

نقش گیاه تیره زنبق در دفع باکتری‌ها از فاضلاب در سیستم وتلند

مصنوعی زیر سطحی

ذبیح ... یوسفی (M.Sc) * علیرضا مصداقی نیا (Ph.D.) **

منصور غیاث الدین (Ph.D.) **

انوشیروان محسنی (Ph.D.) *

مریم شکری (Ph.D.) ****

سیمین ناصری (Ph.D.) ***

فروغ واعظی (Ph.D.) ****

سابقه و هدف : دفع باکتری‌ها توسط سیستم وتلند حاوی گیاهان ، در مطالعات متعدد توسط محققان گزارش شده است. این تحقیق برای تعیین کارآیی وتلندهای 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، ۳ و ۴ 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 ۹۲۰۰۰۰۰ (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، ۳ و ۴ گیاه و رآکتور شاهد در حذف کلیفرم‌های مدفوعی با احتمال ۹۵ درصد معنی دار نیست، اما بین رآکتورهای مرحله دوم سری شده با احتمال ۹۹ درصد معنی دار است . نتایج نشان داد زمان ماند مناسب برای حذف کلیفرم‌ها در سیستم‌های وتلند مصنوعی ۵ الی ۶ روز می باشد.

استنتاج : نتایج این تحقیق نشان می دهد رآکتور وتلند مصنوعی با جریان زیر سطحی و با مدیای گراول حاوی گیاه تیره زنبق در زمان ماند ۵ الی ۶ روزه استاندارد پساب‌های خروجی به آب‌های پذیرنده را از نظر کلیفرم تأمین می کند .

واژه‌های کلیدی : وتلند 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.

✉ ساری- خیابان امیرمازندرانی- خیابان وصال شیرازی- دانشکده بهداشت

* عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران

** دانشیار دانشگاه علوم پزشکی تهران

** استاد دانشگاه علوم پزشکی تهران

**** استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

**** دانشیار دانشکده کشاورزی مازندران

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 برقرار 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

برای تصفیه فاضلاب استفاده می شود و آلاینده های مختلفی مثل مواد جامد معلق، مواد آلی، مواد ازته، فسفره، فلزات سنگین، عوامل میکروبی پاتوژن، و حتی مواد پیچیده شیمیایی تا حد قابل قبولی تصفیه می شوند (۴).

دفع باکتری ها در مطالعات متعدد انجام شد (۵، ۶، ۷). و تلندها به عنوان فیلترهای بیولوژیکی به صورت ترکیبی از فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی در کاهش تعداد باکتری ها از فاضلاب ورودی نقش مؤثری دارند (۸، ۹). فاکتورهای فیزیکی مثل فیلتراسیون، ته نشینی، تجمع، و اشعه ماوراء بنفش می باشند. مکانیسم های بیولوژیکی شامل هضم توسط نماتودها، پروتوزوآها، کلادوسراها، حمله باکتریو فاژها، و مرگ طبیعی و انتشار آنتی بیوتیک ها است. فاکتورهای شیمیایی شامل اکسیداسیون، جذب سطحی، و تماس با سموم منتشره توسط میکروارگانیسم ها و گیاهان می باشد (۹، ۱۰). علاوه بر این نشان داده شد که ترشحات ریشه گیاهان آبی (مثل گیاه فی *Scirpus Lacustris*) می تواند شاخص های مدفوعی (اشریشیا کلی) و باکتری های بیماری زای سالمونلا را از بین ببرد (۹، ۱۱). نواحی معینی از ریشه ها شناخته شده اند که در تولید ترکیبات منتشره از سلول های ریشه دخالت دارند یا فعالانه توسط فرآیندهای متابولیک منتشر می شوند و ممکن است عامل باز دارنده رشد میکروارگانیسم های خاص گردند (۱۲). علاوه بر آن رشد فزاینده جمعیت های باکتریایی (مثل سودوموناس) در ناحیه ریزوسفر با فعالیت آنتی بیوتیکی ممکن است سبب مرگ کلیفرم ها شوند (۱۳). برخی محققان گزارش دادند دفع کلیفرم های کل عمدتاً در بسترهای حاوی گیاهان در مقایسه با بسترهای فاقد گیاه بالاتر است و نشان می دهد ماکروفیت ها نقش مهمی در دفع باکتری های شاخص آلودگی توسط و تلندها دارند. دفع کلیفرم ها و کلیفرم های مدفوعی در و تلندهای

