عملکرد پرلیت به‌عنوان جاذب بر تصفیه فیزیکی پساب صنایع سلولزی

علی پرتوی‌نیا[۱*]
مهدی کشکولی[۲]
پیام قربان‌نژاد[۳]
مرتضی ناظریان[٤]

[۱] استادیار گروه پالایش‌زیستی، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، پردیس زیراب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه پالایش‌زیستی، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، پردیس زیراب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۳] استادیار گروه پالایش‌زیستی، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، پردیس زیراب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۴] دانشیار گروه سامانه‌های زیستی، دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین، پردیس زیراب، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
a_partovi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌ها جهت فرایند پیش‌تصفیه در کانون توجه محققان مختلف قرارگرفته است. در این پژوهش، راندمان حذف آلاینده‌ها و پیش‌تصفیه پساب ورودی حوضچه لجن فعال در صنایع سلولزی با نسبت COD/BOD_5معادل ۴/۶ جذب سطحی توسط پرلیت (۲/۵ – ۱۲/۵ gr/L) بررسی شد. در این بررسی عملکرد مقادیر مختلف جاذب پرلیت در زمان‌های ۶ تا ۲۴ ساعت، بررسی شد. بیشترین میزان حذف شاخص‌ها در نمونه حاوی ۱۲/۵ gr/L پرلیت در زمان ۲۴ ساعت با کاهش COD، TSS و TDS به ترتیب ۴۸٪، ۷۶٪ و۴۷٪ مشاهده شد. مطابق آنالیز آماری، هر دو متغیر مقدار جاذب و زمان جذب بر میزان کاهش COD و کدورت پساب در فرایند جذب اثرگذار بوده، درحالی‌که در TDS و EC، تنها زمان جذب اثرگذار بوده است این مسئله را می‌توان به عدم دسترس‌پذیری کامل پرلیت، محدودیت‌های انتقال جرمی و سینتیک جذب مرتبط دانست. درنتیجه می‌توان گفت، پرلیت به‌عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت و دوستدار محیط‌زیست با کاهش معنادار شاخص‌های آلایندگی پساب می‌تواند در فرایند پیش‌تصفیه پساب صنایع سلولزی استفاده شود.

واژگان کلیدی: پساب صنایع سلولزی، جاذب پرلیت، حذف فیزیکی، خواست اکسیژن شیمیایی (COD).

مقدمه

برای تأمین نیازهای روزافزون به فراورده‌های متنوع صنایع لیگنوسلولزی، کارخانه‌های متعددی در سراسر جهان وجود دارند و تخمین‌ها نشان داده است که مصرف کاغذهای بسته‌بندی و بهداشتی به‌شدت در حال افزایش است. همچنین رشد صنایع سلولزی در کشور موجب افزایش تولید پساب این صنایع به‌ویژه در سال‌های اخیر شده است [۱]. تنوع در مراحل آماده‌سازی خمیر و کاغذ و حجم زیاد نیاز به مصرف آب، این صنعت را در ردیف یکی از بزرگ‌ترین صنایع مصرف‌کننده آب و درنتیجه تولیدکننده پساب قرار داده است. به‌طور متوسط تخمین زده می‌شود که در صنعت کاغذ سالانه ۹۰۵/۸ میلیون مترمکعب آب مصرف و حدوداً ۶۹۵/۷ میلیون مترمکعب پساب ایجاد می‌شود [۲]. در ایران صنایع تولید خمیرکاغذ و کاغذ مقوا با مصرف ۱۷/۴ درصد از کل مصرف آب صنعتی کشور در رتبه دوم قرار دارند و این در حالی است که تنها ۱۸٪ از پساب این صنایع تحت تصفیه قرار می‌گیرد [۳]. پساب‌های این صنعت با داشتن آلاینده‌ها و

