سیستمهای آبی تصفیه فاضلاب

دکتر احمد ابریشمچی[1]

تحقیقات در دو دهه اخیرنشان داده است که سیستمهای آبی تصفیه فاضلاب، روش کم‌هزینه و مناسبی برای حذف آلاینده‌ها از آبهای طبیعی آلوده و تصفیه فاضلابهایی است که از نظر کاهش مقدار مواد آلی ،مواد معلق و ترکیبات نیتروژن نیاز به تصفیه ثانویه و یا پیشرفته دارند. در بسیاری از موارد و خصوصاً در مناطق با آب و هوای معتدل ،استفاده از سیستمهای آبی در مقایسه با روشهای متداول تصفیه با صرفه‌تراست . عوامل و خصوصیات هر منطقه بر روی عملکرد سیستم اثر مستقیم دارد،لکن چگونگی و احتمال بروز این اثرات را بر اساس اطلاعات موجود نمی‌توان دقیقاً پیش بینی کرد. لذا لازم است قبل از طراحی و احداث سیستمهای آبی تصفیه فاضلاب ، مطالعات در مقیاس واحد نمونه انجام شود تا معیارهای طراحی که به خصوصیات منطقه بستگی دارند تدوین و عملکرد سیستم پیش بینی و ارزیابی شود.

در قرن حاضر روش رایج کنترل آلودگی آب در شهرهای بزرگ ،استفاده از سیستمهای مکانیکی تصفیه فاضلاب می‌باشد . افزایش قیمت انرژی و بالا رفتن دستمزد طی سالهای اخیر،این سیستمها بودجه قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند .علاوه بر این به علت پیچیدگی این سیستمها و کمبود بهره‌برداران متخصص ،بهره‌برداری صحیح و فنی از این سیستمها درکشورهای در حال توسعه صورت نمی گیرد.لذا فرایندهایی که زمین نسبتاً بیشتری را اشغال کرده ولی مصرف انرژی و هزینه‌های پرسنلی کمتری داشته و بهره‌برداری از آنها ساده‌تر باشد جلب توجه کرده و موجب شده است که محققان و مهندسان برای یافتن روشهای با صرفه تر و مناسب‌تر کنترل آلودگی آب تحقیق نمایند.در این راستا شناخت و تشخیص نقش گیاهان آبزی در تصفیه فاضلاب موجب توجه و تمایل به استفاده از سیستمهای آبی به عنوان بخشی از مراحل مختلف تصفیه فاضلاب شده و تحقیقات زیادی متوجه استفاده ازگیاهان آبزی برای این منظور شده است (۱تا۶). از طرف دیگر قابلیت حذف مواد مغذی[2] فاضلاب توسط این گروه ازگیاهان و نیز رشد و تولید زیاد آنها موجب ایجاد علاقه زیادی به

۱-عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

2- *Nutrients*

خصوصیات فتوسنتزی و فیزیولوژیکی آنها و کاربرد بالقوه‌شان برای اهداف مفیدی همچون تصفیه فاضلابهای خانگی و صنعتی و حذف و بازیابی فلزات سنگین مانند جیوه و نقره از فاضلابهای صنعتی شده است (۹تا۱۱).گرچه بهره‌برداری موفقیت‌آمیز از گیاهان آبزی برای حذف آلاینده‌ها و نیز تصفیه فاضلابها به علت عدم مصرف گیاهان آبزی برداشت شده از سیستم تا حدی محدود بوده است، لکن اخیراً نتایج مثبت تحقیقات در مورد امکان استفاده از این توده‌های گیاهی در جیره غذایی چهارپایان و یا تبدیل زیستی آنها به گاز متان ،گرایش به استفاده از سیستمهای آبی تصفیه فاضلاب را بیشتر کرده است (۱و۷و۸).

مفاهیم

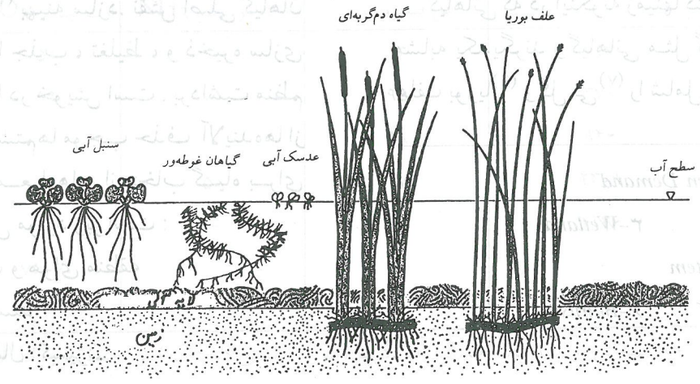
سیستمهای آبی تصفیه فاضلاب شامل یک یا چند حوضچه کم عمق است که در آنها یک یا چند گونه گیاهان آبزی رشد داده می‌شود.تفاوت این حوضچه‌ها با برکه های تثبیت[1] عمدتاً در عمق کمتر آنها و وجود گیاهان آبزی به جای جلبک است .بعلاوه پساب سیستمهای آبی دارای کیفیت بهتری نسبت به پساب خروجی از برکه‌های تثبیت است .گیاهان آبزی در این سیستمها انباشته می‌شود و در بسیاری از موارد از سیستم برداشت و خارج می‌شود تا همواره گیاهان جوان و فعال در سیستم وجود داشته باشد. نقش و اهمیت گیاهان آبزی در حذف آلاینده‌ها بستگی به طرح سیستم دارد که این خود به اهداف تصفیه فاضلاب بستگی دارد.

