج با گیاه

انتقال آلاینده‌ها از محیط‌زیست به داخل گیاه را استخراج با گیاه^۵ گویند. به عبارت دیگر، استخراج و تجمع آلاینده‌ها در گیاهان قابل درو کردن که دارای بافت‌های ریشه‌ای و ساقه‌های (جوانه‌های) سطحی هستند. این فرایند شامل جذب مستقیم مواد به داخل بافت گیاه و در نتیجه زدایش فلزات، رادیونوکلوئیدها، و ترکیبات آلی ویژه‌ای (به‌طور مثال شامل هیدروکربن‌ها نفتی) است.

آزمایشات اولیه نشان می‌دهد که مواد افزودنی به خاک^۶ که کود، آب و غیره هستند نیز مورد نیاز است تا رشد گیاه با موفقیت به‌انجام برسد. طول زمان قبل از درو کردن یا برداشت گیاه نیز با آزمون‌های اولیه مشخص شده و بعد از یک دوره زمانی، گیاه از روی زمین برداشت می‌شود و در صورت نیاز، گیاه دیگری یا دانه آن کشت می‌شود. اگرچه آزمون‌ها بر روی یک گیاه انجام می‌شود، ولی گونه‌های مختلفی بر روی سایت‌ها کشت می‌شوند تا امکان حذف بیش از یک آلاینده را فراهم کنند [2].

ب) تثبیت با گیاه^۷

کاهش حرکت مواد در محیط‌زیست و یا تثبیت آنها را تثبیت با گیاه گویند. به‌طور مثال، کاهش فروشویی (مهاجرت فلزات به سطح آب‌های زیرزمینی) برخی مواد از خاک را می‌توان از این گروه نام برد. این فرایند شامل جذب و یا رسوب آلاینده‌ها به وسیله گیاهان که عمدتاً شامل فلزات است و یا کاهش تحرک آنها و

⁴ Exudates

⁵ Phytoextraction

⁶ Amendment

⁷ Phytostabilization



جلوگیری از فروشویی و یا توسط جریان هوا (جابجایی توسط باد) و یا نفوذ این مواد به زنجیره غذایی است. به علاوه مهاجرت به درون آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر ریشه درختان ریشه بلند انجام می‌شود و مهاجرت آلودگی‌ها را به تأخیر می‌اندازد. گیاهان از آب بهره‌گیری و سپس آن را آزاد می‌کنند که به صورت بالفعل باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی می‌شوند. در طول فرایند جذب آب توسط درختان، آب‌های آلوده زیرزمینی که امکان مهاجرت به سطح پایین‌تر را دارا هستند، در اطراف گیاه نگه داشته می‌شوند و در این صورت تخریب آلاینده آغاز می‌شود (در طول فرایند گیاهی) و یا اینکه زیست‌پالایی توسط گیاه انجام می‌پذیرد.

ج) گیاه تراریختی^۸

اصلاح شیمیایی محیط با متابولیسم مستقیم گیاهان که اغلب با غیر فعال شدن و یا تخریب شیمیایی و تثبیت آلودگی انجام می‌گیرد را گیاه‌تراریختی گویند. تیمار^۹ آب‌های سطحی به وسیله گیاه‌تراریختی در محل، در مناطق مرطوب و در داخل حوضچه‌های^{۱۰} صنعتی و غیرصنعتی انجام می‌شود. علاوه بر آن، آب‌های زیرزمینی نیز در مواردی که سطح سفره زیرزمینی آن بالاست، توسط گیاهانی همچون سپیدار که ریشه‌های عمیق دارند قابل دسترسی است که به صورت درجا^{۱۱} و یا به وسیله پمپاژ کردن به سطح زمین، تیمار آن توسط گیاهانی با ریشه‌های مناسب که در سطح خاک هستند به صورت برجا^{۱۲} انجام می‌شود. در این تیمار، آلاینده‌ها توسط گیاهان به مواد با سمیت کمتر و یا مواد غیر سمی تبدیل می‌شوند. این تکنیک برای زمین‌های آلوده به مواد منفجره همچون تی.ان.تی و آر.دی.ایکس^{۱۳} انجام شده است.

