

اثر عامل‌های جذبی کلیدی بر بازده حذف مواد رنگزای آزو در سامانه‌های ناپیوسته زیست توده: مطالعه سینتیک و هم دماهای جذبی

محمدابراهیم علیا*

استادیار گروه رنگ و محیط زیست، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران

دریافت: دی ۱۳۹۳، بازنگری: اسفند ۱۳۹۳، پذیرش: خرداد ۱۳۹۴

چکیده: در این پژوهش، نظر به اهمیت حذف مواد رنگزای سرطازا از پساب‌های رنگی قبل از ورود به محیط زیست، به بررسی عامل‌های کلیدی موثر بر بازده این فرایند با استفاده از راکتورهای ناپیوسته زیست توده که از نظر اقتصادی قابلیت توجیه و ارتقا به سامانه‌های نیم صنعتی و صنعتی را داراست مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. به همین منظور رنگزای آزو که از پرکاربردترین مواد رنگزای صنعتی است به عنوان ماده آلاینده آلی انتخاب شده و اثر مقدارهای متفاوت pH، مقدار زیست توده، غلظت محلول رنگزا، زمان تماس، مقدار جاذب، دما و سرعت اختلاط بر فرایند جذب مورد بررسی قرار گرفته است. شرایط بهینه فرایند، برای رنگبری محلول رنگزا به غلظت ۲۰ ppm، شامل استفاده از میزان ۱ گرم از زیست توده، در دمای محیط و pH = natural با دور همزدن ۱۵۰ rpm در مدت زمان ۳۰ دقیقه بوده است. مطالعات سینتیکی و بررسی نمودارهای هم دمای جذب تعادلی مربوط به فرایند نیز با هدف تکمیل و بررسی امکان ارتقای سطح فرایند انجام گرفت. بررسی هم دماهای متفاوت جذب نشان داد که رفتار جذب مورد آزمایش از معادله هم دما جذب لانگمویر و فروندلیچ پیروی می‌کند. هم چنین بررسی سینتیکی نشان می‌دهد که فرایند حذف مطابق با مدل سینتیکی شبه درجه دوم است.

واژه‌های کلیدی: فرایند جذب، رنگزای آزو، زیست توده، سامانه ناپیوسته

مقدمه

غذایی به همراه داشته باشند. هم چنین پایداری بالا و انحلالیت خوب در آب نیز که برای بخش تولید دو امتیاز اساسی به شمار می‌آیند در اینجا به عنوان دو عامل منفی باعث تقویت خطرپذیری این مواد در محیط زیست شده اند. در میان مواد رنگزا، رنگزاهای آزو از لحاظ تجاری مهم‌ترین طبقه از رنگها هستند که به تقریب بیش از ۵۰٪ کل مجموع رنگ‌های تولید شده در جهان را تشکیل می‌دهند. به همین دلیل، سامانه‌های متفاوت تصفیه برای حذف این مواد از پساب‌های صنعتی به کار گرفته می‌شود. روش‌های متفاوتی هم چون روش‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و پیشرفته که در این

افزایش روز افزون حجم آب مورد استفاده در صنایع متفاوت از جمله نساجی، کاغذ، پلاستیک و مواد رنگی، در کنار سایر مواد شیمیایی از جمله مواد رنگزای آلی که به عنوان یکی از مواد سرطازا شناخته می‌شوند از یک سو و هدررفت ۱۰ تا ۱۵ درصدی این مواد شیمیایی از سوی دیگر، تولید حجم بالایی از پساب‌های رنگی را فراهم کرده است که امکان دفع مستقیم آنها به محیط زیست مقدور نیست [۱]. چرا که مواد رنگزا نور برخوردی به سطح آب را جذب می‌کنند و مانع رشد آبزیان در آب شده که می‌توانند اثرات مضر را بر روی زنجیره

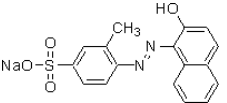
عامل‌های جذبی کلیدی بر بازده حذف مواد رنگزای آزو به وسیله زیست توده موجود در سامانه‌های ناپیوسته پرداخته شده است. به همین منظور، اسید اورانژ ۸ به عنوان یکی از رنگزاهای آزوی پرکاربرد در صنایع گوناگون به عنوان آلاینده و هم‌چنین اسپرژیلوس نایجر نیز که یکی از قارچ‌های پرمصرف با قابلیت توجیه اقتصادی در فرایندهای پالایش شناخته می‌شود، به عنوان جاذب زیستی انتخاب شده است. در راستای بررسی قابلیت ارتقای سامانه ناپیوسته به سامانه‌های نیم صنعتی و صنعتی و با هدف دستیابی به شرایط بهینه فرایند، اثر pH، مقدار زیست توده، غلظت ماده رنگزا، دما و سرعت اختلاط بر فرایند، در زمان بهینه مورد مطالعه قرار گرفته است.