ترکیبات رنگ‌زای مختلف و عمدتاً زیستی، یکی از آلوده‌ترین پساب‌ها می‌باشند. به علت وجود ناخالصی‌های معلق و کلوئیدی، رنگ و بوی زیاد در پساب صنایع کاغذسازی به علت وجود الیاف و آلودگی‌های سلولزی فرآیند تصفیه آن با دشواری بیشتری همراه است. این پساب‌ها علاوه بر جریان حجمی زیاد، دارای میزان زیادی خواست اکسیژن بیوشیمیایی (BOD)، خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، مواد معلق، رنگ و کدورت هست [۱, ۴, ۵]. تصفیه مؤثر این پساب‌ها می‌تواند تا حدود قابل‌توجهی نگرانی‌ها در این خصوص را کاهش دهد. بنابراین استفاده از روش‌های کارآمد به‌منظور تصفیه این پساب‌های آلوده امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. تکنیک‌های مختلفی جهت حذف آلاینده‌ها از آب و پساب وجود دارد، و معمولاً فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و تلفیق آن‌ها برای تصفیه و رنگ‌زدایی پساب صنعتی استفاده می‌شود [۶, ۷]. در این بین، [۲, ۶]، روش‌های جذب سطحی [۸-۱۰]، انعقاد شیمیایی [۵]، اکسیداسیون پیشرفته فنتون [۱۱] و تصفیه بیولوژیکی [۱۲] معمول‌ترین روش‌ها می‌باشند که با توجه به مشخصات پساب و میزان آلودگی به‌صورت مجزا و یا به‌صورت تلفیقی مورداستفاده قرار می‌گیرند. استفاده از روش‌های شیمیایی دارای هزینه بالا بوده و حجم زیادی از لجن‌های شیمیایی را تولید می‌کنند. در بین روش‌های فیزیکی، جذب سطحی یکی از ساده‌ترین، کارآمدترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها جهت تصفیه پساب هست. در تحقیقات قبلی تعداد زیادی از جاذب‌ها نظیر توده‌های زیستی قارچی یا باکتریایی و زیست پلیمرهای طبیعی (زغال‌سنگ، پوسته گندم، خاک‌اره چوب)، ضایعات کشاورزی، محصولات انواع مختلف نانو جاذب‌ها شامل نانو مواد با پایه کربن و نانو کامپوزیت‌ها جهت حذف آلاینده‌های مختلف از پساب مورداستفاده قرارگرفته است [۹, ۱۳]. برای مثال کربن فعال معمولاً به‌منظور حذف ترکیبات آلی و مواد رنگ‌زاها از پساب صنایع به خاطر بازده بالای آن استفاده می‌شود. اما قیمت تمام‌شده استفاده از کربن فعال نسبتاً بالا و جداسازی آن از محیط واکنشی نسبتاً دشوار هست و عملکرد آن نیز غیرانتخابی است و درمجموع کاربرد جاذب‌های معدنی، زیستی و پسماندهای کشاورزی توصیه‌شده داشت [۱۳]. پرلیت از جاذب‌های معدنی دوستدار محیط‌زیست باقابلیت جذب و بازیافت بالا است که در سال‌های اخیر، برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی در کانون توجه محققان مختلف قرارگرفته است [۱۴]. مطابق گزارش‌های قبلی، روش جذب سطحی به‌عنوان یکی از مؤثرترین فناوری‌ها در تصفیه پساب‌های آلی و معدنی با غلظت آلاینده کمتر از ۱۰۰۰ mg/L مطرح‌شده است [۱۳]. از طرفی مطالعات اخیر نشان می‌دهد که روش‌های بیولوژیکی به‌طور خاص روش لجن فعال با اختلاط کامل، در تصفیه پساب‌های حاصل از صنایع مختلف برای مثال پتروشیمی و محصولات جانبی، بازدهی و راندمان بالا داشته و همچنین مصرف انرژی در این فرایند بسیار ناچیز است. اما در پساب صنایع سلولزی و کاغذسازی، آلاینده‌ها و ترکیبات رنگ‌زای مختلف، وجود دارد و به همین دلیل علاوه بر این‌که یکی از خطرناک‌ترین پساب‌های صنعتی به شمار می‌روند، نسبت COD/BOD_5در این پساب‌ها معمولاً بالا بوده و بنابراین استفاده از روش‌های بیولوژیکی به‌صورت تنها، برای تصفیه و سالم‌سازی این پساب‌ها معمولاً مناسب نیستند [۵]. بنابراین فرایند پیش‌تصفیه فیزیکی، می‌تواند با کاهش میزان COD و کدورت، نقش مؤثری در راستای بهبود عملکرد فرایند لجن فعال داشته باشد و به حذف مؤثر آلاینده‌ها از پساب‌های صنعتی کمک کند.

تاکنون روش‌های متعدد نظیر استفاده از خاک رس در تصفیه فاضلاب صنعت مقواسازی [۳]، کاهش COD پساب با استفاده از روش‌های انعقاد شیمیایی و فرایند لخته سازی جهت حذف آلاینده‌های پساب کارخانه کاغذسازی [۵]، فرآیند جذب سطحی جهت حذف لیگنین و رنگ ناشی از آن در صنایع خمیر و کاغذ [۲] و تصفیه بیولوژیکی [۱۲] در حذف آلاینده‌های پساب‌های سلولزی مورداستفاده قرارگرفته‌اند. پرلیت به‌عنوان یک جاذب معدنی خنثی و فاقد ظرفیت بافری، سه تا چهار برابر وزن خود آب جذب می‌کند و pH آن بین ۶ تا ۸ هست. اما با توجه به مطالعات انجام‌شده، استفاده از جاذب پرلیت به‌عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت و دوستدار محیط‌زیست تاکنون در پساب صنایع سلولزی با نسبت COD/BOD_5 بالا مورداستفاده قرار نگرفته است. بنابراین در این تحقیق،

برای اولین بار راندمان حذف آلاینده‌ها و کاهش COD از پساب صنایع سلولزی با روش فیزیکی (جذب سطحی توسط پرلیت) به‌منظور پیش‌تصفیه و ارتقا فرایند لجن فعال مورداستفاده قرار گرفت. برای این منظور در این پژوهش، پساب یکی از کارخانه‌های صنایع سلولزی انتخاب‌شده و حذف فیزیکی توسط جاذب معدنی پرلیت در مقادیر متفاوت جاذب و زمان جذب موردبررسی قرار می‌گیرد. برای آنالیز پساب، نتایج مربوط به خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، کل جامدات معلق (TSS)، کدورت، pH، هدایت الکتریکی (EC) و میزان کل جامدات محلول (TDS) مورداستفاده قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش پساب ورودی حوضچه لجن فعال از کارخانه کیمیا چوب گلستان (تولیدکننده اوراق فشرده چوبی) تهیه و به‌عنوان نمونه‌ای از پساب واقعی صنایع سلولزی استفاده شد. مشخصات جاذب معدنی پرلیت مورداستفاده در جدول ۱ آورده شده است. مواد شیمیایی نظیر اسیدسولفوریک غلیظ ۹۸٪، پتاسیم دی‌کرومات، سولفات جیوه، سولفات نقره و پتاسیم هیدروژن فتالات از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

جدول ۱- مشخصات جاذب معدنی پرلیت مورداستفاده

ترکیب شیمیایی	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	Na_2O
درصد	۷۰-۷۵	۱۰-۱۵	۰/۵ – ۲	۰/۵ – ۲	۰/۵ – ۵	۲/۵ – ۲

آزمایش‌های اولیه تعیین شاخص‌های اولیه پساب

با توجه به اهمیت تهیه پساب صنایع سلولزی با نسبت COD/BOD_5بالا (در محدوده ۳ تا ۵) و درنتیجه ضرورت فرایند پیش‌تصفیه، ابتدا شاخص‌های مختلف پساب نظیر COD مطابق استاندارد ASTM D 1252-06 و نیز رنگ‌سنجی و BOD_5 مطابق استاندارد ISO M 5815-1 برای پساب موردنظر تعیین شدند. در ادامه کدورت و TSS پساب با روش آزمون SMEWW اندازه‌گیری شد [۱۵, ۱۶]. برای تعیین میزان کدورت پساب اولیه ۲۵ برابر رقیق‌سازی و عدد محاسبه‌شده در فاکتور رقت ضرب شد.

آزمایش‌های جذب فیزیکی

به‌منظور بررسی عملکرد جاذب پرلیت و قابلیت جذب بار آلی و کدورت پساب صنایع سلولزی انتخاب‌شده، ابتدا ۵ مخزن با حجم ۱ L انتخاب و به هر مخزن ۴۰۰ ml پساب افزوده شد و به هر مخزن پرلیت به میزانی اضافه شد که به ترتیب میزان جاذب معادل ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ گرم بر لیتر باشد. جهت افزایش سطح تماس پرلیت‌ها در محفظه توری شکل در مرکز مخزن قرار داده شد و به‌منظور حرکت پساب و افزایش انتقال جرم، مخازن هوادهی و دبی به نحوی انتخاب شد که جریان پساب در حال اختلاط کامل باشد. در ادامه از هر مخزن در زمان‌های مختلف شامل لحظه اولیه، پس از ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت، جهت آنالیز نمونه‌برداری انجام شد. جهت حذف آلودگی احتمالی موجود روی پرلیت، جاذب موردنظر قبل از استفاده چندین مرتبه با آب مقطر شسته و سپس خشک و در فرایند جذب فیزیکی استفاده شد.

روش‌های آنالیز پساب

آنالیز خواست اکسیژن شیمیایی (COD)

خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش آلودگی پساب است. آلودگی پساب ناشی از حضور مواد خارجی در آب است که این مواد به‌صورت معلق یا محلول باعث آلودگی آب و تولید پساب می‌شوند. برای اندازه‌گیری میزان خواست اکسیژن شیمیایی به محلول هضم، محلول کاتالیست و محلول استاندارد نیاز هست. برای انجام فرآیند هضم از راکتور حرارتی COD مدل CR2200 کمپانی WtW آلمان و برای اندازه‌گیری میزان جذب نور، از اسپکتروفوتومتر مدل ۶۳۰۰ کمپانی Jenwayانگلستان در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر استفاده شد [۱۷].

آنالیز کدورت (Turbidity) و هدایت الکتریکی

در این تحقیق کدورت با روش نفلومتری (NTU) توسط کدورت سنج LaMotte 2020we کمپانی LaMotte کشور آمریکا اندازه‌گیری شد. این روش برای اندازه‌گیری کدورت بر اساس مقایسه شدت پراکندگی نور در یک نمونه در شرایط مشخص با شدت پراکندگی نور در یک محلول استاندارد در همان شرایط هست. یک NTU، کدورت حاصل از یک میلی‌گرم SiO_2 در یک لیتر آب مقطر هست و روش اندازه‌گیری بر پایه اصل پراکندگی پرتوهای نور توسط ذرات داخل آب هست. حد مطلوب کدورت آب شرب طبق استاندارد شماره ۱۰۵۳ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱ و حداکثر مجاز آن NTU ۵ هست. هدایت الکتریکی نمونه‌ها توسط هدایت سنج مدل Metrohm 712 بر حسب میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری و برحسب میکرو زیمنس بر سانتی‌متر گزارش شد.

آنالیز کل مواد جامد معلق (TSS) و کل جامدات محلول (TDS)

کل مواد جامد (TS) شامل مجموع همه مواد جامد حل‌شده (TDS) و مواد جامد نامحلول و معلق (TSS) در آب هست. منظور از TDS کل ناخالصی‌های جامد حل‌شده (ازنظر ماهیت آلی یا معدنی) در آب است که نشان‌دهنده مجموع غلظت همه یون‌های موجود در آب هست. برای اندازه‌گیری TDS از استاندارد SMEWW و دستگاه پرتابل آزمایشگاهی مدل TDS-039 استفاده شد. برای محاسبه مجموع مواد جامد معلق (TSS)، ابتدا پساب موردنظر فیلتر شد و سپس در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک و ذرات خشک باقی‌مانده همراه با وزن فیلتر توزین شد، مقدار TSS بر حسب میلی‌گرم در لیتر با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\frac{\text{وزن خشک ذرات باقی‌مانده همراه با وزن فیلتر (g)} - \text{وزن فیلتر خالص (g)}}{\text{میزان محلول استفاده شده (mL)}} \times 1000000 \quad (1)$$

روش آنالیز آماری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این پژوهش داده‌های جمع‌آوری‌شده از جذب آلاینده‌ها توسط مقادیر متفاوت پرلیت در پساب، توسط نرم‌افزار Graphpad prism نسخه ۸ و آزمون آماری آنالیز واریانس دوطرفه (ANOVA way-Two) تجزیه‌وتحلیل شدند [۱۸]. با استفاده از این روش معنی‌داری اثرات متغیرهای زمان جذب و مقدار جاذب و تأثیر آن در حذف خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، حذف کدورت و کل مواد جامد معلق (TSS) در سطح معناداری ۰/۰۵ بررسی شد. همچنین آنالیز آماری نتایج مربوط به pH، هدایت الکتریکی و میزان کل جامدات محلول پس از فرایند تصفیه فیزیکی، به‌منظور وضعیت تغییرات مورداستفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

تعیین شاخص‌های اولیه پساب

بر طبق نتایج به‌دست‌آمده پساب صنایع سلولزی انتخاب‌شده از ورودی حوضچه لجن فعال، دارای COD و BOD_5 به ترتیب معادل ۴۳۲۰ mg/L و ۹۳۷/۵ mg/L بوده است که با توجه به این نتیجه می‌توان گفت که نسبت COD/BOD_5برابر ۴/۶ و بسیار بالا بوده است، لذا استفاده از روش‌های بیولوژیکی به‌صورت تنها، برای تصفیه مناسب نیست و روش‌های ترکیبی راندمان بالاتری خواهند داشت. بنابراین انتخاب این پساب برای بررسی فرایند جذب به‌منظور پیش‌تصفیه مناسب است. دیگر شاخص‌های پساب اولیه نظیر pH (با استفاده از pH متر آزمایشگاهی مدل PHS-3BW)، میزان کدورت، TSS و TDS با روش آزمون SMEWW اندازه‌گیری شد که pH، کدورت، TSS و TDS به ترتیب معادل ۷/۵، ۱۰۳۰ NTU، ۴۵۷۷ mg/L و ۲۸۳۲ mg/L محاسبه شد.

جذب فیزیکی

نتایج مربوط به میزان کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی و pH در زمان‌های مختلف جذب ۶ تا ۲۴ ساعت در جدول ۲ آورده شده است. مطابق نتایج روند تغییرات TDS با هدایت الکتریکی تطابق خوبی را نشان

می‌دهد. برای بررسی وضعیت اثرگذاری میزان جاذب و زمان جذب، آنالیز آماری انجام شد که مطابق جدول ۳ نتایج نشان می‌دهد که مقدار جاذب در محدوده ۲/۵ gr/L تا ۱۲/۵ gr/L تأثیری بر میزان کل جامدات محلول (TDS) نداشته است که این مسئله را می‌توان به عدم دسترس‌پذیری کامل پرلیت، محدودیت‌های انتقال جرمی و سینتیک جذب مرتبط دانست. مطابق نتایج، فاکتور زمان نقش مهمی در پاسخ‌های فوق در سطح معناداری ۰/۰۵ داشته و به عبارتی با افزایش زمان از ۶ ساعت به ۲۴ ساعت، میزان کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی کاهش‌یافته است. نکته قابل‌توجه این است که کاهش هدایت الکتریکی منجر به کاهش سرعت خورندگی آب در شرایط یکسان می‌شود و این ویژگی برای کاربردهای صنعتی پساب تصفیه‌شده حائز اهمیت است. از طرفی بررسی تغییرات pH نشان می‌دهد که متغیر زمان در روند تغییرات pH نقشی نداشته است، درحالی‌که مقدار جاذب در تغییرات میزان pH اثرگذار بوده است و با افزایش میزان پرلیت از ۲/۵ gr/L تا ۱۰ gr/L، pH پساب کاهش‌یافته است.

جدول ۲- نتایج مربوط به میزان کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC) و pH در زمان‌های متفاوت جذب

مقدار جاذب پرلیت (gr/L)	کل جامدات محلول (TDS) (mg/L)			هدایت الکتریکی (EC) (µS/cm)			pH		
	زمان (ساعت)			زمان (ساعت)			زمان (ساعت)		
	۶	۱۲	۲۴	۶	۱۲	۲۴	۶	۱۲	۲۴
۲/۵	۱۵۴۰	۱۵۸۰	۱۳۶۰	۲۶۵۵	۲۲۷۳	۲۰۱۳	۸/۰۸	۸/۰۵	۸/۰۰
۵	۱۵۹۰	۱۵۲۰	۱۴۹۰	۲۴۹۴	۲۲۸۳	۲۰۱۰	۸/۳۰	۸/۰۸	۸/۲۶
۷/۵	۱۷۲۰	۱۵۲۰	۱۵۵۰	۲۷۷۳	۲۳۱۵	۲۳۸۴	۸/۰۳	۸/۱۵	۷/۸۲
۱۰	۱۶۵۰	۱۵۱۰	۱۳۷۰	۲۴۷۱	۲۲۷۸	۲۱۴۴	۷/۸۰	۷/۷۲	۷/۸۹
۱۲/۵	۱۵۵۰	۱۵۱۰	۱۴۹۰	۲۴۲۲	۲۲۳۲	۲۱۴۸	۸/۳۲	۸/۵۲	۸/۴۸

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس دوطرفه مربوط به میزان کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC) و pH

ویژگی مورد ارزیابی	متغیر		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P	اثرگذاری
	کل جامدات محلول (TDS)	فاکتور زمان	۶۲۴۴۰	۲	۳۱۲۲۰	۷/۲۱۳	۰/۰۱۶۲	بله
		فاکتور مقدار جاذب	۱۹۱۳۳	۴	۴۷۸۳	۱/۱۰۵	۰/۴۱۷۱	خیر
		باقیمانده	۳۴۶۲۷	۸	۴۳۲۸			
	هدایت الکتریکی (EC)	فاکتور زمان	۴۶۶۵۹۶	۲	۲۲۳۲۹۸	۲۴/۸۴	۰/۰۰۰۴	بله
		فاکتور مقدار جاذب	۱۰۶۶۹۴	۴	۲۶۶۷۴	۲/۸۴۰	۰/۰۹۷۶	خیر
		باقیمانده	۷۵۱۴۰	۸	۹۳۹۲			
	pH	فاکتور زمان	۰/۰۰۰۷۶	۲	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۲۴۷۹	۰/۹۷۵۶	خیر
		فاکتور مقدار جاذب	۰/۶۸۹۰	۴	۰/۱۷۲۳	۱۱/۲۴	۰/۰۰۲۳	بله
		باقیمانده	۰/۱۲۲۶	۸	۰/۰۱۵۳۳			

نتایج مربوط به میزان خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، کدورت و کل مواد جامد معلق (TSS) در زمان‌های متفاوت فرایند جذب در زمان‌های مختلف جذب ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت در جدول ۴ آورده شده است. مطابق نتایج کمترین میزان COD و کدورت به ترتیب معادل ۲۲۵۱ mg/L و ۲۸۵ NTU مربوط به نمونه حاوی ۱۲/۵ gr/L پرلیت پس از مدت زمان ۲۴ ساعت است، بنابراین می‌توان گفت بیشترین میزان حذف COD و حذف کدورت در بیشترین میزان جاذب پرلیت و زمان موردبررسی اتفاق افتاده است.

جدول ۴- نتایج مربوط به میزان خواست اکسیژن شیمیایی، کدورت و کل مواد جامد معلق در زمان‌های متفاوت جذب

مقدار جاذب پرلیت (gr/L)	خواست اکسیژن شیمیایی (COD) (mg/L)			کدورت (Turbidity) (NTU)			کل مواد جامد معلق (mg/L) (TSS)		
	زمان (ساعت)			زمان (ساعت)			زمان (ساعت)		
	۶	۱۲	۲۴	۶	۱۲	۲۴	۶	۱۲	۲۴
۲/۵	۴۵۴۱	۳۸۱۶	۳۸۱۶	۶۲۸	۵۵۵	۴۶۰	۱۸۰۰	۱۴۰۰	۱۲۰۰
۵	۳۶۲۳	۲۹۹۵	۴۳۴۷	۵۱۰	۴۲۳	۳۱۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۷/۵	۳۵۲۷	۳۳۸۱	۳۰۹۲	۴۳۳	۳۹۸	۳۹۰	۳۶۰۰	۲۶۰۰	۳۰۰۰
۱۰	۳۰۷۲	۳۴۹۷	۲۹۵۷	۴۳۰	۳۸۰	۴۲۲	۴۰۰۰	۱۲۰۰	۴۲۰۰
۱۲/۵	۳۰۵۳	۳۰۱۴	۲۲۵۱	۳۷۸	۴۲۰	۲۸۵	۱۸۰۰	۶۰۰	۱۰۰۰

مطابق نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر در بحث پیش‌تصفیه پساب صنایع سلولزی، جاذب پرلیت مورداستفاده قرار گرفت و مقدار ۱۲/۵ gr/L جاذب، میزان COD اولیه پساب صنایع سلولزی معادل ۴۳۲۰ mg/L را پس از مدت زمان ۲۴ ساعت، ۴۸٪ کاهش داده است و همچنین حذف ۷۶٪ در میزان TSS توسط پرلیت مشاهده شد. Boguniewicz-Zablocka و همکار در سال ۲۰۲۰، اهمیت استفاده از فرآیندهای مختلف پیش‌تصفیه با هدف بررسی حذف COD قبل از تخلیه به شبکه فاضلاب شهری را مطرح کردند. بر طبق نتایج آن‌ها، پلی آلومینیوم کلرید برای تصفیه پساب با غلظت بالای COD پیشنهاد شد و در شرایط عملیاتی بهینه (pH =۷/۵، T=۱۸ °C) تصفیه فاضلاب صنایع کاغذسازی توسط فرایند انعقاد منجر به کاهش COD به میزان ۷۰٪ شده است [۵]. Pazira در سال ۲۰۱۵ جهت استفاده پیش‌تصفیه فاضلاب صنعت مقواسازی پاژ واقع در شهرک صنعتی مشهد که مقوای دوبلکس از کاغذ باطله را تولید می‌کند، از خاک رس استفاده کردند. در این تحقیق میزان ۷۵ gr/L به‌عنوان مقدار بهینه و pH=۸ به‌عنوان pH بهینه انتخاب شد. در شرایط بهینه میزان حذف برایCOD، BOD_5 و TSS به ترتیب حدود ۴۷٪، ۲۶٪ و ۵۷٪ به دست آمد. بر طبق نتایج آن‌ها با استفاده از فرآیند انعقاد با استفاده از خاک رس، می‌توان ابتدا پساب موردنظر (با میزان COD و BOD اولیه به ترتیب معادل ۶۸۰۰ gr/L و ۱۱۵۱ gr/L) را پیش‌تصفیه نمود تا شرایط مناسبی جهت ورود به تصفیه بیولوژیکی ایجاد شود. نسبت COD/BOD_5 پساب مورداستفاده بعد از پیش‌تصفیه توسط خاک رس از ۴/۵ تا حدود ۳ کاهش پیداکرده است [۳]. Mahdavi و همکار (۲۰۰۹) شرایط بهینه برای حذف COD از پساب صنایع سلولزی توسط جاذب‌های طبیعی را بررسی کردند. مطابق نتایج آن‌ها، شرایط بهینه جذب برای کربن پوسته گردو در pH= ۲ و غلظت ۳ gr/L و برای کربن هسته خرما در ۷ =pH و غلظت ۵ gr/L مشاهده شد و حداکثر بازده حذف COD توسط کربن پوسته گردو و خرما به ترتیب ۵۷ و ۵۴٪ به دست آمد [۱۹]. Leiviska و همکاران (۲۰۰۸) تصفیه پساب خروجی صنایع خمیر و کاغذ با میزان COD اولیه ۱۵۰۰-۱۷۰۰ mg/L و نسبت COD/BOD_7 تقریباً ۳ در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با زمان ماند ۷ روز موردبررسی قراردادند. بر طبق نتایج آن‌ها میزان کاهش خواست اکسیژن شیمیایی COD معادل ۷۱-۶۳ درصد مشاهده شد و همچنین نشان داده شد که استفاده از فیلتراسیون در فرایندهای تصفیه نقش مؤثری در کاهش COD داشته است [۷]. شکل ۱، وضعیت ظاهری پرلیت در ابتدا و ۲۴ ساعت پس از فرایند جذب را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، پرلیت دارای قابلیت جذب کدورت و رنگ بوده که در تطابق با نتایج کدورت (جدول ۴) است. در نمونه پساب حاوی ۱۲/۵ gr/L پس از مدت زمان ۲۴ ساعت، کدورت از ۱۰۳۰ NTU به ۲۸۵ NTU کاهش‌یافته و به عبارتی حذف کدورت ۷۲٪ مشاهده‌شده است.

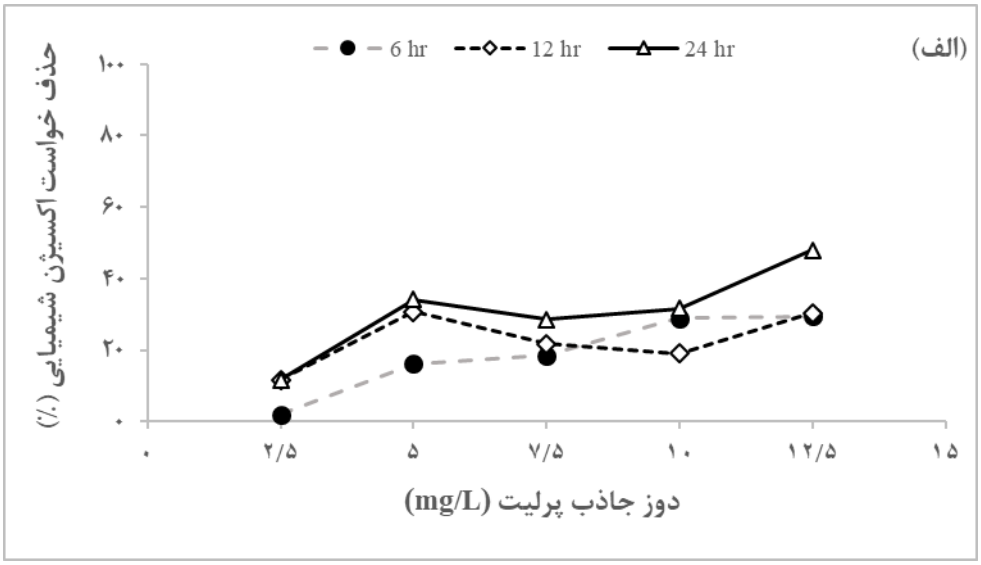
شکل ۱- جاذب معدنی پرلیت (الف) قبل از فرایند جذب (ب) ۲۴ ساعت پس از فرایند جذب

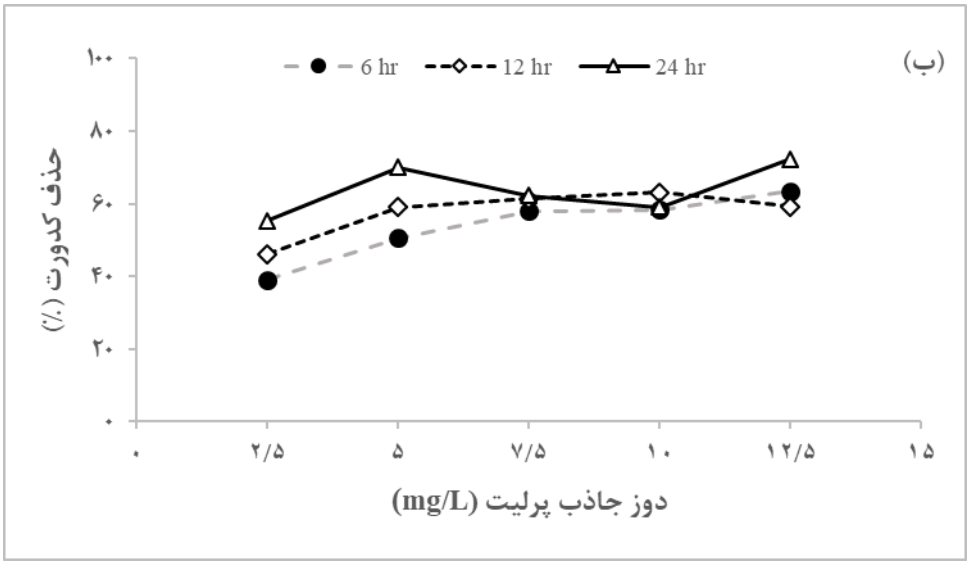
روند حذف خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، کدورت و کل مواد جامد معلق (TSS) بر حسب درصد از پساب صنایع سلولزی در نمودار ۱ نشان داده‌شده است. مطابق نمودار ۱، روند حذف COD و کدورت باگذشت زمان در میزان‌های مختلف جاذب تقریباً مشابه بوده و البته در خصوص حذف کل مواد جامد معلق (TSS) این روند مشاهده نشد که احتمالاً به دلیل پدیده واجذبش باشد.

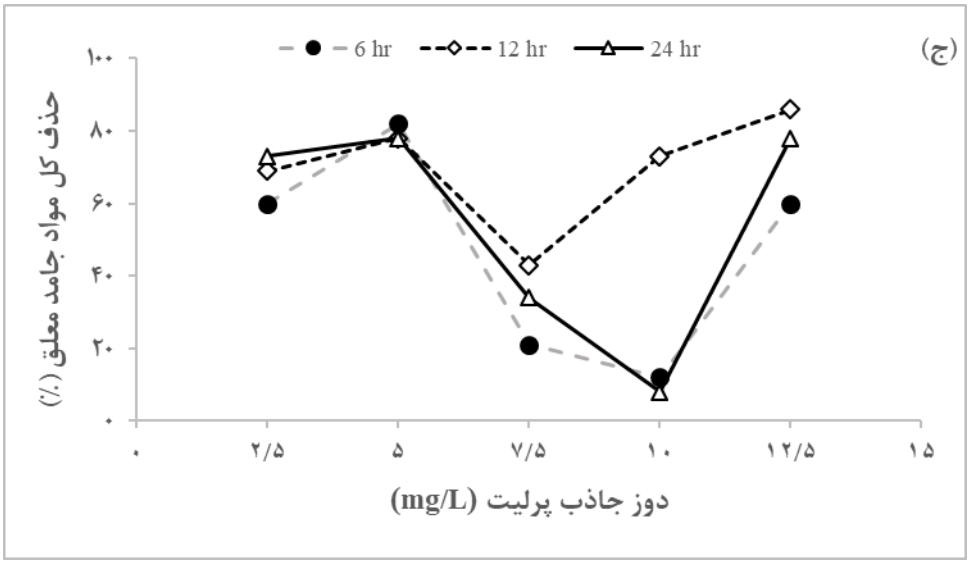
مطابق شکل۲، در نمونه پساب حاوی ۱۲/۵ gr/L پرلیت پس از مدت زمان ۲۴ ساعت، COD به میزان ۴۸٪ کاهش‌یافته است، بنابراین می‌توان گفت استفاده از پرلیت در پساب صنایع سلولزی، منجر به حذف آلاینده‌ها و کدورت شده و می‌تواند به‌عنوان پیش‌تصفیه، حوضچه لجن فعال مورداستفاده قرار گیرد. نتایج آنالیز آماری مربوط به درصد حذف خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، کدورت و کل مواد جامد معلق (TSS) در جدول ۵ نشان داده‌شده است. مطابق نتایج جدول ۵، هر دو متغیر مقدار جاذب و زمان جذب بر COD و کدورت تأثیرگذار بوده است. درحالی‌که فاکتور زمان‌بر تغییرات کل مواد جامد معلق (TSS) تأثیرگذار نبوده که دلیل آن را می‌توان به پدیده واجذبش مرتبط دانست.