د) گیاه فعال‌سازی^{۱۴}

افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها به منظور حذف آلودگی‌ها که اغلب به وسیله میکروارگانیسم‌های پیوندی با ریشه گیاهان انجام می‌پذیرد را گویند.

ه) گیاه فرارسازی یا تبخیر گیاهی^{۱۵}

این فرایند شامل حذف مواد از خاک و یا آب و آزادسازی آنها در هواست. گاهی محصولات تولیدشده در گیاه‌تراریختی منجر به تولید مواد فرار و یا کم‌ضررتر می‌شود و باقی مواد آلوده در ریشه گیاه جذب می‌شوند. تبخیر توسط گیاه (تبخیر گیاهی) از جمله روش‌های گیاه‌پالایی است که به واسطه آن، آلاینده از سطح و یا درون خاک و آب، جذب شده و توسط گیاه به بخار تبدیل شده و یا به وسیله عمل تعرق به اتمسفر انتقال

8 Phytotransformation

9 Treatment

10 Pond

11 In-situ

12 Ex-situ

13 TNT&RDX

14 Phytostimulation

15 Phytovolatilization



می‌یابد. بهره‌گیری از این روش برای درختان در حال رشد برای جذب آلاینده‌های آلی و معدنی به‌کار گرفته می‌شود. در واقع این فناوری شباهت زیادی با گیاه‌تراریختی دارد، با این تفاوت که این فناوری زدایش مواد از آب و یا خاک با رهائش آنها به درون هواست، منتها در مواردی که آلاینده فرار است و آلاینده‌گی کمتری دارد.

و) فیلترکردن با ریشه گیاه^{۱۶}

فیلتر کردن آب به وسیله توده ریشه‌های آن و حذف مواد سمی و یا مواد غذایی زاید و جذب سطحی و یا جذب در توده گیاهی را فیلترکردن با ریشه گیاه گویند. بنابراین جذب و تجمع و رسوبدهی فلزات سنگین توسط ریشه‌های گیاه را فیلتراسیون ریشه‌ای می‌نامند. فیلتراسیون ریشه‌ای در حالت درجا قابل انجام است و فیلتر آب توسط گیاهان که به‌صورت مستقیم در داخل بدنه آلوده رشد می‌کند، انجام می‌شود. اگر آب زیرزمینی در محدوده ریشه گیاه باشد گیاه‌پالایی درجا انجام می‌شود. گزینه دیگری که وجود دارد پمپاژ آب زیرزمینی به سطح پوشیده از گیاهان مناسب برای گیاه‌پالایی است. مقادیر زیادی از پوشش گیاهی امکان جذب فلزات سنگین را در بافت‌های گیاهان فراهم می‌کند. علاوه بر حذف فلزات توسط جذب، این گروه فلزات به‌واسطه مواد ترشح‌شده از بافت‌های گیاهی نیز ته‌نشین می‌شوند. این رسوبات فیلتر شده و پس از انجام چرخه درمانی ذکر شده، از آب زیرزمینی جدا می‌شوند.

ریشه‌ها برداشت شده و بسته به گونه گیاهی استفاده شده و جوانه‌های (ساقه‌های) موجود، مجدداً به‌کار گرفته می‌شوند. این گیاهان برای اطمینان از عملکرد بهینه در سیستم، جایگزین می‌شوند. مثلاً فیلتراسیون ریشه‌ای با بهره‌گیری از گل آفتابگردان برای پاکسازی رادیونوکلوئیدها از آب‌های سطحی نزدیک چموبیل^{۱۷} (استرانسیم و سزیم) به‌کار رفت.

