

# تولید کربن فعال از تایرهای فرسوده با روش ترمو-شیمیایی و ارزیابی کارایی آن در حذف رنگ اسیدی سیاه ۱

ادریس حسین زاده<sup>۱</sup>، علیرضا رحمانی<sup>۲</sup>

نویسنده مسئول: همدان، چهارراه پژوهش، بلوار شهید فهمیده، رو به روی پارک مردم، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان، گروه بهداشت محیط

rahmani@umsha.ac.ir

پذیرش: ۹۰/۰۶/۰۱

دریافت: ۹۰/۰۳/۰۱

## چکیده

**زمینه و هدف:** موضوع دفع و یا استفاده مجدد از تایرهای فرسوده خودرو به موضوع مهمی در سراسر دنیا تبدیل شده است. تایرهای فرسوده نه تنها فضای زیادی از محل دفن زباله را اشغال می‌کنند بلکه عامل بروز آتش سوزی بوده و مکانی مناسب را برای رشد و تکثیر ناقلین بیماری‌ها نیز فراهم می‌کنند. این تحقیق با هدف کلی تولید کربن فعال از تایرهای فرسوده به روش ترمو-شیمیایی و ارزیابی کارایی آن با رنگ اسیدی سیاه ۱ به عنوان آلاینده انجام شده است.

**روش بررسی:** این تحقیق یک مطالعه تجربی بوده که کربن فعال با استفاده از تایرهای فرسوده خودروهای سواری و به روش ترمو-شیمیایی تولید گردیده است. مشخصات ساختاری کربن فعال فرآوری شده با استفاده از تکنیک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به طیف‌سنجی پراش انرژی و سطح ویژه آن نیز با به کارگیری تکنیک BET و BJH تعیین گردید. جهت تعیین کارایی کربن فعال تولیدی در حذف رنگ، از رنگ اسیدی سیاه ۱ به عنوان شاخص آلودگی استفاده گردید.

**یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد که ساختار کربن فعال تولید شده اغلب از کربن (۸۳/۲۷۶٪) بوده و سطح ویژه آن با روش‌های BET و BJH به ترتیب  $44/226 \text{ m}^2/\text{gr}$  و  $35/747$  و متوسط قطر منافذ آن نیز ۵۲ نانومتر می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که کارایی حذف، با افزایش غلظت اولیه رنگ و pH کاهش و با افزایش مقدار اولیه جاذب و زمان تماس افزایش یافته است.

**نتیجه‌گیری:** تولید کربن فعال از تایرهای فرسوده می‌تواند دارای منافع اقتصادی و زیست محیطی بوده و به عنوان یک روش جهت بازیافت تایرهای فرسوده مطرح و محصول تولیدی می‌تواند به عنوان یک جاذب مناسب برای استفاده در تصفیه فاضلاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تایر فرسوده، کربن فعال، ترموشیمیایی، حذف رنگ

۱- کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد

۲- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان

## مقدمه

متعاقب استفاده گسترده از خودرو در زندگی انسان مواد مستهلک شده ناشی از آن به محیط زیست وارد می گردد. یکی از مهم ترین این مواد تایرهای فرسوده بوده که برخلاف سایر مواد زاید جامد، آنها را نمی توان بدون انجام عملیات مقدماتی دفع کرد. خواص مشابه و یکسان تایرها، دوام قابل ملاحظه آنهاست که پردازش مجدد و دفع آنها را سخت می کند همچنین این مواد نسبت به تجزیه زیستی مقاوم می باشند (۱). در ایران سالانه حدود ۲۵۰۰۰۰ تن تایر تولید می شود (۲) و به ازای هر ۸ تا ۹ نفر یک خودرو وجود دارد که سرانه تایرهای فرسوده به ازای هر ۵ تا ۶ نفر یک حلقه است (۳). به بیان دیگر سرانه تولید تایر فرسوده به ازای هر نفر در سال، ۳/۶ کیلوگرم است. طبق آمارهای موجود وزارت صنایع ۱۲۷۱۱۴۰۰ حلقه تایر فرسوده تا پایان سال ۱۳۸۴ با وزنی معادل ۲۵۴۵۰۰ تن در کشور وجود داشته است (۳). بنابراین برنامه ریزی برای استفاده از تایرهای فرسوده و انتخاب بهترین راه برای بازیافت آن به صورتی که از نظر اقتصادی هم بهینه باشد امری ضروری است. استفاده مجدد یا کاربری جدید از تایرهای فرسوده راه حل مناسب برای مدیریت ضایعات، کاهش قیمت تولیدات و افزایش ایمنی محیط زیست است. به همین دلیل یکی از مهم ترین مسایل مطرح در سیستم مدیریت مواد زاید شهری، توجه و روی آوردن به مساله بازیافت می باشد (۳). در ایران بازیافت تایر به سه شکل روکش تایر، پودر لاستیک و کائوچوی احیا شده صورت می گیرد. بر طبق آمار و اطلاعات بر اساس ظرفیت اسمی (ایده آل) صنایع بازیافتی، توان بازیافت تایر فرسوده ۳۵/۶٪ بوده که مابقی (۶۴/۴٪) دپو می گردند. از آنجا که این صنایع عمدتاً با ۶۰٪ ظرفیت فعالیت می نمایند در این صورت میزان تایر قابل بازیافت ۵۴۴۸۰ تن (۲۱/۴٪) و میزان تایر فرسوده دپو شده ۲۰۰۰۱۵ تن (۷۸/۶٪) است (۳). بنابراین می توان به تولید کربن فعال از تایرهای فرسوده به عنوان یک گزینه بازیافتی دیگر توجه کرد. تایرهای فرسوده دارای بیش از