مصنوعی ازستیک درجه ۱ تبعیت می کند (۶، ۷). May و همکارانش در سال ۱۹۹۰ و Butler و همکارانش در سال ۱۹۹۳ دریافتند که تعداد باکتری های هوازی و باکتری های کلیفرم به صورت خطی با طول بستر گیاهی کاهش نشان می دهد. Bavor و همکارانش اثبات کردند عمدتاً در زمان ماند مشابه، سیستم های تصفیه ماکروفیت ها، نسبت به سیستم های برکه، باکتری ها را بیشتر حذف می کنند. مکانیسم های دفع پاتوژن در و تلندها کاملاً شناخته شده نیست. فاکتورهای فیزیکی مثل فیلتراسیون مکانیکی، رسوب دهی، جذب سطحی، جذب اکسیژن توسط گیاهان و فاکتورهای بیولوژیکی مثل مرگ طبیعی، شکار یا آنتی بیوتیک های منتشره توسط ریشه های ماکروفیت ها ممکن است به عنوان مکانیسم های معین برای دفع باکتری ها در و تلندها مورد توجه قرار گیرند (۲، ۱۰، ۱۱). اگر چه ویلیام و همکارانش در سال ۱۹۹۵ جذب سطحی را به عنوان مکانیسم اصلی برای دفع پاتوژن پیش بینی کردند. نتایج بررسی ها این فرضیه را تقویت می نماید که مقداری از فرآورده های متابولیک منتشره توسط ماکروفیت ها به صورت همزیستی با باکتری های بیو فیلم عمل می کنند. این فرضیه میزان دفع بالای پاتوژن ها در مخازن حاوی گیاه را نسبت به مخازن حاوی گراول تنها شرح می دهد.

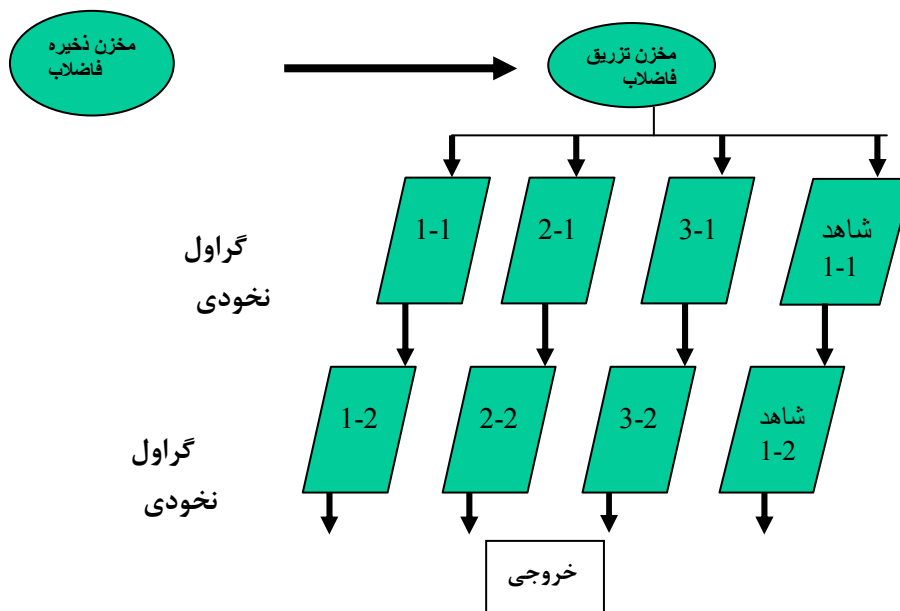
این تحقیق، به منظور بررسی کارایی و تلندهای مصنوعی با جریان زیر سطحی و بستر گراول و نقش گیاهان سریع رشد در حذف کلیفرم ها به عنوان شاخص آلودگی انجام شد و با توجه به شرایط بومی منطقه، گیاه گونه *Yellow Flag Iris Pseudacorus* معروف به *Yellow Flag Iris* از تیره زنبق و خانواده *Iridaceae* برای این بررسی انتخاب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

مواد و روش ها

چهار رآکتور آزمایشگاهی در دو سری که در هر

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 تایی 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. رآکتورهای حاوی گراول ریز در هر سری از نظر تراکم گیاهی متفاوت اما از نظر مدیا، ضریب تخلخل، بار هیدرولیکی، ومساحت 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.

