

## مشخصه‌های رفتارستون کربن فعال تولید شده از مخروط کاج در جذب رنگ از محلول‌های آبی

محمد رضا سمرقندی<sup>۱</sup>، مهدی هادی<sup>۲\*</sup>، سعید عزیزیان<sup>۳</sup>، مهری سلیمانی امین آباد<sup>۴</sup>

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان samar3468@yahoo.com

۲- مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان

۳- استاد گروه شیمی-فیزیک دانشکده شیمی دانشگاه بوعلی همدان sazizian@basu.ac.ir

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان mehri.solaimany@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۲۲

### چکیده

برای تهیه جاذب در این مطالعه، از مخروط درخت کاج به منظور حذف رنگهای اسید بلک ۱ (AB1) و اسید بلو (AB113) استفاده شد. مطالعه جذب هر دو رنگ در حالت ناپیوسته به منظور تعیین مدل ایزوترمی مطلوب صورت پذیرفت. مطالعه نشان داد جذب هر دو رنگ توسط جاذب، از مدل ایزوترمی لانگمیر تبعیت می‌کند. مقدار حداکثر ظرفیت جذب تک لایه‌ای رنگهای AB1 و AB113 بر اساس مدل لانگمیر به ترتیب برابر با ۴۵۸ و ۲۸۶ mg/g تعیین شد. همچنین جذب هر دو رنگ در حالت جریان پیوسته با استفاده از ستون بستر ثابت از کربن فعال تولید شده مطالعه شد. مشخصه‌های رفتار ستون از قبیل ارتفاع ناحیه فعال انتقال جرم، ظرفیت کسری ناحیه انتقال جرم، کل ظرفیت جذب ناحیه انتقال جرم، سرعت حرکت ناحیه انتقال جرم، طول زمان تشکیل ناحیه انتقال جرم، درجه اشباع ستون در نقطه شکست و زمان گذر از ناحیه انتقال جرم تعیین شد. نتایج این مطالعه نشان داد به دلیل بزرگی ساختار مولکولی رنگ، فرصت لازم به منظور انتشار مولکول‌های رنگ به ریز منافذ ماده جاذب به‌آسانی فراهم نمی‌شود و از این رو مولکول‌های رنگ به جایگاه‌های جذب جدید در ارتفاع بالاتر از ستون پمپ می‌شوند. مقادیر ظرفیت کسری ناحیه انتقال جرم به ترتیب برای رنگهای AB1 و AB113 برابر با ۰/۲۷۱ و ۰/۳۶۹ تعیین شد. پایین بودن مقدار مشخصه ظرفیت کسری ناحیه انتقال جرم باعث افزایش طول ناحیه انتقال جرم در مورد هر دو رنگ شد. بنابراین افزایش دادن ظرفیت کسری ناحیه انتقال جرم در جذب رنگ با استفاده از کربن فعال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

### کلید واژه

جذب رنگ، ستون بستر ثابت، رفتار ستون، رنگهای اسیدی

### سر آغاز

رنگی به محیط زیست است. بسیاری از این رنگها در مقابل فرایندهای تجزیه بیولوژیکی مقاوم هستند و وجود رنگ در این گونه فاضلابها موجب جلوگیری از نفوذ نور خورشید به داخل آنها و کاهش سرعت فرایندهای فتوسنتتیک در آبهای سطحی می‌شود. بسیاری از این رنگها دارای آثار سرطانزایی بوده و در بسیاری از موارد مولد بروز جهش‌های ژنتیکی در موجودات زنده می‌شوند (Ramakrishna, 1996; Tsui, et al., 2002; Fu & Viraraghavan, 2003; Yeddou & Bensmaili, 2005). به منظور حفظ سلامت انسان و محیط زیست، در کشورهای در حال توسعه بهره‌گیری از روشهای ارزیابی و اقتصادی در حذف رنگ از فاضلابهای نساجی و کارخانه‌های تولید رنگ از اهمیت ویژه‌ای

با توجه به محدود بودن منابع آب و گسترش روزافزون واحدهای صنعتی، افزایش تولید فاضلاب‌های صنعتی و آلوده شدن منابع آب از معضلات اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شوند. فاضلاب‌های حاصل از کارخانه‌ها و مراکز تولیدی به دلیل دارا بودن ترکیبات گوناگون در مقادیر مختلف، روند تصفیه فاضلاب را پیچیده می‌کنند. از میان صنایع مختلف، صنایعی چون صنعت نساجی (Rajgopalan, 1995)، صنعت پالپ و کاغذ سازی (Ali & Sreekrishnan, 2001)، صنعت داروسازی (Koplin, et al., 1999-2000)، صنعت چرم سازی (Routh, 1998) به علت مصرف هزاران نوع مواد شیمیایی رنگی، از وارد کنندگان اصلی آلاینده‌های

همکاران در سال ۲۰۱۱ انجام شد از لاستیک‌های فرسوده به منظور تولید کربن فعال استفاده شد. در این مطالعه میزان حداکثر ظرفیت جذب رنگ اسید بلو ۱۱۳ با جاذب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد  $9/2 \text{ mg/g}$  تعیین شد (Gupta, 2011). در مطالعه‌ای دیگر در کشور چین در سال ۲۰۱۰، از گیاه هفت بند<sup>۱</sup> برای تولید کربن فعال استفاده شد. در این مطالعه مقدار ظرفیت جذب تک لایه‌ای جذب رنگهای بازی مالاشیت گرین و رودامین B بر طبق مدل ایزوترمی لانگمیر به ترتیب برابر با  $480 \text{ mg/g}$  و  $556 \text{ mg/g}$  در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تعیین شد (Li, 2010). مخروط کاج نیز می‌تواند به عنوان ماده‌ای آلی به منظور تولید کربن فعال مورد استفاده قرار گیرد. درخت کاج به عنوان یک درخت تزئینی در اکثر پارک‌ها و تفرجگاهها در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین با شرایط اقلیمی بخش‌های مختلف ایران سازگار است. بنابراین می‌توان مخروط‌های کاج را که بعد از باز شدن پس از مدتی از درخت جدا شده و به زمین می‌افتند، جمع‌آوری و به عنوان ماده اولیه برای تولید کربن فعال مورد استفاده قرار داد. در این مطالعه کربن فعال مورد نیاز به روش شیمیایی گرمایی از مخروط درخت کاج تهیه شد و از دو رنگ صنعتی به نام‌های تجاری اسید بلک 10B و اسید سیانین 5R و به ترتیب با نامهای اندکس شده اسید بلک ۱ و اسید بلو ۱۱۳ برای تهیه محلول‌های رنگی استفاده شد. در این مطالعه فرایند حذف رنگ با استفاده از ستون جاذب کربن فعال تولید شده از مخروط کاج با بستر ثابت و با جریان بالارونده به ارتفاع ۲۰ و قطر ۲ سانتیمتر انجام شد و مشخصه‌های رفتار ستون مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روشها

### تجهیزات مورد استفاده

به منظور توزین مواد شیمیایی مورد استفاده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی با دقت  $\pm 0/0001$  گرم مدل Sartorius ED124S استفاده شد. خشک کردن مواد با استفاده از دستگاه آون ساخت ایران متعلق به شرکت پارس طب انجام شد. pH محلول‌ها با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال Sartorius با مدل PP-50 اندازه‌گیری شد. اختلاط محلول‌های رنگی با استفاده از سیستم همزن القایی Oxitop با مدل IS12 در داخل انکوباتور به منظور تأمین دمای ثابت، با مدل WTW- TS606/2i انجام شد. کوره الکتریکی مدل Exiton برای کربونیزه کردن مخروط‌های کاج استفاده شد. اندازه‌گیری غلظت رنگ نیز با استفاده از دستگاه

