

حذف رنگ فاضلاب صنایع تخمیری از ملاس به روش تالابی با سطح آزاد

سیدجمال‌الدین هاشمیان (استادیار)
علیرضا نظری‌علوی (مربی)
مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

سیستم‌های تصفیه‌ی زیست‌شناختی اگرچه در کاهش آلاینده‌های ناشی از فاضلاب^۱ کارخانجات الکل‌سازی مؤثرند، برای حذف رنگ آنها بازدهی مناسبی ندارند و برای این امر باید تصفیه‌ی تکمیلی انجام شود. از جمله فرایندهای تکمیلی که در این مورد کاربرد دارد «سیستم تصفیه‌ی تالابی با سطح آزاد» است. در مطالعه‌ی حاضر، کاربرد این فرایند در دو منطقه‌ی مختلف کشور - پارچین در نزدیکی تهران و زرین‌شهر در استان اصفهان - که کارخانجات الکل‌سازی در آنها فعال‌اند، مورد بررسی قرار گرفت. در منطقه‌ی پارچین از گیاه جگن^۲، که در منطقه به وفور یافت می‌شود و از جمله گیاهان سنتی تالاب‌هاست، استفاده شد. آزمایش‌های انجام‌شده در اولین فصل کشت نشان داد که کارایی این سیستم حدوداً ۳۵ درصد است. در منطقه‌ی اصفهان نیز از دو شالیزار، یکی به‌عنوان شاهد محصول و دیگری برای بررسی فرایند تصفیه استفاده شد. در این آزمایش مخلوط ۲۰ درصد فاضلاب با آب وارد شالیزار دوم شد که نتیجه‌ی آن نشانگر راندمانی حدود ۹۸ درصد بود. از موارد قابل توجه در این آزمایش‌ها، تکثیر عدسک آبی - گیاهی کمکی که می‌تواند در حذف رنگ مؤثر باشد - در شالیزار دوم به‌دلیل تأمین مواد مغذی توسط فاضلاب تزریق‌شده و نیز کاهش ۱۵ درصدی محصول آن نسبت به شالیزار شاهد بود. عدسک آبی به‌عنوان گیاه کمکی می‌تواند در حذف رنگ مؤثر باشد. همچنین آبیاری با فاضلاب الکل به‌دلیل شوری می‌تواند تا ۱۵ درصد میزان محصول برنج را کاهش دهد.

مقدمه

ملاس چغندر قند محصول فرعی صنعت قند است که با توجه به حجم تولید، تحقیقاتی به‌منظور مصارف بهینه‌ی آن صورت گرفته است. استفاده از ملاس در صنایع زیست‌فناوری (بیوتکنولوژی) مانند تولید خمیرمایه، الکل، بوتیریک‌اسید و ستریک‌اسید رایج و شناخته شده است. در ایران برای تهیه‌ی الکل، سالانه ۵۰ هزار تن ملاس مصرف می‌شود.^[۱] پس از تخمیر و جداسازی مخمر توسط سانتریفوژ، شربت زلال‌شده برای تهیه‌ی الکل وارد دستگاه تقطیر می‌شود و ماده‌ی بر جای مانده از تقطیر با BOD^۲ نزدیک به ۵۰,۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان فاضلاب الکل‌سازی تخلیه می‌شود. تصفیه‌ی فاضلاب با چنین غلظت بالایی مستلزم دستیابی به کارایی ۹۹/۹ درصد است که به‌لحاظ فنی بسیار پرهزینه و خارج از توان بسیاری از کارخانجات است. کارخانجات وابسته به صنایع دفاع، در پارچین و اصفهان، از جمله کارخانجاتی هستند که برای رفع این معضل فرایند خاصی دارند. سیستم تصفیه در پارچین شامل دو لاگون^۳ با زمان ماند کم، دو واکنشگر UASB^۴ و تصفیه‌ی هوازی است که بصورت سری قرار گرفته‌اند. واکنشگرهای UASB نسبت به هم در حالت موازی‌اند.