جدول (۱)نقش بخشهای مختلف گیاهان آبزی را در این گونه سیستمها نشان می‌دهد. شکل (۱) که تصویر مرفولوژیک گیاهان آبزی است ،درک بهتری از نقش این گیاهان را نشان می‌دهد.

۱- *Stabilization Ponds*

قسمتهای گیاه	نقش
ریشه و یا ساقه	۱- سطوحی برای رشد باکتریها بر روی آنها ۲- محیطی برای صافی‌کردن و جذب سطحی موادجامد
ساقه و یا برگ برروی آب و یا بالای سطح آب	۱-کاهش تابش نورخورشید به جلبکهای معلق و در نتیجه کاهش رشد آنها ۲-کاهش اثرات باد برروی‌آب ، مانند به هم خوردن آب در اثر باد که موجب معلق شدن مواد جامد ته‌نشین شده می‌گردد. ۳-کاهش انتقال گازها وحرارت بین آتمسفر و آب

جدول (۱)- نقش بخشهای مختلف گیاهان آبزی در سیستمهای تصفیه فاضلاب



شکل (۱) - موقعیت چندگونه گیاه آبزی در یک اکوسیستم آبی

در بعضی از سیستمها نقش مستقیم گیاهان در تصفیه فاضلاب بسیارکم است و نقش اصلی آنها تأمین اجزا و شرایط مناسب محیط آبی جهت بهبود توانایی سیستم برای تصفیه است .

در این گونه سیستمها تصفیه فاضلاب اساساً از طریق سوخت و ساز باکتریها و ته نشینی فیزیکی انجام می‌شود. تحقیقات نشان داده است که این سیستمها در کاهش پارامترهایی مانند مواد معلق ،نیازاکسیژن زیست شیمیایی [1] ونیتروژن مؤثرند که از این نظر مشابه سیستمهای متداول تصفیه فاضلاب مانند لجن فعال و صافی چکنده‌اند . اختلاف اساسی بین سیستمهای آبی و سیستمهای متداول تصفیه این است که در سیستمهای متداول، تصفیه فاضلاب در محیط طراحی شده و تحت کنترل (راکتور) و با سرعت زیاد و با مصرف زیاد انرژی انجام می‌شود در حالی که در سیستمهای آبی ، عمل تصفیه با سرعت کم و با زمان ماند طولانی در محیط طبیعی و تحت تأثیر عوامل طبیعی و اساساً بدون کنترل صورت می‌گیرد. انرژی مورد نیاز این سیستمها، عمدتاً از انرژی طبیعی خورشیدی تأمین می‌شود. سیستمهای متداول تصفیه در مقایسه با سیستمهای آبی نیاز به دستگاهها و تأسیسات ساختمانی بیشتری دارند در حالی که زمین کمتری را اشغال می‌کنند.

برای اهداف دیگر تصفیه مانند حذف فسفر، فلزات و برخی مواد آلی ، طرحی مناسب است که شرایط را برای جذب گیاهی [2] بهینه سازد. نقش اصلی گیاهان در این گونه سیستمها جذب ، تغلیظ ، و ذخیره سازی کوتاه مدت آلاینده‌ها در خویش است . برداشت منظم توده‌گیاهی از این سیستم‌ها موجب حذف آلاینده‌ها از سیستم می‌شود. معیارهای انتخاب گیاه برای سیستمهای آبی شامل موارد زیر است :

- سازگاری به آب و هوای منطقه
- شدت زیاد فتوسنتز
- قابلیت زیاد انتقال اکسیژن
- مقاومت نسبت به آلاینده‌های فاضلاب
- ظرفیت حذف آلاینده‌های فاضلاب
- مقاومت نسبت به شرایط نامساعد و آب و هوایی
- مقاومت نسبت به آفات و امراض
- سادگی مدیریت

انواع سیستمهای آبی تصفیه فاضلاب

سیستمهای آبی تصفیه فاضلاب به دو نوع کلی تالابی [3] وگیاهان آبزی [4] طبقه‌بندی می‌شوند.

سیستم تالابی تصفیه فاضلاب

تالابها زمینهایی هستند که توسط آبهای سطحی یا زیرزمینی غرقاب یا اشباع می‌شوند. به بیان دیگر، تالابها توده‌های کم‌عمق (معمولاً کمتر از۶/ متر) آب هستند که با سرعت کمی جریان دارند و ممکن است به صورت طبیعی از قبل وجود داشته باشند و یا از طریق خاکبرداری ، تسطیح و نفوذناپذیر کردن زمین ساخته شوند. تالابهابه علت دارا بودن سه نقش اساسی زیر برای تصفیه فاضلاب مورد توجه‌اند:

۱- تصفیه فیزیکی آلاینده‌های فاضلاب از طریق جذب سطحی در لایه سطحی خاک و نیز توسط مواد آلی خاک

۲- مصرف و تبدیل آلاینده‌هابه وسیله میکروارگانیزمها

۳- نیازکم به انرژی وکم بودن هزینه بهره‌برداری و نگهداری

گیاهانی که در اینگونه زمینهاکشت می‌شوند عموماً مشابه یکدیگرند وگیاهانی مثل گیاه دم گربه‌ای[5] ، علف بوریا[6] وگل نی [7] را شامل می‌شود.