بخش تجربی

مواد

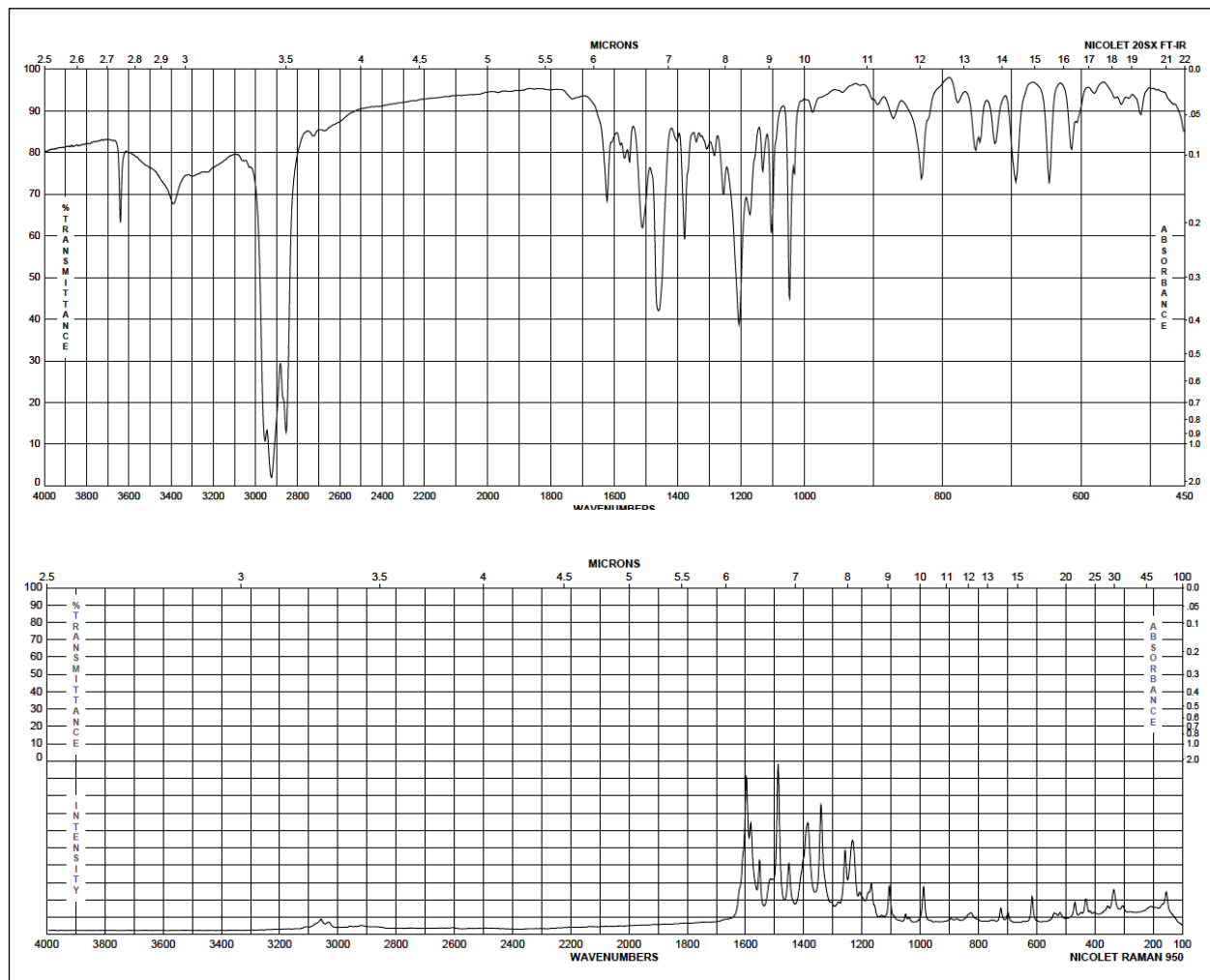
در این پژوهش قارچ اسپرژیلوس نایجر در محیط کشت آزمایشگاه تهیه شد. هم‌چنین، برای تنظیم pH از محلول سولفوریک اسید و سدیم هیدروکسید نرمال شرکت مرک آلمان استفاده شد. ماده رنگزای اسید اورانژ ۸ نیز از شرکت سیگما آلدریج (۶۵٪) تهیه شد. مشخصات مربوط به ماده رنگزا در جدول ۱ و طیف‌های FT-IR و RAMAN مربوط در شکل ۱ آورده شده‌اند. برای تعیین مقدار جذب رنگزا و درصد رنگبری از دستگاه اسپکتروفوتومتر دوپرتویی (Perkin Elmer Lambda 25) استفاده شد. هم‌چنین، برای اختلاط کامل محلول‌ها از لرزاننده IKAKS260 استفاده شد. به منظور به‌دست آوردن جاذب با مقدارهای نانو، از آسیاب ماهواره‌ای Fritsch استفاده شد و دستگاه اسپکتروفوتومتر FT-IR Perkin-Elmer Spectrum One برای تعیین گروه‌های عاملی به کار برده شد. هم‌چنین، SEM مربوط به قارچ تولید شده، با دستگاه LEO 1455VP تهیه شد.

جدول ۱. ویژگی‌های ماده رنگزای اسید اورانژ A (AO8)

وزن مولکولی (g/mol)	شماره نمایه رنگ	λ_{max}	ساختار
۳۶۴٫۳۵	۱۵۵۷۵	۴۹۰	

میان در صورت دستیابی به یک روش کارای فیزیکی می‌توان از این روش‌ها به عنوان فرایندهای مقرون به صرفه اقتصادی، به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی و هم‌چنین عدم تولید فرآورده‌های واسطه بهره برد. البته، در تصفیه خانه‌هایی که تنها پالایش فیزیکی برای دفع آلودگی فاضلاب کافی نیست، بهتر است افزون بر تصفیه مکانیکی از پالایش زیستی هم استفاده شود. به همین جهت این نوع پالایش را پالایش ثانویه می‌گویند [۲]. اهمیت این روش به ویژه در پساب‌های با غلظت کم که استفاده از روش‌های شیمیایی مقرون به صرفه نیست مشخص می‌شود [۳]، چرا که در فرایندهای زیستی پالایش پساب‌های خطرناک با استفاده از ارگانسیم‌های زنده و غیر زنده برای شکستن یا تغییر شکل آلاینده‌ها به مواد غیرسمی با سمیت کمتر است [۴ و ۵]. به طور کلی در سامانه‌های پالایش زیستی انواع متفاوت میکرواورگانسیم‌ها فعالیت دارند ولی نقش اصلی بر عهده باکتری‌ها و قارچ‌هاست. قارچ‌ها قدرت جذب بیشتری را نسبت به برخی گونه‌های دیگر میکرواورگانسیم دارند [۶]. در این حوزه، پژوهش‌های زیادی بر روی رنگ‌زدایی با میکرواورگانسیم‌های متفاوت نیز انجام گرفته است [۷ تا ۹].

از سوی دیگر فرایند جذب که کاربرد گسترده‌ای نیز به عنوان یک روش فیزیکی در بیشتر بخش‌های پیش پالایش پیدا کرده است، با گسترش و تنوع جاذب‌ها رو به روست که از این میان می‌توان به جاذب‌های معدنی هم چون ژئولیت، پرلیت و کائولن و کربن اکتیو [۱۰] و یا حتی جاذب‌های پلیمری [۱۱] اشاره کرد. اما با مزایای مطرح شده در سامانه‌های زیستی اگر بتوان از این ترکیبات زیستی بعد از مرگ یعنی زیست توده مرده هم به عنوان جاذب سطحی استفاده کرد، افزون بر کاربری مجدد این ترکیبات می‌توان با توجه به هزینه به نسبت پایین آن‌ها، به شدت هزینه‌های مترتب یک فرایند پالایش را کاهش داد. مطالعات اخیر، نشان داده‌اند که قارچ‌ها و جلبک‌های متفاوت، ظرفیت‌های جذب قابل توجهی را برای حذف فلزات سنگین نشان داده‌اند [۱۲ و ۱۳]، اما مطالعات محدودی برای حذف رنگزا از پساب‌های رنگی گزارش شده است. بنا بر پژوهش‌های صورت گرفته، جذب زیستی رنگزاهای فعال [۱۴] و مستقیم [۱۵]، توسط اسپرژیلوس نایجر در مقالات ذکر شده است. لذا، در این پژوهش به مطالعه اثر



شکل ۱ طیف‌های FT-IR و رامان مربوط به رنگزای اسید اورانژ ۸

روش کار

ی خنثی، با استفاده از آون و آسیاب، پودر خشک به دست آمد. برای به دست آوردن ذرات ریز نانویی به منظور بالا بردن سطح فعال جاذب نیز به ترتیب از سه ساعت آسیاب ماهواره ای، نیتروژن مایع و همزن مکانیکی استفاده شد که شکل ۲-الف بیانگر تصویر ذرات و شکل ۲-ب میکروسکوپ الکترونی پویشی مربوط به جاذب در مقیاس ۱۰۰ nm است. همان گونه که در شکل مشاهده می‌شود ذرات نانو با ابعاد کوچکتر از ۱۰۰ nm قابل مشاهده است.