جدول ۵- آنالیز واریانس دوطرفه مربوط به نتایج درصد حذف خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، کدورت و کل مواد جامد معلق (TSS)

ویژگی مورد ارزیابی	متغیر		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P	اثرگذاری
	حذف خواست اکسیژن شیمیایی (COD) ٪	فاکتور زمان	۳۶۳/۴	۲	۱۸۱/۷	۶/۰۹۸	۰/۰۲۴۶	بله
		فاکتور مقدار جاذب	۱۱۹۹	۴	۲۹۹/۷	۱۰/۰۶	۰/۰۰۳۳	بله
		باقیمانده	۲۳۸/۴	۸	۲۹/۷۹			
	حذف کدورت (Turbidity) (٪)	فاکتور زمان	۲۵۱/۵	۲	۱۲۵/۷	۵/۳۸۳	۰/۰۳۳۰	بله
		فاکتور مقدار جاذب	۵۵۸/۱	۴	۱۳۹/۵	۵/۹۷۴	۰/۰۱۵۸	بله
		باقیمانده	۱۸۶/۸	۸	۲۳/۳۶			
	حذف کل مواد جامد معلق (TSS) (٪)	فاکتور زمان	۱۳۵۸	۲	۶۷۹/۲/۷	۲/۷۲۵	۰/۱۲۵۲	خیر
		فاکتور مقدار جاذب	۶۵۵۷	۴	۱۶۳۹	۶/۵۷۶	۰/۰۱۲۰	بله
		باقیمانده	۱۹۹۴	۸	۲۴۹/۳			







شکل۲- نتایج مربوط به الف) درصد حذف خواست اکسیژن شیمیایی (COD)، ب) کدورت و ج) کل مواد جامد معلق (TSS) از پساب صنایع سلولزی

نکته حائز اهمیت در پژوهش حاضر این است که با استفاده از فرایند جذب سطحی و جاذب به میزان بسیار کمتر، حذف COD تقریباً یکسانی مشاهده شد که این نتیجه بیانگر این است که جاذب پرلیت در مقایسه با فرایند انعقاد توسط خاک رس و دی‌اکسید تیتانیوم قابلیت بسیار خوبی در حذف COD داشته و می‌تواند به‌عنوان جاذب دوستدار محیط‌زیست در پیش‌تصفیه استفاده شود. از طرفی در پژوهش حاضر کدورت پساب از میزان اولیه ۱۰۳۰ NTU به ۲۸۵ NTU کاهش‌یافته و به عبارتی با استفاده از ۱۲/۵ gr/L پرلیت در مدت زمان ۲۴ ساعت حذف کدورت ۷۲٪ مشاهده شد که نشان‌دهنده قابلیت پرلیت در حذف کدورت بالا است. Solehboni Ahangar و همکار (۲۰۱۴) در مطالعه مشابه از فرآیند جذب سطحی جهت حذف لیگنین و رنگ ناشی از آن در صنایع خمیر و کاغذ استفاده کردند. آن‌ها در این تحقیق روش جذب سطحی با استفاده از جاذب کربن فعال را موردبررسی قراردادند. بر طبق نتایج آن‌ها ابتدا، pH=۷ به‌عنوان pH بهینه تعیین و سپس جاذب کربن فعال در محدوده ۵ تا ۱۵ gr/L استفاده شد. بر طبق نتایج آن‌ها، بیشترین میزان حذف کدورت و رنگ به میزان ۸۴ درصد در غلظت ۱۵ gr/L جاذب کربن فعال مشاهده شد [۲۰]. بنابراین، نتایج تحقیق حاضر با ۷۲٪ کاهش کدورت توسط جاذب ارزان‌قیمت پرلیت در مقایسه با سایر جاذب‌های مطرح در تحقیقات قبلی نظیر کربن فعال می‌تواند موردتوجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

پساب صنایع سلولزی عمدتاً دارای نسبت COD/BOD_5بالا بوده و درنتیجه با افزایش این نسبت کارایی روش‌های بیولوژیکی، برای تصفیه و سالم‌سازی این پساب‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین فرایند پیش‌تصفیه فیزیکی، می‌تواند با کاهش میزان COD، منجر به کاهش بار آلی پساب شده و درنتیجه به بهبود فرایندهای زیستی جهت حذف آلاینده‌ها کمک کند. پرلیت به‌عنوان یک جاذب دوستدار محیط‌زیست در فرایند پیش‌تصفیه و کاهش آلاینده‌ها از پساب صنایع سلولزی با نسبت COD/BOD_5 بالا نقش مؤثری داشته است و می‌تواند شرایط مناسبی جهت ورود پساب به تصفیه بیولوژیکی ایجاد کند. لذا این روش علاوه برافزایش عملکرد و راندمان تصفیه در مراحل بعدی، می‌تواند سبب کاهش حجم حوضچه لجن فعال و کاهش زمان ماند پساب در مراحل تصفیه بیولوژیکی شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "بررسی حذف آلاینده‌ها از پساب صنایع سلولزی با روش‌های فیزیکی و زیستی" در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع چوب و فرآورده‌های سلولزی گرایش صنایع سلولزی مصوب سال ۱۳۹۹ با کد ۵۱۸۴۹ است که با حمایت دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین دانشگاه شهید بهشتی تهران اجراشده است، که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

منابع

[1] Kumar, A., Srivastava, N.K. and Gera, P., 2021. Removal of color from pulp and paper mill wastewater-methods and techniques- A review. Journal of Environmental Management, 298:113527.

[2] Haq, I., Mazumder, P. and Kalamdhad, A.S., 2020. Recent advances in removal of lignin from paper industry wastewater and its industrial applications – A review. Bioresource Technology, 312:123636.