۱-*Biochemical oxygen Demand*

۲-*Plant Uptake* ۳-*Wetlands*

۴-*Aquatic Plant System*

۵-*Cattail* ۶-*Bulrush*

۷-*Reeds*

سیستمهای تالاب طبیعی

تالابهای طبیعی محیط مناسبی برای رشد توده وسیع و متنوع باکتریهاست . باکتریها بر روی ریشه و ساقه غوطه‌ور گیاهان آبزی رشد کرده و در حذف BOD نقش بزرگی دارند. بعلاوه شرایط راکد بودن آب در تالابها باعث تسهیل فرآیند ته‌نشینی مواد جامد فاضلاب می‌شود. جنبه‌های مثبت دیگر تالابهاکه تصفیه فاضلاب را تسهیل می‌کند عبارت است از توانایی جذب سطحی و صافی کردن به کمک ریشه و ساقه گیاهان آبزی ، ظرفیت تبادل یونی و جذب سطحی به وسیله رسوبات طبیعی موجود در تالاب و نقش گیاهان درکاهش اثرات منفی نیروهای آب و هوایی از قبیل باد، نور خورشید و درجه حرارت هوا.

آلاینده	درصد حذف
BOD_5	۹۶-۷۰
مواد معلق	۹۰-۶۰
نیتروژن	۹۰-۴۰
فسفر	فصلی

جدول (۲)- راندمان حذف آلاینده‌های مختلف از پساب تصفیه ثانویه به وسیله تالابها

جدول (۲) گستره راندمان حذف آلاینده‌ها به وسیله سیستمهای تالاب طبیعی که فاضلاب تصفیه شده دریافت می‌کنند را برای آشنایی با حدود کارایی این سیستمها ارائه می‌کند . اعداد این جدول نمایانگر وجود گستره نسبتاً وسیعی از راندمان حذف آلاینده‌هاست . خلاصه عملکرد چند پروژه سیستم تالاب طبیعی از نقطه نظر حذف مواد مغذی گیاهان در جدول (۳) ارائه شده است .

سیستمهای تالابی مصنوعی

تالابهای مصنوعی خصوصیات مثبت تالابهای طبیعی را دارا بوده مضافاً اینکه می‌توان باکنترل مناسب آنها، جنبه‌های منفی تالابهای طبیعی را از آنها حذف کرد.

مساحت زمین لازم جهت احداث یک واحد سیستم تالاب مصنوعی بین ۲۵ تا ۴۰ متر مربع برای هر متر مکعب فاضلاب‌در روز است .هزینه‌های اصلی و انرژی مورد نیاز سیستمهای تالاب مصنوعی، مربوط به پیش تصفیه مورد نیاز، پمپاژ و انتقال به محل ، پخش در محل ، کارهای خاکی مختصر و قیمت زمین است . بعلاوه ، تالاب مصنوعی ممکن است به‌احداث یک لایه نفوذناپذیر برای محدود کردن تراوش به آبهای زیرزمینی و نیز احداث موانعی در اطراف برای

محل پروژه	دبی جریان مترمکعب درروز	درصد کاهش			
		کل فسفرمحلول	ازت‌آمونیاکی NH_3	ازت نیتراتی NO_3	ازت کل
آمریکا	۷۵۷	۱۳	-	۵۱	-
"	۳۷۹	۹۵	۷۱	۹۹	-
"	۹۴۶	۹۸	-	-	۹۰
"	۲۳۰۹	۴۷	۵۸	۲۰	-
"	۱۱۳۶	۸۸	-	-	۸۴
اونتاریو-کانادا	-	۸۰	-	۶۰-۷۰	
آمریکا	۲۲۷	۹۱	-	-	۸۹

جدول (۳) - خلاصه‌ای از راندمان حذف آلودگیها (مواد مغذی گیاهان) در چند پروژه تالاب طبیعی

جلوگیری از پخش فاضلاب در موقع طغیان نیاز داشته باشد.

محدودیتهای احتمالی در راه استفاده از تالاب مصنوعی برای تصفیه فاضلاب شامل موارد زیر است :

۱- محدودیتهای جغرافیایی از نظر رشد گونه‌های گیاهان و نیز امکان تبدیل یک گونه جدید گیاه به گیاهی مزاحم ورقیب برای گیاهان کشاورزی .

۲- تالابهای مصنوعی که به آبهای سطحی تخلیه می‌شوند به ۴ تا ۱۰ برابر زمین بیشتر از تأسیسات متداول تصفیه فاضلاب نیاز دارند. در مورد تالابهای مصنوعی که نباید به آبهای سطحی تخلیه شوند،ارقام مزبور به ۱۰ تا ۱۰۰ برابر می‌رسد.

۳- به علت رطوبت بالای گیاهان و نیز شکل تالاب برداشت گیاهان محدود ومشکل می‌شود.

۴- بعضی از انواع تالاب مصنوعی ممکن است زمینه‌ای برای رشد موجودات و حشرات بیماریزا ایجاد کنند و نیز ممکن است اگر خوب اداره و کنترل نشوند، تولید بو کنند.