برای تهیه قارچ اسپرژیلوس نایجر در محیط کشت آزمایشگاه، ابتدا محیط کشت براث برای کشت قارچ اسپرژیلوس نایجر آماده شد، پس از انجام عمل اتوکلاو برای استریل محیط کشت، عمل تلقیح صورت گرفت و محلول به مدت یک هفته درون دستگاه لرزاننده قرار داده شد. برای تبدیل زیست توده زنده به زیست توده مرده، نتیجه پس از اعمال صافی و شست و شو به مدت ۱۵ دقیقه با سدیم هیدرواکسید جوشانیده شد. بعد از رساندن pH به گسترده

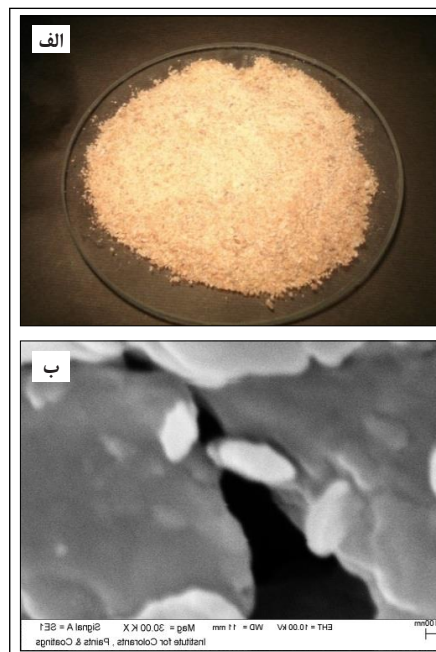
لرزاننده با سرعت ۱۵۰ rpm به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. سپس میزان جذب محلول نهایی پس از اعمال عملیات صاف کردن با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد. به کمک میزان جذب به دست آمده بهترین pH مشخص شد. در نهایت آزمایش فوق برای به دست آوردن عامل‌های بهینه مورد استفاده قرار گرفت.

نتیجه‌ها و بحث

برای به دست آوردن شرایط بهینه فرایند اثر عامل‌های کلیدی مؤثر بر بازده فرایند به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت.

اثر تغییرات مقدار زیست توده در جذب

مقدار زیست توده به عنوان جاذب نقش بسیار کلیدی در بازده فرایندهای جذب دارد. به همین دلیل به عنوان نخستین عامل مورد مطالعه قرار گرفت. با تغییر مقدار جاذب در شرایط یکسان نتیجه‌های به دست آمده در شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت زیست توده بازده فرایند تا مقدار معینی که مقدار بهینه فرایند است، افزایش یافته و پس از آن مقدار ثابت و کمی رو به پایین را پیدا می‌کند. همان گونه که در سایر مطالعات نیز آورده شده، با افزایش مقدار جاذب و به تبع آن تعداد مکان‌های فعال جذبی و بازده افزایش پیدا می‌کند اما بعد از عبور از مقدار بهینه (۱ گرم) به دلیل این که افزایش غلظت زیست توده خشک شده در محلول باعث شده ذرات زیست توده پودر شده به یکدیگر بچسبند و مانع دسترسی مولکول‌های رنگ به سطوح فعال زیست‌توده شوند بنابراین، ازدیاد مقدار زیست توده تاثیر چندانی در جذب نخواهد داشت [۱۶]. همچنین به دلیل سست بودن برخی از پیوندهای الکترواستاتیکی جذب افزایش بیش از اندازه مقدار جاذب نیز باعث برخورد ذرات و رهاسازی ماده رنگزا می‌شود که تا حدی کاهش بازده را در فرایند به همراه خواهد داشت. از این‌رو، مقدار بهینه زیست توده به دست آمده و در سایر مطالعات مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲ شمایی از (الف) تصویر ذرات و (ب) آنالیز SEM آن‌ها

سپس، رنگبری رنگزای اسید اورانژ ۸، با مقدارهای متفاوت قارچ مورد آزمایش واقع شد. برای بررسی مقدار غلظت ماده رنگزا در محلول، مقدار جذب محلول در زمان‌های متفاوت از فرایند، با دستگاه اسپکتروفوتومتر دوپرتویی قرائت شد. در ابتدا نیز نمودار کالیبراسیون ماده رنگزا برای تعیین کردن گستره خطی بی‌لامبرت ($A = \epsilon bc$) انجام شد. که در آن A مقدار جذب، ϵ ضریب جذب مولار ($l/mol.cm$)، b طول سل اسپکتروفوتومتر (cm) و C غلظت رنگزا (mol/l) است.

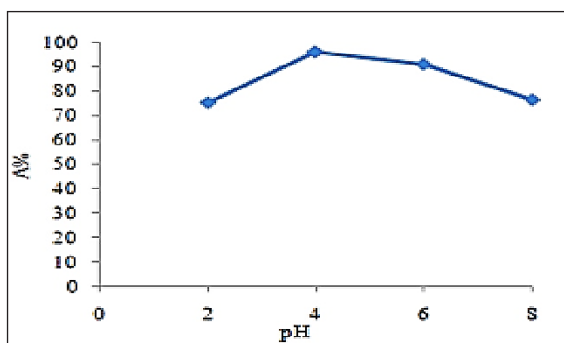
متناسب با این نمودارها و با استفاده از رابطه ۱ مقدار غلظت رنگزا و در حقیقت کاهش مقدار ماده رنگزا و یا به عبارت بهتر بیانگر مقدار رنگزای جذب شده، محاسبه شد.

$$q_e\% = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن C_0 و C_e به ترتیب غلظت ابتدایی و غلظت در زمان t رنگزا است.

پس از به دست آوردن گستره غلظت‌های رنگزا محلول فوق تحت pHهای متفاوت (۱ تا ۸) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار جاذب یک گرم در دستگاه

آن در pH اسیدی باشد. در pHهای بیشتر از ۴، سطح جذب بار منفی کسب کرده و یک دافعه الکترواستاتیکی بین جاذب و رنگزا اتفاق می‌افتد. برای تبدیل شرایط در مقیاس‌های صنعتی باید در نظر داشت بهترین حالت برای بخش صنعت عدم استفاده از محلول‌های اسیدی یا بازی به عنوان یک ماده شیمیایی است. با توجه به قرار گرفتن pH خود محلول رنگزا در حدود ۵٫۵ و قابل قبول بودن بازده فرایند در این گستره، نتیجه‌ها نشان می‌دهد برای مقیاس‌های بزرگتر می‌توان بدون استفاده از مواد افزودنی شیمیایی و در گستره pH خود محلول رنگزا هم نتیجه‌های قابل قبولی داشت (شکل ۴).

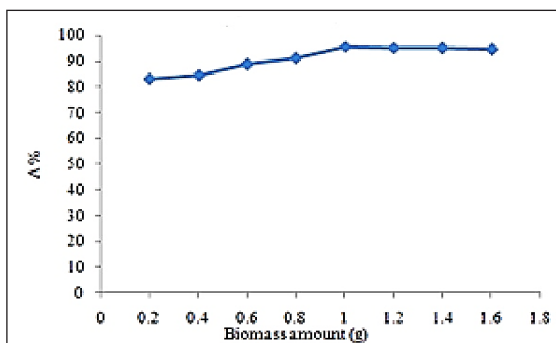


شکل ۴ اثر تغییرات pH

(۲۵۰ ml محلول ۲۰ ppm در تماس با ۱ g زیست توده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر با ۵٫۵، زمان ۳۰ min و دور ۱۵۰ rpm)

اثر تغییرات زمان تماس در جذب

به منظور دستیابی به زمان تماس مناسب از نظر اقتصادی و درصد حذف رنگ زمان‌های تماس متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. این آزمایش برای غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه انجام گرفت. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که میزان جذب با گذشت زمان دارای یک مقدار بهینه بوده و بعد از آن تغییر قابل توجهی ندارد به این معنی که ظرفیت جذب زیست توده در زمان بهینه کامل شده و بعد آن ثابت می‌ماند (شکل ۵). این موضوع را نیز می‌توان به دلیل وجود گروه‌های عاملی فعال در دیواره سلول قارچ است که در واقع جاذب رنگ است و باعث افزایش سرعت جذب در دقایق اولیه تماس می‌شود، نسبت داد.



شکل ۳ اثر مقدار بیومس

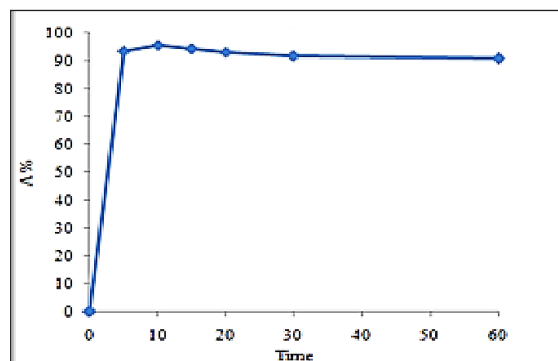
(۲۵۰ ml محلول ۲۰ ppm در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر با ۵٫۵، زمان ۳۰ min و دور ۱۵۰ rpm)

اثر تغییرات pH بر بازده فرایند جذب

با توجه به اهمیت نقش pH در راندمان فرایند جذب رنگ ابتدا به بررسی اثرات pHهای متفاوت بر روی مقدار جذب رنگ پرداخته شد و اثر pH بر میزان جذب رنگزا در عدم حضور جاذب بررسی شد و نتیجه‌ها حاکی از این بودند که در گستره pH برابر با ۲ تا ۸ تغییر قابل توجهی در مقدار جذب رنگزا مشاهده نشود. سپس، pH محلول رنگزا با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در گستره ۲ تا ۸ و با استفاده از محلول‌های سولفوریک اسید و سدیم هیدروکسید تنظیم شد. سپس محلول با زیست توده مورد نظر به مدت ۳۰ دقیقه با دستگاه لرزاننده به هم زده شد. درصد حذف به pH وابسته است و سازوکار جذب رنگ به وسیله آسپرژیلوس نایجر در pHهای به تقریب اسیدی بهتر بوده است. در اکثر پژوهش‌های گذشته وجود یون‌های OH⁻ یا H⁺ در برقراری پیوندهای الکترواستاتیکی بین رنگزا و سطح جاذب و یا به عبارت بهتر کمک به افزایش بازده جذب نقش داشته است [۱۷ و ۱۸] و به طور طبیعی این مساله در مورد فرایند حاضر نیز صادق است. نتیجه‌های به دست آمده از شکل ۴ نشانگر این است که در pH برابر با ۴ بیشترین میزان رنگ‌بری اتفاق افتاده و در pHهای کمتر و بیشتر از این مقدار، مقدار رنگ‌بری کاهش یافته است. این طور به نظر می‌رسد که در pHهای کمتر از ۴، سطح جاذب به شدت مثبت شده و با وجود انتظار جهت میزان بیشتر جذب رنگزا بر روی جاذب، کاهش اتفاق افتاده که می‌تواند به دلیل ساختار شیمیایی مولکول رنگزا و رفتار

اثر تغییرات دمای زیست توده در جذب

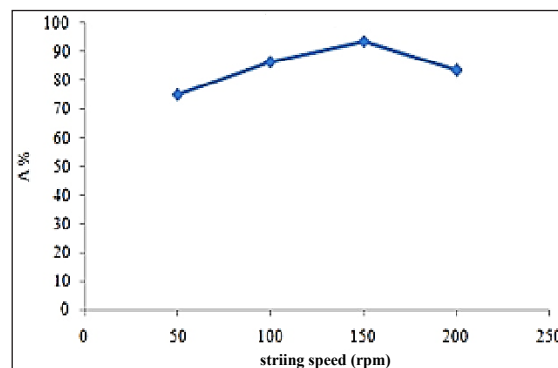
مقدارهای به دست آمده از آزمایش جذب در دو دمای ۲۵ و ۳۵ °C نشان می‌دهد با افزایش ده درجه‌ای دما جذب به مقدار ناچیزی ($\geq 4\%$) افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش دما تعداد برخوردهای بین ذرات و سطح جاذب زیاد شده و میزان جذب تا حدی افزایش می‌یابد [۲۰]. اما با توجه به اقتصادی نبودن نسبت افزایش دما با مقدار افزایش جذب، در فرایندهای مقیاس بالا و نیاز به انرژی و هزینه بسیار زیاد برای افزایش دمای ده درجه ای که مورد قبول بخش‌های صنعتی نیست دمای محیط (۲۵ درجه) به عنوان دمای پهنه انتخاب شد.



شکل ۵ اثر تغییرات زمان تماس در بازده جذب
۲۵۰ ml محلول ۲۰ ppm در تماس با ۱ g زیست توده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر با ۵/۵، زمان ۳۰ min و دور ۱۵۰ rpm

اثر تغییرات سرعت اختلاط در جذب

در این قسمت اثر سرعت اختلاط بر روی میزان جذب بررسی شد. دور لرزننده برای محلول رنگزا، از ۵۰ rpm تا ۲۰۰ rpm متغیر بوده و اثرات این تغییر بر روی جذب بررسی شد. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، نتیجه‌های به دست آمده نشان داد بیشینه رنگ جذب شده با زیست توده در ۱۵۰ rpm بوده و با بیشتر شدن دور لرزاننده بیش از ۱۵۰ rpm مقدار جذب کاهش یافته می‌یابد. با افزایش دور لرزاننده (بیش از ۱۵۰ rpm) ضخامت لایه‌ای از محلول که با زیست توده در تماس است کم می‌شود و سطح تماس کاهش پیدا می‌کند. هم چنین در طی سرعت‌های بالا بر اساس افزایش برخورد ذرات جاذب و سست بودن پیوندهای جذبی امکان رهاسازی مجدد رنگزا در محلول وجود داشته و در نهایت منجر به کاهش بازده جذب می‌شود [۱۹].



شکل ۶ اثر تغییرات سرعت اختلاط بر بازده جذب
۲۵۰ ml محلول ۲۰ ppm در تماس با ۱ g زیست توده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر با ۵/۵، زمان ۳۰ min و دور ۱۵۰ rpm

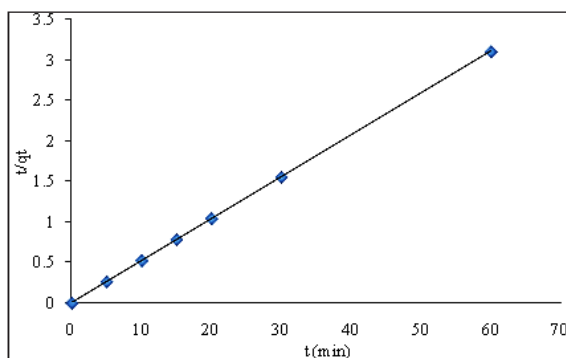
از آنجایی که هم دماهای جذبی در کنار معادلات سینتیکی مکمل یکدیگر برای شناخت فرایند می‌باشند مطالعه داده‌های بدست آمده، تطابق فرایند با هم دماهای جذبی لانگمویر و فروندلیچ را نشان می‌دهند [۲۳ تا ۲۵].

$$q_e = \frac{1}{Q_{\max}} c_e + \frac{1}{bQ_{\max}} \quad \text{معادله لانگمویر}$$

$$\text{Log}(q_e) = \text{Log}(k) + \frac{1}{n} \text{Log}(c_e) \quad \text{معادله فروندلیچ}$$

به طوری که q_e بار تعادلی بر روی جاذب (mg/g)، Q_{\max} ظرفیت جذب نهایی جاذب (mg/g)، b انرژی نسبی جذب سطحی، C_e غلظت تعادلی در جریان پساب (mg/l)، K ظرفیت جذب سطحی و n بیانگر شدت جذب سطحی است.

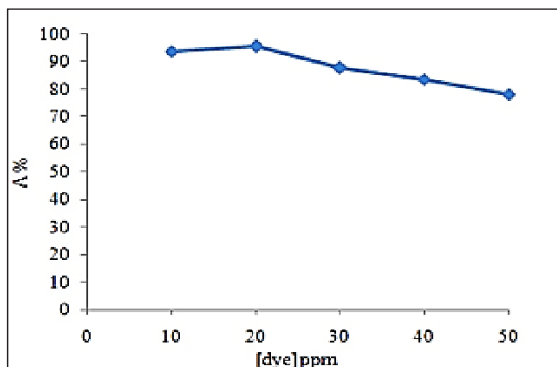
نتیجه‌های به دست آمده از هم دماهای جذبی در جدول ۲ آمده است. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که بیشینه ظرفیت جذب جاذب معادل ۷۱٫۴۲۸ mg/g است.



شکل ۸: مدل سینتیکی شبه درجه دوم

نتیجه گیری

در این پژوهش، اثر پارامترهای کلیدی موثر بر فرایند جذب ماده رنگزای اسید اورانژ ۸ با استفاده از زیست توده قارچ آسپرژیلوس نایجر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. شرایط بهینه جذب نیز به شرح (محلول ۲۰ ppm از رنگزا با میزان ۱ گرم از زیست توده، در دمای محیط و $\text{pH} = \text{natural}$ با سرعت اختلاطی معادل ۱۵۰ rpm در مدت زمان ۳۰ دقیقه) به دست آمد. بررسی هم دماهای متفاوت جذب نشان داد که رفتار جذب مورد آزمایش از معادله هم دما



شکل ۷: تأثیر مقدار غلظت رنگزا (۲۵۰ ml محلول ۲۰ ppm در تماس با ۱ g زیست توده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH برابر با ۵٫۵، زمان ۳۰ min و دور ۱۵۰ rpm)

تعیین سینتیک و بررسی نمودارهای هم دمای جذب تعادلی به منظور شناخت کامل فرایند و در راستای امکان سنجی افزایش مقیاس فرایند در مقیاس‌های نیم صنعتی و صنعتی مطالعات سینتیک و هم دماهای جذبی انجام شد. تطابق مطالعات انجام گرفته با مدل سینتیکی شبه درجه دوم بر روی داده‌های به دست آمده در فرایندهای جذبی، در این پژوهش نیز به چشم می‌خورد. با در نظر گرفتن معادلات سینتیکی شبه مرتبه دوم و روابط مربوط به آن می‌توان به مقادیر ثابت سینتیکی فرایند دست یافت [۲۲].

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

q_e مقدار رنگزای جذب شده در تعادل (mg/g) و k ثابت سرعت تعادل شبه مرتبه دوم (g/mg.min) است. نمودار مربوطه در شکل ۸ رسم شده است. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که مقدار R^2 برای جذب رنگزا بر روی جاذب، ۰٫۹۹۹۵ است و بنابراین سینتیک جذب بر مدل شبه مرتبه دوم منطبق است. مقادیرهای k و R^2 محاسبه شده و در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ مقادیرهای به دست آمده از دو معادله لانگمویر و فروندلیچ

Color	لانگمویر			فروندلیچ			سینتیک شبه مرتبه دوم	
	Q_{\max}	b	R^2	n	k	R^2	k	R^2
AO8	۷۱٫۴۲۸	۰٫۳۱۸	۰٫۹۶۲	۱٫۷۳۰	۱۷٫۲۵۸	۰٫۹۲۶	۰٫۲۴۷	۰٫۹۹۹۵

می‌دهد که زیست‌توده مرده آسپرژیلوس نایجر برای حذف ماده رنگزای اسید اورانژ ۸ مناسب بوده و با توجه به قیمت پایین مواد مصرفی قابلیت استفاده در مقیاس‌های بزرگ‌تر را داراست.

جذب لانگمویر و فروندلیچ پیروی می‌کند. هم‌چنین مدل‌سازی سینتیکی نشان می‌دهد که فرایند حذف طبق مدل سینتیکی شبه درجه دوم است. نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها نشان

مراجع

- [1] Q. Baocheng, Z. Jiti, X. Xuemin, Z. Chunli, Z. Hongxia, Z. Xiaobai, Adsorption behavior of Azo Dye C. I. Acid Red 14 in aqueous solution on surface soils. *J. Environ. Sci.* 20 (2008) 704–709.
- [2] Ali-Shahid-Chatha, S.; Asgher, M.; Ali, S.; Ijaz-Hussain, *Carbohydr. Polym.*, 87(2), 1476–1481, 2012.
- [3] Roys, N.; *Econ. Lett.*, 124(3)(2014) 416–419.
- [4] Qian, J.; Lu, H.; Cui, Y.; Wei, L.; Liu, R.; Chen, G.H.; *Water Res.*, 69, 295–306, 2015.
- [5] Cullough, M.C.; Hazon, J.; Introduction to bioremediation. u.s. : Department of energy NABIR grant, 2002.
- [6] Li, Q.; Wu, S.; Liu, G.; Liao, X.; Deng, X.; Sun, D.; Hu, Y; *Sep. purif. Technol.* 34 (2004) 135-142.
- [7] Hussein, H.; Ibrahim, S.F.; Kandeel, K.; Moawad, H.; *Electronic J. Biotech.* 7(1), 30-37, 2004
- [8] Grant, W.D.; long, P.E.; “The Biological treatment of waste.” *Environmental Microbiology Book.* 193-206.
- [9] Cabrera, G.; Gomez, J.M.; Cantero, D.; *Enzyme microb.Tech.*, 36, 301-306, 2004.
- [10] Bahmaei, M.; Rahnavard-Kissomi, Z.; Olya, M.E.; Kasehgari, H.; *JARC*, 7, 67-76, 2013.
- [11] Pirkarami, A.; Olya, M.E.; Najafi, F.; *J. Ind. Eng. Chem.*, 21,387–393, 2015.
- [12] Donmez, G.C.; Asku, Z.; Ozturk, A.; Kutsal, T.A.; *Process Biochem*, 34, 885–892, 1999.
- [13] Nuhoglu, Y.; Malkoc, E.; Gurses, A.; Canpolat, N.; *Bioresource Technol*, 85, 331–333, 2002.
- [14] Khalaf, M.A.; *Bioresource Technol*, 99, 6631–6634, 2008.
- [15] Abd-El-Rahim, W.M.; El-Arady, O.A.M.; Mohammad, F.H.A.; *Desalination*, 249, 1206–1211, 2009.
- [16] Bradford, R.; *Colour physics for industry.* McDonald, England: s.n., S.D.C. 23-30, 1987.
- [17] Kumar, M.N.V.R.; *Reactive & Functional Polymers*, 46, 2000.
- [18] Yanbiao, L.; Xiaojie, G.; Baoxue, Z.; Bitao, X.; Jinhua, L.; Chaoping, D.; Jing, B.; Weimin, C.; *J. Hazard. Mater.*, 171, 678, 2009.
- [19] Ekmekyapar, F.; Aslan, A.; Bayhan, Y.K.; Cakici, A.; *J. Hazard. Mater.*, B137, 293-298, 2006.
- [20] Fourest, E.; Roux, J.C.; *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 37, 399-403, 1992.
- [21] Sag, Y.; *process Biochem*, 3, 273-281, 1998.
- [22] Ho, Y.S.; McKay, G.; *Process Biochem.* 34, 451-465, 1999.
- [23] Filik-Iscen, C.; Kiran, I.; Ilhan, S.; *J. Hazard. Mater.*, 143, 335-340, 2007.
- [24] Deniz, F.; Saygideger, S.D.; *Bioresource Technol.*, 101, 5137–5143, 2010.
- [25] Anjaneya, O.; Santoshkumar, M.; Nayak-Anand, S.; Karegoudar, T.B.; *Int. Biodeter. Biodegr.*, 63, 782–787, 2009.

Effect of adsorption key parameters for the removal of an azo dye on biomass in a batch reactor: kinetic and isotherm studies

M.E. Olya*

Assistant Prof. of color and Environmental, Institute for Color Science and Technology (ICST), Tehran, Iran

Received: January 2015, Revised: February 2015, Accepted: June 2015

Abstract: In the present research, due to the carcinogenic effect of the colored wastewaters, the influence of key operational parameters such as pH, biomass dosage, dye concentration and temperature were studied in a batch reactor. In this regard, an azo dye, one of the most common industrial dyes, are selected as a pollutant and the optimum condition for the adsorption of dye on biomass was attained. This condition for the adsorption of dye with the concentration of 20 ppm on 1 g of biomass was obtained at ambient temperature, pH= neutral, agitation speed of 150 rpm for 30 min. Kinetic and adsorption isotherms were evaluated for process scale up. It has been shown that the experimental data properly satisfy by the Langmuir and Freundlich isotherms. Also, it was found that the adsorption process follows the pseudo-second-order model.

Keywords: Adsorption, Azo dye, Biomass, Batch reactor