جدول شماره ۱: مشخصات راکتورهای مورد استفاده در تحقیق

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

نتایج

مدفوعی در خروجی راکتورهای سری دوم حاوی گراول نخودی با تراکم گیاهی ۱۰۲ و ۳ عدد در هر راکتور به ترتیب در محدوده ۲/۹۱ الی ۳/۲۶، ۲/۰۴ الی ۲/۷۴ و ۱/۵۳ الی ۲/۴۵ و در راکتور شاهد (بدون گیاه) در محدوده ۳/۲۱ الی ۳/۷۵ لگاریتم قرار گرفت (جدول شماره ۲). در تصویر شماره ۲ وضعیت راکتورهای سری شده گراول ریز در غلظت‌های مختلف کلیفرم، در زمان ماند ۵ روزه نشان داده شده است. کارایی راکتورها 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 راکتور حاوی گراول نخودی با تراکم گیاهی ۱۰۲ و ۳ عدد در هر راکتور به ترتیب در محدوده ۳/۶۵ الی ۵/۳۸، ۳/۳۶ الی ۵/۱۷ و ۳/۳۲ الی ۳/۹۵ و در راکتور شاهد (بدون گیاه) در محدوده ۳/۹۵ الی ۵/۶ لگاریتم قرار دارد (جدول شماره ۲). غلظت کلیفرم‌های

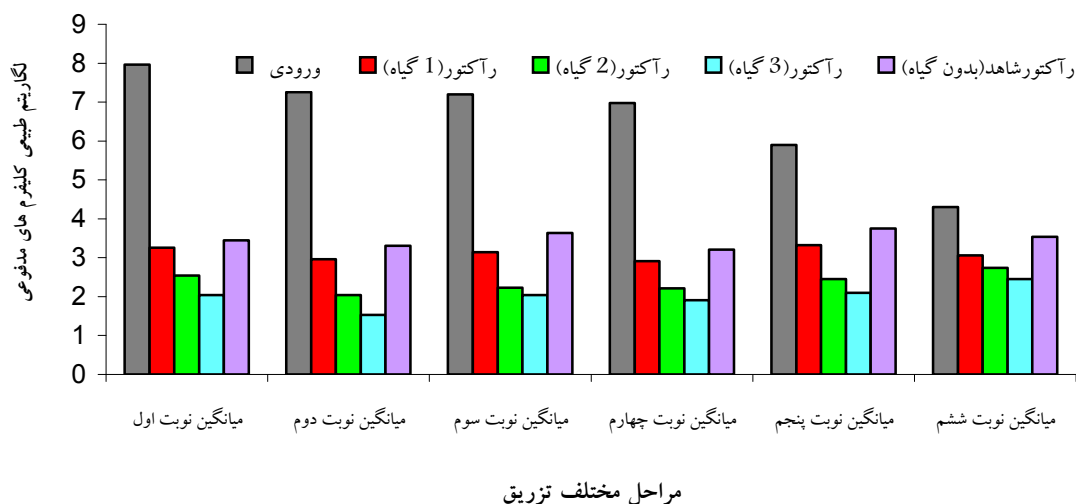
جدول شماره ۲: وضعیت کاهش کلیفرم‌های مدفوعی در پساب‌های راکتورهای سری شده گراول نخودی (بر حسب لگاریتم)

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

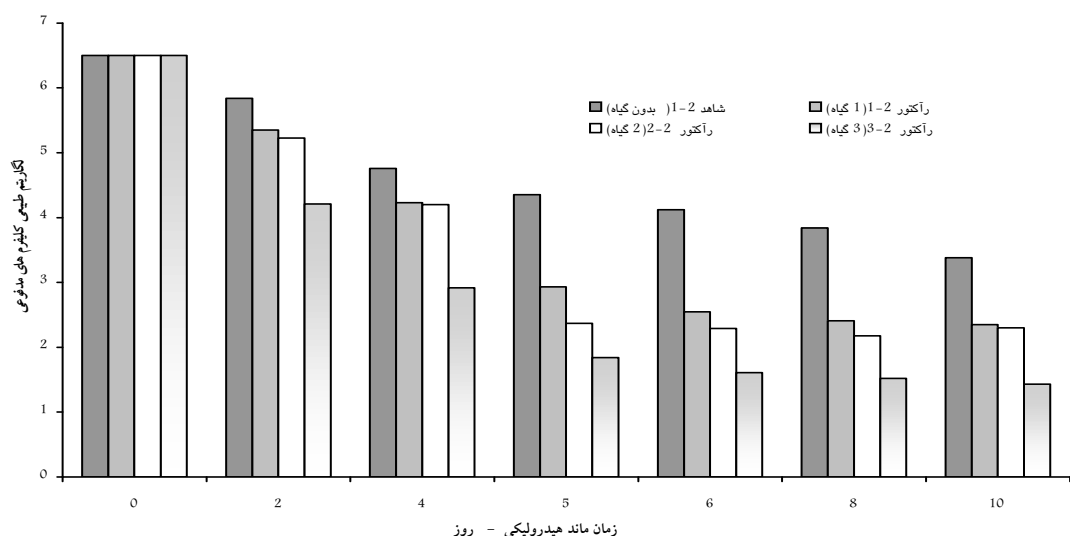
اندازه موثر گراول = ۵ میلیمتر، ضریب یکنواختی = ۲/۲، زمان ماند هیدرولیکی = ۵ روز