ز) تهییج گیاهی - زیست‌پالایی به کمک گیاه^{۱۸}

تهییج، حذف میکروبی یا قارچی با آزاد کردن آنزیم و یا مواد ترش‌حی در اطراف ریشه گیاهان را تهییج گیاهی گویند. این تکنیک شامل کاشت درختان مناسب در محدوده‌هایی که زیست‌پالایی در سطح انجام می‌شود است. این گیاهان مواد کربنی تولید می‌کنند که از مایعات ترشح‌شده از ریشه آنها و یا تخریب بافت ریشه آزاد می‌شوند. به‌علاوه، اکسیژن از سیستم ریشه این گیاهان آزاد شده و در نتیجه محتوای اکسیژن در محدوده زیست‌پالایی افزایش می‌یابد. در نتیجه آزاد شدن این ترکیبات و عناصر (که به‌عنوان مواد مغذی برای سامانه میکروبی عمل می‌کنند) باعث افزایش فعالیت میکروبی و در نتیجه افزایش نرخ زیست‌پالایی خواهد شد.

¹⁶ Rhizofiltration

¹⁷ Chemobyl

¹⁸ - plant - assisted bioremediation یا Phytostimulation



عملیات‌های اولیه و ثانویه در گیاه‌پالایی

۱- کاشت^{۱۹}

تکنیک‌های گیاه‌پالایی هنوز هم در حال آزمون‌هایی است که برای انتقال از آزمایشگاه به زمین در حال انجام هستند. مطالعات رایج در این زمینه به شرح زیر هستند [3]:

- مطالعات آزمایشگاهی برای بررسی فرایندهای موجود در گیاه‌پالایی

- مطالعات غربال‌گری برای یافتن گیاهان مناسب برای پژوهش‌های بعدی

- واحد پیشنهادی برای آزمون گونه‌ای مناسب

- آزمایشات محدود و در مقیاس بالا

۲- درو کردن^{۲۰}

وقتی گیاهان مواد آلاینده را جذب می‌کنند، ریشه‌های گیاهی درو شده و از گیاه جدا می‌شوند و دفع و فرایندهای مختلف که به میزان سمیت محصولات نهایی حاصل از آلاینده‌های شیمیایی داخل گیاه و محل ذخیره‌شده آنها و غلظت نسبی آلاینده‌های درون بافت گیاه بستگی دارد، انجام می‌شود. در صورتی که این مواد آلاینده به مواد بی‌ضررتر تبدیل شوند نیاز به عملیات دفع وجود ندارد. ولی در صورتی که تجمع ویژه‌ای در گیاه وجود داشته باشد، این ریشه‌ها نیاز به دفع در محل خاص یا فرایندهای ویژه‌ای دارند.

یکی از فرایندهای رایج که در ارتباط با فلزات تجمع‌یافته در ریشه‌ها وجود دارد فرایند سوزاندن کنترل شده‌است که در نهایت منجر به تولید خاکستر با محتوای بالای فلزات شود. امید می‌رود که روش‌های اقتصادی مناسبی برای بازیافت فلزات از درون خاکستر ابداع شود که به تبع آن کاهش اثرات زیست‌محیطی را نیز به همراه خواهد داشت. روش‌های معمول دفن که شامل دفن در زمین هستند نیز در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات اولیه‌ای وجود دارد که می‌توان چوب حاصل از درختانی که تری‌کلرو اتیلن را به خود جذب کرده و یا تخریب کرده‌اند و دارای متابولیت‌هایی از تری‌کلرو اتیلن هستند برای خمیر کاغذ مورد استفاده قرار گیرد.