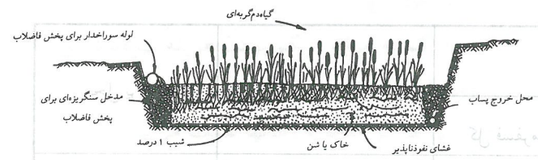
با وجود عیوب محتمل فوق ، سیستمهای تالاب مصنوعی به مهندسان امکان کنترل هیدرولیکی بیشتری داده و فاقد بسیاری از محدودیتهای شرایط محیطی و مشکلات کاربردی مربوط به تالابهای طبیعی است . برخلاف تالابهای طبیعی که باید نزدیک به منبع فاضلاب باشند،تالابهای مصنوعی را می‌توان در هرجا از جمله در زمینهایی که مناسب برای دیگر کاربردها نیستند ساخت . همچنین این سیستمها از نظر زراعی و مدیریت انعطاف بیشتری داشته و لذا می‌توانند کارایی و قابلیت اعتماد بالایی داشته باشند.

تالابهای مصنوعی در دو نوع سیستمهای با سطح آزاد آب[1] و سیستمهای جریان زیر سطحی [2] وجود دارند.

سیستمهای با سطح آزاد آب - این سیستمها معمولاً شامل حوضچه‌هایا کانالهایی با نوعی مانع زیر سطحی برای جلوگیری از تراوش آب بوده که در آنها خاک یا محیط مناسب دیگری برای برپایی گیاهان وجود دارد. عمق کم آب ، سرعت کم جریان و وجود ساقه‌های گیاهان جریان آب را تنظیم کرده و به خصوص در کانالهای طویل و باریک ازگردش ناقص آب در سیستم جلوگیری می‌کند.

سیستمهای جریان زیر سطحی- سیستمهای جریان زیر سطحی شامل گودال یا بستری‌اند که از زیرتوسط لایه‌ای نفوذناپذیر از جنس رس یا از جنس مواد مصنوعی محدود شده‌اند. بستر این سیستمها محیطی برای نگهداری و رشد گیاهان است . این سیستمها وقتی که از بستری حاوی قلوه سنگ ساخته شده باشند،اساساً همان صافیهای چکنده‌اند،که دارای گیاهان با سیستم وسیع ریشه رویده در بستر نیز می‌باشند.

به طورکلی بستر تالابهای مصنوعی را می‌توان با لایه‌های خاک،ماسه،شن و یا قلوه سنگ ساخت . امروزه بسترهای پلاستیکی نیز پیشنهاد شده است . برای جلوگیری از بسته شدن منافذ در لایه‌های ماسه و یا شن ،دانه‌بندی مناسب آنها و نیز تصفیه قبلی فاضلاب اهمیت زیادی دارد. اجزای سیستمهای جریان زیر سطحی در شکل (۲)نشان داده شده‌است .



شکل (۲)- مقطع نمونه‌ای از سیستم جریان زیر سطحی

راندمان حذف آلاینده‌های معمولی فاضلاب در چند پروژه تالاب مصنوعی درکشورهای آمریکا و استرالیا در جدول ۴ آمده است .

۱-*Free Water Surface Systems, FWS*

۲-*Subsurface Flow Systems, SFS*

محل پروژه	دبی جریان m^3/day	نوع سیستم	BOD_5 mg/L		مواد معلق mg/L		درصد کاهش		میزان بارهیدرولیکی سطحی $m^3/ha/day$
			ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	BOD_5	مواد معلق	
اونتاریو- کانادا	۱۷	FWS	۵۶	۱۰	۱۱۱	۸	۸۲	۹۳	-
کالیفرنیا	-	SFS	۱۱۸	۳۰	۵۷	۵/۵	۷۵	۹۰	-
استرالیا	۲۴۰	SFS	۳۳	۴/۶	۵۷	۴/۵	۸۶	۹۲	-
کالیفرنیا	۱۱۳۵۰	FWS	۳۶	۱۳	۴۳	۳۱	۶۴	۲۸	۹۰۷
مریلند	۱۳۲	SFS	۶۲	۱۸	۳۰	۸/۳	۷۱	۷۳	۱۵۴۳
کالیفرنیا	۳۷۸۵	FWS	۱۵۰	۲۴	۱۴۰	۱۹	۸۴	۸۶	۴۱۲

جدول ۴ - خلاصه‌ای از راندمان حذف آلاینده‌هابه وسیله سیستمهای تالاب مصنوعی

سیستم تالاب مصنوعی درکشورهای اروپایی مانند آلمان ، دانمارک، فرانسه ،اتریش ،سویس و هلند نیز استفاده می‌شود . (۵تا۷)(۱۱تا۱۳).

مطالعه سیستمهای مزبور راندمان حذف BOD و مواد معلق را بیش از ۹۰ درصد، کاهش نیتروژن راکمتر از ۵۰ درصد و کاهش فسفر را غیر قابل ملاحظه نشان می‌دهد.

سیستمهای گیاهان آبزی

سیستمهای گیاهان آبزی شامل حوضچه‌های کم عمق حاوی گیاهان آبزی شناور و یا غوطه‌ورند.اکثر این نوع سیستمها که تا به امروز مطالعه شده‌اند آنهایی هستند که حاوی سنبل آبی و یا عدسک آبی[1]اند. این سیستمها بر حسب نوع گیاهان غالب در آنها به دو نوع سیستمهای گیاه شناور[2] و سیستمهای گیاه غوطه‌ور[3] طبقه‌بندی می‌شوند. گیاهان شناور قادرند دی اکسید کربن و اکسیژن مورد نیاز خود را مستقیماً از اتمسفر و مواد معدنی را از آب بگیرند. گیاهان غوطه‌ور اکسیژن ، دی اکسید کربن و مواد معدنی مورد نیاز خود را از آب جذب می‌کنند. این نوع گیاهان در آبهای خیلی کدر به راحتی از بین می‌روند زیراکه قسمتهای فتوسنتز کننده آنها در زیر آب قرار دارند.