۹۰٪ مواد آلی و ارزش گرمایی  $320 \text{ mJ/kg}$  ( $14000 \text{ Btu/lb}$ ) می باشند که از این حیث با زغال ( $27/9-18/6 \text{ mJ/kg}$ ) ( $12000-8000 \text{ Btu/lb}$ ) قابل مقایسه اند (۴). تلاش هایی برای تولید مواد گوناگون از تایرهای فرسوده صورت گرفته است که از بین آنها محصولات پیرولیزی یک انتخاب برتر برای مدیریت تایرهای فرسوده است (۵). پیرولیز یک فرایند تصفیه ای است که در عدم حضور اکسیژن انجام شده و تایرهای فرسوده را به کربن بلاک، گازهای قابل احتراق و روغن پیرولیز تبدیل می کند (۶). کربن فعال حاصل از این فرایند می تواند در تصفیه آلاینده ها در محیط آب و هوا استفاده شود (۶ و ۷). هر ماده ارزانی که دارای مقدار زیادی کربن و مقدار کمی مواد معدنی باشد می تواند به عنوان ماده خام جهت تولید کربن فعال استفاده شود (۸). غالب ترین مواد خامی که جهت تولید کربن فعال استفاده می شوند عبارتند از: چوب، برخی از گیاهان، زغال قیردار، زغال قهوه ای، لیگنین، پوسته نارگیل، پوسته میوه هایی چون فندق، گردو و ... (۹). کربن به دو روش شیمیایی و فیزیکی فعال می شود (۱۰). فرایند فعال سازی شیمیایی که جهت تولید کربن فعال استفاده می شود شامل یک مرحله بوده که در این روش فعال سازی از اسید فسفریک، کلرید روی اسید هیپوفسفریک و هیدروکسید پتاسیم به عنوان فعال کننده استفاده می شود (۱۱). با توجه به حجم ضایعات تایرها بر حسب نوع استفاده و قیمت، بیشترین ضایعات به تایرهای سواری اختصاص دارد زیرا تایرهای باری/توبوسی، کشاورزی و صنعتی به دلیل قیمت بالای آن ها، تمایل مصرف کننده در هنگام فرسودگی به سمت تعویض روکش مجدد است تا خرید تایر نو زیرا حتی چند بار روکش دار کردن این نوع تایرها هزینه کمتری نسبت به خرید لاستیک نو دارد. همچنین استفاده از تایرهای روکش دار محدودیت هایی جهت استفاده دارند (حداکثر سرعت به ۱۰۰ کیلومتر در ساعت محدود می شود) (۳) به همین دلیل حجم تایرهای سواری فرسوده دفع شده همواره بیشتر است، بنابراین در تحقیق حاضر از تایرهای سواری که دارای نگه

بوده است.

$$\text{Carbon Yield}\% = (\text{Wac}/\text{Wti}) \times 100 \quad (1)$$

جهت تعیین مشخصات محصول تولیدی، از تکنیک روبشی (SEM) Scanning electron microscope مجهز به (EDS) Takeoff Angle 25.0°، kV20.0 و Elapsed Livetime (10.0) جهت بررسی مرفولوژی و آنالیز ترکیبات کربن فعال و جهت تعیین سطح مخصوص آن از ایزوترم های (BET) (BJH) Barrett-Joyner- و (BEI) Brunauer, Emmet Teller Halenda نرم افزار بلسورپ (Belsorp) Data Analysis Software 5.3.3.0) پژوهشگاه مواد و انرژی کرج، استفاده گردید. مواد شیمیایی مصرفی در این تحقیق از شرکت های مرک و آلدریچ تهیه شده است. در این تحقیق کلیه آزمایشات جذب براساس روش های استاندارد ذکر شده در ماخذ (۱۳) انجام گرفته است. برای تنظیم pH از محلول NaOH یا H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> یک نرمال استفاده گردید. آزمایشات در سیستم ناپیوسته در بشرهای به حجم ۲۵۰ mL انجام شد. در این مطالعه تاثیر پارامترهایی چون زمان تماس، غلظت اولیه رنگ، pH و مقدار اولیه جاذب در فرایند جذب مورد بررسی قرار گرفتند. مقدار جذب رنگ اسیدی سیاه ۱ توسط کربن فعال تولیدی نیز توسط اسپکتروفوتومتر (Pharmaspec Shimadzo مدل UV- 1700) در طول موج ۶۲۲ نانومتر تعیین گردید.

### یافته‌ها

#### مشخصات ساختاری کربن فعال تولیدی

محاسبات نشان می دهد که بازده تولید کربن فعال از تایرهای فرسوده ۳۶/۵٪-۳۲٪ بوده است. تصویر SEM مندرج در شکل ۱ میکروگراف کربن فعال تولیدی را نشان می دهد. در BJH تصاویر ساختار غیر متبلور و خلل و فرج که مناسب برای جذب آلاینده است دیده می شود. آنالیز نمونه کربن فعال تولیدی از تایرهای فرسوده (آزمایشگاه مهندسی مواد دانشگاه مجلسی) مقادیر عناصر تشکیل دهنده در نمونه کربن فعال تولید شده در این مطالعه را کربن (۸۳/۲۷۶٪)، ازت (۰٪)،

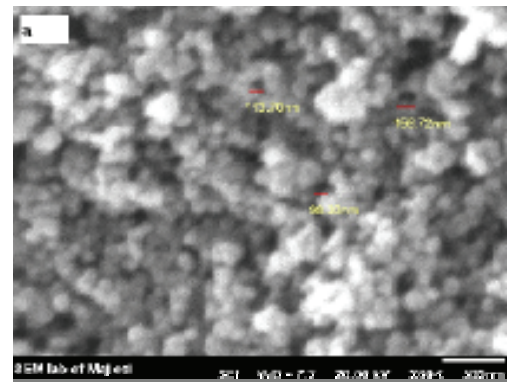
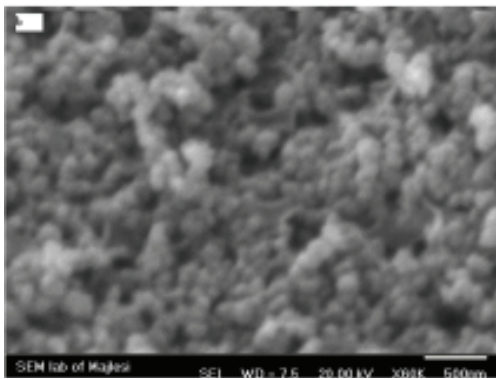
دارنده های فلزی یا سنتزی نباشند، جهت تولید کربن فعال با روش ترمو- شیمیایی استفاده گردید. این مطالعه با هدف امکان سنجی استفاده از کربن فعال فرآوری شده از تایرهای فرسوده در حذف/جذب انجام شده است. جهت تعیین کارایی کربن فعال فرآوری شده نیز از رنگ اسیدی سیاه ۱ به عنوان شاخص آلودگی استفاده گردید.