¹⁹ Implementation
²⁰ Harvesting



سایر روش‌هایی که برای تیمار بافت‌های گیاهی به کار می‌رود به شرح زیر می‌باشد:

- خشک کردن توسط نور خورشید و یا هوای خشک و حرارت دادن

- کمپوست کردن

- فشرده‌سازی

- فروشویی

مزایا و محدودیت‌های گیاه‌پالایی

مزایای روش گیاه‌پالایی عبارتند از [4]:

- ۱- هزینه‌های این روش نسبت به سایر هزینه‌های معمول کمتر است.
- ۲- درختان مورد استفاده در این روش قابل رصد هستند.
- ۳- امکان بازیافت فلزات و استفاده مجدد از فلزات گران‌بها امکان‌پذیر است. این فرایند با عنوان معدن‌کاری گیاهی^{۲۱} معروف است که توسط برخی از شرکت‌ها قابل اجرا خواهد بود.
- ۴- به‌علت به‌کارگیری ارگانسیم‌ها و گیاهان طبیعی، به‌طور کلی این روش برای محیط‌زیست کمترین ضرر را خواهد داشت.
- ۵- این روش منافع مستقیم یا غیرمستقیم فراوانی را شامل می‌شود. به‌عنوان مثال، منطقه آلوده به آلاینده‌ها توسط گیاه پوشش داده می‌شود و مانع انتقال و جابجایی خاک آلوده توسط باد و باران می‌گردد.
- ۶- کاشت، داشت و برداشت گیاهان فرایندی اشتغال‌زا و پیوسته است که هزینه زیادی ندارد. علاوه بر این، میزان تولید مواد زاید بسیار کم است، زیرا در روش‌های دیگر همچون شستشوی خاک مقدار زیادی مایعات حاوی فلزات سنگین خصوصاً منیزیم، آهن و آلومینیوم تولید می‌شود.

محدودیت‌های روش گیاه‌پالایی عبارتند از:

- ۱- گیاه‌پالایی تنها به آلاینده‌های سطحی و یا عمقی که ریشه گیاه امکان نفوذ دارد محدود است.



- ۲- رشد آهسته گیاه و توده‌های زیستی یک محدودیت در راه استفاده از این فناوری است.
- ۳- با استفاده از این فناوری امکان حذف کامل آلاینده و جلوگیری از فروشویی آنها به آب‌های زیرزمینی مقدور نیست.
- ۴- بقای گیاهان به‌طور مستقیم تحت تأثیر سمیت و آلودگی زمین‌های آلوده و شرایط عمومی خاک (به طور مثال pH) است.
- ۵- امکان تجمع زیستی آلاینده و راه‌یابی آن به زنجیره غذایی انسان از سطح اولیه آن (گیاه) تا سطوح بالایی (راه‌یابی به بدن سایر جانداران) و در نهایت راه‌یابی به بدن انسان و سایر موجودات وجود دارد.
- ۶- پس از انجام عملیات، میزان زیادی از زیست‌توده (گیاهی) با آلودگی زیاد به آلاینده حاصل می‌شود.

مکانیسم‌های بیش انباشتی

مکانیسم‌های دخیل در جذب بالای گیاهان^{۲۲} به سه شکل مختلف ارائه می‌شوند [5]:

- ۱- افزایش جذب فلزات به داخل ریشه همراه با سرعت بالای انتقال از ریشه به بخش هوایی
- ۲- ترشح پروتون‌ها، اسیدهای آلی و کیلاتورها توسط ریشه که قادر به انحلال فلز است.
- ۳- اختصاص ریشه به مناطق غنی از فلز و جستجوی فلز

جدول زیر تقسیم‌بندی فرایندهای گیاه پالایی را نشان می‌دهد.



جدول (۱): تقسیم‌بندی فرایندهای گیاه پالایی

استخراج با گیاه	فرایندهای گیاه پالایی
تثبیت با گیاه	
گیاه تراریختی	
گیاه فعال‌سازی	
گیاه فرارسازی یا تبخیر گیاهی	
فیلتر کردن با ریشه گیاه	
تهییج گیاهی - تیمارزیستی به کمک گیاه	
کاشت	عملیات‌های اولیه و ثانویه
درو کردن	
سوزاندن	
دفع کردن	

تعدادی از آلاینده‌ها که از روش‌های گیاه‌پالایی می‌توان برای حذف آنها استفاده کرد به شرح زیر می‌باشند [6]:

