

جذب رنگ آلاینده قرمز اسیدی ۲۰۶ از محلول آبی با استفاده از توده سلولی مرده قارچ آیرپکس لاکتیوس (Irepex Lacteous)

عزیزه عبدالملکی^{۱*}، کاظم مهران پور^۲، رضا مرادی^۳ و سعید نجفی^۴

۱- استادیار شیمی تجزیه، گروه شیمی، واحد تویسرکان، دانشگاه آزاد اسلامی، تویسرکان، ایران

۲- استادیار شیمی کاربردی، گروه شیمی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۳- دکترای شیمی کاربردی، گروه شیمی، واحد تویسرکان، دانشگاه آزاد اسلامی، تویسرکان، ایران

۴- کارشناسی ارشد شیمی کاربردی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

دریافت: شهریور ۱۳۹۲، بازنگری اول: آبان ۱۳۹۲، بازنگری دوم: آذر ۱۳۹۲، پذیرش: دی ۱۳۹۲

چکیده: در این پژوهش حذف یک رنگ آزو (قرمز اسیدی ۲۰۶) از محلول آبی با استفاده از توده سلولی مرده قارچ آیرپکس لاکتیوس (Irepex Lacteous) مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیر pH اولیه محلول، غلظت اولیه رنگ و دما بر میزان جذب زیستی مورد بررسی قرار گرفت. در $pH = 3$ ، غلظت اولیه 150 ppm و در دمای 20 درجه سانتی‌گراد، بیشترین مقدار جذب رنگ بر روی فاز مشاهده شد. نتیجه‌های آزمایشگاهی نشان داد که مدل سینتیکی شبه درجه‌ی اول اصلاح شده و هم دما فیتز و اشلاندر برای بررسی فرایند جذب رنگ مذکور مناسب است.

واژه‌های کلیدی: جذب زیستی، Irepex Lacteous، مدل ایزوترم، قرمز اسیدی ۲۰۶

مقدمه

ورود این آلاینده‌ها به محیط زیست آلودگی زیادی ایجاد می‌شود. روش‌های جذبی از جمله روش‌های مورد استفاده در حذف یا کاهش آلودگی‌های رنگی و غیررنگی از پساب‌هاست. استفاده از جاذب‌هایی مانند زغال فعال و یا توده زیستی‌های طبیعی و سنتزی از جمله این روش‌ها در جذب آلودگی‌های آب است و پژوهش‌های زیادی روی آن‌ها انجام شده است [۲ تا ۵]. بیشتر پژوهش‌های انجام گرفته بر روی جاذب‌های زیستی با استفاده از فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌هایی همچون انواع قارچ‌ها، جلبک‌های میکروسکوپی و باکتری‌ها در حالتی که آن‌ها زنده هستند انجام گرفته است [۶ تا ۹] و پژوهش‌های محدودی بر روی توده زیستی مرده این جاذب‌ها انجام شده است. با توجه

در دهه‌های اخیر به علت کمبود منابع آب شیرین در مناطق خشک و نیم خشک کره زمین از جمله ایران، حفظ و نگهداری و استفاده مناسب از منابع آب شیرین مورد توجه ویژه قرار گرفته است. به همین دلیل استفاده از روش‌های تصفیه پساب جهت جلوگیری از آلودگی منابع سطحی و عمقی آب گسترش یافته است. رنگ‌های موجود در پساب‌های صنعتی از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های آب به حساب می‌آیند. بر اساس پژوهش‌های انجام گرفته حدود پانزده درصد از کلیه رنگ‌های تولیدی در جهان در صنایع نساجی به کار می‌روند و در این میان رنگ‌های آزو در صنایع نساجی از تنوع و کاربرد زیادی برخوردارند [۱]. در صورت

تعیین غلظت کالیبره شدند.

به منظور تنظیم pH از دستگاه pH متر مدل Horiba (M12) ساخت ژاپن و با به کار بردن محلول‌های رقیق هیدروکلریک اسید و سدیم هیدروکسید با غلظت ۰٫۱ مولار استفاده شد. قابل ذکر است که در کلیه مراحل آزمایش از جمله تهیه محلول‌ها از آب دوبار تقطیر شده استفاده شد.