سیستمهای گیاه شناور

رایجترین گیاهانی که در این نوع سیستمها استفاده می‌شوند شامل سنبل آبی ،عدسک آبی و کاهوی آبی[4] است . سنبل آبی به منظور بهبود کیفیت پساب خروجی حوضچه‌های اکسایشی و به عنوان مرحله‌ای اصلی در یک سیستم تصفیه پیشرفته فاضلاب به طور وسیعی مطالعه شده است(۱۱تا۱۸) . سیستم وسیع ریشه و رشد سریع سنبل آبی ، مشخصه اصلی این گیاه است که آن را محیط بسیار مناسب بیولوژیکی برای رشد باکتریها می‌سازد. مشخصه اصلی آن که بازدارنده استفاده وسیع از آن است ،حساسیتش به دماست ، به طوری که در شرایط یخبندان زمستان سریعاً از بین می‌رود. برای حل این مسئله گیاهان مقاوم به سرما را در سیستم چند گیاهی همراه با سنبل آبی می‌توان به کار برد. مزیت اصلی گیاه عدسک آبی ،حساسیت کمتر آن به آب و هوای سرد است .در حالی که نقطه ضعف اصلی آن ، سیستم کم عمق ریشه و حساسیت آن به باد است . اطلاعاتی در مورد عملکرد گیاهان سنبل آبی و

۱-*Duck Weed* ۲-*Floating Plant System*

۳-*Submerged Plant System*

۴-*Water Lettuce*

محل پروژه	دبی جریان m^3/day	نوع گیاه	BOD_5 mg/L		مواد معلق mg/L		درصد کاهش		میزان بارهیدرولیکی سطحی $m^3/ha/day$
			ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	BOD_5	موادمعلق	
فلوریدا	۳۰۲۸۰	سنبل‌آبی	۴/۹	۳/۱	۳/۸	۳	۳۷	۲۱	۲۵۲۵
کالیفرنیا	۳۷۸	سنبل‌آبی	۱۶۰	۱۵	۱۲۰	۲۰	۹۱	۸۳	۵۹۰
می‌سی‌سی‌پی	۸	عدسک‌آبی	۳۵	۵/۳	۴۷/۷	۱۱/۵	۸۵	۷۶	۵۰۴
تگزاس	۱۷۰۰	سنبل‌آبی	۴۲	۱۲	۴۰	۹	۷۳	۷۸	۱۴۰
می‌سی‌سی‌پی	۴۹	عدسک‌آبی	۳۰	۱۵	۱۵۵	۱۲	۵۰	۹۲	۷۰۰
فلوریدا	۳۰	سنبل‌آبی	۲۰۰	۲۶	۵۰	۱۴	۸۷	۷۲	۳۰۰
برزیل	-	""	۴۴۷	۴۰	۲۱۷	۸/۱	۹۱	۹۶	۳۳۶۰

جدول (۵)- خلاصه‌ای از عملکرد چند پروژه سیستم گیاه آبزی (۱۷و۱۸).

عدسک آبی در جدول (۵) آورده شده است .

سیستمهای گیاه غوطه‌ور

گیاهان غوطه‌ور یا در ستون آب معلق‌اند و یا ریشه در رسوبات کف دارند. عموماً قسمتهای فتوسنتزکننده آنها داخل آب قرار دارد. امکان بالقوه استفاده ازگیاهان غوطه‌ور برای بالا بردن کیفیت پساب ، حداقل از نظر تئوری وجود دارد. رشد جلبکهاکه موجب سایه افکنی بر این گیاهان می‌شود و شرایط غیر هوازی که موجب از بین رفتن و یا کاهش رشد آنها می‌شود، کاربرد این نوع گیاهان را محدود می‌سازد.

مکانیزمهای کاهش آلاینده‌های فاضلاب در سیستمهای‌گیاهان آبزی

مکانیزمهای کاهش آلاینده‌ها در سیستمهای گیاهان آبزی را می‌توان بر اساس پدیده‌هایی که درگزارشات علمی مربوط به تصفیه فاضلاب و سایر علوم مانند خاکشناسی و اکولوژی بحث شده است شناخت . میزان تأثیر مکانیزمهای مزبور بستگی به کیفیت فاضلاب ورودی به سیستم ، عوامل آب و هوایی و محیطی و طرح و مدیریت سیستم دارد.

BOD- BOD مربوط به جامدات قابل ته‌نشینی موجود در فاضلاب از طریق ته‌نشینی جدا می شود.BOD باقیمانده در فاضلاب مربوط به مواد کلوییدی و محلول در نتیجه سوخت و ساز میکرواورگانیزمهای معلق در آب و یا چسبیده به رسوبات و ریشه‌ها و ساقه‌های گیاهان آبزی حذف می‌شود. سیستمهای آبی را می‌توان به عنوان صافیهای چکنده با سرعت کم و جریان افقی تصورکرد که در آن گیاهان جایگزین تخته سنگ و یا دیگرمحیطهای نگهداری باکتریهاست .

جامدات - سیستمهای گیاهان آبزی زمان ماند هیدرولیکی طولانی چند روز یا بیشتر دارند،لذا تمام جامدات قابل ته‌نشینی و یا شناور موجود در فاضلاب حذف می‌شوند. جامدات غیر قابل ته‌نشینی و کلوییدی تا اندازه‌ای به وسیله باکتریها و برخورد با دیگر مواد جامد(گیاهان ،کف حوضچه ،مواد معلق وغیره)و جذب سطحی بر روی آنها حذف می‌شوند.

نیتروژن -نیتروژن طی چند مکانیزم از فاضلاب جدا و حذف می‌شود:

۱- جذب توسط جلبکها وگیاهان و برداشت‌گیاهان

۲- فراریت[1] آمونیاک

۳- نیتریفیکاسیون [2] و دی نیتریفیکاسیون [3] به وسیله باکتریها

ازمیان مکانیزمهای فوق نیتریفیکاسیون و دی‌نیتریفیکاسیون بیشترین سهم را در حذف ازت دارند. باکتریهای عامل شوره‌سازی به راحتی بر روی قسمتهای غوطه‌ورگیاهان آبزی رشد می‌کنند. شوره‌زدایی در رسوبات سیستمهای گیاهان آبزی به وقوع می‌پیوندد. حذف نیتروژن در سیستمهای گیاهان آبزی و سیستمهای تالابهای مصنوعی که عمدتاً به وسیله مکانیزمهای نیتریفیکاسیون و دی‌نیتریفیکاسیون صورت می‌گیرد به ترتیب ۲۶-۹۶درصد و ۲۵-۸۵ درصد گزارش شده‌است(۱۷و۱۸) .

فسفر- پتانسیل حذف فسفر از فاضلاب در سیستمهای آبی متغیر و زودگذر است . به طورکلی سیستمهای آبی در حذف فسفر تأثیر زیادی ندارند، زیرا که موقعیت تماس بین فاضلاب و خاک در آنها محدود است . در مطالعاتی که در آزمایشگاه ملی تکنولوژی فضایی با استفاده ازگیاه سنبل آبی انجام شده ، حذف فسفر ۲۸-۵۷ درصد گزارش شده است (۱۷و۱۹) .

مکانیزمهای عمده حذف فسفر جذب گیاهی و ذخیره شدن بیولوژیکی و شیمیایی فسفر در رسوبات است . حذف نهایی فسفر از سیستمهای آبی از طریق برداشت گیاهان و لایروبی رسوبات صورت می‌گیرد.

فلزات سنگین- فلزات سنگین به راههای زیر از فاضلاب حذف می‌شوند:

۱- جذب گیاهی

۲- ترسیب شیمیایی

۳- تبادل یونی با ذرات رس ته‌نشین شده و ترکیبات آلی و جذب سطحی بر روی آنها

پتانسیل حذف فلزات سنگین از طریق برداشت گیاهی، در مقایسه با مکانیزمهای شیمیایی کم است . حذف نهایی فلزات سنگین از سیستمهای گیاهان آبزی از طریق برداشت گیاهان و لایروبی رسوبات صورت می‌گیرد.

مواد آلی مقاوم- مواد آلی مقاوم در فاضلاب از طریق جذب گیاهی ، جذب سطحی و فرایندهای فیزیکی - شیمیایی - بیولوژیکی تغییر دهندهٔ خصوصیت ترکیبات آلی،از فاضلاب حذف می‌شوند. به نظر می‌رسد که بسیاری از ترکیبات آلی مقاوم موجود در پساب سیستمهای متداول تصفیه به علت خصوصیات سیستمهای گیاهان آبزی مانند زمان ماند هیدرولیکی طولانی و وجود انواع باکتریها در پساب سیستمهای آبی وجود نداشته باشد.

باکتریها وویروسها- غلظت میکرواورگانیزمهای بیماری زا در اثر مواجه شدن طولانی (روزها)با فاکتورهای فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیکی مخالف کاهش می‌یابد. میزان و قابلیت اعتماد کاهش غلظت میکرواورگانیزمهای بیماری‌زا در سیستمها آبی معلوم نیست ، لذا روش مؤثر ضد عفونی مانند کلرزنی جهت تأمین سلامت عمومی و حفظ کیفیت منابع آب ضروری است .

نیتروژن - مقدارنیتروژن در آب آشامیدنی جهت حفظ سلامت نوزادان و در آبهای سطحی جهت جلوگیری از پدیده یوتریفیکاسیون[4] باید محدود باشد.

عوامل بیماریزا- عوامل بیماریزای مورد توجه در سیستمهای گیاهان آبزی تصفیه فاضلاب، شامل پارازیتها ، باکتریها و ویروسهاهستند.

آبهای سطحی که پساب سیستمهای تالاب مصنوعی و یا سیستمهای گیاهان آبزی را دریافت می‌کنند، مهمترین عامل و راه انتقال عوامل بیماریزا به شمار می‌روند. آبهای زیر زمینی در سیستمهایی که به وسیله یک لایه نفوذناپذیر رس و یا مواد مصنوعی ایزوله می‌شود آلوده نمی‌گردد. مطالعات نشان

۱-*Voltalization* ۲-*Nitrification*

۳-*Denitrification* ۴-*Eutrophication*

داده‌است که مواجه شدن کارگران با عوامل بیماریزای موجود در ذرات آبی که به وسیله هواده‌ها در تصفیه خانه‌های فاضلاب تولید می‌شوند، معمولاً موجب آلودگی و مریضی آنها نمی‌شود. لذا انتقال عوامل بیماریزا از طریق آبهای زیرزمینی و ذرات آب صورت نمی‌گیرد.