سیستم تصفیه در اصفهان دارای لاگون‌های بی‌هوازی با زمان ماند زیاد است. این سیستم‌ها برای حذف شاخص‌های آلودگی مانند: BOD، COD^۵ و TSS^۶ از کارایی خوبی برخوردارند ولی در حذف رنگ قهوه‌یی تیره‌ی این فاضلاب تا حد استانداردهای لازم موفق نبوده و احتیاج به یک فرایند تکمیلی دارد. با توجه به پوشش گیاهی مناطق ذکر شده، سیستم تصفیه تالابی از جمله فرایندهایی است که در این زمینه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. هدف اصلی از پردازش فاضلاب در این روش، حذف رنگ مزاحم است که سازوکار آن غالباً جذب سطحی به‌وسیله‌ی ساقه و برگ گیاهان همراه با حذف سوخت‌وسازی به‌وسیله‌ی ریزاندامگان نشسته بر ساقه و برگ‌هاست. در رابطه با کارایی این فرایند در حذف رنگ فاضلاب‌های صنعتی گزارش‌های مختلفی در مقالات ذکر شده است. مثلاً کارایی این روش در حذف رنگ از فاضلاب صنایع کاغذسازی حدود ۵ درصد گزارش شده است.^[۱] در حالی که با کاهش بار هیدرولیکی می‌توان کارایی بیشتری نیز کسب کرد.^[۲] حذف شاخص‌های آلودگی در صنعت کک‌سازی تا ۶۷ درصد گزارش شده است که به‌دلیل اشباع شدن سطوح در فرایند جذب سطحی، رنگ‌زدایی در این مورد به مرور زمان کاهش می‌یابد.^[۳] در رابطه با

جدول ۱. متغیرهای طراحی برای انواع تالاب‌ها

متغیرهای طراحی	واحد	تالاب با سطح آزاد	تالاب با جریان زیر سطحی
زمان ماند	روز	۴-۱۵	۴-۱۵
عمق آب در تالاب	متر	۰/۹-۰/۶	۰/۳-۰/۷۵
بار BOD	گرم بر متر مربع در روز	کمتر از ۶/۷	کمتر از ۶/۷
بار هیدرولیکی	متر مکعب بر متر مربع در روز	۰/۰۱۴-۰/۰۴	۰/۰۱۴-۰/۰۴

در منطقه‌ی پارچین زمین قابل استفاده حدود ۱/۵ هکتار بوده که با توجه به تخلیه^(۱) (دبی) روزانه ۸۰۰ متر مکعب، زمان ماند ۱۰ روز انتخاب شد. این زمین در سه قسمت - دو قسمت با ابعاد ۱۲×۴۰ متر و قسمت سوم با ابعاد ۱۰×۵۰ متر - در نظر گرفته شد و عمق هر سه قسمت ۰/۴ سانتی متر پیش بینی شد. براساس این طراحی، بار هیدرولیکی اعمال شده ۰/۰۵۵ متر مکعب بر متر مربع در روز، و زمان ماند برابر ۱۰/۹۵ روز خواهد بود. ساخت دو تالاب ابتدایی با ابعاد مساوی در اوایل فصل بهار به پایان رسید. پس از ساخت تالاب‌ها، ترازبندی و نفوذپذیری زمین از طریق پسرکردن حوضچه‌ها از آب، مورد آزمایش قرار گرفت. حوضچه‌ها پس از تخلیه برای کشت گیاه آماده شدند. همزمان، برای یافتن گیاه مناسب کشت به پیمایش منطقه پرداخته و نهایتاً جگن - گیاهی از رسته‌ی نی‌ها که به علت سازگاری آن با شرایط آب و هوایی محیط به وفور در منطقه یافت می‌شود - به منظور کشت انتخاب شد. جگن‌ها را - پس از کندن از ریشه و خارج کردن آنها از زمین - به حوضچه‌های از پیش آماده‌شده‌ی تالاب منتقل کردیم. به این ترتیب، جگن در سطح حوضچه‌ها کشت و تکثیر شد. برای جلوگیری از غرقاب و خفه شدن جگن‌ها تا زمان به ثمر رسیدن و دواندن ریشه در تمامی سطح، آبیاری به صورت مقطعی و در حد خیس نگه داشتن گیاه انجام شد. در ادامه و در پی رشد نسبی گیاه، فاضلاب ملاس وارد سیستم شد. تا اتمام ساخت تالاب سوم، تخلیه‌ی کل فاضلاب ملاس بین دو تالاب آماده‌شده تقسیم شد. بر همین اساس، زمان ماند تالاب به ۷/۲ روز تقلیل و بار هیدرولیکی آن به ۰/۰۸۳ متر مکعب بر متر مربع در روز افزایش می‌یابد.