روش آماده‌سازی توده زیستی قارچی آیرپکس لاکتیوس
 هاگ‌ها در محیط کشت مناسب روی سطح آگار سیب زمینی/ گلوکز در دمای ۳۰ °C برای تلقیح آماده‌سازی شدند. محیط کشت محلولی شامل ۳۰ گرم نشاسته، ۱ گرم پتاسیم دی هیدروژن فسفات، ۰٫۵ گرم سولفات منیزیم هفت آبه و ۱ گرم پیتون که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. pH قبل از اتوکلاو کردن روی ۵ تنظیم شد. گرمخانه‌گذاری آیرپکس لاکتیوس در ارلن مایر ۵۰۰ میلی‌لیتری که حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت است در دمای ۳۰ °C انجام گرفت. بعد از ۶۰ ساعت از زمان قرارگیری در گرمخانه‌گذاری، توده سلولی سانتی‌فیوژ و با آب دو بار تقطیر چندین بار شست‌وشو شد به گونه‌ای که pH محلول به دست آمده از شست‌وشو به حد آب مقطر رسید. برای این که تمام توده زیستی به کار رفته در پژوهش به صورت مرده در آید، این توده در دمای ۱۳۰ °C و ۱۳ PSI و ۱۸ PSI برای مدت ۶۰ دقیقه درون اتوکلاو قرار داده شد و سپس در دمای ۷۰-۶۰ °C به مدت ۳۶ ساعت در آن خشک شد. توده زیستی خشک شده با استفاده از هاون به صورت پودر و سپس با استفاده از غربال‌های استاندارد ابعاد آن به کمتر از ۳۰۰ میکرومتر در آمد.

روش بررسی تأثیر pH بر روی فرایند جذب

برای بررسی تأثیر pH در فرایند جذب مقدار ۰٫۲ گرم از توده زیستی را در ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول رنگ (با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار داده و با استفاده از pH متر و محلول‌های سود ۰٫۱ مولار و هیدروکلریک اسید ۰٫۱ مولار pH محلول در هر آزمایش جداگانه بین ۳ تا ۱۱ با گام‌های ۱ واحدی تنظیم شد. با اندازه‌گیری

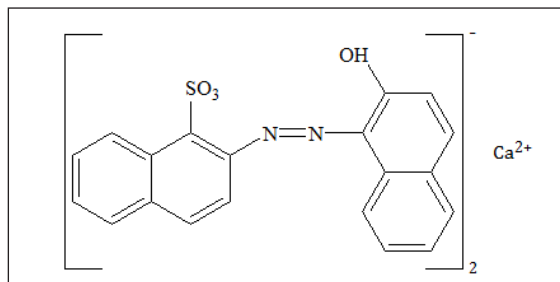
به این که منبع توده سلولی به کار رفته از یک قارچ زنده اولیه به دست آمده است لذا فرایند را می‌توان از نوع جذب زیستی در نظر گرفت.

در این پژوهش با استفاده از توده سلولی مرده یک نوع قارچ ریشه سفید به نام آیرپکس لاکتیوس، فرایند جذب یک نمونه آلاینده رنگی از نوع دی آزو که در صنایع نساجی کاربرد دارد و با میکرو ارگانسیم‌ها قابل تجزیه نبوده و باعث آلودگی منابع آب می‌شود مورد بررسی قرار گرفته و مدل‌های هم‌دمای مناسب و سینتیک فرایند جذب این رنگ بررسی و تعیین شده است.

بخش تجربی

مواد و روش‌ها

رنگ قرمز اسیدی ۲۰۶ (AR206) از شرکت R.O.D کشور چین تهیه شد که در شکل ۱ ساختار آن نشان داده شده است. بقیه مواد شامل هیدروکلریک اسید، سدیم هیدروکسید، پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات، منیزیم سولفات هفت آبه، نشاسته و پیتون ساخت شرکت مرک (Merk) آلمان بود. اسپور (هاگ) قارچی *Irpex Lacteus* سویه ۶۱۷/۹۳ از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شد.