- ۱- فلزات سنگین
- ۲- رادیونوکلئیدها
- ۳- حلال‌های کلرینه
- ۴- هیدروکربن‌های نفتی
- ۵- بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه
- ۶- هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک
- ۷- سموم کلرینه
- ۸- حشره‌کش‌های ارگانوسولفات (پاراتیون)
- ۹- مواد منفجره (تی-ان-تی، دی-ان-تی، تی-ان-بی و...)
- ۱۰- مواد مغذی (نیترات، آمونیم و فسفات)
- ۱۱- سورفکتانت



سیستم های گیاه پالایی

۱- زمین های مرطوب ساخت یافته^{۲۳}

زمین های مرطوب ساخت یافته، زمین های پوشیده از آبی هستند که ارتفاع آب روی آنها معمولاً کمتر از ۰/۶ متر است و امکان رشد گیاهان خودرو را فراهم می نماید. این گیاهان، سطحی را بوجود می آورند که لایه های میکروبی می توانند به آنها بچسبند. همچنین این سطح به فیلتر شدن و جذب شدن مواد موجود در پساب نیز کمک می کند، اکسیژن آب را افزایش می دهد و رشد جلبک ها را درون آب با جلوگیری از نفوذ نور خورشید به درون آنرا کنترل می نماید [7].

با اینکه رشد گیاهان درون آب فاکتور مهمی در حذف مواد آلاینده آن، به خصوص مواد مغذی، به شمار می رود، اما این تنها یکی از مکانیسم های فعال بسیاری است که در یک زمین مرطوب ساخت یافته، مواد آلاینده را از آب حذف می کند. مکانیسم های حذف آلاینده ها به گروه های فیزیکی، شیمیایی و زیستی تقسیم می شوند و در آب، گل ولای و خاک زیر پوشش گیاهی انجام می پذیرند. از آنجا که اغلب فعل و انفعالات زیستی در نزدیکی و یا در محل سطوحی که باکتری ها به آن چسبیده اند صورت می گیرد، لذا حضور پوشش گیاهی و گل ولای بسیار مهم است. سیستم های زمین مرطوب طوری طراحی می شوند که حداکثر گل ولای از طریق رشد گیاهی و تجزیه مواد آلی به دست آید. این سیستم ها شامل بسترهای مرطوب پوشیده از گیاهانی است که به واسطه فرایندهای گیاه پالایی در تصفیه پساب ها نقش دارند. البته توانایی این سیستم ها در بهبود کیفیت زیستی آب آنقدر خوب است که در مواردی که بار عملیاتی کم باشد حتی به جای تصفیه مرحله دوم می توان از این سیستم ها بهره گرفت. یک نمونه از این جایگزینی مربوط به تصفیه آب قفس فیل ها در باغ وحش چستر^{۲۴} کشور انگلستان است [8].

در تصاویر شکل زیر، نمایی از یک زمین مرطوب به صورت شماتیک آورده شده است.