### مواد و روش ها

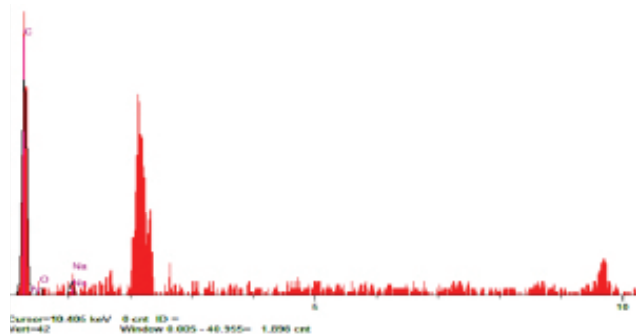
ابتدا نمونه تایر فرسوده در اقطار ۰/۲ تا ۰/۳ سانتی متر خرد شده و در هیدروکسید پتاسیم جهت فعال سازی به مدت زمان ۳ ساعت غوطه ور گردیدند. این فرایند در ارلن ۲۵۰ mL با مخلوط کردن نمونه تایرهای فرسوده با محلول هیدروکسید پتاسیم و اتانول به عنوان حلال انجام شد. نسبت جرمی (W/W) واکنش گر شیمیایی (هیدروکسید پتاسیم) به تایر، با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده (۱۲) ۴:۱ انتخاب گردید. سپس مخلوط هیدروکسید پتاسیم/ تایر به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. محصول این مرحله به داخل یک راکتور فلزی به قطر ۵۰ mm و طول ۲۵۰ mm منتقل و عمل پیرولیز (کوره الکتریکی با قابلیت تنظیم دما و زمان، Alrsh- 1200, Exciton.co) به گونه ای که دمای کوره در بازه زمانی صفر تا ۲ ساعت به ۷۰۰<sup>o</sup>C برسد، انجام شد و زمان ماند در دمای ۷۰۰<sup>o</sup>C، صفر در نظر گرفته شد. فرآورده های حاصل از پیرولیز با ۲۵۰ mL محلول اسید کلریدریک ۰/۵ نرمال در دمای ۸۵<sup>o</sup>C به مدت زمان ۳۰ دقیقه شست و شو داده شد سپس عمل شست و شو با آب تا زمانی که pH مخلوط آب و کربن به بالاتر از ۶ برسد ادامه یافت. جهت خشک شدن، محصول نهایی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۹۰<sup>o</sup>C ۱۱۰ نگه داری گردید. بعد از این مرحله کربن فعال تولیدی با استفاده از الک سیمی استاندارد (ASTM)، با مش ۱۰۰ دانه بندی شد. با استفاده از رابطه (۱) نیز بازده تولید کربن فعال مورد محاسبه قرار گرفت. در این رابطه Wac وزن کربن فعال تولیدی و Wti وزن تایر مورد استفاده جهت تولید کربن فعال

است. به طور معمول خصوصیات ساختار خلل و فرج کربن فعال به وسیله جذب فیزیکی یک گاز خنثی همانند نیتروژن یا آرگون در فشار کاهشی بررسی می شود. شکل ایزوترم ها براساس اندازه خلل و فرج به انواع میکرو، مزو و ماکرو تقسیم بندی می شوند. شکل ۳ ایزوترم جذب - واجذب گاز نیتروژن در دمای ۷۷ درجه کلوین را نشان می دهد.

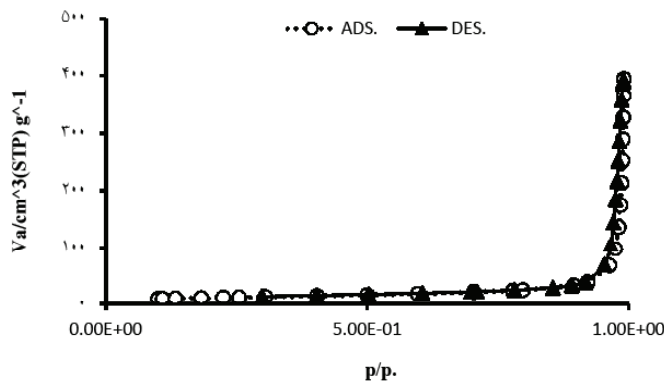
اکسیژن (۰.۱۳/۲۳۶) و سدیم (۰.۳/۴۸۷) نشان می دهد (شکل ۲). سطح مخصوص این کربن با استفاده از تکنیک جذب گاز نیتروژن با روش های BET و BJH به ترتیب ۴۴/۲۲۶ و  $35/747 \text{ m}^2/\text{gr}$  به دست آمد. همچنین حجم کل منافذ و متوسط اندازه منافذ کربن فعال فرآوری شده به ترتیب  $0/58 \text{ cm}^3/\text{gr}$  و  $52/461 \text{ nm}$  بر اساس روش BET و  $0/5986 \text{ cm}^3/\text{gr}$  و  $34/39 \text{ nm}$  به روش BJH به دست آمده



شکل ۱: میکروگراف SEM تهیه شده از نمونه کربن فعال تولیدی: (a) پراکنندگی اندازه منافذ (b) بدون درج اندازه منافذ (بزرگ‌نمایی K60)