در منطقه‌ی اصفهان دو شالیزار، هر یک با مساحت ۳۰۰۰ متر مربع به منظور بررسی امکان حذف رنگ و همچنین استفاده از فاضلاب برای آبیاری، به منظور صرفه‌جویی در آب، در نظر گرفته شد. در شالیزار اول (شالیزار شاهد) فقط آب، و در شالیزار دوم - به عنوان فرایند تصفیه - مخلوطی از آب و فاضلاب ملاس وارد شد. نسبت مقدار فاضلاب موجود در مخلوط ۲۰ درصد انتخاب شد تا از

فاضلاب کارخانجات الکل‌سازی مطلب خاصی در مراجع ذکر نشده است. گیاهانی که در تالاب‌ها کشت می‌شوند - نظیر دم‌گربه‌یی^(۲)، علف بوریا^(۳) و گل نی^(۴) - عموماً مشابه یکدیگرند.^[۵]

در مطالعات انجام شده در منطقه‌ی پارچین تهران از این نوع گیاهان استفاده شد، ولی در زمین شهر اصفهان فاضلاب مذکور به عنوان بخشی از آب کشاورزی به شالیزار برنج تزریق شد که در نوع خود اقدامی نوین محسوب می‌شود.

روش تحقیق

تالاب‌های مصنوعی به دو صورت ساخته می‌شوند: الف) تالاب با سطح آزاد آب (FWS)؛ ب) تالاب با جریان زیر سطحی (SFS). که در آن آب در زیر لایه‌ی شن حرکت می‌کند. متغیرهای مهم در طراحی تالاب‌های مصنوعی عبارتند از: زمان ماند، عمق، طول و عرض، میزان بار آلودگی و بار هیدرولیکی. دامنه‌ی این متغیرها در جدول ۱ آمده است.^[۶،۵]

تالاب مورد استفاده در طرح حاضر با توجه به امکانات موجود، و نیز راحتی در ساخت، راهاندازی و بهره‌برداری، از نوع تالاب با سطح آزاد آب است. چنان‌که پیشتر نیز ذکر شد، این سیستم به منظور تصفیه‌ی نهایی پس از تصفیه‌ی لاغونی، UASB و هوازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به کامل بودن این سیستم انتظار می‌رود حضور دیگر آلاینده‌ها تا حد ممکن در سیستم کاهش یابد و عملکرد تالاب بر باقی‌مانده‌ی آنها ناچیز باشد. لذا از انجام آزمایش‌ها لازم برای شناخت دیگر ترکیبات فاضلاب صرف نظر و فقط به آزمایش‌ها مربوط به رنگ فاضلاب توجه شده است.

از آنجا که هدف اصلی در انجام این آزمایش‌ها حذف رنگ از فاضلاب بوده، و در زمینه‌ی مقدار رنگ مجاز به عنوان بار تزریق شده به تالاب مطلبی گزارش نشده است، طراحی‌ها بر پایه‌ی متغیرهای زمان ماند، عمق آب و بار هیدرولیکی صورت گرفت که با توجه به زمین اختصاص داده شده به این مطالعات، بهترین روش ممکن به نظر می‌رسد.

جدول ۲. میانگین نتایج آزمایش‌های انجام شده در پارچین

تالاب دوم	تالاب اول	
۲۴۹۰	۲۴۹۰	رنگ فاضلاب در ورودی بر حسب Pt-Co
۱۵۸۷	۱۶۹۳	رنگ فاضلاب در خروجی بر حسب Pt-Co
۳۶	۳۲	کارایی (%)

جدول ۳. میانگین نتایج آزمایش‌های انجام شده در شالیزارهای برنج

شالیزار	
۲۶۵۰	رنگ فاضلاب در ورودی بر حسب Pt-Co
۵۵	رنگ فاضلاب در خروجی بر حسب Pt-Co
۹۸	کارایی (%)

پس از نشا و گسترش کامل برنج در سطح زیر کشت، آزمایش لازم در شالیزارهای برنج انجام شد. مقدار رنگ ورودی همانند تالاب‌ها ولی کارایی سیستم حدود ۹۸ درصد بود. در جدول ۳ میانگین نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها ثبت شده است.