شکل ۱ ساختار شیمیایی رنگ قرمز اسیدی ۲۰۶ (AR206)

غلظت محلول رنگ با تعیین مقدار جذب محلول با استفاده از دستگاه طیف‌سنج UV-Vis مدل (Perkin Elmer lambda 25) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری جذب از سل‌های سیلیکا با مسیر عبور ۱ cm استفاده شد. مقادیر جذب در طول موج بیشینه ۵۱۴٫۷ نانومتر ثبت شد و محلول رنگ در گستره‌ی جذبی آن‌ها برای

و سپس مقدار تغییرات غلظت محلول رنگی در هر ۱۰ دقیقه بازه زمانی تعیین شد. از این نتیجه‌ها برای رسم نمودارهای لازم بر اساس مدل‌های سینتیکی استفاده شد.

روش بررسی تأثیر دما در فرایند جذب آلاینده رنگی

برای بررسی تأثیر دما ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از توده زیستی قارچی در ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول رنگی قرار داده شد و pH محلول تنظیم شد سپس با استفاده از تنظیم کننده دما، دمای محلول تثبیت شد. در دماهای (۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) به طور جداگانه و در بازه‌های زمانی ۱۰ دقیقه ای نمونه‌گیری انجام شد. با استفاده از طیف‌سنج مقدار جذب در طول موج بیشینه جذب اندازه‌گیری و سپس مقدار تغییرات غلظت محلول رنگی در هر بازه زمانی و در هر دما به‌طور جداگانه تعیین شد. تمام آزمایش‌های جذب زیستی پنج بار و در ارلن مایر که برای جلوگیری از تبخیر با پارافیلیم بسته شده است و روی همزن چرخشی با سرعت ۱۲۵ rpm انجام گرفت و میانگین مقدارها برای تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار برده شده است.

نتیجه‌ها و بحث

برای بررسی و تحلیل نتیجه‌های مرتبط با متغیرهای متفاوت لازم است از ظرفیت جذب^۱ استفاده شود که از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

که در این رابطه q_e ظرفیت جذب بر حسب mg/g ، C_i و C_e به ترتیب غلظت‌های اولیه و غلظت‌های در حال تعادل رنگ در محلول بر حسب mg/l ، V حجم محلول بر حسب ml و m مقدار جذب بر حسب mg است.

بررسی اثر pH اولیه محلول در میزان حذف رنگ AR206

همان‌طور که در شکل ۲ آورده شده است، با افزایش pH اولیه محلول رنگی میزان ظرفیت جذب توده زیستی قارچی کاهش

تغییرات مقدار جذب محلول رنگی در طول موج بیشینه جذب با استفاده از طیف‌سنج و با به کار بردن قانون بیر-لامبرت می‌توان تغییرات غلظت رنگ در محلول و از آن‌جا تأثیر pH را در فرایند جذب مورد بررسی قرار داد.

روش بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ

برای بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از توده زیستی قارچی در ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول رنگی با غلظت بین ۲۵۰-۵۰۰ mg/l (با گام‌های ۲۵ mg/l) مشخص قرار داده شد و pH محلول (معادل ۳) تنظیم شد. سپس با استفاده از تنظیم کننده دما مدل MLW ساخت کشور آلمان دمای محلول تثبیت شد. بعد از گذشت ۲ ساعت نمونه‌گیری انجام شد. با استفاده از طیف‌سنج مقدار جذب در طول موج بیشینه جذب اندازه‌گیری و سپس مقدار تغییرات غلظت محلول رنگی در بازه زمانی ۵ ساعت برای هر غلظت اولیه رنگ به‌طور جداگانه تعیین شد.

روش بررسی ایزوترم جذبی

برای بررسی ایزوترم جذبی رنگ یاد شده، مقدارهای متفاوت از توده زیستی (بین ۰/۰۵ تا ۰/۵ گرم) (با گام‌های ۰/۰۵ گرم) در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگ با غلظت مشخص (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) قرار داده شد. پس از گذشت مدت زمان لازم برای رسیدن به تعادل از محلول رنگ نمونه‌گیری و با استفاده از طیف‌سنج تغییرات جذب محلول رنگی و از آن‌جا تغییرات غلظت محلول رنگی مشخص شد.