شکل ۲: آنالیز نمونه کربن فعال تولید شده با استفاده از آزمون EDS

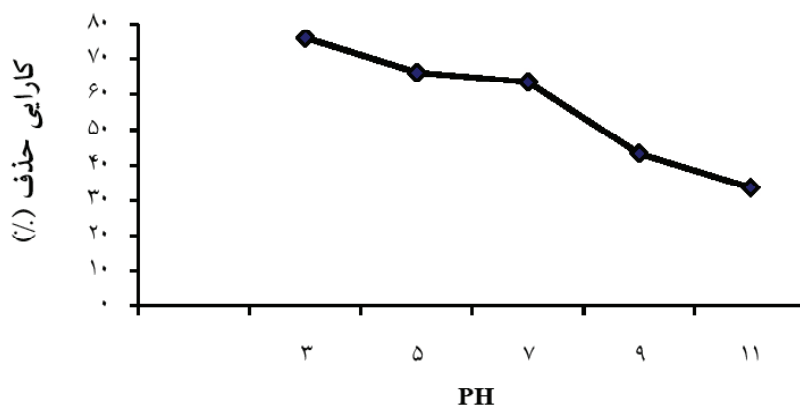


شکل ۳: ایزوترم جذب - واجذب گاز نیتروژن در دمای ۷۷ درجه کلوین

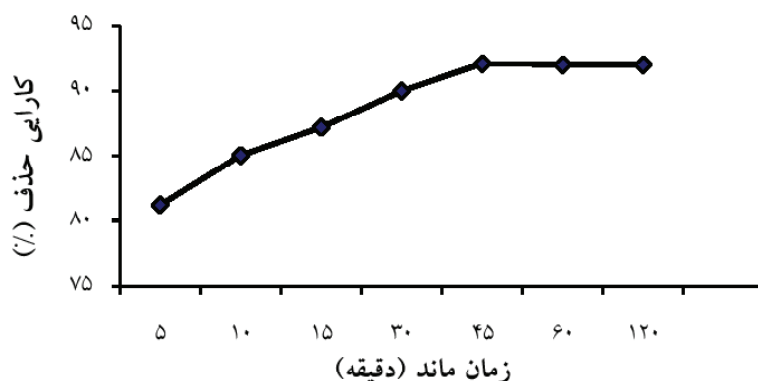
### تعیین کارایی کربن فعال تولیدی براساس شاخص رنگ اسیدی سیاه ۱

#### تأثیر pH بر جذب رنگ اسیدی سیاه ۱

آزمایشات جذب در pH های مختلف محلول رنگی با ثابت نگه داشتن دیگر متغیرها (زمان تماس، غلظت اولیه رنگ و غلظت اولیه جذب) انجام شد. نتایج نشان داد که کارایی حذف رنگ با افزایش pH کاهش می یابد (شکل ۴). کارایی حذف در pH=۳ و pH=۱۱ (کمترین و بیشترین سطح pH) به ترتیب ۷۵/۸۹٪ و ۳۳/۶۱٪ بوده است.



شکل ۴: تأثیر pH بر کارایی حذف رنگ اسید بلک ۱ با استفاده از کربن فعال تولیدی از تایرهای فرسوده (زمان تماس ۶۰ دقیقه، غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی گرم بر لیتر و ۰/۴ گرم کربن فعال)



شکل ۵: تأثیر زمان تماس بر کارایی حذف رنگ اسیدی سیاه ۱ با استفاده از کربن فعال تولیدی از تایرهای فرسوده (pH=۳ و غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی گرم بر لیتر و ۰/۶ گرم کربن فعال)

نتایج حاکی از آن است که کارایی حذف با افزایش غلظت رنگ کاهش یافته است. بر اساس نتایج بیشترین میزان کارایی حذف رنگ توسط کربن فعال فرآوری شده در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر ۹۹/۰۲٪ بوده است.

#### مطالعات ایزوترم جذب

مطالعات تعادلی که ظرفیت جذب برای جذب شونده را بیان می کند به وسیله ایزوترم های جذب توضیح داده می شوند. ایزوترم های جذب، معادلاتی برای تشریح حالت تعادل جزو جذب شونده بین فاز جامد و سیال می باشند. ایزوترم های فروندلیچ و لانگمیر قدیمی ترین و ساده ترین نوع شناخته شده برای توضیح ارتباط پارامترهای معادله جذب سطحی هستند.

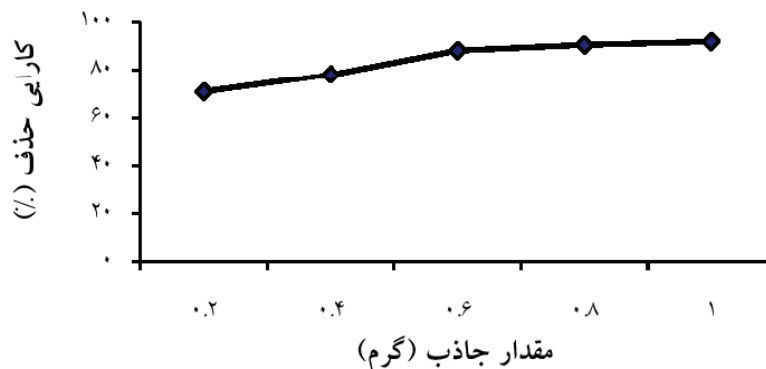
مزوپور طبقه بندی می شوند) و ساختار رنگ مورد استفاده که هر دو عامل در مکانیسم جذب آلاینده تاثیر بسزایی دارند، در ارتباط باشد.

#### تاثیر مقدار ماده جاذب در کارایی حذف رنگ

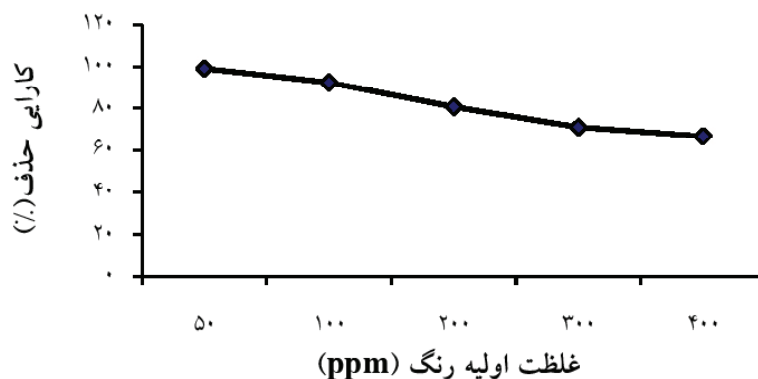
جذب رنگ بر روی جاذب با در تماس قرار گرفتن غلظت های مختلف کربن فعال تولیدی (۱-۰/۲ گرم در ۵۰ سی سی) با نمونه رنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که کارایی حذف با افزایش غلظت کربن افزایش می یابد به گونه ای که درصد حذف رنگ از ۷۷/۸٪ به ۹۸/۲۳٪ افزایش یافته است (شکل ۶).