[3] Pazira, M., 2015. The Use of Clay Soil in the Pretreatment of Wastewater produced by the Cardboard Manufacturing Industry. Journal of Research in Environmental Health, 1(1):43-48.(In Persian)

[4] Azimi, S.C., Shirini, F. and Pendashteh, A., 2019. Evaluation of COD and turbidity removal from woodchips wastewater using biologically sequenced batch reactor. Process Safety and Environmental Protection, 128:211-227.

[5] Boguniewicz-Zablocka, J., Klosok-Bazan, I., Naddeo, V. and Mozejko, C.A., 2019. Cost-effective removal of COD in the pre-treatment of wastewater from the paper industry. Water Science and Technology, 81(7):1345-1353.

[6] Singh, U. and Tripathi, Y., 2020. Characteristics and Treatment of Pulp and Paper Mill Effluents -A Review. International Journal of Engineering and Technical Research, 10:19-26.

[7] Leiviskä, T., Nurmesniemi, H., Pöykiö, R., Rämö, J., Kuokkanen, T. and Pellinen, J., 2008. Effect of biological wastewater treatment on the molecular weight distribution of soluble organic compounds and on the reduction of BOD, COD and P in pulp and paper mill effluent. Water Research, 42(14):3952-3960.

[8] Malakootian, M., Jaafarzadeh, N.-a. and Hossaini, H., 2011. Efficiency of perlite as a low cost adsorbent applied to removal of Pb and Cd from paint industry effluent. Desalination and Water Treatment, 26(1-3):243-249.

[9] Hajjizadeh, M., Ganjidoust, H. and Farsad, F., 2020. Review the types of adsorbents in water and wastewater treatment. Journal of Environmental Science Studies, 5(4):3173-3182. (In Persian)

[10] Archin Dialameh, S., Sharifi, S.H. and Asadpour Atoie, g., 2020. Investigation of isotherm and kinetic of methylene blue adsorption by Tobacco residues activated carbon/ZnO nanocomposites with non-linear method. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 11(1):71-83. (In Persian)

[11] Abedinzadeh, N. and Monavari, M., 2017. Optimization Pulp and paper wastewater treatment by using advanced chemical oxidation Fenton method. Journal of Environmental Studies, 43(3):365-377. (In Persian)

[12] Jagaba, A., Kutty, S., Fauzi, M., Razali, M., Hafiz, M. and Noor, A., 2021. Organic and nutrient removal from pulp and paper industry wastewater by extended aeration activated sludge system. In: 3rd International Conference on Tropical Resources and Sustainable Sciences. IOP Publishing. p 1-12.

[13] Salmani, M., Rahmanian, R., Danaie, S. and Soltanianzadeh, Z., 2015. Evaluation of adsorption process in dye removal from industrial wastewater. Toloo-e-Behdasht, 14(3). (In Persian)

[14] Alimiri, S., Mozaffari, J. and Kazemi, A., 2021. Investigation on the efficiency of Anionic resin, Perlite and Clinoptilolite zeolites in reducing heavy metals entering Meighan wetland. Irrigation and Water Engineering, 11(3):332-344. (In Persian)

[15] Baird, R., and Bridgewater, L., 2017. Standard Methods for the Examination of Water, 23rd ed. American Public Health Association (APHA): Washington DC, USA, 1504 p.

[16] Samiee Kootenaee, m., Resalati, H., Rasooly Garmaroody, E. and rudi, h., 2019. Effect of structural characteristics of process water on paper properties made from recycled fiber. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(3):337-346. (In Persian)

[17] The determination of chemical oxygen demand by semi-automated colorimetry. United States Environmental Protection Agency, 410.4, 1993

[18] Montgomery, D.C., 2017. Design and analysis of experiments. John wiley & sons.

[19] Mahdavi, M.S. and Ganjidoust, H., 2009. Usage of natural adsorbents for cod removal of industrial wood fiber wastewater. Journal of Environmental Studies, 34:41-50. (In Persian)

[20] Ahangar Solehboni, M. and Khazri, M., 2014. Removal of lignin and its color in pulp and paper industries using surface absorption process. Environmental Sciences and Engineering, 1(1):33-38. (In Persian)

Performance of perlite as an adsorbent on the physical treatment of cellulose industry wastewater

Abstract

In recent years, the use of adsorbents for pre-treatment process has been the focus of attention. In this survey, the efficiency of pollutants removal and pre-treatment of cellulose industry's wastewater with COD/BOD_5 equal to 4.6 was investigated by perlite adsorbent. The performance of different amounts of perlite adsorbent was investigated in 6-24 h. The highest removal of indicators was observed after 24 h in the sample containing 12.5 gr/L perlite showing 48%, 76% and 47% reduction in COD, TSS and TDS, respectively. According to the statistical analysis, the adsorbent amount and the adsorption time had a significant effect on the reduction of wastewater turbidity and COD, while TDS and EC of the wastewater was only affected by the adsorption time which can be considered as a consequence of limited accessibility of perlite as well as adsorption and kinetic limitations. Finally, it can be concluded that perlite as a low-cost and environmentally friendly adsorbent can play an important role in cellulose industry effluent pretreatment by considerable decline in pollutants in the wastewater stream.

Keywords: Cellulose industry wastewater, perlite adsorbent, physical removal, chemical oxygen demand (COD).

A. Partovinia[1*]
M. Kashkouli[2]
P. Ghorbannezhad[3]
M. Nazerian[4]

[1] Assistant Professor, Biorefinery Department, Faculty of New Technologies Engineering, Zirab campus, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2] MSc Student, Biorefinery Department, Faculty of New Technologies Engineering, Zirab campus, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[3] Assistant Professor, Biorefinery Department, Faculty of New Technologies Engineering, Zirab campus, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[4] Associate Professor, Biosystems Department, Faculty of New Technologies Engineering, Zirab campus, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Corresponding author:
a_partovi@sbu.ac.ir

Received: 2022/09/15
Accepted: 2022/10/23