روش بررسی سرعت جذب رنگ با استفاده از توده زیستی

برای اندازه‌گیری سرعت جذب، به محلول رنگ با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH معادل ۳، مقدار ۰/۲ گرم از توده زیستی افزوده شد. و در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی‌گراد و در فاصله‌های زمانی یکسان از محلول رنگ نمونه‌گیری انجام گرفت. با استفاده از طیف‌سنج مقدار جذب در طول موج بیشینه جذب اندازه‌گیری

1. Sorption capacity

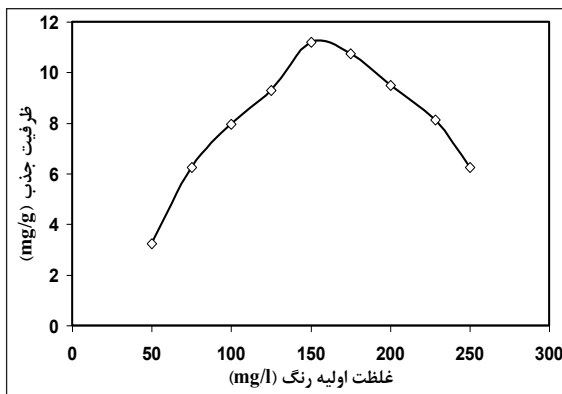
بررسی اثر غلظت اولیه در میزان حذف رنگ AR206

همان طور که در شکل ۳ آورده شده است، با افزایش غلظت اولیه رنگ میزان ظرفیت جذب توسط توده زیستی قارچی افزایش یافته است. با توجه به نمودار نشان داده شده در این شکل، میزان افزایش فرایند جذب رنگ با استفاده از توده سلولی مرده قارچ آیرپکس لاکتیوس با روش نمونه‌گیری از محلول رنگی در زمان‌های متفاوت انجام شده است. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که با افزایش غلظت اولیه رنگ، میزان جذب رنگ روی سطح توده زیستی قارچی ابتدا تا غلظت اولیه ۱۵۰ mg/l افزایش می‌یابد زیرا با افزایش غلظت اولیه رنگ تعداد مولکول‌های رنگ که به سطح جاذب می‌رسند افزایش می‌یابد. اما با افزایش بیشتر از ۱۵۰ mg/l به علت پر شدن مکان‌های فعال جذب کننده بر روی توده زیستی مقدار بازدهی جذب کاهش می‌یابد. این روند تأثیر غلظت اولیه رنگ در فرایند جذب زیستی در پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه نیز مشاهده می‌شود [۱۴].

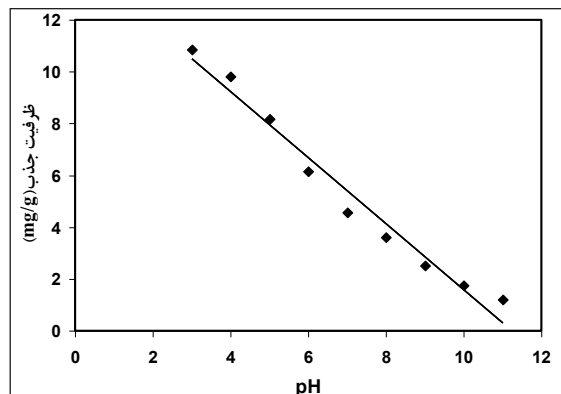
مقایسه معادلات جذبی در فرایند حذف رنگ با استفاده از توده سلولی مرده قارچ آیرپکس لاکتیوس

در این بخش معادلات مربوط به مدل‌های جذبی^۱ معرفی

یافته است. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده مشخص می‌شود که pH از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در فرایند جذب است این تأثیر در فرایند جذب رنگ با استفاده از توده زیستی جلبک‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و مخمرها در پژوهش‌ها انجام شده توسط پژوهشگرانی که فرایند جذب آلاینده‌های رنگی را بر روی این توده زیستی‌ها انجام داده‌اند مشاهده شده است. [۱۰ تا ۱۳] بر اساس این پژوهش‌ها با افزایش غلظت یون هیدروژن (کاهش pH) گروه‌های بازی موجود در سطح جاذب خنثی شده و گروه‌های دارای بار مثبت موجود در سطح جاذب می‌توانند جاذبه هیدرواستاتیک با رنگ‌های آنیونی داشته باشند و مقدار بازدهی جذب را افزایش دهند. این پدیده در پژوهش انجام شده روی جذب رنگ AR206 با استفاده از توده سلولی قارچی دیده می‌شود. با توجه به این که میزان رنگ ایجاد شده در محلول با مقادیر کم رنگ قابل توجه است لذا هر چند مقدار ظرفیت جذب جاذب به نسبت کم است ولی چون میزان بی رنگ شدن محلول قابل توجه است به عنوان جاذبی کار آمد قابل استفاده است. هم‌چنین می‌توان با انجام تغییرات فیزیکی مانند تغییر در اندازه جاذب که منجر به افزایش سطح جاذب می‌شود می‌توان کار آیی جذب را چندین مرتبه افزایش داد.