²³ Constructed wetlands

²⁴ Chester

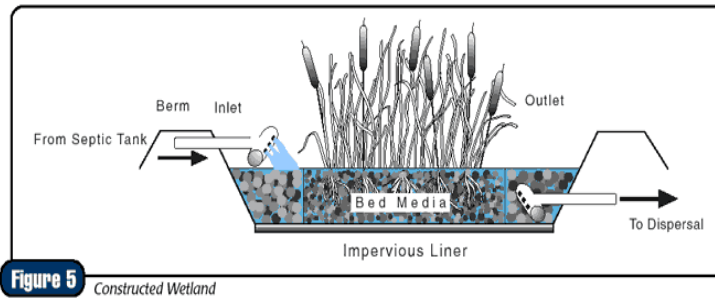


Figure 5 Constructed Wetland



شکل (۱): نمایی از یک زمین مرطوب

۲- سیستم‌های تصفیه توسط گیاهان آبی شناور

سیستم‌های تصفیه آبی شامل یک یا چند حوضچه کم‌عمق می‌شود که در آن یک یا چند گونه از گیاهان آوندی^{۲۵} آبی مانند هیاسینت^{۲۶} آبی یا داکوید^{۲۷} رشد داده می‌شوند. عمق کمتر و وجود مایکروفیت‌های^{۲۸} آبی به‌جای جلبک، تفاوت عمده بین سیستم‌های تصفیه آبی و حوضچه‌های تثبیت است. وجود گیاهان از لحاظ عملیاتی اهمیت زیادی دارد، زیرا پساب خروجی از سیستم‌های تصفیه آبی کیفیت بهتری نسبت به پساب خروجی از حوضچه‌های تثبیت در زمان اقامت‌های یکسان یا حتی کمتر دارد [9].

در سیستم‌های آبی، پساب بیشتر توسط متابولیسم میکروبی و ته‌نشینی فیزیکی تصفیه می‌شود. یعنی مانند فیلترهای چکنده معمولی، خود گیاهان آبی در واقع نقش کمی در تصفیه پساب دارند. نقش گیاهان در این سیستم‌ها در واقع فراهم آوردن شرایط مناسب برای بالا بردن ظرفیت تصفیه پساب و یا قابل اطمینان‌تر کردن محیط سیستم برای تصفیه پساب است [10].

²⁵ Vascular

²⁶ Hyacinth

²⁷ Duckweed

²⁸ Microphyte



بحث و نتیجه گیری

انواع اصلی سیستم‌های تصفیه توسط گیاهان آبی شناور که برای تصفیه پساب مورد استفاده قرار می‌گیرند، آنهایی هستند که از گیاهان هیاسینت آبی و داکوید بهره می‌برند.

• سیستم‌های هیاسینتی

سیستم‌های هیاسینتی اغلب سیستم‌های تصفیه توسط گیاهان آبی را تشکیل می‌دهند. سه نوع سیستم هیاسینتی براساس میزان اکسیژن محلول و روش هوادهی حوضچه می‌تواند تعریف شود:

(۱) هوازی غیر هوادهی شونده (۲) هوازی هوادهی شونده (۳) بی‌هوازی اختیاری.

یک سیستم هیاسینتی هوازی فاقد سیستم هوادهی براساس شدت بار مواد آلی آن، می‌تواند تصفیه مرحله دوم و یا حذف مواد مغذی (نیترژن) را به‌انجام برساند. این نوع سیستم رایج‌ترین نوع سیستم‌های هیاسینتی مورد استفاده در زمان حال را تشکیل می‌دهد. مزایای این نوع سیستم در عملکرد عالی آن همراه با عدم تجمع حشرات و ایجاد بو به میزان اندک است.

برای مناطقی که وجود حشرات یا بوهای آزاردهنده قابل قبول نیست، یک سیستم هیاسینتی مجهز به سیستم هوادهی مورد نیاز است. مزایای دیگر این سیستم‌ها علاوه بر مزایای سیستم قبلی، استفاده از شدت‌بارهای مواد آلی بیشتر و نیاز به زمین کمتر برای احداث می‌باشد.

نوع سوم سیستم‌های هیاسینتی به سیستم‌های هیاسینتی بی‌هوازی اختیاری معروف هستند. این سیستم‌ها می‌توانند تحت شدت‌بارهای بسیار بالای مواد آلی نیز کار کنند. ایجاد بو و تجمع حشرات به‌میزان زیاد از معایب اصلی این نوع سیستم‌ها هستند. به‌دلیل همین مشکلات، به‌ندرت از این نوع سیستم‌های هیاسینتی استفاده می‌شود.