در شالیزاری که مخلوط فاضلاب و آب در آن تزریق می‌شد پدیدار شدن گیاه آبرزی عدسک آبی^{۱۲} بسیار قابل توجه بود. این گیاه که به‌طور طبیعی پیدا و سپس تکثیر شد، احتمالاً به‌وسیله‌ی پرندگان مهاجر به شالیزار انتقال یافته است. عدسک آبی از گیاهان کوچک، سبز، ریشه در آب، معلق و وابسته به آب شیرین است. سرعت رشد عدسک آبی حداقل دو برابر سرعت دیگر گیاهان آوندی است. عدسک‌های آبی می‌توانند در کمتر از سه روز و در شرایط ایده‌آل، ۲ برابر مقدارشان را تولید کنند. تولید ماهانه‌ی عدسک در مناطق نیمه گرمسیری از ۱/۷ تا ۶/۷ تن بر هکتار (وزن خشک) - بسته به در دسترس بودن مواد مغذی - ذکر شده است.^{۱۱}

پساب حاصل از تخمیر و تقطیر ملاس حاوی گلو تامیک اسید، ۴٪ گلیسرین، املاح پتاسیم و بویژه بتائین منبع سرشار از نیتروژن است.^{۱۱} احتمالاً تکثیر عدسک آبی نیز به‌دلیل وجود این منبع به‌عنوان ماده‌ی مغذی است. حذف نیتروژن به‌واسطه‌ی مصرف آن توسط عدسک آبی، در مقایسه با عمل شوره‌سازی (نیترات‌سازی)^{۱۳} و شوره‌برداری (تخریب نیترات)^{۱۴} مستلزم صرف انرژی کمتری است.

در پایان برداشت برنج از دو شالیزار، مشخص شد که محصول شالیزار شاهد، که فقط آب دریافت کرده بود، ۱۵ درصد بیشتر است. این امر دلیلی بر سمی بودن فاضلاب برای کشت برنج نیست، زیرا در این صورت باید به‌طور کلی رشد نشا متوقف می‌شد. کمتر بودن محصول در شالیزار اول می‌تواند بر اثر شوری ناشی از فاضلاب الکلی باشد.

مقایسه‌ی کلی بین تالاب‌ها و شالیزار نشانگر آن است که

نظر رنگ و غلظت مشابه فاضلاب تزریق شده در منطقه‌ی پارچین باشد. مقدار آب لازم برای آبیاری در یک دوره از کشت برنج در این منطقه ۱/۶ متر ارتفاع آب توصیه شده است^{۱۷} که با توجه به مساحت شالیزارها، مقدار کل آب مورد نیاز برابر ۴۸۰ متر مکعب خواهد بود. این مقدار آب باید طی ۱۵ روز و به‌عبارت دیگر ۳۲ متر مکعب در هر روز وارد شالیزار شود.

با توجه به این که ارتفاع متوسط آب در شالیزار ۸ سانتی‌متر است، حجم آب داخل شالیزار ۲۴۰ متر مکعب، و زمان ماند آن برای تخلیه‌ی ورودی ۷/۵ روز و بار هیدرولیکی ۰/۱ متر مکعب بر متر مربع در روز می‌باشد.

برای بررسی حذف رنگ، هنگام ورود و خروج فاضلاب از تالاب‌ها و شالیزار، اندازه‌گیری رنگ به‌روش رنگ‌سنجی استاندارد آزمایش شد.^{۱۸}

بررسی نتیجه‌ی آزمایش‌ها

در فصل پاییز قبل از سرد شدن هوا و نهایتاً خشک شدن نی‌ها، آزمایش‌هایی بر روی دو تالاب پارچین انجام شد. در جدول ۲ میانگین نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها ارائه شده است.

معمولاً در سال اول سطح تالاب به‌طور کامل از گیاه کاشته شده پوشیده نمی‌شود. هنگام انجام آزمایش‌ها نیز رشد گیاه به‌اندازه‌ی نیست که بتواند جایگاهی وسیع برای تجمع ریزاندامگان و نیز محیط خوبی برای عملکرد فیزیکی - شیمیایی جذب سطحی باشد. رشد و توسعه در تالاب دوم کمی سریع‌تر از تالاب اول بود که احتمالاً دلیل آن بیشتر بودن نهال‌های اولیه در این تالاب است. اگرچه مرجع خاصی برای مقایسه‌ی نتایج آزمایش‌های انجام یافته در دسترس نیست، انتظار افزایش کارایی در سال آینده پس از رشد و ریشه دواندن نی‌ها وجود دارد. اگرچه پوشش کامل گیاهی تالاب‌ها - به‌دلیل افزایش ضریب تخلخل - باعث کاهش زمان ماند حقیقی می‌شود، امکان جذب سطحی بیشتر می‌شود.^{۱۵} با توجه به تصفیه‌ی اولیه که شامل لاگون، UASB و هوازی است، می‌توان نتیجه گرفت کارایی به دست آمده تقریباً حاصل سازوکار جذب سطحی بر روی گیاه (ساقه، شاخه، برگ) و بستر کشت گیاه بوده و تخمیر آبی زیست‌شناختی در آن دخالت نداشته است. مواد جذب‌شده به‌وسیله‌ی تخمیر تدریجی به‌وسیله‌ی ریزاندامگان هضم می‌شوند. برای تفکیک کارایی بین دو عامل حذف رنگ - گیاه و خاک (بستر کشت) - به دو شیوه می‌توان عمل کرد. راه اول شناسایی عامل رنگ و پیگیری غلظت آن در رسوبات، و راه دوم ساخت تالابی موازی و بدون گیاه به‌عنوان شاهد است که با توجه به زمین مورد نیاز و هزینه‌ی ساخت و انجام آزمایش‌ها، امکان این قسمت از مطالعات وجود نداشته است.

