

نقش گیاه تیره زنبق در دفع باکتری‌ها از فاضلاب در سیستم و تلند

مصنوعی زیر سطحی

ذبیح . . . ا یوسفی (M.Sc)*
 منصور غیاث الدین (Ph.D)**
 سیمین ناصری (Ph.D)**
 فروغ واعظی (Ph.D)****
 علیرضا مصداقی نیا (Ph.D)**
 مریم شکری (Ph.D)****
 انوشیروان محسنی (Ph.D)*

سابقه و هدف : دفع باکتری‌ها توسط سیستم و تلند حاوی گیاهان ، در مطالعات متعدد توسط محققان گزارش شده است. این تحقیق برای تعیین کارآیی و تلندهای مصنوعی زیر سطحی در دفع باکتری‌های شاخص کلیفرم از فاضلاب خانگی با گیاه گونه Iris Pseudacorus معروف به Yellow Flag Iris از تیره زنبق و خانواده Iridaceae انجام گرفت. مواد و روش‌ها : چهار رآکتور آزمایشگاهی در دو سری که در هر سری سه تای آن به ترتیب حاوی ۲، ۱ و ۳ گیاه و یکی به عنوان شاهد (فاقد گیاه) بود ، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. در هر دو سری از رآکتور از گراول به عنوان مدیا استفاده شد. اندازه مؤثر گراول نخودی در این رآکتورها ۵ میلیمتر ، ضریب یکنواختی آنها ۲/۲ ، و ضریب تخلخل ۳۳ درصد بود. MPN در ۱۰۰ میلی لیتر فاضلاب ورودی ۲۰۰۰۰ الی ۹۲۰۰۰۰۰۰ (۴/۳ الی ۷/۹۶ لگاریتم) کلیفرم بوده است. زمان ماند هیدرولیکی ۱ الی ۱۰ روز بوده است. الگوی جریان متناوب (منقطع) بود. با تزریق فاضلاب مسکونی به رآکتورها بعد از زمان ماند معین ، نمونه‌ها اخذ و برابر روش استاندارد شاخص کلیفرم مورد بررسی و شمارش قرار گرفت. نتایج : کارآیی رآکتور قبل از سری شدن ۹۱/۷ ، ۹۲/۵ ، ۹۵/۸ و ۹۹/۷ درصد اما در مرحله دوم ۹۹/۲۹ ، ۹۹/۹۷ ، ۹۹/۹۹ ، و ۹۹/۹۹ درصد به ترتیب برای رآکتور شاهد و رآکتورهای حاوی ۱ ، ۲ و ۳ گیاه بوده است که اختلاف میانگین بین رآکتورهای مرحله اول حاوی ۲، ۱ و ۳ گیاه و رآکتور شاهد در حذف کلیفرم های مدفوعی با احتمال ۹۵ درصد معنی دار نیست، اما بین رآکتور های مرحله دوم سری شده با احتمال ۹۹ درصد معنی دار است . نتایج نشان داد زمان ماند مناسب برای حذف کلیفرم ها در سیستم های و تلند مصنوعی ۵ الی ۶ روز می باشد. استنتاج : نتایج این تحقیق نشان می دهد رآکتور و تلند مصنوعی با جریان زیر سطحی و با مدیای گراول حاوی گیاه تیره زنبق در زمان ماند ۵ الی ۶ روزه استاندارد پساب های خروجی به آب های پذیرنده را از نظر کلیفرم تأمین می کند .

واژه های کلیدی : و تلند مصنوعی زیر سطحی، بستر گراول ، گیاه گونه Iris Pseudacorus (Yellow Flag Iris) ، حذف کلیفرم‌ها

این تحقیق طی شماره ۱-۷۷ در شورای پژوهشی دانشگاه ثبت گردیده و با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی مازندران انجام پذیرفته است.

* عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران
 ** استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران
 *** دانشیار دانشکده کشاورزی مازندران
 ✉ ساری- خیابان امیرمازندرانی- خیابان وصال شیرازی- دانشکده بهداشت
 ** دانشیار دانشگاه علوم پزشکی تهران
 **** استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