• سیستم‌های داکویدی

داکوید و پنی‌ورت^{۲۹} اصولاً به‌منظور بهبود کیفیت پساب خروجی از لاگون‌های اختیاری یا حوضچه‌های تثبیت اختیاری با کاهش مقادیر جلبک‌های موجود در آنها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای این سیستم‌ها، طراحی لاگون‌های معمولی را می‌توان دنبال نمود، به‌استثنای اینکه در این مورد نیاز به کنترل اثرات باد وجود دارد. بدون کنترل باد، داکوید به یک سمت حوضچه رانده خواهد شد و لذا قسمت وسیعی از سطح حوضچه، خالی مانده و اهداف استفاده از پوشش داکویدی برآورده نمی‌شود. همان‌طور که قبلاً هم اشاره شد، تجمع



گیاهان در حال تجزیه می‌تواند سبب ایجاد بوهای آزاردهنده شود. می‌توان از بافل‌های شناور برای ایجاد سلول‌های کوچک‌تر جهت به حداقل رساندن میزان سطح تماس در معرض باد استفاده نمود.

• محدودیت‌های آب و هوایی

سیستم‌های هیاسینتی که در حال حاضر برای تصفیه پساب مورد استفاده قرار می‌گیرند در نواحی دارای آب‌وهوای گرم‌تر واقع می‌شوند. دمای بهینه برای رشد هیاسینت آبی، ۲۱ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است. دمای هوای ۳- درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت برگ‌های گیاه را از بین خواهد برد و اگر گیاه به مدت ۴۸ ساعت در معرض دمای ۵- درجه سانتی‌گراد قرار گیرد به کلی از بین خواهد رفت. اگر قرار است در شرایط آب‌وهوایی سرد از سیستم هیاسینتی استفاده شود، لازم است تا سیستم در یک گلخانه جای گیرد و دمای محیط آن در محدوده بهینه برای رشد هیاسینت حفظ شود. داکویدر مقایسه به هیاسینت آبی نسبت به سرما مقاوم‌تر بوده و می‌تواند در آب‌وهوای سردتر و با دماهای پایینی تا ۷ درجه سانتی‌گراد رشد نماید.

فهرست منابع:

- ۱- کتاب "مهندسی فاضلاب"، نوشته شرکت مهندسی متکاف و ادی (Metcalf&Eddy)، ویرایش سوم، انتشارات MC Graw Hill، ۱۹۹۱، ترجمه احمد ابریشم چی - عباس افشار - بهشید جمشید، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۵
- ۲- کتاب "مهندسی محیط زیست"، جلد اول، "آب و فاضلاب"، نوشته (Peavy&Howard)، ترجمه دکتر ایوب ترکیان، انتشارات کنکاش، ۱۳۷۴
- ۳- کتاب "واحدهای عملیاتی و فرآیندی در مهندسی محیط زیست"، نوشته تام‌دی رنلدرز، پل. ای. ریچاردز، ترجمه دکتر ایوب ترکیان - سعید مردان، انتشارات شرکت شهرک‌های صنعتی تهران و دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۹
- ۴- کتاب "تصفیه بیهوای فاضلابها UASB"، نوشته مرتضی حسینیان، انتشارات فنی حسینیان، ۱۳۷۹
- ۵- کتاب "تصفیه فاضلاب"، نوشته محمد تقی منزوی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴
- ۶- جزوه آموزشی "شناخت فاضلاب و میکروبیولوژی لجن فعال" و "تصفیه پسابهای صنعتی"، نوشته دکتر کریم قاسمی پناه، انتشارات شرکت ره‌آوران فنون پتروشیمی، فروردین ۱۳۸۴



۷- جزوه آموزشی ، تصفیه زیستی پسابهای صنعتی، انتشارات شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، دی ۱۳۸۷

8 - Barnes.D,Bills.P.J.,Gould.B.W.and Vallentine.H.R.,”Water and WasteWater Engineering Systems”,Pittman Books Pub,London,2004

9 - Ganczarczyk,J.J.,”Activated Sludge Process Theory and Practice”,Marcell Dekker Inc.,NewYork.USA,2003

10 - Siber,S.,and W.W.Jr.Eckenfelder,”Effluent Quality Variation from Multicomponent Substrates in the Activated Sludge Process.”,Wat.Res.,vol.14,no.5,p.471,2000