وجود دارد.

همچنین استفاده از شالیزار به‌عنوان یک تالاب مصنوعی، می‌تواند به میزان ۹۸ درصد در حذف رنگ این فاضلاب مؤثر باشد. در این راستا حضور عدسک آبی در محیط یکی از عوامل مؤثر در دست‌یابی به این بازده است. با وجود این که آبیاری با فاضلاب تصفیه شده می‌تواند راهکاری برای صرفه‌جویی در مصرف آب باشد، تجربه‌ی حاضر نشان داد که این امر ممکن است با کاهش میزان محصول همراه باشد. احتمالاً کنترل شوری آب که با افزایش تسخیر اتفاق می‌افتد از طریق تخلیه‌ی بخشی از آب شالیزار می‌تواند مشکل کاهش محصول را برطرف کند.

بالابودن ضریب تخلخل در شالیزار، و امکان جذب سطحی در این موقعیت بر میزان کارایی در این محیط می‌افزاید. در این راستا وجود عدسک آبی می‌تواند یک عامل کمکی در حذف رنگ باشد.

نتیجه‌گیری

مجموع بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که فرایند تالابی با سطح آزاد آب می‌تواند به‌عنوان سیستمی ساده و کم‌هزینه در حذف رنگ از فاضلاب صنایع تخمیری ملاس مورد استفاده قرار گیرد. در فصل اول رشد، کارایی سیستم حدود ۳۵ درصد بود که با کامل شدن پوشش گیاهی و نیز با ازدیاد زمان مانند هیدرولیکی، امکان افزایش آن

پانوشته‌ها

1. wastewater
 2. cyperus; furze
 3. Biochemical Oxygen Demand (BOD)
 4. lagoon
 5. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)
 6. Chemical Oxygen Demand (COD)
 7. Total Suspended Solids (TSS)
 8. cattail
 9. bulrush
 10. reeds
 11. discharge
 12. duckweed
 13. nitrification
 14. denitrification
- منابع
۱. سجادی، اکبر. ملاس و موارد مصرف آن، انتشارات سندیکای قند و شکر ایران، ۱۳۶۸.
 2. Moore, J. A. "Wetland treatment of pulp mill wastewater", *Wat.Sci. and Tech.*, 29(4), pp. 241-297 (1994).
 3. Knight, R.L. "Design and performance of the champion pilot-constructed wetland", *TAPPI Journal*, 77(5), pp. 240-245 (1994).
 4. Wiessner, A. "Treating a lignite pyrolysis wastewater in a constructed subsurface flow", *Wat. Res.*, 33(5), pp. 1296-1302 (1999).
 5. Tchobanoglous, G. "Wastewater engineering treatment disposal and reuse", McGraw-Hill, 3rd edition (1991).
 6. Arceivala, S., "Treatment for pollution control", Mc Graw-Hill, 2nd edition (1986).
 ۷. فرشی، علی اصغر. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، انتشارات آموزش کشاورزی، مرکز تحقیقات آب و خاک، ۱۳۷۱.
 8. "Standard methods for the examination of water and wastewater", *APHA*, 17th edition (1989).
 ۹. آفازرضی، حشمت‌الله. «ارزیابی استفاده از حوض‌های ماکروفیت»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۳.
 ۱۰. هاشمیان، سید جمال‌الدین. بازیافت مواد و کاهش یار آلودگی پساب الکلسازی، مجموعه مقالات پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۴.