پارازیتها- تحقیقات انجام شده در جهان به ویژه در کشورهای آمریکا،استرالیاو فنلاند برای بررسی انتقال امراض پارازیتی به حیوانات وانسان به دلیل استفاده از فاضلاب شهری و لجن درکشاورزی ، افزایشی در مقدار پارازیتهای حیوانات چراکننده در مراتعی که با فاضلاب آبیاری می‌شوند نشان نداده است .گرچه این مطالعات در مورد سیستمهای تالاب نیست ، لکن نشان می‌دهد که مسئله قابل توجهی وجود ندارد.

باکتریها- تماس مستقیم با فاضلاب،انتشار ذرات آب در هوا،زنجیره غذایی و آب آشامیدنی کامل تصفیه نشده ، مسیرهای اصلی انتقال امراض از فاضلاب به انسان اند. مطالعاتی که در آمریکا و کانادا انجام شده حذف باکتریهای کلیفرم در سیستمهای تالاب مصنوعی را بیش از ۹۰ درصد گزارش کرده است (۱۷) .

یکی از امتیازات مهم تالابهای مصنوعی و سیستمهای گیاهان آبزی نسبت به تالابهای طبیعی این است که پساب سیستمهای تالاب مصنوعی را می‌توان کلر زنی کرد.

ویروسها- ویروسها در اغلب سیستمهای تصفیه مقاومتر از باکتریها هستند. مطالعات محدودی جهت بررسی میزان حذف ویروسها درسیستمهای تالابی و سیستمهای گیاهان آبزی انجام شده است .در یک مورد مطالعه سیستم تالابی، که در آن نوعی ویروس باکتریایی که مقاومتر از ویروسهای روده‌ای است به عنوان شاخص انتخاب شده، میزان حذفی برابر ۹۸/۳ در صد گزارش شده است (۱۷) .

فلزات - فلزات سنگین ،آلاینده‌های رایج محیط‌اند که از فعالیتهای صنعتی ، تجاری و خانگی تولید می‌شوند.

فرایندهای متداول تصفیه اولیه و ثانویه فاضلاب فلزات سنگین را از فاضلابهای صنعتی به قدر کافی حذف نمی‌کند،لذا از فرایندهای پیشرفته شامل ترسیب شیمیایی ، الکترولیز، اسمز معکوس و تبادل یونی استفاده می‌شود.

استفاده از این فرایندها برای حذف غلظتهای کم فلزات سنگین در فاضلاب شهری دارای مشکلاتی از جمله هزینه‌های زیاد اولیه و بهره‌برداری و نگهداری ، هزینه بالای برق مصرفی برای فرایندهای الکترولیز و اسمز معکوس ، و تولید مقادیر زیاد لجن در فرایندهای ترسیب شیمیایی است .

از آنجا که لجن حاوی فلزات سنگین اغلب اوقات زیر خاک تخلیه و دفن می‌شود، فرایند تصفیه‌ای که فلزات سنگین را در سطح محدود یک تالاب مصنوعی ترسیب کرده و نگه دارد، همان میزان حذف را با هزینه نیروی انسانی و انرژی کمتر انجام می‌دهد. هدف تصفیه فلزات سنگین ، حذف فلزات از محیط وسیعتر و نیز از زنجیره غذایی ، مخصوصاً زنجیره غذایی در آبهای رودخانه‌ها و اقیانوسهاست . مطالعات انجام شده در مورد یک پروژه تالاب مصنوعی از نوع جریان زیر سطحی در کالیفرنیای آمریکا، میزان حذف فلزات قلع ، روی و کادمیم را به ترتیب برابر ۹۹،۹۷،۹۹ درصد نشان داده است (۱۷).

حذف فلزات سنگین در سیستمهای تالاب مصنوعی را در اثر پدیده ترسیب جذب سطحی دانسته‌اند. ترسیب شیمیایی توسط متابولیزم تالاب مخصوصاً سلولهای جلبکها که غلظت دی اکسید کربن محلول را کاهش داده و موجب افزایش pH می‌شوند،بهتر صورت می‌گیرد. انتظار حذف قابل ملاحظه فلزات در تالاب با سطح آزاد آب وجود ندارد. یک مورد مطالعه ، حذف کادمیم ، جیوه و سلنیم را به ترتیب برابر ۹۲،۸۵ و ۶۰در صد گزارش کرده است .

مواد آلی کمیاب[1] غلظت ترکیبات آلی سنتزی در فاضلابهای شهری و صنعتی متغیر است .طی سالهای ۱۹۶۰-۱۹۷۰،محققان محیط زیست از مقاومت حذف برخی از آلاینده‌های آلی در سیستمهای متداول تصفیه فاضلاب و نیز دوام آنها برای مدت خیلی طولانی در محیط زیست آگاه شده‌اند. مشاهده نگران کننده‌تر، تجمع ترکیبات مقاوم و سمی در زنجیره‌های غذایی به علت محلول بودن این ترکیبات در چربی است . ترکیبات آلی توسط چند مکانیزم از سیستم حذف می‌شوند.این مکانیزمها شامل فرایندهای بیولوژیکی ، شیمیایی ، فتوشیمیایی و فرایندهای شیمی فیزیکی مانند جذب سطحی و ته‌نشینی است .