برخوردار است (Tsui, et al., 2002; Fu & viraraghavan, 2003). روشهای مختلفی به منظور کاهش ورود فاضلاب‌های رنگی به آبهای سطحی مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است از این روشها می‌توان به استفاده از منعقدکننده‌ها، عوامل اکسیدکننده، غشاهای فرایندهای فتوکاتالیستی، فرایندهای الکتروشیمیایی، فرایندهای بیولوژیکی و تکنیک‌های جذب سطحی اشاره کرد (Ramakrishna, 1996; Tsui, et al., 2002; Fu & Viraraghavan, 2003; Yeddou & Bensmaili, 2005). آنجا که فرایند جذب سطحی ارزانت‌تر بوده و توانایی اجرایی ساده‌تری دارد، از این روش به سایر روشها در اولویت قرار می‌گیرد (Ramakrishna, 1996; Tsui, et al., 2002; Yeddou & Bensmaili, 2005; Ho, 2006). فرایند جذب سطحی امروزه به عنوان مناسب‌ترین تکنیک در حذف آلاینده‌های رنگی و بهبود کیفیت فاضلاب صنایع به منظور استفاده مجدد به لحاظ هزینه کم، طراحی آسان، سهولت در بهره‌برداری و عدم حساسیت نسبت به مواد سمی، فرایندی شناخته شده است (Tsui, et al., 2002).

کربن فعال به عنوان معمول‌ترین و کارآمدترین ماده جاذب شناخته شده، به دلیل هزینه‌های بالای تولید و احیای فرم تجاری آن، در کشورهای در حال توسعه نمی‌تواند به عنوان گزینه‌ای مطلوب مطرح باشد. از این رو تولید آن از مواد اولیه ارزانقیمت و در دسترس، در این کشورها می‌تواند توجیه اقتصادی داشته باشد. تولید کربن فعال از مواد آلی مختلف در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. از این قبیل مطالعات می‌توان به تولید کربن فعال از بادام زمینی (Song, et al., 2011)، مواد زاید صنعتی (Kadirvelu, et al., 2005)، مغز میوه نارگیل (Namasivayam & Kavitha, 2002) و زواید نی هندی (بامبو) (Ahmad & Hameed, 2010) اشاره کرد. در تمامی این مطالعات، کربن فعال توانسته است به نحو مطلوبی و با توانایی جذب چشمگیری در حذف آلاینده‌های مورد مطالعه استفاده شود.

برای نمونه حذف رنگ راکتیو بلک ۵ با استفاده از کربن فعال تولیدی از زواید گیاه بامبو در سال ۲۰۱۰ در مالزی به صورت ناپیوسته و جریان پیوسته بررسی شد. در این مطالعه از روش شیمیایی گرمایی در حضور اسید فسفریک برای فعال‌سازی کربن تولیدی استفاده شد و میزان حداکثر ظرفیت جذب بستر جاذب در غلظت ورودی  $100 \text{ mg/l}$  رنگ،  $39 \text{ mg/g}$  تعیین شد (Ahmad & Hameed, 2010).

الکتربیکی به نحوی که دمای آن بتدریج به ۹۰۰ درجه سانتیگراد در مدت ۳ ساعت برسد، انتقال داده شد. بعد از رسیدن به دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد، راکتور به مدت ۱ ساعت دیگر در این دما نگه داشته شد و بعد از اتمام زمان یک ساعت، کوره خاموش و به آن اجازه داده شد تا دمای آن به آهستگی به دمای محیط برسد.

کربن تولید شده شست‌وشو داده شد تا جایی که مقدار pH آن به بالاتر از ۶/۵ رسید. محصول نهایی، مجدداً به مدت یک ساعت در داخل آون در دمای ۱۲۰ درجه قرار داده شد و سپس با استفاده از هاون آزمایشگاهی خرد و به دنبال آن از الک‌هایی با مش ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ عبور داده شد. کربن‌های الک شده باقیمانده بر روی الک‌های شماره ۳۰، ۴۰ و ۵۰ با یکدیگر مخلوط و به منظور جلوگیری از جذب رطوبت در داخل بطری شیشه‌ای در بسته نگهداری شدند. اندازه متوسط گرانول‌های کربن فعال تولیدی برابر با ۰/۵ میلی‌متر تعیین شد.

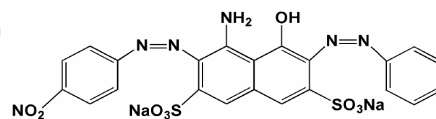
### مشخصات کربن فعال

- مساحت ویژه سطح ( $S_{MB}$ ) کربن فعال تولیدی با استفاده از روش شیمیایی از طریق تعیین غلظت بهینه جذب رنگ متیلن بلو با جذب در دمای ثابت ۲۰ °C تعیین شد (Arnepalli, et al., 2007). همچنین مقدار مساحت ویژه جذب با استفاده از روش جذب گاز نیتروژن با استفاده از مدل ایزوترمی BET ( $S_{BET}$ ) توسط آزمایشگاه تحقیقات کاتالیست پژوهشگاه صنعت نفت تهران تعیین کرد.
- عدد یدی کربن فعال با استفاده از روش استاندارد ASTM D4607-94 تعیین شد (ASTMD4607-94, 1999).
- برای تعیین دانسیته واقعی (d) مقدار مشخصی از ماده جذب تولید شده (بین ۱ تا ۵ گرم)، در ظرفی با حجم مشخص، ریخته و مقدار جرم ظرف و ماده جذب اندازه‌گیری شد. ظرف با دقت تا نصف حجم خود از آب پر و سپس به مدت یک ساعت به منظور خارج کردن هوا از بین منافذ ماده جذب جوشانده شد. بعد از سرد شدن آب، مجدداً آب مقطر به داخل ظرف، ریخته شد تا حجم اولیه تأمین شود. با تعیین حجم آب جابه‌جا شده چگالی واقعی جذب تعیین شد (Rudenko & Palagina, 2000).
- برای تعیین دانسیته ظاهری ( $\delta$ ) ماده جذب، مقدار مشخصی از آن بر روی یک توری سیمی قرار داده و با وارد کردن آن در پارافین مذاب، عمده منافذ ماده جذب با پارافین پر شد. سپس توری از داخل پارافین خارج و بعد از سرد شدن ماده جذب و پارافین، مجدداً توزین آن انجام شد. بعد از پر شدن منافذ، ماده جذب مجدداً به داخل ظرف برگردانده و به ظرف آب مقطر اضافه شد تا حجم اولیه

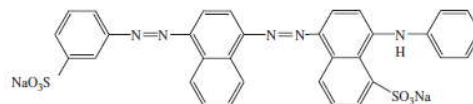
اسپکتروفوتومتر Pharmaspec Shimadzu با مدل UV-1700 انجام شد. در این تحقیق از پمپ پریستالتیک مدل Thomas-SR25 S300 که توانایی تأمین دبی‌هایی در حد میلی‌لیتر در دقیقه را دارد استفاده شد. تنظیم دبی‌های مورد نظر از طریق تغییر تعداد دور صورت پذیرفت.

### مواد مورد استفاده

مخروط‌های خشک شده مورد نیاز به منظور تولید کربن فعال از محوطه پارک مردم در مقابل دانشگاه علوم پزشکی همدان جمع‌آوری شد. رنگ اسید بلو ۱۱۳ (AB113) به عنوان یک رنگ دی‌آزو که دارای دو گروه آزو در ساختار شیمیایی خود است و همچنین رنگ اسید بلک ۱ (AB1) به عنوان رنگ آزو سولفوناته که دارای رادیکال نفتیل و گروه تابع هیدروکسیل در مجاورت با بند آزو است، به شکل آلاینده‌های مورد مطالعه در این تحقیق استفاده شدند. رنگ‌های مذکور از شرکت الوان ثابت در همدان تهیه شدند.