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

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



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



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

نتایج آنالیز آماری بر روی اطلاعات به دست آمده از روند کاهش کلیفرم‌ها در سیستم نشان می‌دهد که:

۱- اختلاف میانگین بین رآکتورهای مرحله اول حاوی ۱ و ۲ گیاه و رآکتور شاهد در حذف کلیفرم‌های مدفوعی با احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است ($P < 0.05$) و تنها بین رآکتور حاوی ۳ گیاه و شاهد اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

۲- اختلاف میانگین بین رآکتور حاوی گراول نخودی سری شده دارای ۱ و ۲ گیاه و رآکتور شاهد در حذف کلیفرم‌های مدفوعی با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار 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 کلیفرم‌های مدفوعی با احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است ($P < 0.01$). همچنین با احتمال ۹۵ درصد تفاوت بین رآکتور حاوی ۱ گیاه و شاهد معنی‌دار است ($P < 0.05$). همچنین با احتمال ۹۹ درصد تفاوت بین رآکتور حاوی ۲ گیاه و شاهد معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.01$)، اما بین رآکتور ۲ و ۳ تفاوت معنی‌دار نیست ($P < 0.05$). در مقایسه رآکتور ۱ و ۲ با احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار است. همچنین بین رآکتور ۱ و ۳ گیاه با احتمال ۹۹ درصد اختلاف معنی‌دار است ($P < 0.01$).

بحث

این نتایج نشان داد که رآکتورهای مرحله اول در کاهش کلیفرم‌ها تأثیر جدی داشته‌اند و به علت شرایط هیدرولیکی و فیزیکی (مثل طول رآکتور و نسبت طول به عرض و غیره) و بایومیکروبی و بار آلی در دسترسی به استانداردهای دفع پساب موفق نبوده‌اند، اما بعد از قرار دادن یک سری رآکتور مشابه در ادامه این رآکتورها و تغییر شرایط هیدرولیکی (مثل افزایش نسبت طول به

عرض به میزان دو برابر و غیره) 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 می‌شود.

با توجه به استاندارد پساب‌های خروجی به آب‌های پذیرنده در حد ۴۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر (۲/۶ لگاریتم)، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد رآکتور شاهد در زمان ماند ۱۰ روزه غلظت کلیفرم‌های مدفوعی را تا ۳/۳۸ لگاریتم کاهش می‌دهد که حد استاندارد را تأمین نمی‌کند اما رآکتور گراول نخودی حاوی ۱ و ۲ گیاه در زمان ماند ۵ روزه به ترتیب به ۲/۳۷ و ۱/۸۴ لگاریتم دست یافته‌اند که پایین‌تر از محدوده استاندارد می‌باشد و استانداردهای دفع پساب به محیط زیست را تأمین می‌کند (تصویر شماره ۳). زمان ماند هیدرولیکی مناسب برای حذف مؤثر کلیفرم‌های مدفوعی ۵ الی ۶ روز می‌باشد که با غالب مقالات علمی و دستاوردهای تحقیقاتی دنیا مطابقت دارد (۱۴،۱۰).

این تحقیق نشان داد گیاهان و ریزوم‌های گیاهی تأثیر مثبتی بر کارایی وتلندهای مصنوعی زیر سطحی در حذف کلیفرم‌ها از فاضلاب‌های خانگی و شهری دارند. نتایج این تحقیق با تحقیقات قبلی (۱۴،۱۰) مطابقت دارد که نشان دادند ماکروفیت‌ها نقش فعالی در دفع میکروارگانیسم‌ها از فاضلاب دارند.

بدیهی است که لایه‌های میکروبی چسبیده به ریشه‌ها سطوح مناسبی را برای فعالیت اکسیداسیون بیولوژیکی فراهم می‌سازند. در این بررسی گیاه گونه *Iris Pseudacorus* معروف به Yellow Flag Iris از تیره زنبق و خانواده *Iridaceae* با ریزوم‌های حجیم و مؤثر کارایی 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 استان‌های کشور می‌باشد، استفاده از سیستم‌های طبیعی تصفیه فاضلاب خصوصاً

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؛ صفاییان، نصرت ا... . بررسی اکولوژیک آبپندان‌ها، شناخت، معرفی و کاربرد گیاهان آبی در آبپندان‌های 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.