نتیجه‌گیری

هزینه ساخت و بهره‌برداری تأسیسات تصفیه پیشرفته فاضلاب برای حذف بیشتر BOD و یا نیتروژن در مقایسه با هزینه تصفیه اولیه و ثانویه بالااست .تحقیق و تلاش برای یافتن راههای دیگری به منظور بهسازی کیفیت پساب و نیز حذف مواد مغذی گیاهان ، باعث تجدید علاقه به استفاده از سیستمهای طبیعی تصفیه از جمله سیستمهای تالابی و سیستمهای گیاهان آبزی برای تصفیه پساب تأسیسات تصفیه متداول فاضلاب شده است . سیستمهای طبیعی با این مفهوم که بیشتر تحت تأثیر شرایط محیط مانند دما، بارش ، نورخورشید، و باد قرار دارند، انتخابهای مناسبتری نسبت به سیستمهای متداول تصفیه فاضلاب اند. سیستمهای طبیعی در مقایسه با سیستمهای متداول ، انرژی الکتریکی کمتری مصرف کرده و به نیروی کارکمتری جهت بهره‌برداری نیاز دارند.

مطالعات نشان داده است که سیستمهای آبی تصفیه می‌توانند فاضلاب را در حد تصفیه ثانویه و پیشرفته از نظر BOD ، مواد معلق ، و ترکیبات نیتروژن تصفیه کنند. در بسیاری از موارد، مخصوصاً در شرایط آب و هوایی معتدل ، سیستمهای آبی خیلی اقتصادیتر از فرآیندهای متداول تصفیه‌اند.

نظر به اینکه شرایط آب و هوایی محیط تأثیر زیادی بر روی عملکرد سیستمهای آبی دارد و علیرغم شناختی که در دهه اخیر حاصل شده است ، ضروری است که طراحان سیستمهای تصفیه آبی علاوه بر در نظر گرفتن مفاهیم و روشهای طراحی این سیستمها ، قبل از ساختن سیستم ، اقدام به مطالعات در مقیاس واحد نمونه نمایند تا بدین ترتیب معیارهای طراحی وابسته به شرایط محلی تدوین و عملکرد سیستم ارزیابی شود

۱-*Trace Elements*

REFERENCES

1. KAWAI, H., et. al. "Pilot-Scale Experiments in Water Hyacinth Lagoons for Wastewater Treatment," *Water Science and Technology*, 19:10:1987.
2. VON OERTZEN and FINLAYSON, C.M. "Wastewater Treatment with Aquatic Plants: Ecotypic Differentiation of Typha Domingensis Seedlings." *Environmental Pollution*. A:35:1984.
3. REDDY, K.R. and DEBUSK, T.A. "State of the Art Utilization of Aquatic Plants in Water Pollution Control". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.
4. SANTOS, E.J., et. al. "A High Organic Load Stabilization Pond Using Water Hyacinth--A Bahia Experience". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.

5. TCHOBANOGLOUS, G. et al. "Evolution and Performance of City of San Diago Pilot-Scale Aquatic Wastewater Treatment System Using Water Hyacinth". *Research Journal WPCF*. 1989.

6. WEBBER, A., and TCHOBANOGLOUS, G. "Prediction of Nitrification in Water Hyacinth Treatment Systems". *Journal WPCF*.58:5:1986.

7. ABADALLA, A.L., et. al. "Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) in Ruminant Nutrition". *Water Science and Technology*". 19:10:1987.

8. WOLVERTON, B.C., et. al. "Bio-Conversion of Waster Hyacinths into Methane Gas: Part I." *Nasa Technical Memorandum*. TM-X 72725:July 1975.

9. MEHESWAU, L., et. al. "Studies on the Ability of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) to Bioconcentrate and Biomonitor Aquatic Mercury". *Environmental Pollution*. 66:1989.

10. PINTS, C.L.R., et. al. "Utilization of Water Hyacinth for Removal and Recovery of Silver from Industrial Wastewater". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.

11. TRIVEDY, R.K. and GUDEKAR, V.K. "Treatment of Textile Industry Waste Using Water Hyacinth". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.

12. BRIX, P. "The Applicability of the Wastewater Treatment Plant in Other esen as Scientific Documentation of the Root-zone Method". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.

13. BUCKSTEEG, K. "Sewage Treatment in Helophyte Beds-First Experiences with a New Treatment Procedure". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.

14. ALEXANDER, W.V. and WOOD, A. "Experiemtnal Investigations into the Use of Emergent Plants to Treat Sewage in South Africa". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.

15. ARAUJO, M.C.H. "Use of Water Hyacinth in Tertiary Treatment of Domestic Sewage". *Water Science and Technology*. 19:10:1987.

16. BLAKE, G., et. al. "Incorporation of Cadmium by Water Hyacinth". *Water Scinece and Technology*. 19:10:1987.

17. CRITES, R.W., et. al. " Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment". *Design Manual, U.S. Environmental Protection Agency*. EPA:625:1-88:022, 1988.

18. DINGES R. and DOERSAM, H. "The Hornsly Bend Hyacinth Facility in Austin, Texas". *Water Scinece and Technology*. 19:10:1987.

19. STOWELL, R., et. al. "Concepts in Aquatic Treatment Systems Design". *Journal of the Enviornmental Engineering Division, ASCE*. 107:EE5:Proc. paper 16555: Oct 1981.