شکل شماره (۱): ساختار شیمیایی رنگ Acid Blue 113



شکل شماره (۲): ساختار شیمیایی رنگ Acid Blue 1

### تهیه کربن فعال به روش شیمیایی - گرمایی

به منظور تولید کربن فعال در این مرحله از تحقیق ابتدا مخروط‌های کاج جمع‌آوری و بعد از انتقال به آزمایشگاه خرد شدند. فلس‌های حاصل شده از مخروط‌های کاج در مرحله بعد برای حذف مواد زاید و گرد و غبار بخوبی مورد شست‌وشو قرار گرفتند و به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد در داخل آون قرار داده شدند.

به دنبال مراحل فوق تبدیل فلس‌های کاج به کربن فعال طی مراحل زیر صورت پذیرفت: مقدار ۵۰ گرم از فلس‌های خشک شده با حجم مشخصی از اسید فسفریک با غلظت ۹۵٪ و با نسبت جرمی ۱ به ۱۰ مخلوط شد به نحوی که سطح فلس‌ها بخوبی به اسید آغشته شدند. مخلوط حاصله به داخل راکتوری فلزی به قطر ۵۰ میلی‌متر و طول ۲۵۰ میلی‌متر انتقال و سپس به داخل کوره

دقیقه در ۳۸۰۰ دور در دقیقه، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر انجام شد.

به منظور استخراج ایزوترم‌های جذب هر رنگ، مقدار ۳۰۰۰ cc محلول با غلظت ۱۵۰ mg/l از هر رنگ تهیه و مقادیر ۲۵۰ cc (برای رنگ AB1) ارنل ۱۱ (برای رنگ AB113) و ۱۰ (برای رنگ AB1) ریخته شد. مقادیر ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۸، ۰/۱، ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶، ۰/۱۸ و ۰/۲ گرم از کربن فعال به داخل بطری‌های رنگ AB113 و همچنین مقادیر ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۰۸، ۰/۱، ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ گرم از کربن فعال به داخل هر یک از بطری‌های رنگ AB1 ریخته شد.

مقدار pH محلول‌های رنگ در هر ارنل در فاصله ۶/۵ تا ۷ تنظیم و با قرار دادن مگنت در داخل و درپوش مناسب بر دهانه آنها، هر ارنل بر روی یک همزن مغناطیسی در داخل انکوباتور در دمای ۲۰°C قرار داده شد. سپس بعد از ۱۰ روز اختلاط، از هر ارنل نمونه‌برداری و اندازه‌گیری غلظت انجام شد.

مقادیر pH در بطری‌های رنگ AB113 و AB1 در پایان آزمایش به ترتیب برابر با ۶/۱±۰/۲ و ۵/۹±۰/۲ و مقدار رنگ جذب شده به ازای واحد جرم جذب در این مرحله با استفاده از رابطه (۱) تعیین شد.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

$C_0$ : غلظت اولیه رنگ، mg/L

$C_e$ : غلظت رنگ در نقطه تعادل با جذب، mg/L

$m$ : مقدار جرم جذب، g

$V$ : حجم محلول، L

به منظور کاهش خطا، آزمایش استخراج مدل‌های ایزوترمی ۳ بار تکرار شد.

### انجام آزمایش حذف رنگ در ستون بستر ثابت با جریان بالا رونده

در این تحقیق ستونی از جنس شیشه پیرکس و با ارتفاع ۲۰ سانتیمتر و قطر ۲ سانتیمتر، به عنوان رآکتور با جریان بالارونده و بستر ثابت مورد استفاده قرار گرفت. به منظور جلوگیری از خارج شدن گرانول‌های کربن فعال از بستر ستون، در قسمت بالا و پایین بستر از پشم شیشه به عنوان نگه دارنده ستون استفاده شد. شکل

تأمین شود. با تعیین حجم آب جابه‌جا شده چگالی ظاهری جاذب تعیین شد (Rudenko & Palagina, 2000).

• حجم منافذ ( $V_t$ ) جاذب و تخلخل آن با استفاده از روش حجم‌سنجی تعیین شد (Rudenko & Palagina, 2000).

### جدول شماره (۱): مشخصه‌های اندازه‌گیری شده و مشخصات فیزیکی و شیمیایی کربن فعال گرانولی تولیدی شده از مخروط کاج

مقدار	مشخصه اندازه‌گیری شده
۱/۷	دانسیته واقعی ( $d$ ) ( $\text{g/cm}^3$ )
۰/۵	دانسیته ظاهری ( $\delta$ ) ( $\text{g/cm}^3$ )
۷۰	تخلخل (%)
۱/۴۰	حجم منافذ ( $V_t$ ) ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
۷۳۴	مساحت مخصوص ( $S_{MB}$ ) ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) به روش متیلن بلو
۴۸۳/۵	عدد پدی ( $I_N$ ) ( $\text{mg/g}$ )
۸۶۹	مساحت مخصوص ( $S_{BET}$ ) ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) به روش جذب گاز نیتروژن

### اندازه‌گیری غلظت رنگ

برای به دست آوردن خط کالیبراسیون در اندازه‌گیری غلظت رنگ‌های مورد مطالعه، به ترتیب گستره غلظت‌های استاندارد ۱۰۰ تا ۰/۰۶۲۵ میلی‌گرم بر لیتر از رنگ AB1 و گستره غلظت‌های استاندارد ۱۰۰ تا ۰/۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر از رنگ AB113 تهیه شد. مقدار جذب هر محلول استاندارد برای رنگ AB1 در طول موج ماکزیمم ۶۲۲ nm و برای رنگ AB113 در طول موج ماکزیمم ۵۷۴nm قرائت و ثبت شد.

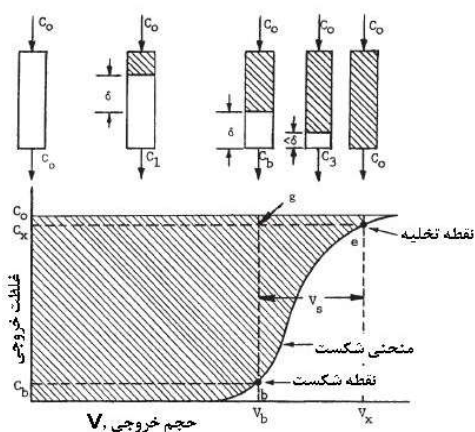
### انجام آزمایش‌های تعادلی در جذب رنگ توسط جاذب

در این مطالعه برای به دست آوردن زمان تعادل جذب برای هر دو رنگ، محلولی به حجم ۲۵۰ سی سی از هر رنگ با غلظت اولیه ۱۵۰ mg/l تهیه و مقدار ۰/۱۲ گرم از کربن فعال تولیدی دانه‌بندی شده به طور مجزا به داخل هر ارنل ریخته شدند. مقدار pH محلول‌های رنگی در هر ارنل در فاصله ۶/۵ تا ۷ تنظیم شد و با قرار دادن مگنت در داخل و درپوش مناسب بر دهانه آنها، هر ارنل بر روی یک همزن مغناطیسی در داخل انکوباتور در دمای ۲۰°C قرار داده شد.

سپس با نمونه‌برداری از هر ارنل در فواصل زمانی مشخص، اندازه‌گیری غلظت رنگ در هر نمونه بعد از سانتیفریوژ به مدت ۵

در این مطالعه نقاط شکست و تخلیه بستر به ترتیب نقاطی خواهند بود که غلظت فاضلاب خروجی از ستون به مقدار ۲ درصد و ۹۰ درصد غلظت فاضلاب ورودی برسد.