مقدمه

امروزه طیف گسترده‌ای از سیستم‌های تصفیه وجود دارد که می‌توان آنها را برای تصفیه فاضلاب به کار برد. مشکلات عمده سیستم‌های متداول تصفیه فاضلاب را می‌توان بالا بودن هزینه‌های ساخت، بالا بودن مصرف انرژی، نیاز به بهره‌برداری پیچیده و نیاز به تصفیه و دفع لجن و استفاده از سیستم‌های مکانیزه ذکر کرد که عمدتاً از تکنولوژی بالا استفاده می‌کنند. اما سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب از تکنولوژی پایین برخوردارند و در عین حال با کارآیی بالا همراهند (۱). تنها وسایل مکانیکی در این سیستم‌ها، پمپ‌ها و لوله‌کشی برای انتقال فاضلاب است. قدمت وتلندها به قدمت زمین می‌رسد و بشر اولیه از تالاب‌ها یا وتلندها برای تصفیه و دفع فاضلاب استفاده می‌کرد اما وتلندهای مصنوعی که حدوداً ۴۰ سال قبل برای تصفیه فاضلاب وارد عرصه شده‌اند خصوصاً در ۱۰ سال اخیر تمایل زیاد به استفاده از این تکنولوژی پدیدار شد (۲). متأسفانه کشورهای در حال توسعه به جای استفاده از این سیستم‌های ارزان و مناسب به تبعیت از کشورهای پیشرفته به تکنولوژی‌های بالا روی آورده‌اند که با توجه به مشکلات متعدد تکنولوژی با مسایل متعدد بهره‌برداری و نگهداری و مصرف انرژی زیاد و غیره روبه‌رو شده‌اند و این در حالی است که استفاده از سیستم‌های طبیعی اکنون به علت عدم نیاز به انرژی و کارآیی بالا مورد توجه و علاقه زیاد کشورهای پیشرفته است به نحوی که اکنون هزاران وتلند در کشورهای پیشرفته وجود دارد و کشورهای در حال توسعه هنوز در غفلت از مزایای این سیستم‌ها می‌باشند. اگر چه این سیستم‌ها به حد وفور در کشورهای در حال توسعه به صورت طبیعی وجود دارند، اما از بعد کارآیی این سیستم‌ها و بهینه‌سازی آنها و نیز گسترش سیستم‌های وتلند مصنوعی برای تصفیه فاضلاب، کشورهای در حال توسعه فقیر هستند

(۱). استان مازندران با وجود حدود ۶۵۰ وتلند طبیعی و مساحت ۱۷۵۰۰ هکتار سطح تحت پوشش آب‌بندان‌های طبیعی (وتلندها) بیش از تمامی استان‌های کشور با این پدیده روبه‌رو است (۳). وتلندها را گاهی به عنوان جعبه‌های سیاه تلقی می‌کنند که آب‌های آلوده را تمیز و شفاف می‌سازند. از نظر فنی وتلند طیف وسیعی از اکوسیستم‌های مناطقی است که از شرایط خاک اشباع شده برخوردارند و گونه‌های گیاهی در آن غالبند و آب در دوره فصل رشد گیاهی در روی زمین یا زیر سطح زمین قرار می‌گیرد. وتلندها به دو گروه تقسیم می‌شوند: ۱- وتلندهای طبیعی، و ۲- وتلندهای مصنوعی. در وتلندهای طبیعی گیاهانی مثل نی و غیره به صورت خودرو در محل ذخیره فاضلاب مثل مرداب‌ها روییده و فاضلاب به صورت غیر کنترل شده تصفیه می‌شود. وتلندهای مصنوعی طرح‌های جدیدی از سیستم‌های طبیعی‌اند که اولین بار در اوایل دهه ۱۹۵۰ توسط دکتر کیت سیدل از انستیتوی ماکس پلانک در آلمان غربی ارایه شد. وتلندهای مصنوعی خود دو دسته‌اند: ۱- وتلندهای مصنوعی با جریان سطحی که سطح مایع یا فاضلاب در تماس با هواست و از خاک یا محیط مناسب دیگر برای رشد گیاهان برآمده از آب استفاده می‌شود، و ۲- وتلند‌های مصنوعی با جریان زیر سطحی که جریان مایع در زیر سطح گراول یا ماسه بر قرار می‌باشد. اجزای تشکیل‌دهنده وتلند‌های مصنوعی را گیاهان، بستری از خاک، ماسه یا گراول (برای کشت گیاهان و تقویت رشد میکروارگانیسم‌ها)، و عوامل بیولوژیکی تشکیل می‌دهند. نقش گیاهان در این سیستم تأمین اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌های هتروتروف در ناحیه ریشه و افزایش و تثبیت هدایت هیدرولیکی بستر، جذب مواد مغذی و غیره است. در وتلندهای مصنوعی از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی

مصنوعی از ستیک درجه ۱ تبعیت می‌کند (۷،۶). May و همکارانش در سال ۱۹۹۰ و Butler و همکارانش در سال ۱۹۹۳ دریافتند که تعداد باکتری‌های هوازی و باکتری‌های کلیفرم به صورت خطی با طول بستر گیاهی کاهش نشان می‌دهد. Bavor و همکارانش اثبات کردند عمدتاً در زمان ماند مشابه، سیستم‌های تصفیه ماکروفیت‌ها، نسبت به سیستم‌های برکه، باکتری‌ها را بیشتر حذف می‌کنند. مکانیسم‌های دفع پاتوزن در وتلندها کاملاً شناخته شده نیست. فاکتورهای فیزیکی مثل فیلتراسیون مکانیکی، رسوب‌دهی، جذب سطحی، جذب اکسیژن توسط گیاهان و فاکتورهای بیولوژیکی مثل مرگ طبیعی، شکار یا آنتی‌بیوتیک‌های منتشره توسط ریشه‌های ماکروفیت‌ها ممکن است به عنوان مکانیسم‌های معین برای دفع باکتری‌ها در وتلندها مورد توجه قرار گیرند (۲، ۱۰، ۱۱). اگر چه ویلیام و همکارانش در سال ۱۹۹۵ جذب سطحی را به عنوان مکانیسم اصلی برای دفع پاتوزن پیش‌بینی کردند. نتایج بررسی‌ها این فرضیه را تقویت می‌نماید که مقداری از فرآورده‌های متابولیک منتشره توسط ماکروفیت‌ها به صورت همزیستی با باکتری‌های بیوفیلم عمل می‌کنند. این فرضیه میزان دفع بالای پاتوزن‌ها در مخازن حاوی گیاه را نسبت به مخازن حاوی گراول تنها شرح می‌دهد.

این تحقیق، به منظور بررسی کارایی وتلندهای مصنوعی با جریان زیر سطحی و بستر گراول و نقش گیاهان سریع‌رشد در حذف کلیفرم‌ها به عنوان شاخص آلودگی انجام شد و با توجه به شرایط بومی منطقه، گیاه گونه *Yellow Flag Iris Pseudacorus* معروف به *Yellow Flag Iris* از تیره زنبق و خانواده *Iridaceae* برای این بررسی انتخاب و مورد تحقیق قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

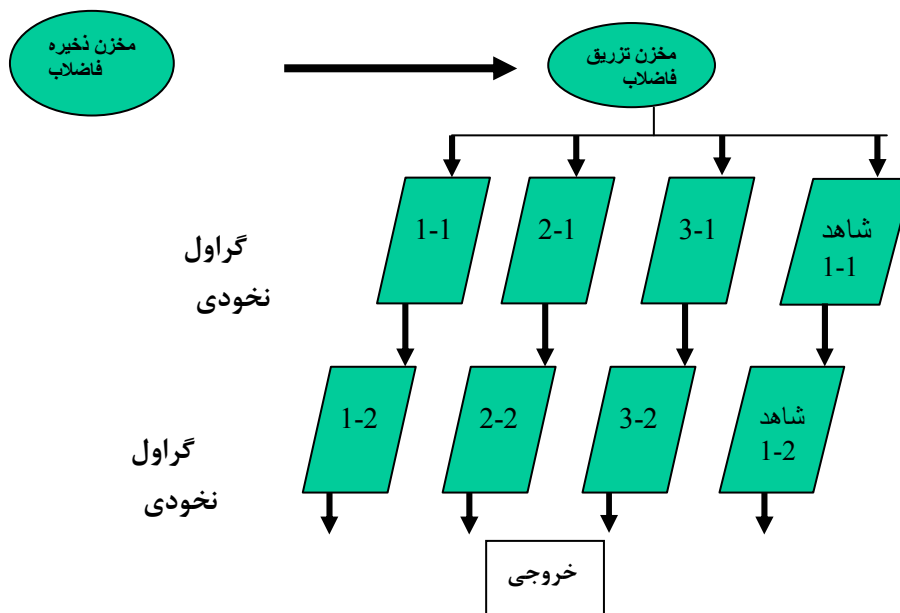
چهار رآکتور آزمایشگاهی در دو سری که در هر

برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود و آلاینده‌های مختلفی مثل مواد جامد معلق، مواد آلی، مواد ازته، فسفره، فلزات سنگین، عوامل میکروبی پاتوزن، و حتی مواد پیچیده شیمیایی تا حد قابل قبولی تصفیه می‌شوند (۴).

دفع باکتری‌ها در مطالعات متعدد انجام شد (۵، ۶، ۷). وتلندها به عنوان فیلترهای بیولوژیکی به صورت ترکیبی از فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی در کاهش تعداد باکتری‌ها از فاضلاب ورودی نقش مؤثری دارند (۸، ۹). فاکتورهای فیزیکی مثل فیلتراسیون، ته‌نشینی، تجمع، و اشعه ماوراء بنفش می‌باشند. مکانیسم‌های بیولوژیکی شامل هضم توسط نماتودها، پروتوزوآها، کلادوسراها، حمله باکتریوفاژها، و مرگ طبیعی و انتشار آنتی‌بیوتیک‌ها است. فاکتورهای شیمیایی شامل اکسیداسیون، جذب سطحی، و تماس با سموم منتشره توسط میکروارگانیسم‌ها و گیاهان می‌باشد (۹، ۱۰). علاوه بر این نشان داده شد که ترشحات ریشه گیاهان آبی معین (مثل گیاه *Scirpus Lacustris*) می‌تواند شاخص‌های مدفوعی (اشریشیا کلی) و باکتری‌های بیماری‌زای سالمونلا را از بین ببرد (۹، ۱۱). نواحی معینی از ریشه‌ها شناخته شده اند که در تولید ترکیبات منتشره از سلول‌های ریشه دخالت دارند یا فعالانه توسط فرآیندهای متابولیک منتشر می‌شوند و ممکن است عامل بازدارنده رشد میکروارگانیسم‌های خاص گردند (۱۲). علاوه بر آن رشد فزاینده جمعیت‌های باکتریایی (مثل سودوموناس) در ناحیه ریزوسفر با فعالیت آنتی‌بیوتیکی ممکن است سبب مرگ کلیفرم‌ها شوند (۱۳). برخی محققان گزارش دادند دفع کلیفرم‌های کل عمدتاً در بسترهای حاوی گیاهان در مقایسه با بسترهای فاقد گیاه بالاتر است و نشان می‌دهد ماکروفیت‌ها نقش مهمی در دفع باکتری‌های شاخص آلودگی توسط وتلندها دارند. دفع کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی در وتلندهای

شهری یک شهرک مسکونی به صورت دوره‌ای وارد رآکتورها می‌شد و در زمان ماندهای مختلف سیستم مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی سیستم در زمان ماند مناسب، غلظت‌های مختلف مورد تحقیق قرار گرفت. نمونه‌ها از قسمت ورودی، میانی، و خروجی اخذ و پس از رقیق سازی به روش تخمیر چند لوله ای کشت داده شد و برابر روش استاندارد میزان کلیفرم مدفوعی مورد بررسی و شمارش قرار گرفت. وضعیت استقرار رآکتورها در تصویر شماره ۱ و مشخصات فیزیکی رآکتورها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

سری سه تای آن به ترتیب حاوی ۲، ۱ و ۳ گیاه و یکی به‌عنوان شاهد (فاقد گیاه) بود، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. در هر دو سری از رآکتور از گراول به عنوان مدیا استفاده شد. رآکتورهای حاوی گراول ریز در هر سری از نظر تراکم گیاهی متفاوت اما از نظر مدیا، ضریب تخلخل، بار هیدرولیکی، و مساحت و ابعاد کاملاً مشابه بودند. اندازه مؤثر گراول نخودی در این رآکتورها ۵ میلی‌متر، ضریب یکنواختی آنها ۲/۲، و ضریب تخلخل ۳۳ درصد بود. 1MPN در ۱۰۰ میلی لیتر فاضلاب ورودی ۲۰۰۰۰ الی ۹۲۰۰۰۰۰ (۴/۳ الی ۷/۹۶ لگاریتم) کلیفرم بوده است. زمان ماند هیدرولیکی ۱ الی ۱۰ روز بوده است. الگوی جریان متناوب (منقطع) بود. فاضلاب



تصویر شماره ۱: طراحی سیستم کار رآکتورهای وتلند مصنوعی در حذف کلیفرم‌های مدفوعی.

1-Must Probable Number (بیشترین احتمال حضور کلیفرم)

جدول شماره ۱: مشخصات رآکتورهای مورد استفاده در تحقیق

شماره رآکتور	حجم رآکتور (لیتر)	حجم گراول (لیتر)	اندازه موثر mm	ضریب یکنواختی	عمق گراول (cm)	تخلخل (%)	نوع مدیا	سطح عرضی (cm ²)	سطح افقی (cm ²)	نسبت طول به عرض	تعداد گیاه	زمان ماند (روز)
۱-۱	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	۳	۱۰-۱
۲-۱	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	۲	۱۰-۱
۳-۱	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	۱	۱۰-۱
شاهد ۱-۱	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	-	۱۰-۱
۱-۲	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	۳	۱۰-۱
۲-۲	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	۲	۱۰-۱
۳-۲	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	۱	۱۰-۱
شاهد ۱-۲	۷۳	۵۷	۵	۲،۲	۴۵	۳۳	گراول	۸۸۰	۱۳۲۰	۶-۳	-	۱۰-۱

نتایج

مدفوعی در خروجی رآکتورهای سری دوم حاوی گراول نخودی با تراکم گیاهی ۱ و ۲ و ۳ عدد در هر رآکتور به ترتیب در محدوده ۲/۹۱ الی ۳/۲۶ ، ۲/۰۴ الی ۲/۷۴ و ۱/۵۳ الی ۲/۴۵ و در رآکتور شاهد (بدون گیاه) در محدوده ۳/۲۱ الی ۳/۷۵ لگاریتم قرار گرفت (جدول شماره ۲). در تصویر شماره ۲ وضعیت رآکتورهای سری شده گراول ریز در غلظت‌های مختلف کلیفرم، در زمان ماند ۵ روز نشان داده شده است. کارآیی رآکتورها در دو مرحله از تحقیق در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

این بررسی نشان می‌دهد زمان ماند هیدرولیکی مناسب برای حذف مؤثر کلیفرم‌های مدفوعی ۵ الی ۶ روز می‌باشد. نتایج حاکی است غلظت کلیفرم‌های مدفوعی در فاضلاب ورودی به سیستم در محدوده ۴/۳ الی ۷/۹۶ لگاریتم (۲۰۰۰۰ الی ۹۲۰۰۰۰۰ کلیفرم) قرار دارد. این درحالی است که غلظت کلیفرم‌های مدفوعی در خروجی رآکتور حاوی گراول نخودی با تراکم گیاهی ۱ و ۲ و ۳ عدد در هر رآکتور به ترتیب در محدوده ۳/۶۵ الی ۵/۳۸ ، ۳/۳۶ الی ۵/۱۷ و ۳/۳۲ الی ۳/۹۵ و در رآکتور شاهد (بدون گیاه) در محدوده ۳/۹۵ الی ۵/۶ لگاریتم قرار دارد (جدول شماره ۲). غلظت کلیفرم‌های

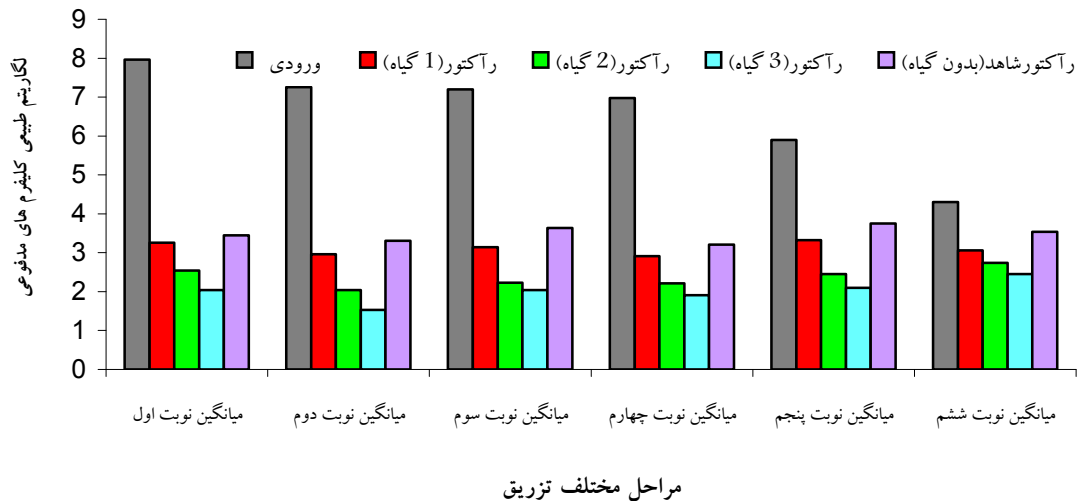
جدول شماره ۲: وضعیت کاهش کلیفرم‌های مدفوعی در پساب‌های رآکتورهای سری شده گراول نخودی (بر حسب لگاریتم)