شکل ۳ بررسی تأثیر غلظت اولیه رنگ بر میزان جذب محلول رنگی AR206 با استفاده از توده زیستی قارچی آیرپکس لاکتیوس در شرایطی که مقدار جاذب ۰/۲ گرم، غلظت اولیه رنگ متغیر (بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر)، pH محلول ۳ و دما ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بود.



شکل ۲ بررسی تأثیر pH اولیه محلول بر میزان ظرفیت جذب محلول رنگی AR206 با استفاده از توده زیستی قارچی آیرپکس لاکتیوس در شرایطی که مقدار جاذب ۰/۲ گرم، غلظت اولیه رنگ ۵۰ ppm و pH محلول متغیر و دما ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بود.

1. Sorption isotherms

$$q = \frac{K_L C}{1 + a_L C} \quad (5)$$

مدل فروندلیش

هر چند در بررسی‌های فرایند جذب معادلات زیادی ارایه شده است اما معادله‌ای که توسط فروندلیش (Frundlich) ارایه شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. معادله فروندلیش از معادله‌ی ۳ با فرض باشد به صورت زیر نوشته می‌شود [۱۷]:

$$q = \frac{k_0}{a} C^{b_0-b} \quad (6)$$

شکل دیگر این رابطه را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$q_e = K_F C^{n_F} \quad (7)$$

که در آن q_i مقدار جرم رنگ جذب شده به ازای واحد جرم توده زیستی قارچی بعد از رسیدن به تعادل است واحد آن (mg/g) است که از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

در زمان مشخص مقدار جرم رنگ جذب شده را به ازای واحد جرم توده زیستی قارچی با نماد mg/g نشان داده می‌شود و بر حسب واحد تعیین می‌شود اگر در رابطه ۱ به جای C_e غلظت در زمان t که با نماد C_t نمایش داده می‌شود قرار داده شود. می‌توان نوشت:

$$q_t = \frac{(C_i - C_t) \times V}{m} \quad (8)$$

اگر از طرفین رابطه فروندلیش لگاریتم بگیریم رابطه به شکل زیر در می‌آید:

$$\log q_e = \log K_F + n_F \log C_e \quad (9)$$

چنانچه نمودار $\log q_e$ را برحسب $\log C_e$ رسم کنیم خطی به‌دست می‌آید که ضریب زاویه آن n_F و عرض از مبدا آن نشان‌دهنده $\log K_F$ است.

مدل ردلیش-پتerson

اگر در معادله‌ی ۲ فرض شود که $b_0 = c = 1$ به معادله‌ی هم‌دمای جذبی ردلیش-پتerson به‌صورت زیر به‌دست می‌آید [۱۸]:

$$q = \frac{k_0 C}{1 + a C^b} \quad (10)$$

می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از [۱۵ تا ۱۸]:

- مدل فریتز و اشلاندر^۱

- مدل لانگمیر^۲

- مدل فروندلیش^۳

- مدل ردلیش-پتerson^۴

مدل فریتز و اشلاندر

اطلاعات به‌دست آمده از مطالعه‌ی فرایندهای تعادلی کمک می‌کند تا ظرفیت جاذبها در فرایندهای جذبی تعیین شود. برای سامانه‌های چند جزئی مدل فریتز و اشلاندر به صورت معادله ۲ ارایه شده است [۱۵]:

$$q_i = \frac{k_{i0} C_i^{b_{i0}}}{c_i + \sum_{j=1}^n a_{ij} C_j^{b_{ij}}} \quad (2)$$

که در این رابطه:

q_i = غلظت‌های در تعادل ترکیب i در فاز جامد برحسب mg/g

C_i = غلظت‌های در تعادل ترکیب i در فاز مایع برحسب mg/l

C_j = غلظت‌های در تعادل ترکیب j در فاز مایع برحسب mg/l

C_i = غلظت ترکیب i در فاز مایع بر حسب mg/l

k_{i0}, a_{ij}, b_{ij} و b_{i0} = ثابت‌های معادله هستند.

اگر در رابطه اخیر $C_j = 0$ در نظر گرفته شود مدل فریتز و اشلاندر (Fritz and Schlunder) برای سامانه‌های حاوی یک ترکیب در فاز مایع به‌دست می‌آید.

$$q = \frac{k_0 C^{b_0}}{c + a C^{b_0}} \quad (3)$$

که به‌طور معمول به شکل زیر نیز بازنویسی می‌شود:

$$q = \frac{k_s C^{b_1}}{1 + a_s C^{b_2}} \quad (4)$$

مدل لانگمیر

اگر در معادله‌ی ۳ فرض شود که $b_0 = b = c = 1$ و ثابت‌های k_0 و a با ثابت‌های ایزوترم لانگمیر یعنی K_L و a_L جای‌گزین شوند، مدل ایزوترم لانگمیر به‌دست می‌آید، که به صورت معادله‌ی ۵ نوشته می‌شود [۱۶]:

1. Fritz and Schlunder

2. Langmuir

3. Frundlich

4. Redlich- Peterson

نتیجه‌های به‌دست آمده از محاسبات فوق در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده بهترین مدل ایزوترم جذبی برای رنگ AR206 مدل ایزوترم جذبی فریتز و اشلاندر که کمترین مقدار RMS را داشت تشخیص داده شد.

بررسی سینتیک حذف رنگ AR206 در فرایند جذب با استفاده از توده‌ی سلولی مرده‌ی قارچ آیریکس لاکتیوس

در این بخش با استفاده از نتیجه‌های تجربی به‌دست آمده با روش وایزش^۲ خطی پیروی اطلاعات جذبی با مدل‌های سینتیکی که روابط آن‌ها در فصل اول توضیح داده شده است مورد بررسی قرار گرفته شده است. مهم‌ترین مدل‌های سینتیکی عبارتند از [۱۶ تا ۱۸]:

- مدل سینتیکی شبه درجه‌ی اول^۳

- مدل سینتیکی شبه درجه‌ی دوم^۴

- مدل سینتیکی اصلاح شده‌ی شبه درجه‌ی اول^۵

نتیجه‌های این بررسی‌ها و روابط هر یک از مدل‌های فوق در جدول ۲ آورده شده است. در روابط موجود در این جدول، q_e غلظت تعادلی در فاز جامد پس از رسیدن به تعادل برحسب (mg/g)، q_t غلظت تعادلی در فاز جامد در زمان مشخص t برحسب (mg/g)، t زمان برحسب (min)، k_1, k_2, k_1 به ترتیب ثابت سرعت فرایند جذب شبه درجه‌ی اول، شبه درجه دوم و شبه درجه اول اصلاح شده است. در این روش، معادلات خطی شده هر یک از مدل‌های فوق مورد استفاده قرار گرفته شد و بهترین خطی که از نقاط به‌دست آمده با روش آزمایشگاهی می‌گذرد با روش برازش خطی ترسیم می‌شود. بر اساس این نتیجه‌ها بهترین مدل سینتیکی که با فرایند جذب برای رنگ یاد شده مطابقت داشته باشد، مدل سینتیکی شبه درجه‌ی اول اصلاح شده تعیین شد.