شماره (۳) دیاگرام شماتیک از ستون مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۴): منحنی ایده آل شکست ستون

(Wang, et al., 2005)

برای ناحیه فعال جذب سطحی (ناحیه انتقال جرم)، زمان رسیدن به نقطه تخلیه ستون با  $t_x$  و زمان گذر از ناحیه فعال جذب با  $t_\delta$ ، مطابق روابط ۲ و ۳ نشان داده می‌شوند.

$$t_x = \frac{V_x}{Q} = \frac{V_x}{F_m A} \quad (2)$$

$$t_\delta = \frac{V_x - V_b}{Q} = \frac{V_x - V_b}{F_m A} \quad (3)$$

$V_b$ : حجم فاضلاب عبوری از بستر در نقطه شکست ستون (mL)

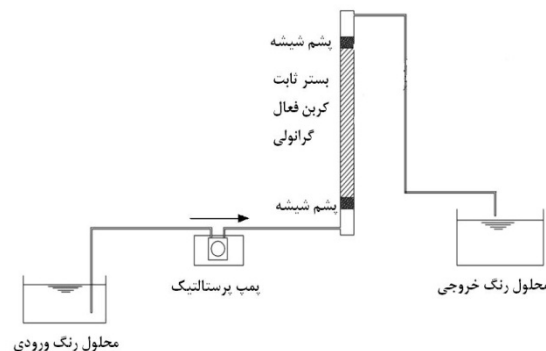
$V_x$ : حجم فاضلاب عبوری از ستون در نقطه تخلیه ستون (mL)

$Q$ : دبی حجمی (mL/min)

$F_m$ : فلاکس جرمی فاضلاب (cm/min)

$A$ : سطح مقطع ستون (cm<sup>2</sup>)

فرض می‌شود سرعتی که طی آن ناحیه فعال جذب در امتداد ستون حرکت می‌کند ثابت است به جز طی مدتی که این ناحیه در حال تشکیل شدن است. از زمان شکست ستون به بعد، قسمت نهایی از عمق  $\delta$ ، فقط بخشی از بستر ستون است که هنوز اشباع و یا تخلیه نشده است. به این ترتیب خواهیم داشت:



شکل شماره (۳): دیاگرام شماتیک از ستون آزمایشگاهی مورد استفاده

ستون مورد نظر تا ارتفاع ۲۰ سانتیمتر از کربن فعال پر شد و به منظور کاهش خطاهای احتمالی در اندازه‌گیری غلظت رنگ به دلیل وجود غبار کربن در بستر، ابتدا به مدت ۳۰ دقیقه آب مقطر به داخل ستون پمپاژ شد. بعد از شست‌وشوی کامل ستون با آب مقطر، شیلنگ فاضلاب ورودی به مخزن رنگ متصل و با محلول رنگ با غلظت اولیه ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر با دبی ۸/۰۷ ml/min تغذیه شد. از لحظه وارد شدن رنگ به کف بستر ستون، زمان‌های نمونه برداری در برگه ثبت اطلاعات ثبت شد.

در ادامه، در فواصل زمانی مختلف از خروجی ستون نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها در سل‌های ۱۰ میلی‌لیتری ریخته، پس از سانتریفیوژ شدن به مدت ۵ دقیقه در دور ۳۸۰۰ rpm، مقدار غلظت رنگ در آنها اندازه‌گیری شد. در صورت ضرورت نمونه‌های مذکور با نسبت مناسبی، رقیق می‌شد.

در تمامی آزمایش‌های انجام شده برای رنگ AB113 مقادیر دما و pH به ترتیب برابر با  $20 \pm 2$  و  $7/4 \pm 0/2$  و برای رنگ AB1 به ترتیب برابر با  $20 \pm 2$  و  $6/9 \pm 0/2$  اندازه‌گیری شد.

### مشخصه‌های رفتار ستون جذب و بررسی اثر ارتفاع

شکل شماره (۴) نشان‌دهنده یک منحنی شکست ایده‌آل (شبه حرف S) است. با رسیدن ابتدای ناحیه فعال جذب به انتهای ستون، پدیده شکست ستون اتفاق خواهد افتاد و غلظت رنگ به  $C_b$  و بعد از آن با اشباع شدن ستون غلظت در نقطه تخلیه ستون به مقدار  $C_x$  خواهد رسید.

$$\frac{M}{M_s} = [y - (f\delta)] / y \quad (۱۰)$$

$M$ : کل رنگ جذب شده در نقطه شکست (g)

$M_s$ : کل رنگ جذب شده در نقطه تخلیه ستون (g)

$y$ : ارتفاع بستر جاذب (cm)

مقدار مشخصه‌های مهم نشان‌دهنده رفتار ستون جاذب با ارتفاع بستر 20cm از نقطه شکست ۲٪ تا نقطه تخلیه ۹۰٪ در جذب رنگهای AB1 و AB113 در جدول شماره (۲) آورده شده است. به منظور کاهش خطا، آزمایش مربوط به بررسی رفتار ستون و تعیین مشخصه‌های ستون ۲ بار تکرار شد.

### نتایج

#### زمان تعادل و ایزوترم‌های جذب

زمان نقطه تعادل جذب رنگهای AB1 و AB113 در حدود ۱۱۰۰۰ دقیقه تعیین شد از این رو به منظور اطمینان از کامل شدن ظرفیت جذب جاذب کربن در جذب این دو رنگ، زمان تعادل برای هر دو رنگ ۱۰ روز در نظر گرفته شد.

داده‌های حاصله از آزمایش‌های تعادلی معمولاً تحت عنوان ایزوترم‌های جذب شناخته می‌شوند. این داده‌ها، داده‌های پایه‌ای به منظور طراحی سیستم‌های جذب سطحی به حساب می‌آیند. برای این منظور از مدل‌های کلاسیک جذب سطحی یعنی مدل‌های لانگمیر (Langmuir, 1918) و فروندلیخ (Freundlich, 1906) کمک گرفته شد که مبین ارتباط تعادلی غلظت ماده حذف شونده بین ماده جاذب و محلول هستند (Ho & Chiang, 2001). شکل شماره (۵) نقاط آزمایشی ایزوترم تعادلی و مدل‌های ایزوترمی منطبق شده بر نقاط آزمایشی برای رنگهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در جدول شماره (۲) مشخصه‌های مدل‌های لانگمیر و فروندلیخ در جذب رنگ AB1 و AB113 توسط کربن فعال گرانولی کاج آورده شده است. مدل ایزوترمی لانگمیر توانسته است به نحو مطلوب‌تری بر نتایج آزمایش تعادلی جذب رنگهای AB1 و AB113 بر کربن فعال تولید از مخروط کاج منطبق شود.

مقدار آماره مربع کای کاهش یافته<sup>۴</sup> که از طریق برازش غیر خطی مدل‌ها بر داده‌های آزمایشگاهی تعیین می‌شود، به ترتیب برای مدل‌های لانگمیر و فروندلیخ در جذب رنگ AB1 برابر با ۲۴۰/۹۲ و ۱۱۵۱/۴۵ و برای رنگ AB113 برابر با ۸۷/۳۶ و ۸۷/۳۶ است.

$$\delta = U_{\delta} t_{\delta} = \frac{t_{\delta} L}{t_x - t_f} \quad (۴)$$

$L$ : طول ستون جاذب (cm)

$t_f$ : زمان تشکیل ناحیه فعال جذب (min)

$U_{\delta}$ : سرعت حرکت ناحیه فعال جذب (cm/min)

$t_{\delta}$ : زمان عبور از ارتفاع ناحیه فعال جذب (min)

زمان تشکیل ناحیه فعال جذب و مقدار ظرفیت کسری ناحیه انتقال جرم با استفاده از روابط ۵ و ۶ قابل تعیین خواهند بود:

$$t_f = (1 - f)t_{\delta} \quad (۵)$$

$$f = \frac{P_s}{P_{tc}} \quad (۶)$$

$$P_s = \int_{V_b}^{V_x} (C_0 - C) dV \quad (۷)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (۸)$$

$f$ : ظرفیت کسری ناحیه فعال جذب سطحی

$P_s$ : مقدار آلاینده جذب شده در ناحیه فعال جذب از

نقطه شکست تا تخلیه ستون (mg)

$P_{tc}$ : کل ظرفیت کربن در ناحیه فعال جذب سطحی (mg)

ظرفیت جذب مؤثر ستون کربن به مقدار ظرفیت کسری یعنی  $f$  بستگی دارد. هرچه مقدار  $f$  کاهش یابد، مقدار ارتفاع ناحیه جذب یعنی  $\delta$  افزایش می‌یابد. بنابر این حائز اهمیت است که به منظور کم کردن ارتفاع ناحیه انتقال جرم، مقدار ظرفیت کسری ناحیه فعال جذب یعنی مشخصه  $f$  افزایش یافته و به مقدار یک نزدیکتر شود. انتقال جرم در ستون را می‌توان با استفاده از رابطه ۹ نشان داد. در این رابطه  $k$  برابر با ضریب نرخ انتقال جرم،  $C$  غلظت واقعی رنگ در هر نقطه در بستر ستون،  $C_e$  غلظت تعادلی رنگ و  $y$  نشان دهنده ارتفاع بستر هستند.

$$F_m = \frac{\partial C}{\partial y} = k(C - C_e) \quad (۹)$$

درجه اشباع ستون در نقطه شکست را می‌توان با استفاده از رابطه ۱۰ ارزیابی کرد:

**جدول شماره (۳): مقایسه مقدار مشخصه حداکثر ظرفیت جذب در مدل ایزوترمی لانگمیر ( $q_m$ ) در جذب رنگهای مورد مطالعه با سایر مطالعات**

منبع	$q_m$ (mg/g)	رنگ	جاذب
(Jain, et al., 2003)	۲۱۹	AB113	کربن صنعت کودسازی <sup>۵</sup>
(Sepulveda, et al., 2004)	۲۵	AB1	زغال نارسی <sup>۶</sup>
(Annadurai, et al., 2002)	۱۸	AB1	پوست پرتغال <sup>۷</sup>
(Koumanova, et al., 2003)	۳۰	AB113	کودزو <sup>۸</sup>

همان‌طور که دیده می‌شود کربن فعال تولید شده در این مطالعه، نسبت به جاذب‌های بررسی شده در سایر مطالعات که شامل انواع جاذب‌های فعال و غیر فعال هستند از توانایی بالاتری در جذب رنگها AB1 و AB113 برخوردار است.

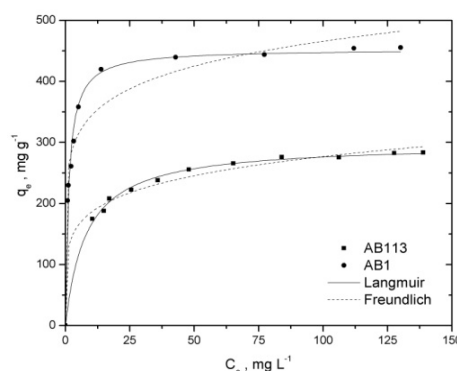
**مشخصه‌های رفتار ستون از نقطه شکست ۲٪ تا نقطه تخلیه ۹۰٪**

در جدول شماره (۴) مشخصه‌های مربوط به رفتار ستون از نقطه شکست ۲٪ تا نقطه تخلیه ۹۰٪ در جذب رنگهای AB113 و AB1 آورده شده است. در شکل‌های شماره (۶ و ۷) به ترتیب منحنی‌های شکست ستون در جذب رنگهای AB1 و AB113 در شرایط عملیاتی یکسان (دبی ۸/۰۷، غلظت اولیه رنگ ۱۵۰ mg/L و ارتفاع بستر ۲۰ cm) نشان داده شده است.

**جدول شماره (۴): مشخصه‌های مهم نشان‌دهنده رفتار ستون با ارتفاع بستر 20cm از نقطه شکست تا نقطه تخلیه در جذب رنگهای AB1 و AB113**

مقدار		مشخصه	
AB1	AB113		
۴۷۲۴/۰۵	۸۰۹/۱۰	mg	$P_{tc}$
۱۷۴۵/۴۹	۲۱۹/۵۳	mg	$P_s$
۰/۳۶۹	۰/۲۷۱	-	$f$
۰/۰۳۰۸	۰/۰۱۷۲	l/min	$k$
۳۹۱۳	۶۶۶	min	$t_\delta$
۲۴۶۷/۱۷	۴۸۵/۲	min	$t_f$
۴۰۴۰	۶۸۴	min	$t_x$
۴۹/۷۵	۶۷/۰۳	cm	$\delta$
۰/۰۸۰۷	۰/۰۹۰۵	-	$M/M_s$
۰/۰۱۲۷	۰/۱۰۰۶	Cm/min	$U_\delta$

مقادیر مشخصه‌های  $q_m$  و  $b$  برای مدل لانگمیر و مشخصه‌های  $n$  و  $k_f$  مربوط به مدل فروندلیخ در جذب رنگ AB1 به ترتیب برابر با  $۴۵۲/۸$  mg/g،  $۰/۷۸۷$  Lmg<sup>-1</sup>،  $۷/۵۶$  و  $۲۳۵/۴۶$  و برای رنگ AB113 به ترتیب برابر با  $۱۲۴/۱۵۹$  mg/g،  $۰/۱۲۴$  Lmg<sup>-1</sup>،  $۵/۷۴$  و  $۱۲۴/۱۵۹$  تعیین شد.



**شکل شماره (۵): نقاط آزمایشی ایزوترم تعادلی و مدل‌های ایزوترمی در جذب رنگهای AB1 و AB113**

**جدول شماره (۲): مشخصه‌های مدل‌های لانگمیر و فروندلیخ در جذب رنگ AB113 توسط کربن فعال گرانولی کاج**

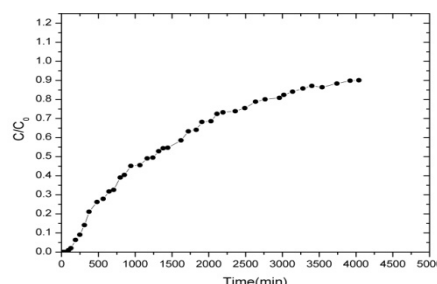
نام رنگ	فروندلیخ		
	Reduced- $X^2$	$R^2$	n
AB1	۱۱۵۱/۴۵	۰/۹۴۳	۷/۵۶
AB113	۷۸/۳۶	۰/۹۸۷	۵/۷۴
نام رنگ	لانگمیر		
	Reduced- $X^2$	$R^2$	$q_m$
AB1	۲۴۰/۹۲	۰/۹۸۸	۴۵۲/۸۷
AB113	۱۷/۳۸	۰/۹۹۷	۲۹۸/۴۰

مقدار مشخصه حداکثر ظرفیت جذب در مدل ایزوترمی لانگمیر ( $q_m$ ) این امکان را فراهم می‌کند که بتوان توانایی جاذب‌های مختلف را در جذب رنگهای مورد مطالعه در سایر مطالعات با نتایج این مطالعه مقایسه کرد. در جدول شماره (۳) چنین مقایسه‌ای انجام شده است.

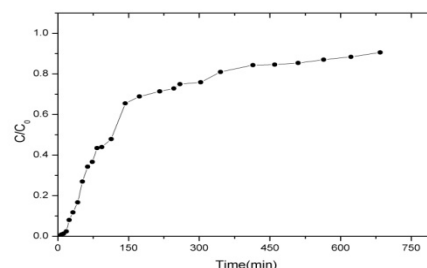
ساختار مولکولی به آسانی در ریز منافذ موجود در ساختار کربن فعال نفوذ کند در نتیجه پیش بینی می شود که مقدار جذب آن در مقایسه با رنگ AB1 کمتر باشد. مدل جذب لانگمیر بر این فرض استوار است که نیروهای بین مولکولی سرعت با افزایش فاصله کاهش یافته و در نتیجه می تواند تشکیل شدن پوششی یک لایه از ماده جذب شونده را در سطح خارجی ماده جذب پیش بینی کند. در این مدل همچنین فرض می شود که جذب به صورت یکنواخت و در جایگاههای هموزن خاصی رخ می دهد. بنابراین بر اساس این مدل به محض این که یک مولکول رنگ، جایگاه جذب را اشغال کند، مولکول دیگری از رنگ نمی تواند در همان جایگاه قرار بگیرد. (Duong, 1998). در این مطالعه همان طور که گفته شد جذب هر دو رنگ از مدل ایزوترمی لانگمیر تبعیت بهتری در مقایسه با مدل فروندلیخ دارد. در مطالعه دیگری که توسط مؤلف صورت پذیرفت از بین هفت مدل ایزوترمی دو مشخصه که بر روی نتایج آزمایش ایزوترمی برازش داده شدند، مدل ایزوترمی لانگمیر به عنوان بهترین مدل برای جذب هر دو رنگ توسط کربن فعال تولیدی از مخروط کاج انتخاب شد (Hadi, 2010).

#### مشخصه های رفتار ستون از نقطه شکست ۲٪ تا نقطه تخلیه ۹۰٪

مطابق شکل های شماره ۶ و ۷) منحنی های شکست بستر در جذب رنگهای مورد مطالعه تفاوت چشمگیری با منحنی های شکست ایده آل (منحنی های ایده آل به طور معمول شکلی مشابه با حرف S دارند) دارند. همان طور که در جدول شماره ۲) دیده می شود، مقدار ارتفاع ناحیه فعال جذب برای جذب رنگ AB113 و AB1 به ترتیب برابر با ۶۷/۰۳ و ۴۹/۷۵ سانتیمتر به دست آمده است که هر دو مقدار بزرگتر از ارتفاع ستون جاذب هستند. چنین نتایجی به طور معمول در مورد جذب رنگهای صنعتی حاصل می شود. علت این مسئله با بزرگ بودن ساختار مولکولی این قبیل رنگها در ارتباط است به نحوی که بزرگی ساختار مولکولی باعث بالارفتن مقاومت در برابر انتشار داخلی شده و در نتیجه مولکول های رنگ، زمان کافی برای انتشار از سطح ذرات جاذب به جایگاههای جذب داخلی پیدا نمی کنند، بنابراین به ارتفاع های بالاتری در ستون که جایگاههای جذب و سرعت جذب بیشتری وجود دارد پمپ می شوند (Walker & Weatherley, 1997). این مسئله مطابق جدول شماره ۲) منجر به بیشتر شدن زمان های تشکیل ناحیه انتقال جرم و رسیدن به نقطه شکست برای رنگ



شکل شماره ۶): منحنی شکست ستون بستر ثابت کربن فعال در حذف رنگ AB1



شکل شماره ۷): منحنی شکست ستون بستر ثابت کربن فعال در حذف رنگ AB113

#### بحث و نتیجه گیری

##### بررسی ایزوترم های جذب رنگ

در این مطالعه از دو مدل ایزوترمی دو مشخصه لانگمیر و فروندلیخ به منظور بررسی تعادل جذب همدمایی استفاده شد. توجه داریم که هرچه از نظر آماری مقدار آماره کای-دو کاهش یافته کمتر باشد نشان دهنده انطباق بهتر مدل بر داده ها است به این ترتیب برازش غیرخطی مدل های ایزوترمی نیز بیانگر این هستند که مدل ایزوترمی لانگمیر بهتر از مدل فروندلیخ توانسته است بر نتایج ایزوترم آزمایشی در جذب رنگ AB1 و AB113 انطباق یابد. مقادیر مشخصه های  $q_m$  برای مدل لانگمیر در جذب رنگ AB1 و AB113 به ترتیب برابر با ۴۵۲/۸ mg/g و ۲۹۸/۴ mg/g تعیین شد.

این تفاوت ممکن است با مقایسه ساختار مولکولی دو رنگ مورد مطالعه قابل توجیه باشد. همان طور که در شکل های شماره ۱) و ۲) نشان داده شد، در ساختار مولکولی رنگ AB113 ۶ حلقه بنزن وجود داشته و وزن مولکولی آن برابر با ۶۸۱/۶۵ گرم و به مراتب ساختار مولکولی آن از رنگ AB1 که دارای ۴ حلقه بنزن و وزن مولکولی آن برابر با ۶۱۸/۵۴ گرم است بزرگتر است. این مسئله باعث خواهد شد که رنگ AB113 نتواند به دلیل درشت تر بودن



مشخصه  $f$  برای AB113 کمتر از AB1 باشد که نتایج به دست آمده نیز نشان دهنده همین مسئله است. مقدار سرعت حرکت ناحیه فعال انتقال جرم ( $U_{\delta}$ ) برای رنگهای AB1 و AB113 به ترتیب برابر با 0/1007 و 0/0127 cm/min دقیقه تعیین شد.

مقدار  $U_{\delta}$  برای رنگ AB113 تقریباً ۱۰ برابر مقدار همین مشخصه برای رنگ AB1 است. همان طور که قبلاً گفته شد بزرگی ساختار مولکولی رنگ AB113 در مقایسه با رنگ AB1 باعث بالارفتن مقاومت در برابر انتشار داخلی آن رنگ شده و با کافی نبودن زمان برای انتشار از سطح ذرات جاذب به جایگاههای جذب، مولکولهای رنگ AB113 با سرعت به ارتفاعهای بالاتری در ستون پمپ می‌شوند. در مورد رنگ AB1 سرعت انتشار رنگ به جایگاههای جذب در حفرات جاذب بیشتر بود از این رو پیش‌بینی می‌شود سرعت حرکت مولکولهای آن رنگ در امتداد ستون در مقایسه با رنگ AB113 کمتر باشد. نسبت مقدار کل رنگ جذب شده در نقطه شکست به مقدار کل رنگ جذب شده در نقطه شکست ستون ( $M/M_s$ ) برابر با نرخ اشباع در نقطه شکست ستون است. حاصلضرب این مشخصه در عدد صد برای رنگهای AB1 و AB113 به ترتیب برابر با ۸/۰۷ و ۹/۰۵ تعیین شد. هر چه درجه اشباع ستون در نقطه شکست به صد نزدیکتر باشد نشان دهنده بهینه‌تر بودن استفاده از ظرفیت ستون جاذب است. همان‌طور که دیده می‌شود این مقادیر نیز تأییدکننده نتایج به دست آمده از مطالعه مشخصه‌های قبلی بوده و نشان می‌دهند که از ظرفیت ستون جاذب به طور بهینه استفاده نشده است. مقادیر ضریب انتقال جرم نیز برای رنگهای AB1 و AB113 مطابق جدول شماره (۲) به ترتیب برابر با  $0/0308 \text{ min}^{-1}$  و  $0/0172$  تعیین شد. بالاتر بودن این مشخصه برای رنگ AB1 نسبت به رنگ AB113 نشان دهنده تمایل بیشتر این رنگ به انتقال به ریز منافذ جاذب بوده که همانند مشخصه‌های قبل با اندازه و ساختار مولکولی رنگ در ارتباط است.

### سازوکار جذب رنگ

رنگهای اسیدی استفاده شده در این مطالعه به منظور رنگ‌آمیزی فیبرهای نساجی در مقیاس صنعتی استفاده می‌شوند. مطابق شکل‌های شماره (۱ و ۲) هر دو رنگ دارای دو گروه سولفونات سدیم ( $\text{NaSO}_3^-$ ) و قابل حل در آب هستند. گروه سولفونات سدیم در ساختار این دو رنگ موجب اتصال مولکول رنگ با جایگاههای کاتیونی در سطح جاذب می‌شود. همچنین وجود گروههای آکسوکروم<sup>۱</sup> مانند گروههای عامل هیدروکسیل ( $\text{OH}^-$ ).

AB1 (به ترتیب برابر با ۲۴۶۷/۱۷ و ۴۰۴۰ دقیقه) در مقایسه با رنگ AB113 (به ترتیب برابر با ۴۸۵/۲ و ۶۸۴ دقیقه) می‌شود. در مطالعه انجام شده توسط ماجی و همکاران در سال ۲۰۰۷ (Maji, 2007) در بررسی جذب یون آرسنیک سه ظرفیتی توسط ستون بستر ثابت از خاک لاتریت مقدار ارتفاع ناحیه فعال انتقال جرم برای ستونی با ارتفاع ۱۰ سانتیمتر برابر با ۲۶/۱۳ سانتیمتر به دست آمد که این مورد با نتایج به دست آمده در این مطالعه همخوانی دارد.

مقدار کل ظرفیت جذب در ناحیه فعال انتقال جرم ( $P_{ic}$ ) در ستون از نقطه شکست ۲٪ تا نقطه تخلیه ۹۰٪ برای رنگهای AB113 و AB1 به ترتیب برابر با ۸۰۹/۱۰ mg و ۴۷۲۴/۰۵ mg هستند. مقدار رنگ جذب شده در ناحیه فعال انتقال جرم ( $P_s$ ) نیز برای رنگهای AB113 و AB1 به ترتیب برابر با ۲۱۹ mg و ۱۷۴۵/۴۹ mg تعیین شد. مقدار کل ظرفیت تعیین شده در واقع مربوط با ارتفاع ۶۷ cm و ۴۹/۷۵ cm یعنی طول ناحیه فعال انتقال جرم در جذب رنگ AB113 و AB1 هستند.

نسبت مقدار رنگ جذب شده در ناحیه فعال انتقال جرم به مقدار کل ظرفیت ناحیه فعال انتقال جرم که در واقع برابر با مقدار ظرفیت کسری ناحیه فعال جذب سطحی ( $f$ ) است، به ترتیب برای رنگهای AB113 و AB1 برابر با ۰/۲۷۱ و ۰/۳۶۹ تعیین شد. ظرفیت کسری ناحیه فعال جذب شاخص مناسب به منظور بررسی عملکرد ستون است. هرچه مقدار این مشخصه به یک نزدیکتر باشد نشان‌دهنده استفاده بهینه‌تر از ظرفیت ستون است. با مقایسه مقادیر به دست آمده دیده می‌شود که در مورد رنگ AB1 عملکرد ستون مطلوب‌تر بوده چراکه مقدار مشخصه  $f$  برای آن بزرگتر است. به عبارتی دیگر هر چه مقدار مشخصه  $f$  به یک نزدیکتر باشد منحنی‌های شکست ستون به شکل ایده‌آل خود یعنی شکلی مشابه حرف  $k$  نزدیکتر می‌شود و شکست ستون در زمان‌های طولانی‌تری اتفاق می‌افتد.

نتایج به دست آمده در این قسمت نیز تأییدکننده رفتار رنگهای مورد مطالعه است. همان‌طور که قبلاً نیز به آن اشاره شد علت پایین آمدن مقدار مشخصه  $f$  را نیز می‌توان مرتبط به بزرگ بودن ساختار مولکولی رنگهای مورد مطالعه دانست که این مسئله باعث کاهش انتشار مولکولهای رنگ به ریز منافذ جاذب شده و از اینرو به نقاط بالاتری در ستون مهاجرت می‌کنند. مولکول رنگ AB113 از ساختار بزرگتری نسبت به رنگ AB1 برخوردار است از این رو با در نظر گرفتن چنین رفتاری از رنگها پیش‌بینی می‌شود که مقدار

و بروز شکست ستون در مدت زمان نسبتاً کوتاه خواهد شد. یکی از مشخصه‌های مهم رفتار ستون که می‌تواند در کنترل عملکرد ستون استفاده شود، ظرفیت کسری ناحیه انتقال جرم است که می‌باید برای ایده‌آل شدن رفتار ستون، مقدار آن به یک نزدیک شود. بنابراین در مورد رنگهای صنعتی می‌باید ارتفاع ستون تا جایی افزایش یابد که نسبت مذکور به یک نزدیک شود. به همین دلایل توصیه می‌شود در مطالعات بعدی چنانچه هدف مطالعه حذف رنگ از محلول‌های آبی باشد، ارتفاع‌های بیشتری برای ستون جاذب انتخاب شود. چنانچه به دنبال ستون اول ستون دیگری وجود داشته باشد اولاً زمان نقطه شکست ستون‌ها افزایش یافته و ثانیاً از ظرفیت ستون‌های قبل به نحو مطلوب‌تری استفاده خواهد شد. از این‌رو در مطالعات بعدی بهتر است به جای استفاده از یک ستون در ابعاد استفاده شده در این مطالعه، از چند ستون با همین ابعاد استفاده شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی همدان به دلیل حمایت مالی از این تحقیق و فراهم کردن امکانات لازم تشکر و قدردانی می‌کنند.

### یادداشت‌ها

- 1-Polygonum oriental
- 2-Disazo
- 3-Mass Transfer Zone
- 4-Reduced-Chi-Squared ( $X^2$ )
- 5-Carbon Slurry of Fertilizer Industry
- 6-Peat
- 7-Orange peel
- 8-Kudzu
- 9-Internal Diffusion
- 10-Auxochroms
- 11-Chromophore

آمینو ( $NH_2$ )، نیترو ( $NO_2$ ) که در واقع افزایش‌دهنده رنگ تولید شده با کروموفر<sup>۱۱</sup> (کروموفر گروه عامل در ساختار رنگ است که نقش رنگ دهنده‌گی به ساختار مولکول راداراست، مانند گروه‌های -N=N-، -C=C-، -C=N-) هستند، بنا به مقدار pH محلول می‌توانند طبیعتی الکترونگاتیو و یا الکتروپوزیتیو داشته باشند. رنگ AB1 در مقایسه با رنگ AB113 که فقط دارای دو گروه عامل سولفونات سدیم است، علاوه بر این دو گروه دارای گروه‌های عامل هیدروکسیل ( $OH^-$ )، آمینو ( $NH_2$ )، نیترو ( $NO_2$ ) نیز هست که حضور این گروه‌ها موجب افزایش تعداد باندهای بین جایگاه‌های مثبت در سطح کربن با این رنگ می‌شوند. به همین دلیل همان‌طور که نتایج نیز نشان می‌دهد رنگ AB1 نسبت به رنگ AB113 مقدار جذب بیشتری را داشته است. در مطالعه انجام شده توسط گالیاتساتو و همکاران (Galiatsatou, 2002) مشخص شد که فعال سازی کربن در دماهای بالاتر از ۸۰۰ درجه سانتیگراد سبب تشکیل و افزایش گروه‌های بازی در سطح ماده جاذب خواهد شد. همچنین ماتسون (Mattson, 1971) گزارش کرد که کربن فعال شده در دماهای بالای ۷۵۰ درجه سانتیگراد و در شرایطی که پایین باشد با به دست آمدن یون‌های  $H^+$  دارای بار سطحی مثبت خواهد بود. با مثبت شدن بار سطحی جاذب، به نظر می‌رسد یک جاذبه الکترواستاتیکی قوی بین گروه‌های عامل مثبت در سطح جاذب و مولکول‌های آنیونی رنگ موجب جذب هر چه بیشتر ماده جذب شونده، به جاذب شود.

### نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد به طور کلی در حذف رنگ‌های صنعتی می‌باید به این نکته توجه داشت که به دلیل بزرگی ساختار مولکولی این ترکیبات، فرصت لازم به منظور انتشار آنها به ریز منافذ ماده جاذب به آسانی فراهم نمی‌شود، از این رو این مولکول‌ها به نقاط بالاتر و جایگاه‌های جذب بالاتر در ستون جاذب حرکت خواهند کرد. این مسئله منجر به عدم استفاده بهینه از ظرفیت جاذب

### منابع مورد استفاده

- Ahmad, A.A., B.H., Hameed. 2010. Fixed-bed adsorption of reactive azo dye onto granular activated carbon prepared from waste, *J. Hazard Mater*, Vol. 175, pp. 298–303
- Ali, M., T.R., Sreekrishnan. 2001. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents – a review, *Adv. Environ. Res.*, Vol. 5, pp. 175–196.

- Ali, M., T.R., Sreekrishnan .2001. Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents – a review, *Adv Environ Res*, 5, 175–196.
- Annadurai, G., R.S., Juang and D.J., Lee .2002. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions, *J. Hazard Mater.*, Vol. B92, pp.263-274.
- Annadurai, G., et al. 2002. Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions, *J. Hazard. Mater.*, Vol. B92, pp.263-274.
- Arnepalli, D.N., et al. 2007. Comparison of Methods for Determining Specific-surface Area of Fine-grained Soils, *Geotech Geol Eng.*, Vol. 26, pp.121-132.
- ASTM D4607-94. 1999. Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon.
- Duong, D.D. 1998. Adsorption analysis: equilibria and kinetics. series on chemical engineering, imperial college press.
- Freundlich, H.Z. 1906. Over the adsorption in solution. *J. phys. chem.*, Vol. 57A, pp. 385-470.
- Fu, Y., T., Viraraghavan. 2003. Column studies for bio sorption of dyes from aqueous solutions on immobilised aspergillus niger fungal biomass. *Water SA*. Vol.29, pp. 465-472.
- Galiatsou, P., et al .2002. Adsorption of zinc by activated carbons prepared from solvent extracted olive pulp, *J. Hazard. Mater*, Vol.91, pp.187.
- Gupta, V.K. 2011. A comparative investigation on adsorption performances of mesoporous activated carbon prepared from waste rubber tire and activated carbon for a hazardous azo dye—Acid Blue 113, *J. Hazard. Mater*, Vol. 186, pp. 891–901.
- Hadi, M., M.R., Samarghandi, G., McKay .2010. Equilibrium two-parameter isotherms of acid dyes sorption by activated carbons: Study of residual errors, *Chem. Eng. J.*, Vol.160, pp.408–416.
- Ho, Y.S. 2006. Second-order kinetic model for the sorption of cadmium onto tree fern : A comparison of linear and non-linear, *Water Res.*, Vol.40, pp.119 -125.
- Ho, Y.S., C.C., Chiang .2001. Sorption studies of acid dye by mixed sorbents, *Adsorption*, Vol. 37, pp.156-162.
- Jain, A.K., V.K., Gupta, & A., Bhatnagar .2003. Utilization of industrial waste products as adsorbents for the removal of dyes, *J. Hazard. Mater.*, Vol.101, pp.31-42.
- Jain, A.K., et al. 2003. Utilization of industrial waste products as adsorbents for the removal of dyes, *J. Hazard. Mater*, Vol. 101, pp. 31-42.
- Kadirvelu, K., et al. 2005. Activated carbon from industrial solid waste as an adsorbent for the removal of Rhodamine-B from aqueous solution: kinetic and equilibrium studies, *Chemosphere*, Vol. 60, pp. 1009-1017.
- Koplin, D. W., et al. 1999-2000. Pharmaceuticals, hormones and other organic wastewater contaminants in US streams, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 36, pp. 1202–1211.

- Koumanova, B., B., Achova, & S.J., Allen .2003. Biosorption of acid dye on kudzu. (*Pueraria lobata* ohwi) from aqueous solutions, *J. Univ. Chem. Technol. Metal.*, Vol.38, pp.735-746.
- Koumanova, B., et al. 2003. Biosorption of acid dye on kudzu. (*Pueraria lobata* ohwi) from aqueous solutions, *J. Univ. Chem. Technol. Metal.*, Vol.38, pp. 735-746.
- Langmuir, I. 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica, and platinum, *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 40, pp. 1361-1403.
- Li, W. 2010. Adsorption of basic dyes on activated carbon prepared from *Polygonum orientale* Linn: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies, *Desalination*, Vol. 254, pp.68-74.
- Maji, S.K., et al. 2007. Modeling and fixed bed column adsorption of As (III) on laterite soil, *Separation and Purification Technology*, Vol.56, pp.284-290.
- Mattson, J.S., H.B., Mark .1971. *Activated Carbon: Surface Chemistry and Adsorption from Solution*, New York: Marcel Decker Inc.
- Namasivayam, C., D., Kavitha .2002. Removal of Congo red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith, an agricultural solid waste, *Dyes Pigments*, Vol. 54, pp. 47-58.
- Rajgopalan, S. 1995. Water pollution problem in the textile industry and control. *Pollution Management in Industries*. T. R.K. Karad., India, pp.21-44.
- Ramakrishna, K.R. 1996. Dye Removal Using Peat. Saskatchewan, Canada, *American Dyestuff Reporter*: pp.28-34.
- Routh, T. 1998. Anaerobic Treatment of vegetable tannery wastewater by UASB process, *Ind. J. Environ. Prot.*, Vol. 20, pp. 115-123.
- Rudenko, M.F., I.G., Palagina . 2000. Determination of the physical characteristics of activated carbon for adsorption refrigerators, *Chemical and Petroleum Engineering*, Vol. 26, pp.507-509.
- Sepulveda, L., et al. 2004. Adsorption of Dyes using Peat: Equilibrium and Kinetic Studies, *Environmental Technol.*, Vol.25, pp.987-996.
- Song, J., et al. 2011. Adsorption characteristics of methylene blue by peanut husk in batch and column modes, *Desalination*, Vol. 265, pp.119-125.
- Tsui, L.S., W.R., Roy, M.A., Cole .2002. Removal of dissolved textile dyes from wastewater by compost sorbent, *Color technol*, 119, 14-18.
- Walker, G.M., L.R., Weatherley .1997. Adsorption of Acid Dyes On To Granular Activated Carbon In Fixed Beds *Wat Res*, 31, 2093-2101.
- Wang, L.K., Y.T., Hung, N.K., Shammass .2005. eds. *Physicochemical Treatment Processes*. Totowa, New Jersey: Humana Press Inc.
- Yeddou, N., A., Bensmaili .2005. Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by clay-wood sawdust mixture, *Desalination*, 185, 499-508.