ورودی	شاهد ۱-۱	شاهد ۲-۱	رآکتور ۱-۱ (گیاه)	رآکتور ۱-۲ (گیاه)	رآکتور ۲-۱ (گیاه)	رآکتور ۲-۲ (گیاه)	رآکتور ۳-۱ (گیاه)	رآکتور ۳-۲ (گیاه)
۷،۹۶	۴،۴۸	۳،۴۵	۴،۳۶	۳،۲۶	۴،۱۴	۲،۵۴	۳،۶	۲،۰۴
۷،۲۶	۴،۱۷	۳،۳۱	۳،۹۵	۲،۹۶	۳،۷۵	۲،۰۴	۳،۵۵	۱،۵۳
۷،۲	۴،۷۲	۳،۶۴	۴،۶۳	۳،۱۴	۴،۴۱	۲،۲۳	۳،۹۵	۲،۰۴
۶،۹۸	۵،۶	۳،۲۱	۵،۳۸	۲،۹۱	۵،۱۷	۲،۲۱	۳،۷۸	۱،۹۱
۵،۹	۴،۷۸	۳،۷۵	۴،۶۳	۳،۳۲	۴،۲۸	۲،۴۵	۳،۴۸	۲،۱
۴،۳	۳،۹۵	۳،۵۴	۳،۶۵	۳،۰۶	۳،۳۶	۲،۷۴	۳،۲۳	۲،۴۵

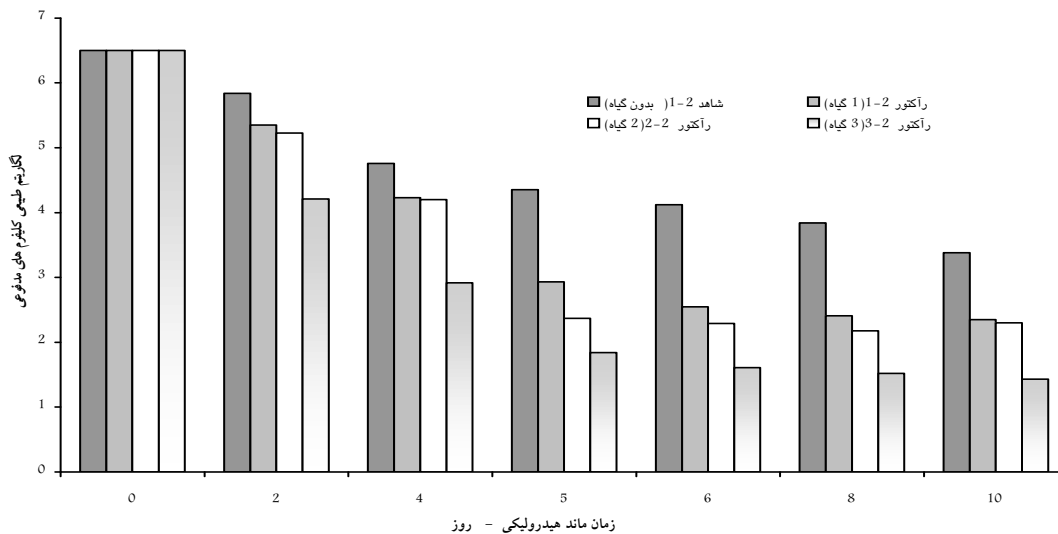
اندازه موثر گراول = ۵ میلی‌متر، ضریب یکنواختی = ۲/۲ ، زمان ماند هیدرولیکی = ۵ روز

جدول شماره ۳: کارایی رآکتورها در زمان ماند ۵ روزه قبل و بعد از سری شدن در دفع کلیفرم‌های مدفوعی

کارایی رآکتور قبل از سری شدن	کارایی رآکتور بعد از سری شدن
رآکتور شاهد بدون گیاه=۹۱/۷٪	رآکتور شاهد بدون گیاه=۹۹/۲۹٪
رآکتور حاوی گراول نخودی (۱ گیاه)=۹۳/۵٪	رآکتور حاوی گراول نخودی (۱ گیاه)=۹۹/۹۷٪
رآکتور حاوی گراول نخودی (۲ گیاه)=۹۵/۸٪	رآکتور حاوی گراول نخودی (۲ گیاه)=۹۹/۹۹٪
رآکتور حاوی گراول نخودی (۳ گیاه)=۹۹/۷٪	رآکتور حاوی گراول نخودی (۳ گیاه)=۹۹/۹۹٪



تصویر شماره ۲: مقایسه رآکتورهای سری گراول ریز در دفع کلیفرم‌های مدفوعی.



تصویر شماره ۳: کاهش کلیفرم‌های مدفوعی در برابر زمان ماند هیدرولیکی در رآکتورها (گراول نخودی سری).

عرض به میزان دو برابر وغیره) و کاهش بار سطحی آلی و میکروبی شرایط عوض شد و نتیجه مطلوب به دست آمد که در دو تصویر شماره ۲ و ۳ مشاهده می شود.

با توجه به استاندارد پساب های خروجی به آب های پذیرنده در حد ۴۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر (۲/۶ لگاریتم)، نتایج این تحقیق نشان می دهد رآکتور شاهد در زمان ماند ۱۰ روزه غلظت کلیفرم های مدفوعی را تا ۳/۳۸ لگاریتم کاهش می دهد که حد استاندارد را تأمین نمی کند اما رآکتور گراول نخودی حاوی ۳و۲ گیاه در زمان ماند ۵ روزه به ترتیب به ۲/۳۷ و ۱/۸۴ لگاریتم دست یافته اند که پایین تر از محدوده استاندارد می باشد و استانداردهای دفع پساب به محیط زیست را تأمین می کند (تصویر شماره ۳). زمان ماند هیدرلیکی مناسب برای حذف مؤثر کلیفرم های مدفوعی ۵ الی ۶ روز می باشد که با غالب مقالات علمی و دستاوردهای تحقیقاتی دنیا مطابقت دارد (۱۴،۱۰).

این تحقیق نشان داد گیاهان و ریزوم های گیاهی تأثیر مثبتی بر کارآیی وتلندهای مصنوعی زیر سطحی در حذف کلیفرم ها از فاضلاب های خانگی و شهری دارند. نتایج این تحقیق با تحقیقات قبلی (۱۴،۱۰) مطابقت دارد که نشان دادند ماکروفیت ها نقش فعالی در دفع میکروارگانیزم ها از فاضلاب دارند.

بدیهی است که لایه های میکروبی چسبیده به ریشه ها سطوح مناسبی را برای فعالیت اکسیداسیون بیولوژیکی فراهم می سازند. در این بررسی گیاه گونه *Iris Pseudacorus* معروف به *Yellow Flag Iris* از تیره *Zingib* و خانواده *Iridaceae* با ریزوم های حجیم و مؤثر کارآیی خود را در سیستم نشان داد و به عنوان یکی از گیاهان مناسب در وتلندهای تصفیه فاضلاب قابل مطرح است. با توجه به این موضوع که این گیاه بومی منطقه شمال کشور و نیز غالب استان های کشور می باشد، استفاده از سیستم های طبیعی تصفیه فاضلاب خصوصاً

نتایج آنالیز آماری بر روی اطلاعات به دست آمده از روند کاهش کلیفرم ها در سیستم نشان می دهد که:

۱- اختلاف میانگین بین رآکتورهای مرحله اول حاوی ۱و۲ و ۳ گیاه و رآکتور شاهد در حذف کلیفرم های مدفوعی با احتمال ۹۵ درصد معنی دار است ($P < 0/05$) و تنها بین رآکتور حاوی ۳ گیاه و شاهد اختلاف معنی دار وجود دارد.

۲- اختلاف میانگین بین رآکتور حاوی گراول نخودی سری شده دارای ۱و۲ و ۳ گیاه و رآکتور شاهد در حذف کلیفرم های مدفوعی با احتمال ۹۹ درصد معنی دار است ($P < 0/01$).

۳- آنالیز آماری نشان داد که در مرحله دوم، اختلاف میانگین بین رآکتور حاوی گراول نخودی دارای ۳ گیاه و رآکتور شاهد در حذف کلیفرم های مدفوعی با احتمال ۹۹ درصد معنی دار است ($P < 0/01$). همچنین با احتمال ۹۵ درصد تفاوت بین رآکتور حاوی ۱ گیاه و شاهد معنی دار است ($P < 0/05$). همچنین با احتمال ۹۹ درصد تفاوت بین رآکتور حاوی ۲ گیاه و شاهد معنی دار می باشد ($P < 0/01$)، اما بین رآکتور ۲ و ۳ تفاوت معنی دار نیست ($P < 0/05$). در مقایسه رآکتور ۱ و ۲ با احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی دار است. همچنین بین رآکتور ۱ و ۳ گیاه با احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی دار است ($P < 0/01$).

بحث

این نتایج نشان داد گر چه رآکتورهای مرحله اول در کاهش کلیفرم ها تأثیر جدی داشته اند و به علت شرایط هیدرولیکی و فیزیکی (مثل طول رآکتور و نسبت طول به عرض وغیره) و باریکروبی و بارآلی در دسترسی به استانداردهای دفع پساب موفق نبوده اند، اما بعد از قرار دادن یک سری رآکتور مشابه در ادامه این رآکتورها و تغییر شرایط هیدرولیکی (مثل افزایش نسبت طول به

مازندران که با پشتوانه مالی از این طرح تحقیقاتی ما را در این حرکت یاری کردند و نیز از اساتید معزز راهنما و مشاور که در غنای علمی تحقیق نقش داشته اند و کلیه کسانی که به نحوی ما را مساعدت کرده اند تشکر و قدر دانی می‌شود.

وتلنها در حقیقت گامی مناسب در بهره‌گیری زیوتکنولوژی و جلوگیری از تخریب محیط زیست بدون استفاده از انرژی سوخت‌های فسیلی است.

سپاسگزارى

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی

فهرست منابع

1. Macros V. S. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment countries. *Wat. Sci. & Tech.* 1996; 33(3): 59-72.
2. Kadlec R.H, Knight R.L. *Treatment wetlands by CRC*. Press LLC, 1996.
3. شکری، مریم؛ صفایان، نصرت ا... . بررسی اکولوژیک آبنندان‌ها، شناخت، معرفی و کاربرد گیاهان آبی در آبنندان‌های مازندران، دانشکده کشاورزی مازندران. *گزارش طرح تحقیقاتی*، سال ۱۳۷۰.
4. Sherwood C, Reed E, Joe Middlebrooks, Ronald W. Crites. Natural systems for waste management and treatment. McGraw Hill Company, 1988.
5. Batchelor A, Scott W.E, and Wood A. Constructed wetlands research program in South Africa, In: *Constructed wetlands in water pollution* (Adv. Wat. Pollut. Control No.11), Cooper P.F. and Findlater B.C. (eds.), Pergamon Press, Oxford, 1990: 373-382.
6. Bavor H.J, Roser D.J, Fisher P.J, and Smalls I.C. Performance of solid matrix wetland systems viewed as fixed bioreactors, In: *Constructed wetlands for wastewater treatment*, D.A. Hammer (ed.), Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 1989: 646-656.
7. Gersberg R.M, Brenner R, Lyon S.R, and Elkins B.V. Survival of bacteria and viruses in municipal wastewater applied to artificial wetland, In: *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*, Reddy K.R, Smith W.H. (eds.), Florida: Magnolia Publishing, Lando, 1987: 237-245.
8. Beix H. Macrophyte-mediated oxygen transfer in wetlands; transport mechanisms and rates. In: *Constructed wetlands for water quality improvement*, Moshiri, G.A. (ed.), Lewis Publisher/ CRC Press, Boca Raton, Florida, 1993: 391-398.
9. Vincent G, Dallaire S, and Lauzer D. Antimicrobial properties of roots exudate of three macrophytes: *Mentha aquatica* L., *Phragmites australis*(cav) Trin and *Scirpus Lacustris* I. In: *Preprinted wetland systems for water pollution control*, Prec.Conf.ICWS secretriati, Guangzhou, P. R. China, 1994: 290-296.

10. Gersberg R.M, Gearheart R.A, and Ives M. Pathogens removal in Constructed wetlands, In: *Constructed wetlands for wastewater treatment* Hammer, D. A. (ed) Chelsea, Michigan, Lewis publishers, 1989: 431-445.
11. Seidel K. Macrophytes and water purification, In: *Biological control of water pollution* Tourbier, J. and Pierson R. W. (eds); Pennsylvania: University of Philadelphia Press, 1976: 109-120.
12. Bowen G.D, and Rovira A.D. Microbial colonization of plant roots. *Annual Rev. Phytopathol.* 1976; No. (12): 181-192.
13. Broadbent P, Baker F, Waterworth Y. Bacteria and actinomycetes antagonistic to fungi roots pathogens in Australian soils, *Aust. J. Biol. Sci.* 1971; (24): 925-944.
14. Tanner C.C, Clayton S.S, and Upsdell M.P. Effect of Loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands-I. Removal of oxygen demand, suspended solid and faecal coliforms. *Wat. Res.* 1995; 29(1): 17-26.