#### تاثیر غلظت اولیه رنگ

نتایج حاصل از تاثیر غلظت اولیه رنگ اسیدی سیاه ۱ بر کارایی حذف آن توسط کربن فعال تولیدی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶: تاثیر مقدار جاذب بر کارایی حذف رنگ اسیدی سیاه ۱ با استفاده از کربن فعال تولیدی از تایرهای فرسوده (pH=۳) و غلظت اولیه رنگ ۵۰ میلی گرم بر لیتر



شکل ۷: تاثیر غلظت اولیه رنگ بر کارایی حذف رنگ اسیدی سیاه ۱ با استفاده از کربن فعال تولیدی از تایرهای فرسوده (pH=۳). غلظت اولیه رنگ ۴۰۰-۵۰ میلی گرم بر لیتر و مقدار ۱ گرم جاذب

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log c_e \quad (4)$$

جهت تعیین ایزوترم لانگمیر با ترسیم  $C_e/q_e$  (بر روی محور Y) نسبت به غلظت در نقطه تعادل یعنی  $C_e$  (بر روی محور X)، خط راستی حاصل خواهد شد که دارای شیب  $n/1$  و عرض از مبدا  $ab/1$  می باشد. همچنین با ترسیم مقادیر  $\log q_e$  (بر روی محور Y) نسبت به مقادیر  $\log C_e$  (بر روی محور X) ایزوترم فرندلیچ حاصل خواهد شد که دارای شیب  $n/1$  و عرض از مبدا  $\log K_f$  می باشد. ایزوترم های حاصل از نتایج در شکل ۸ و پارامترهای محاسبه شده از روی معادلات ایزوترمی در جدول ۱ آورده شده است.

### بحث

نتایج حاصل از آنالیز اجزای موجود در ساختار نمونه کربن فعال فرآوری شده از تیرهای فرسوده نشان داد که عنصر غالب در ساختار این جاذب، کربن است که حدود ۸۴ درصد آن را تشکیل می دهد. مقایسه نتایج این بخش از مطالعه با یافته های سایر محققین مطابقت دارد. در جدول ۲ برخی از مشخصات کربن فعال تولیدی در این مطالعه با برخی مطالعات مشابه مقایسه شده است.

در این تحقیق جهت استفاده از ایزوترم های مورد بحث مقدار ماده جذب شونده که به ازای واحد جرم کربن فعال تولیدی جذب شده است با استفاده از رابطه ۲ مورد محاسبه قرار گرفت.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

که در آن :

$q_e$ : غلظت ماده جذب شونده در فاز جامد (ماده جاذب) بعد از اتصال (g/mg)

$C_0$ : غلظت اولیه ماده جذب شونده در محلول (mg/L)

$C_e$ : غلظت تعادلی نهایی ماده جذب شونده بعد از برقراری تعادل (mg/L)

$V$ : حجم مایع در داخل راکتور (L)

$m$ : جرم ماده جذب شونده (g)

جهت تعیین مدل های ایزوترمی، داده های حاصل از آزمایشات با مدل خطی ایزوترم های لانگمیر و فرندلیچ تطبیق داده شده که حالت کلی معادلات خطی این دو مدل به ترتیب به صورت معادلات ۳ و ۴ می باشد (۲۱).

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m k_{ads}} \left( \frac{1}{c} \right) + \frac{1}{q_m} \quad (3)$$

جدول ۱: پارامترهای محاسبه شده برای مدل های ایزوترمی

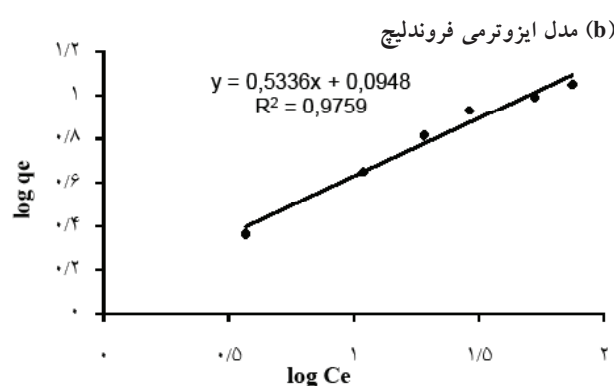
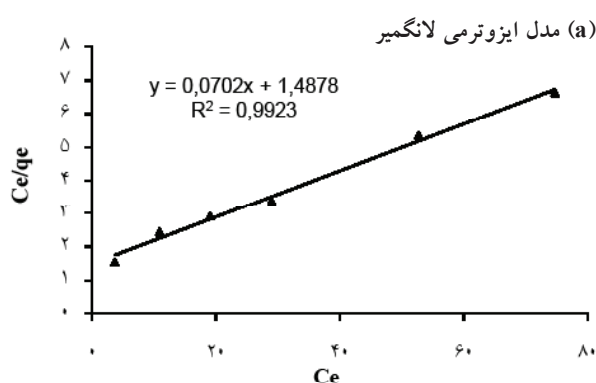
مدل ایزوترم جاذب	$n$	$K$ یا $k_{ads}$ (L/g)	$m$	$R^2$
فرندلیچ	۰/۹۷۵۹	۱/۲۴۴	۶/۲۳	-
لانگمیر	۰/۹۹۲۳	۰/۰۳۷۱	-	۱۳/۲۳۵