که به‌طور معمول به صورت زیر نیز نوشته می‌شود:

$$q = \frac{K_R C}{1 + b_R C^\beta} \quad (11)$$

برای تعیین بهترین حالت تطابق نتیجه‌های تجربی و محاسباتی به‌دست آمده از هر یک از مدل‌های یاد شده از روش نیوتن و تعیین ضریب همبستگی بین نتیجه‌های آزمایشگاهی و نتیجه‌های محاسباتی استفاده شد. رابطه نیوتن به صورت زیر است [۱۷]:

$$RMS = \sqrt{\sum_{i=1}^N (q_{ei,cal} - q_{ei,exp})^2 / N} \quad (12)$$

که در این روابط RMS بیانگر میزان انحراف اطلاعات تجربی و محاسباتی و به بیان دیگر معرف میزان خطای مدل از مقدارهای تجربی به‌دست آمده در آزمایشگاه است. در این روابط

$q_{ei,cal}$ = غلظت رنگ در فاز جامد به‌دست آمده با استفاده از

محاسبات

$q_{ei,exp}$ = غلظت رنگ در فاز جامد به‌دست آمده با استفاده از

نتیجه‌های آزمایشگاهی

N = تعداد نقاط به‌دست آمده در روش آزمایشگاهی است.

جدول ۱. تعیین مقدار عامل‌های موجود در مدل‌های هم‌دماهای جذبی متفاوت و خطاهای هر یک از مدل‌ها که با روش نیوتن در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است

RMS	مقدار عامل‌های موجود در مدل‌ها	معادله مدل	نام مدل
۵,۰۳	$K_L = 2,130$ $a_L = 0,023$	$q = \frac{K_L C}{1 + a_L C}$	لانگمیر
۹,۸۷	$K_F = 25,050$ $n_F = 0,260$	$q_e = K_F C^{n_F}$	فروندلیش
۳,۳۴	$K_R = 4,450$ $b_R = 0,092$ $\beta = 1,120$	$q = \frac{K_R C}{1 + b_R C^\beta}$	ردلیش-پترسون
۱,۸۷	$k_s = 7,470$ $a_s = 0,017$ $b_1 = 0,918$ $b_2 = 0,803$	$q = \frac{k_s C^{b_1}}{1 + a_s C^{b_2}}$	فریتز-اشلاندر

1. Root mean square 2. Regression 3. Pseudo-first-order kinetic models 4. Pseudo-second-order kinetic models
5. Modified pseudo-second-order kinetic models

جدول ۲ - مقادیر پارامترهای موجود در مدل‌های سینتیکی مختلف وضرب همبستگی هریک از مدل‌ها

غلظت اولیه رنگ (C ₀) (mg/L) بر حسب	شبه درجه اول $\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t$		شبه درجه اول اصلاح شده $\frac{q_t}{q_e} + \ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - K_1 t$		شبه درجه دوم $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$	
	k ₁ (min ⁻¹)	R ²	K ₁ (min ⁻¹)	R ²	k ₂	R ²
۵۰	۷,۶۵ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۳۸	۳,۷۳ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۹۹۸	۱,۰۲ × ۱۰ ^{-۳}	۰,۸۳۱
۷۵	۳,۵۲ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۲۴	۲,۵۴ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۹۹۶	۳,۴۲ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۴۱
۱۰۰	۲,۲۷ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۱۷	۶,۴۵ × ۱۰ ^{-۵}	۰,۹۹۷	۲,۲۱ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۵۷
۱۲۵	۱,۸۶ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۱۲	۶,۲۱ × ۱۰ ^{-۵}	۰,۹۹۹	۱,۶۷ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۷۲
۱۵۰	۱,۵۸ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۸۳	۵,۵۴ × ۱۰ ^{-۵}	۰,۹۹۹	۱,۴۳ × ۱۰ ^{-۴}	۰,۸۹۴

نتیجه گیری

بر اساس مطالعه‌های انجام شده مشخص شد که توده سلولی قارچ آیرپکس لاکتیوس می‌تواند به عنوان جاذب مناسب برای حذف آلاینده رنگی مورد مطالعه که از نوع رنگ‌های دسته دی آزونیم است، به کار رود. بر اساس نتیجه‌های به دست آمده بیشترین بازدهی جذب برای رنگ AR206 در pH‌های اسیدی است و با افزایش غلظت بیش از ۱۵۰ mg/l بازدهی جذب کاهش می‌یابد. بررسی مدل‌های ایزوترمی نشان داد که بیشترین تطابق با مدل فریتز و اشلاندر وجود دارد. نتایج مطالعات سینتیکی نشان داد که مدل سینتیکی شبه درجه اول اصلاح شده مناسب ترین مدل برای بررسی سرعت فرایند جذب رنگ بر روی توده سلولی مرده قارچ است و سرعت جذب رنگ بر روی توده سلولی مرده قارچ با افزایش دما کاهش می‌یابد.

بررسی تأثیر دما در فرایند جذب رنگ AR206

نتیجه‌های آزمایشگاهی نشان دهنده کاهش ثابت سرعت جذبی رنگ مذکور با افزایش دماست. این نتیجه‌ها در جدول ۳ خلاصه شده است. با توجه به نتیجه‌های پژوهش‌های انجام شده مشابه می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دما سرعت وا جذب رنگ از مکان‌های فعال جذبی بیشتر شده است [۱۹ و ۲۰].

جدول ۳ تأثیر دما در ثابت سرعت جذب رنگ AR206 در محلول آبی با استفاده از توده زیستی قارچی آیرپکس لاکتیوس در شرایطی که غلظت اولیه رنگ ۱۵۰ ppm، pH محلول معادل ۳، مقدار جاذب ۰/۲ گرم و دما متغیر بود

دما بر حسب درجه سانتی‌گراد	ثابت سرعت بر حسب K ₂ (min ⁻¹)
۲۰	۵,۱۳ × ۱۰ ^{-۴}
۲۵	۴,۲۵ × ۱۰ ^{-۴}
۳۰	۳,۳۱ × ۱۰ ^{-۴}
۳۵	۲,۲۶ × ۱۰ ^{-۴}

مراجع

- [1] Anjali, P. A.K.; Sahoo, C.; Dyes Pigments. 69, 224-232, 2006.
- [2] Lorenc-Grabowska. E.; Gryglewicz, G.; J. Coll Interface Sci. 284, 416-423, 2005.
- [3] Garg, V.K.; Moirangthem, A.; Kumar, R.; Gupta, R.; Dyes Pigments. 63, 243-250, 2004.
- [4] Benkli, Y.E.; Can, M.F.; Turan, M.; C- elik, M.S.; Water Res. 39, 487-493, 2005.
- [5] Igor Bezverkhyy, I.; Bouguessa, K.; Geantet, C.; Vrinat, M.; Appl. Catal. B: Environ 62, 299-305, 2006.
- [6] Won, S. W.; Yun, Y. S.; Dyes Pigments. 76, 502-507, 2008.
- [7] Renganathan, S., Thilagaraj, W.R.; Miranda, L.R.; Gautam, P.; Velan, M.; Bioresour. Tech-

- no. 97, 2189–2193, 2006.
- [8] Aksu, Z.; Donmez, G.; Chemosphere. 50, 1075–1083, 2003.
- [9] Won, S. W.; Choi, S. B.; Yun, Y.S.; Colloid Surf. A-Physicochem. Eng. Aspects. 262, 175–180, 2005.
- [10] Aksu, Z.; Tezer, S.; Process Biochem. 40, 1347–61, 2005.
- [11] O'Mahony, T.; Guibal, E.; Tobin, J.M.; Enzyme Microb Technol. 31, 456–63, 2002.
- [12] Hu, T.L.; Water Sci Technol. 34, 89–95, 1996.
- [13] Aksu, Z.; Donmez, G.; Chemosphere. 50, 1075–83, 2003.
- [14] Gadd, G.M.; J. Chem. Technol. Biotechnol. 84, 13 – 28, 2009.
- [15] Won, S. W.; Kim, H. J.; Choi, S. H.; Chung, B. W.; Kim, K. J.; Yun, Y. S.; Chem. Eng. J. 121, 37–43, 2006.
- [16] Ozcan, A.; Oncu, A. E.; Ozcan, A. S.; Coll. Surf. A. 277, 90–97, 2006.
- [17] Uzun, I.; Dyes Pigments. 70, 76–83, 2006.
- [18] Wang, Y.; Mu, Y.; Zhao, Q. B.; Yu, H. Q.; Sep. Purif. Technol. 50, 1–7, 2006.
- [19] Aksu, Z.; Tatlı, A.I.; Tunc, O.; Chem. Eng. J. 142(1), 23–39, 2008.
- [20] Ringot, D.; Lerzy, B.; Bonhoure, J. P.; Auclair, E.; Oriol, E.; Larondelle, Y.; Process Biochem., 40(9), 3008-3016, 2005.