جدول ۲: بررسی برخی ویژگی های کربن فعال تولیدی در این مطالعه

محققین	روش تولید کربن	مجموع کل حلال (cm <sup>3</sup> /g)	صنایع مخصوص (cm <sup>3</sup> /g)	بازده تولید کربن فعال (%)
مطالعه حاضر	شیمیایی - KOH	۰/۵۸	۴۴/۲۲۶	۲۶/۵-۲۲
هیشنگ رنگ و همکاران (۵)	شیمیایی - ZnCl <sub>2</sub>	۰/۲۷	۱۱۰/۴۳	۳۸-۳۶
هیشنگ رنگ و همکاران (۵)	شیمیایی - H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	۰/۲۴۳	۵۵/۳۳	۵-۱۴
آنکسرون و همکاران (۲۶)	شیمیایی - سدیم کربونات	۰/۲۷	۲۰	۶۰/۵
آنکسسون و همکاران (۲۶)	شیمیایی - پتاسیم کربونات	۰/۳۶	۲۰۰	۵۴/۲

فراوری شده کاهش می یابد. بالاترین کارایی به دست آمده در  $\text{pH}=3$  بوده است. رنگ اسیدی مورد استفاده در این مطالعه (آنیون دو ظرفیتی) در مقیاس صنعتی به منظور رنگ آمیزی فیبرهای نساجی مورد استفاده قرار می گیرند که قابلیت انحلال

هیشنگ و همکاران در سال ۲۰۰۰، شارم و همکاران در سال ۱۹۹۸ و گالواگنو و همکاران در سال ۲۰۰۲ عنصر اصلی کربن فعال فراوری شده از تایرهای فرسوده را، کربن گزارش کرده اند (۱۵ و ۱۴).



شکل ۸: نتایج حاصل از مطالعه ثابت تعادل، (a) مدل ایزوترمی لانگمیر، (b) مدل ایزوترمی فروندلیچ

در آب را داشته و دارای گروه‌های سولفونات سدیم ( $\text{SO}_3\text{Na}^-$ ) است. گروه سولفونات سدیم در ساختار این رنگ باعث اتصال مولکول رنگ با جایگاه های کاتیونی در سطح جذب می شود همچنین وجود گروه های آکسوکروم مانند گروه های عامل هیدروکسیل،  $(\text{OH})^-$ ، آمینو،  $\text{NH}_2$  و نیترو،  $\text{NO}_2$ ، بسته به مقدار  $\text{pH}$  خاصیت الکترو پوزیتیو یا الکترونگاتیو خواهند داشت که شاید اثر  $\text{pH}$  بر راندمان حذف با این خاصیت رنگ قابل توجه باشد. به عبارتی نتایج این مرحله از آزمایشات بیان می کند که نیروی قوی بر هم کنش بین رنگ و کربن فعال و نیز یون های  $\text{H}^+$  و  $\text{OH}^-$  می توانند ظرفیت جذب را تحت تاثیر قرار دهند. این رفتار می تواند بر اساس نقطه صفر بار الکتریکی جذب قابل توضیح باشد. به طوری که در  $\text{pH}$  های بالاتر از این نقطه یون های  $\text{OH}^-$  با رنگ های اسیدی رقابت می کنند و سبب کاهش درصد حذف رنگ می شوند. در  $\text{pH}$  کمتر از نقطه صفر بار الکتریکی، سطح جذب به طور مثبت باردار شده و آنیونی که به صورت منفی باردار است به وسیله نیروی جاذبه الکترواستاتیکی جذب می شود. هامید (Hameed) و همکارانش در سال ۲۰۰۷ گزارش کرده اند که با افزایش  $\text{pH}$

بررسی تخلخل کربن فعال فراوری شده به وسیله جذب/وا جذب گاز نیتروژن (شکل ۳) نشان می دهد که بیشترین درصد نمونه کربن فعال فراوری شده دارای تخلخل مزو می باشد زیرا وقتی که فعال سازی فیزیکی افزایش می یابد، دیواره برخی از میکروپورها تخریب شده و به خلل و فرج مزو تبدیل می شوند این حالت توسط خزومی و همکاران هم گزارش شده است (۱۶). منحنی وا جذب گاز نیتروژن به صورت یک حلقه جدا (پس ماند) می باشد (شکل ۳). این حالت در مواردی که مواد دارای حداکثر منافذ در محدوده مزو باشند، روی می دهد زیرا تبخیر مایع از منافذ از حالت چگالش آن در منافذ متفاوت از هم است. به گونه ای که تبخیر مایع فقط در فاز مایع/بخار صورت می گیرد در حالی که چگالش در دیواره منافذ اتفاق می افتد. بنابراین وجود حلقه پس ماند در منحنی جذب - وا جذب گاز نیتروژن تاییدی بر وجود منافذ مزو در ساختار کربن فعال تولیدی می باشد. یکی از فاکتورهای اثر گذار بر فرایند جذب رنگ ها،  $\text{pH}$  می باشد که از طریق تاثیر بر ساختار رنگ و بارسطوحی جذب در فرایند جذب تاثیر می گذارد. طبق نتایج حاصل، با افزایش  $\text{pH}$  میزان جذب رنگ بر روی کربن فعال



رسیده است. همچنین براساس یافته های وای اس هو (Y. S. HO) و همکاران، جذب رنگ اسیدبلو ۲۵ بر روی چوب متفاوت است که در آن مطالعه زمان تعادل ۲۵۰ دقیقه به دست آمده است (۲۱). اما با یافته های عسگری و همکاران، جذب رنگ متیلن بلو بر روی زغال فعال فرآوری شده از استخوان، حسین زاده و همکاران در جذب رنگ اسید بلک ۵ بر روی زایدات پوست سیب زمینی تصفیه شده با اسید، هم خوانی دارد (۲۲ و ۲۳). شاید که تفاوت در یافته های این مطالعه با یافته های سایر محققین به دلیل تفاوت ساختاری جاذب های مورد استفاده و نوع آلاینده مورد مطالعه باشد. بنابراین می توان چنین نتیجه گیری کرد که به دلیل زمان تعادل ۱۲۰ دقیقه ای برای رنگ اسیدبلک ۱ در این مطالعه، این باشد که جذب این نوع رنگ از طریق پخش در خلل و فرج جاذب صورت گیرد که نسبت به جذب بر روی منافذ سطحی کندتر است (۲۲). بررسی تاثیر دوزاژ جاذب بر کارایی حذف نیز که در شکل ۶ آورده شده، نشان می دهد که افزایش مقدار ماده جاذب منجر به افزایش کارایی از ۷۷/۸٪ به ۹۸/۲۳٪ خواهد شد. این افزایش کارایی می تواند به دلیل افزایش سطح جاذب در دسترس برای ماده رنگی باشد. اوانگ و همکاران، عسگری و همکاران، سیوارجاسکار، سیفول (S. Saiful Azhar) و همکاران و آریولی و همکاران هم به چنین نتایجی در مطالعات خود اشاره کرده اند (۱۸-۲۰، ۲۲ و ۲۴). اگرچه با افزایش دوزاژ جاذب راندمان حذف آلاینده (رنگ) افزایش می یابد اما به دلیل غیر اشباع ماندن برخی از سایت های موجود در سطح جاذب، میزان جذب در واحد جرم کاهش می یابد. در بررسی تغییرات غلظت رنگ بر کارایی حذف نیز مشخص گردید که کارایی حذف با افزایش غلظت اولیه رنگ، کاهش یافته است (شکل ۷)، اما می توان گفت که مقدار واقعی رنگ جذب شده در واحد جرم کربن با افزایش غلظت رنگ افزایش یافته است و این نشان می دهد که جذب سطحی تا حد زیادی به غلظت اولیه رنگ بستگی دارد (۱۸). میزان جذب/حذف رنگ در غلظت های اولیه پایین تر بیشتر است، به این دلیل که مقاومت در برابر جذب یا برداشت رنگ

(از ۲ به ۱۳) میزان جذب رنگ AG25 بر روی خاکستر فعال شده نخل، به دلیل افزایش آنیون های هیدروکسیل و تغییر بار سطحی جاذب، کاهش می یابد (۱۷) که با نتایج مطالعه حاضر هم خوانی دارد اما اوانگ (Ong) و همکارانش در مطالعه خود گزارش کرده اند که با افزایش pH (از ۲ به ۱۰) میزان جذب رنگ های راکتیو بر روی سبوس برنج افزایش داشته است که در pH های پایین احاطه شدن سطح جاذب به وسیله گروه های کربوکسیلیک از جذب رنگ جلوگیری می کند (۱۸). نتایج مطالعه سیوارجاسکار (Sivarajasekar) و همکارانش در بررسی بیوجذب رنگ آزو هم با یافته های این مطالعه هم خوانی دارد (۱۹). به طور کلی بر اساس یافته های این مطالعه و مطالعات همسو و غیر همسو با یافته های این مطالعه می توان چنان نتیجه گیری کرد که pH بر حذف آلاینده ها با استفاده از فرایند جذب سطحی، اثر قابل ملاحظه و متفاوتی دارد لذا اثر pH بسته به نوع آلاینده و جاذب می تواند اختصاصی باشد. در بررسی زمان تماس جاذب فرآوری شده با نمونه رنگ مشخص گردید که کارایی حذف در زمان ۱۲۰ دقیقه حاصل شده است (شکل ۵). از آنجا که نمودار منفرد و ادامه دار است، به سمت اشباع شدن جاذب پیش می رود که می توان وجود پوشش تک لایه ای رنگ بر روی سطح کربن فعال را پیش بینی کرد (۲۰). نتایج حاصل از بررسی زمان تماس نشان داد که جذب جزء جاذب شونده در مراحل ابتدایی سریع بوده و در نزدیکی زمان تعادل آهسته می شود. سرعت جذب بین این دو مرحله تقریباً ثابت است. شاید علت این است که مکان های در دسترس برای جذب در مرحله ابتدایی بیشتر بوده و نیروی رانش برای انتقال ماده جذب شونده بزرگتر است، پس اتصال جزو جذب شونده به مکان های جذب راحت تر است. پس از گذر زمان تعداد سایت های فعال کمتر شده و توسط ماده جذب شونده اشغال می شود و دخول آن را محدود می کند. نتایج این بخش از مطالعه با یافته های آریولی و همکاران، در جذب رنگ های اسیدی و بازی بر روی کربن فعال، تفاوت دارد که جذب رنگ های مورد بررسی در ۵۰ دقیقه به تعادل

### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که درصد حذف رنگ آنیونی AB1 با افزایش زمان تماس به علت افزایش محل‌های جذب قابل دسترس برای جذب شونده، افزایش یافت ولی با افزایش غلظت اولیه رنگ، درصد حذف رنگ کاهش یافت و با توجه به ضرایب همبستگی ( $R^2$ ) می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های تعادلی فرایند جذب با ایزوترم لانگمیر تطابق بهتری دارد. همچنین ارزیابی کربن فعال تولیدی با رنگ اسید بلک ۱ نشان داد که کربن فعال تولیدی در حذف آلاینده‌هایی چون مواد رنگی از محیط‌های آبی می‌تواند بسیار کارا باشد. همچنین با توجه به جنبه زیست محیطی و اقتصادی طرح، نتایج این تحقیق می‌تواند مورد توجه قرار گرفته و در راستای تجاری‌سازی نتایج اقدام شود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان "بررسی کارایی کربن فعال تولیدی از تایرهای فرسوده در حذف رنگ‌های اسیدی از محلول‌های آبی" دانشگاه علوم پزشکی همدان در سال ۱۳۸۹ با کد ۸۹۰۷۱۳۱۲۲۴۴۴ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی همدان اجرا گردید.

### منابع

1. Ko DCK, Mui ELK, Lau KST, McKay G. Production of activated carbons from waste tire - process design and economical analysis. Waste Management. 2004;24(9):875-88.
2. The California Integrated Waste Management Board. Increasing the recycled content in new tires. Final report. California: The California Integrated Waste Management Board; 2004 May. Report No.: #622-04-001.
3. Sammadian F. Rubber recycling report. Final report. Tehran: Ministry of Industry and Mining/ Manufacturing Industries; 2006 (in Persian).
4. Adhikari B, De D, Maiti S. Reclamation and recycling of waste rubber. Progress in Polymer Science. 2000;25(7):909-48.
5. Teng H, Lin Y, Hsu L. Production of activated carbons from pyrolysis of waste tires impregnated with potassium hydroxide. J Air Waste Manag Assoc. 2000;50(11):1940-46.
6. Brady TA, Rostam-Abadi M, Rood MJ. Applications for activated carbons from waste tires: natural gas storage and air pollution control. Gas Separation & Purification. 1996;10(2):97-102.
7. Lin Y-R, Teng H. Mesoporous carbons from waste tire char and their application in wastewater discoloration. Microporous and Mesoporous Materials. 2002;54(1-2):167-74.
8. Yuan CS, Lin HY, Wu CH, Liu MH, Hung CH.

- Preparation of sulfurized powdered activated carbon from waste tires using an innovative composite impregnation process. *J Air Waste Manag Assoc.* 2004;54(7):862-70.
9. Hsu L-Y, Teng H. Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal. *Fuel Processing Technology.* 2000;64(1-3):155-66.
10. Lua AC, Guo J. Activated carbon prepared from oil palm stone by one-step CO<sub>2</sub> activation for gaseous pollutant removal. *Carbon.* 2000;38(7):1089-97.
11. Rodríguez-Reinoso F, Pastor AC, Marsh H, Martínez MA. Preparation of activated carbon cloths from viscous rayon. Part II: physical activation processes. 2000;38(3):379-95.
12. Wey MY, Liou BH, Wu SY, Zhang CH. The Autothermal Pyrolysis of Waste Tires. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 1995;45:855-63.
13. APHA. Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters. 20s ed. Washington, DC: American Public Health Association (APHA); 1998.
14. Sharma RK, Zondlo JW, Dadyburjor DB. A kinetic scheme for catalytic coliquefaction of coal and waste tire. *Energy Fuels.* 1998;12(3):589-97.
15. Galvagno S, Casu S, Casabianca T, Calabrese A, Cornacchia G. Pyrolysis process for the treatment of scrap tyres: preliminary experimental results. *Waste Management.* 2002;22(8):917-23.
16. Khezami L, Ould-Dris A, Capart R. Activated carbon from thermo-compressed wood and other lignocellulosic precursors. *BioResources.* 2007;2(2):193-209.
17. Hameed BH, Ahmad AA, Aziz N. Isotherms, kinetics and thermodynamics of acid dye adsorption on activated palm ash. *Chemical Engineering Journal.* 2007;133(1-3):195-203.
18. Ong ST, Lee CK, Zainal Z. Removal of basic and reactive dyes using ethylenediamine modified rice hull. *Bioresource Technology.* 2007;98(15):2792-9.
19. Sivarajasekar N, Baskar R, Balakrishnan V. Biosorption of an Azo Dye from Aqueous solution Onto Spirogyra. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy.* 2009;44(2):157-64.
20. Arivoli S, Sundaravadivelu M, Elango K. Removal of basic and acidic dyes from aqueous solution by adsorption on a low cost activated carbon: Kinetic and thermodynamic study. *Indian J Chem Technol.* 2008;15:130-9.
21. Ho YS, Mckay G. Kinetic Model For the Sorption of Dye From Aqueous Solution by Wood. *Trans IChem E.* 1998;76B:183-91.
22. Ghanizadeh G, Asgari G. Removal of Methylene Blue Dye from Synthetic Wastewater with Bone Char. *Iran J Health & Environ.* 2009;2(2):104-13.
23. Samarghandy M.R., Hosseinzade E., Hosseinzade S., Biosorption of Reactive Black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass from potato peel waste, *Bioresources.* 2011; 6: 4840-4855.
24. Azhar SS, Liew AG, Suhardy D, Hafiz KF, Hatim MDI. Dye removal from aqueous solution by using adsorption on treated sugarcane bagasse. *American Journal of Applied Sciences.* 2005;15(1):25-32.
25. Yavuz Ö, Aydin AH. Removal of direct dyes from aqueous solution using various adsorbents. *Polish Journal of Environmental Studies.* 2006;15(1):155-61.
26. Atkinson JD. Development of carbon adsorbents from organic salt precursors and their environmental applications [dissertation]. Urbana-Champaign: Illinois; 2009.
27. Ghanizadeh G, Asgari G. Removal of methylene blue dye from synthetic wastewater with bone char. *Iran J Health & Environ.* 2009;2(2):104-13.

# **Producing Activated Carbon from Scrap Tires by Thermo-Chemical Method and Evaluation its Efficiency at Removal Racid Black1 Dye**

Hoseinzadeh E.<sup>1</sup>,\*Rahmani A.R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Khoram abad University of Medical Sciences, Lorestan, Iran

<sup>2</sup>Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Received; 22 June 2011 Accepted; 21 August 2011

## **ABSTRACT**

**Background and Objectives:** The disposal of waste tires has become an increasingly important issue worldwide in recent years. Tires not only take up large amounts of valuable landfill space, but also create fire hazards and provide a refuge for disease-carrying creatures. The goal of this study was to produce activated carbon from scrap tires. Adsorption of Acid Black1 (AB1) in aqueous solution as a pollutant by the activated carbon was also investigated.

**Materials and Methods:** Activated carbon was prepared from scrap vehicle tires using a thermo-chemical activation method. The chemical composition and solid structure of prepared activated carbon were analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM) coupled with energy dispersive spectrometry (EDS) and Nitrogen Sas. Micro pore volumes of the sample were determined by the application of the BET and BJH.

**Results:** Predominant composition of prepared activated carbon was C (83.274%) and with area surface of 44.226 and 35.747 m<sup>2</sup>/gr observed by BET and BJH methods, respectively. Mean pore diameter was 52 nm. The result of this study showed that increasing of initial dye concentration and pH would lead to decrease of adsorption/removal of dye but by increasing of sorbent dosage and contact time, adsorption/removal of dye increased.

**Conclusion:** As the results of present study it can be concluded that the production of the activated carbon from scrap tires, can provide a two-fold environmental and economic benefit; a recycling path is created for scrap tires of vehicles, and a new suitable adsorbent is produced for pollutants removal.

**Key words:** Scrap tire, Activated carbon, Thermo-chemical, Dye removal

---

\*Corresponding Author: [rahmani@umsha.ac.ir](mailto:rahmani@umsha.ac.ir)  
Tel: +98 811 83 800 26, Fax: