

## بررسی کارائی تفاله سیب خام و اشکال اصلاح شده آن با پراکسید هیدروژن و کلرید منیزیم در حذف کروم شش ظرفیتی سمی از محلول‌های سنتتیک

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۶/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۳۰

### چکیده

محمد نوری سپهر<sup>۱</sup>، محمود تقوی<sup>۲</sup>، منصور ضرابی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران  
<sup>۲</sup> کلوب دانشجویان جوان و نخبه، شعبه زابل، دانشگاه آزاد اسلامی، زابل، ایران  
<sup>۳</sup> کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

**زمینه و هدف:** کروم از جمله فلزات سنگین می‌باشد که در پساب فعالیت‌های صنعتی و به دو صورت سه و شش ظرفیتی وجود دارد. کروم شش ظرفیتی به دلیل خصوصیات سرطانزائی آن جزء مواد خطرناک محسوب می‌گردد. به دلیل اینگونه خطرات، کروم شش ظرفیتی باید قبل از تخلیه به محیط حذف گردد. برای همین منظور هدف از این مطالعه استفاده از تفاله سیب و اشکال اصلاح شده آن با استفاده از پراکسید هیدروژن و کلرید منیزیم در حذف کروم شش ظرفیتی از محلول‌های سنتتیک می‌باشد.

**روش بررسی:** تفاله سیب از کارخانه لواشک‌سازی گلین به عنوان یک ماده زائد تهیه گردید. سپس با محلول ۲ مولار کلرید منیزیم و محلول ۳۰٪ پراکسید هیدروژن اصلاح گردید. پارامترهای مختلفی از قبیل  $pH$  محلول (۳-۹)، زمان واکنش (۱-۱۰۰ دقیقه)، دمای محلول ( $60^{\circ}C$ - $20^{\circ}C$ )، مقدار جاذب ( $10$ - $2$  g/L) غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی ( $100$ - $10$  mg/L) مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمایشات در سیستم ناپیوسته انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که حذف کروم شش ظرفیتی با افزایش میزان جاذب تفاله سیب، زمان تماس و غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی افزایش می‌یابد در حالی که با افزایش  $pH$  و دمای محلول راندمان حذف کاهش یافت. بیشترین میزان حذف در  $pH$  برابر ۱، دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، زمان تماس ۱۰۰ دقیقه و غلظت  $100$  mg/L از کروم شش ظرفیتی مشاهده گردید. تحت این شرایط بیش از ۹۰٪ کروم شش ظرفیتی حذف گردید. علاوه بر آن مشخص شد که اصلاح تفاله سیب با کلرید منیزیم باعث افزایش کارائی حذف آن به بیش از ۹۸٪ و اصلاح تفاله سیب با پراکسید هیدروژن باعث افزایش کارائی حذف آن به بیش از ۹۵٪ می‌گردد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تفاله سیب خام قادر به حذف کروم شش ظرفیتی می‌باشد و چنانچه سطح آن با پراکسید هیدروژن و کلرید منیزیم اصلاح گردد ظرفیت جذب آن افزایش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** تفاله سیب، سیستم ناپیوسته، کروم شش ظرفیتی، اصلاح جاذب

### مقدمه

گسترش روز افزون صنایع و به دنبال آن تخلیه فاضلاب‌های صنعتی به محیط‌زیست یکی از چالش‌های بحث‌انگیز بشر امروزی می‌باشد. فاضلاب‌های صنعتی به دلیل کمیت و کیفیت متغیرشان، دارا بودن انواع مواد آلاینده آلی و غیر آلی و همچنین نبود روش‌های مطمئن برای تصفیه کامل آنها، همواره مورد توجه متخصصان محیط‌زیست واقع شده‌اند.<sup>۱</sup> در بین فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب‌های حاوی فلزات سمی و خطرناک توجه ویژه‌ای را بخود

جلب کرده‌اند چرا که با ورود این گونه فلزات به محیط‌زیست، عملاً اکوسیستم منطقه از بین رفته و از طرف دیگر آلودگی فلزات برای مدت‌های طولانی در محیط‌زیست باقی خواهد ماند.<sup>۲</sup> فلزات سنگین از جمله فلزاتی می‌باشند که در فاضلاب‌های صنعتی مشاهده می‌شوند و به مراتب سمی‌تر و خطرناک‌تر از سایر فلزات از قبیل آهن، کلسیم، منیزیم و سایر فلزات هستند. فلزات سنگین به فلزاتی اطلاق می‌گردد که جرم مخصوص آنها بیش از ۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده و به دلیل خاصیت سمی بودن و قابلیت

\* نویسنده مسئول: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران  
۰۲۶-۳۴۶۴۳۳۹۸  
E-mail: mansor62@gmail.com

از کلرید منیزیم و پراکسید هیدروژن استفاده گردیده است. در این مطالعه پارامترهای مختلفی از دمای محلول، میزان جاذب، غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی و  $pH$  محلول بروی کارائی حذف فرآیند مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه، تفاله سیب از کارخانه لواشک‌سازی گلین تهیه گردید. جاذب مورد نظر ابتدا جهت حذف ناخالصی‌های آن با آب بدون یون چندین بار شسته شده و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید و به عنوان جاذب خام مورد استفاده قرار گرفت. جهت اصلاح جاذب خام، از محلول ۲ مولار کلرید منیزیم استفاده گردید. دلیل اصلاح جاذب با پراکسید هیدروژن و کلرید منیزیم به دلیل خاصیتی است که این دو ماده با ایجاد تغییراتی در ساختار جاذب باعث افزایش میزان ظرفیت جذب آن می‌گردند. پراکسید هیدروژن باعث افزایش تخلخل جاذب و همچنین اکسید کردن برخی از ترکیبات در ساختار جاذب می‌شود. کلرید منیزیم نیز با رسوب منیزیم در سطح جاذب باعث افزایش کارایی جاذب می‌گردد.<sup>۱۳</sup> برای این منظور بعد از تهیه محلول ۲ مولار کلرید منیزیم، مقداری از جاذب خام به داخل محلول فوق اضافه شده و به مدت ۲۴ ساعت در آزمایشگاه نگه داشته شد. بعد از سپری شدن ۲۴ ساعت واکنش بین محلول کلرید منیزیم و تفاله سیب خام، جاذب مورد نظر از داخل محلول خارج گردیده و چندین بار با آب بدون یون شسته شده تا کلرید منیزیم اضافی از آن خارج گردد. سپس جاذب اصلاح شده در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک گردیده و به عنوان جاذب اصلاح شده با کلرید منیزیم استفاده گردید. روش اصلاح با پراکسید هیدروژن نیز همانند اصلاح جاذب با کلرید منیزیم صورت گرفت با این تفاوت که در این روش از محلول ۳۰ درصد پراکسید هیدروژن جهت اصلاح استفاده گردید. لازم به ذکر است که جاذب خام و اصلاح شده بدون دانه بندی مورد استفاده قرار گرفت. جهت تهیه محلول کروم ۶ ظرفیتی از ماده دی کرومات پتاسیم خریداری شده از شرکت مرک آلمان با خلوص ۹۸٪ استفاده گردید. برای این منظور مقدار ۱۴۱/۴ میلی گرم از دی کرومات پتاسیم به آب بدون یون اضافه کرده و به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. بدین ترتیب محلول مادر

تجمع پذیری دارای اهمیت خاصی در بین سایر فلزات می‌باشند.<sup>۴،۳</sup> بر این اساس فلزاتی از قبیل کروم، نیکل، سرب، جیوه و کادمیوم جزء فلزات سنگین طبقه‌بندی می‌گردند و بنابراین توجه ویژه‌ای به حذف این فلزات از محیط‌زیست می‌گردد. کروم از جمله فلزات سنگین می‌باشد که از فاضلاب‌های صنایع چرم سازی، آبکاری فلزات، تولید باتری‌های ذخیره برق، تولید رنگ، صنایع شیشه و سرمایه‌یک، نیروگاه‌های هسته‌ای و سایر صنایع در مقادیر مختلفی وارد محیط‌زیست می‌شود.<sup>۶</sup> کروم در محلول‌های آبی و بسته به نوع صنعت مورد استفاده به دو شکل کروم ۳ ظرفیتی و کروم ۶ ظرفیتی وجود دارد. کروم ۶ ظرفیتی در حدود ۱۰۰ برابر سمی تر و در حدود ۱۰۰۰ برابر جهش زا تر از کروم ۳ ظرفیتی می‌باشد. از طرف دیگر، در منابع آبی، کروم ۳ ظرفیتی در حضور اکسید منیزیم و برخی از باکتری‌ها به کروم ۶ ظرفیتی که سمی تر می‌باشد تبدیل می‌گردد.<sup>۷</sup> کروم ۶ ظرفیتی در مقادیر بیش از ۵ mg/L برای بسیاری از ماهی‌ها سمی بوده و در انسان نیز باعث بروز مشکلاتی از قبیل حالت تهوع، استفراغ، اسهال شدید، خونریزی داخلی شدید، درماتیت و آسیب به کلیه و کبد می‌شود. برای این منظور، استاندارد کروم ۶ ظرفیتی ۰/۰۵ mg/L و استاندارد ۲ mg/L برای کل کروم موجود در پساب برای تخلیه به محیط‌زیست وضع گردیده است.<sup>۹،۸</sup> برای همین منظور روش‌های مختلفی از قبیل جذب سطحی، فرایندهای الکتروشیمیایی، فرایندهای غشائی، فرایندهای بیولوژیکی و مواردی از این قبیل جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی مورد استفاده قرار گرفته است.<sup>۱۰،۹</sup> جذب سطحی از جمله فرایندهای مورد توجه در حذف آلاینده‌های محیط‌زیست می‌باشد که اغلب از کربن فعال تجاری برای این منظور استفاده می‌شود. بدلیل هزینه‌های احیای مجدد و همچنین نیاز به تخصص بالا در استفاده از کربن فعال تجاری، محققان امروزه تحقیقات گسترده‌ای را بر روی استفاده از جاذب‌های طبیعی و همچنین زائدات کشاورزی و صنعتی برای حذف فلزات سنگین آغاز کرده‌اند. برای مثال می‌توان به کاربرد زائدات کارخانه زیتون<sup>۱۱</sup>، زائدات گردو<sup>۱۱</sup> و کربن فعال تهیه شده از زائدات کشاورزی<sup>۱۲</sup> جهت حذف کروم از محلول‌های آبی اشاره کرد. برای همین منظور مطالعه حاضر به بررسی کارائی تفاله سیب حاصل از کارخانه لواشک‌سازی گلین در حذف کروم ۶ ظرفیتی از محلول‌های آبی پرداخته است. جهت اصلاح جاذب تفاله سیب نیز

منیزیم به ترتیب برای غلظت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ mg/L از کروم ۶ ظرفیتی مشاهده شد. بنابراین مشخص گردید که با افزایش غلظت کروم ۶ ظرفیتی و همچنین زمان تماس، کارایی حذف افزایش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که زمان تماس ۱۰۰ دقیقه برای حذف بیش از ۹۰ درصد کروم ۶ ظرفیتی لازم است.

#### بررسی تأثیر pH محلول

در شکل ۲ تأثیر pH محلول بروی کارایی حذف کروم ۶ ظرفیتی توسط جاذب خام (نمودار NS)، جاذب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن (نمودار HMS) و جاذب اصلاح شده با کلرید منیزیم (نمودار MCMS) نشان داده شده است. همانطور که مشخص می‌باشد بیشترین میزان حذف کروم ۶ ظرفیتی در pH برابر ۱ اتفاق می‌افتد و با افزایش pH محلول به ۹ کارایی حذف بطور چشمگیری کاهش می‌یابد. در pH برابر ۱ بیش از ۹۸ درصد از کروم ۶ ظرفیتی توسط جاذب‌های مختلف حذف گردید و با افزایش pH محلول به ۹ راندمان حذف ۷۵ درصد برای جاذب خام، راندمان حذف ۸۳ برای جاذب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن و راندمان حذف ۸۵ درصد برای جاذب اصلاح شده با کلرید منیزیم مشاهده گردید. بنابراین می‌توان اینطور بیان کرد که محیط‌های اسیدی برای حذف کروم ۶ توسط جاذب‌های مورد مطالعه بسیار مطلوب خواهند بود.

#### اثر میزان جاذب

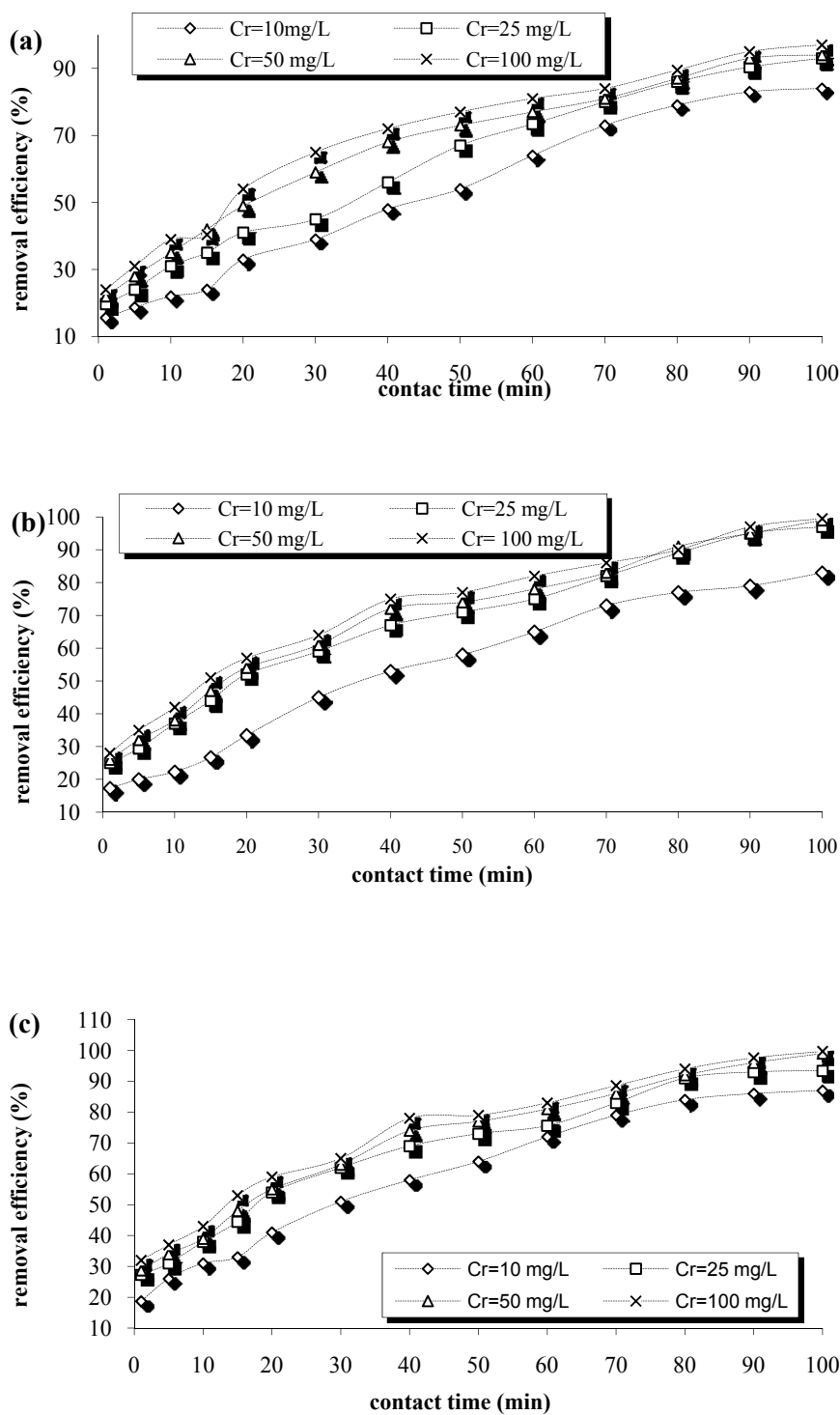
در شکل ۳ اثر میزان جاذب بروی کارایی حذف کروم ۶ ظرفیتی توسط جاذب‌های مورد استفاده نشان داده شده است. همانطور که می‌توان از روی نمودار مشاهده کرد افزایش میزان دوز جاذب باعث افزایش راندمان حذف گردید. بطوری که با افزایش میزان جاذب از ۲ g/L به ۱۰ g/L راندمان حذف از ۷۳ درصد به ۹۹ درصد برای جاذب خام، از ۷۹ درصد به ۹۹ درصد برای جاذب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن و از ۸۲ به ۹۹ درصد برای جاذب اصلاح شده با کلرید منیزیم افزایش یافت.

۵۰۰ mg/L از کروم ۶ ظرفیتی تهیه گردید. محلول‌های کاربردی بصورت روزانه و با رقیق سازی محلول استوک تهیه گردید. از اسید سولفوریک و سود ۱ نرمال جهت تنظیم pH محلول (Jenway, model 3510) استفاده گردید. پارامترهای مختلفی از جمله غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی (۱۰-۱۰۰ mg/L)، pH محلول (۱-۹)، دمای محلول (۲۰-۶۰) درجه سانتی‌گراد، میزان جاذب (۱۰-۲ g/L) و زمان واکنش مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در ستون ناپیوسته (Batch System) با تغییر دادن یک پارامتر و ثابت نگه داشتن سایر پارامترها انجام گرفت. برای مثال جهت بررسی تأثیر pH، محلول کروم با غلظت ۱۰۰ mg/L ساخته شده و به مقدار ۲۰۰ سی سی به ۵ عدد بشر اضافه گردید. سپس به هر کدام از بشرها در حدود ۶ g/L از جاذب‌های مورد نظر اضافه گردیده و تا زمان رسیدن به نقطه تعادل بروی میکسر (Hanna-Hi 190M, Singapore) با دور ۲۰۰ rpm اختلاط صورت گرفت. در نهایت جاذب‌های مورد نظر از روی میکسر جدا گردیده، بعد از فیلتر کردن باصافی واتمن به اندازه ۰/۴۵ میکرون، غلظت نهایی کروم ۶ ظرفیتی براساس روش دی فنیل کربازاید در طول موج ۵۲۰ نانومتر (Model DR 5000) مطابق با کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب تعیین مقدار گردید<sup>۱۴</sup>. تأثیر سایر پارامترها نیز بدین ترتیب مورد بررسی قرار گرفت.

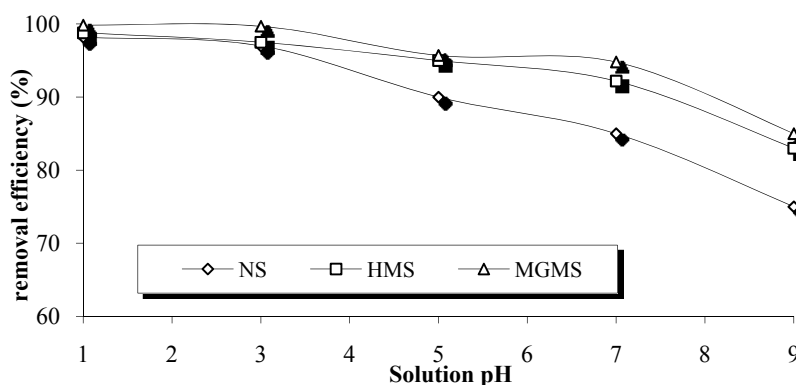
#### یافته‌ها

##### بررسی تأثیر زمان تماس و غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی

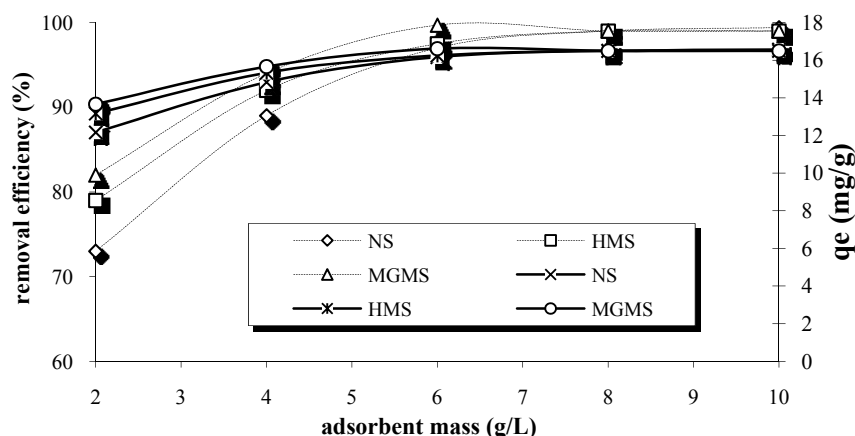
در شکل ۱a، ۱b و ۱c اثر زمان تماس و غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی بروی راندمان حذف به ترتیب توسط تفاله سیب خام، تفاله سیب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن و تفاله سیب اصلاح شده با کلرید منیزیم نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش زمان تماس و غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی، راندمان حذف توسط هر سه نوع جاذب افزایش یافت. با افزایش زمان تماس از ۱ تا ۱۰۰ دقیقه راندمان حذف برابر ۸۴، ۹۳، ۹۴ و ۹۷ درصد برای جاذب خام، راندمان حذف ۸۳، ۹۷، ۹۹ و ۹۹/۵ درصد برای جاذب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن و راندمان حذف ۸۷، ۹۴، ۹۹ و ۹۹/۷ درصد برای جاذب اصلاح شده با کلرید



شکل ۱: اثر زمان تماس و غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی بر روی راندمان حذف توسط جاذب خام (۱a)، جاذب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن (۱b) و جاذب اصلاح شده با کلرید متیزیم (۱c) [pH=۱، میزان جاذب ۶ g/L، دمای ۲۰ درجه سلسیوس]



شکل ۲: اثر pH محلول بروی کارایی حذف کروم ۶ (مقدار جاذب برابر ۶ g/L، دمای ۲۰ درجه سلسیوس، غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی برابر ۱۰۰ mg/L و زمان واکنش برابر ۱۰۰ دقیقه)

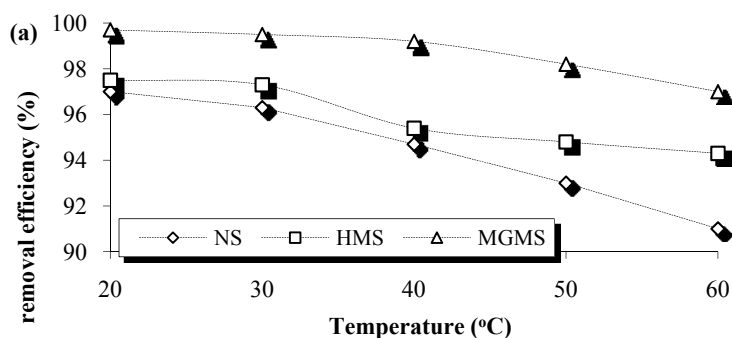


شکل ۳: تأثیر میزان جاذب بروی کارایی حذف کروم ۶ ظرفیتی (pH=۱، زمان تماس ۱۰۰ دقیقه، غلظت کروم ۶ ظرفیتی ۱۰۰ mg/L، دمای ۲۰ درجه سانتی گراد)

#### بررسی تأثیر دمای محیط بروی کارایی حذف

در شکل ۴ نتایج حاصل از تأثیر دمای محیط بروی کارایی حذف نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد بیشترین میزان حذف کروم ۶ ظرفیتی اتفاق می افتد بطوری که در این دما، راندمان حذف برابر ۹۷ درصد برای جاذب خام، راندمان حذف ۹۷/۵ برای جاذب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن و راندمان حذف ۹۹/۵ درصد برای جاذب اصلاح شده با کلرید منیزیم مشاهده گردید.

همچنین با افزایش میزان جاذب علاوه بر افزایش راندمان حذف، ظرفیت جذب نیز افزایش یافت به طوری که با افزایش میزان جاذب از ۲ g/L به ۱۰ g/L ظرفیت جذب از ۱۲/۱۷ mg/g به ۱۶/۵۷ mg/g درصد برای جاذب خام، از ۱۳/۲۲ mg/g به ۱۷/۱ mg/g برای جاذب اصلاح شده با پراکسید هیدروژن و از ۱۳/۸۹ mg/g به ۱۷/۴۷ mg/g برای جاذب اصلاح شده با کلرید منیزیم افزایش یافت. بنابراین مشخص گردید که افزایش میزان جاذب باعث افزایش راندمان حذف (درصد حذف) و ظرفیت حذف می گردد.



شکل ۴: نتایج حاصل از تأثیر دما بر روی کارایی حذف کروم ۶ ظرفیتی ( $pH=1$ ، زمان تماس ۱۰۰ دقیقه، مقدار جاذب برابر ۶ g/L و غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی برابر ۱۰۰ mg/L)

## بحث

به حذف ۹۳ درصد از کروم ۶ ظرفیتی شده است. همچنین در این مطالعه مشخص شده است که با افزایش غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی از ۲۴۰ به ۴۸۰ mg/L، راندمان حذف از ۹۸ درصد به ۷۳ درصد کاهش می‌یابد.<sup>۱۱</sup> بنابراین، با توجه به مطالعات مشابهی که توسط جاذب‌های مختلف جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی بدان‌ها اشاره گردید مشخص می‌گردد که تفاله سیب در مقایسه با سایر جاذب‌های ذکر شده، قابلیت بسیار بالایی جهت حذف یون کروم ۶ ظرفیتی در زمان تماس کمتر و با راندمان بالاتر از خود نشان می‌دهد. علاوه بر آن، چنانچه تفاله سیب خام با محلول‌های کلرید منیزیم و پراکسید هیدروژن اصلاح گردد، قابلیت حذف آن افزایش خواهد یافت.

همچنین نتایج نشان داد که با افزایش  $pH$  محلول راندمان حذف بطور چشمگیری کاهش می‌یابد بطوری که بیشترین میزان حذف در محیط‌های اسیدی ( $pH=1$ ) اتفاق می‌افتد. راندمان حذف بالاتر فلز کروم در محیط اسیدی را می‌توان به دلیل حضور گونه‌های مختلف این فلز در محیط‌های اسیدی، خنثی و بازی تشریح نمود. در محیط‌های اسیدی گونه‌های مهم کروم ۶ ظرفیتی یون‌های  $H_2CrO_4$ ،  $Cr_2O_7^{2-}$ ،  $HCrO_4^-$  می‌باشند در حالی که در محیط‌های بازی گونه  $CrO_4^{2-}$  غالب می‌باشد. با توجه به اینکه در محیط‌های اسیدی سطح جاذب توسط یونهای مثبت هیدروژن پوشیده می‌گردد بنابراین جاذب دارای تمایل بالایی برای جذب یون‌های منفی  $HCrO_4^-$  و  $Cr_2O_7^{2-}$  خواهد داشت و این امر باعث می‌گردد که راندمان حذف در محیط‌های اسیدی بیشتر گردد. همچنین در محیط‌های قلیائی ( $pH>7$ ) گونه‌های  $CrO_4^{2-}$  با

در این مطالعه از تفاله سیب خام و شکل اصلاح شده آن با پراکسید هیدروژن و کلرید منیزیم جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده گردید. نتایج نشان داد که راندمان حذف کروم ۶ ظرفیتی با افزایش زمان تماس و غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی افزایش می‌یابد و بیشترین میزان حذف در زمان تماس ۱۰۰ دقیقه و غلظت ۱۰۰ mg/L از کروم ۶ ظرفیتی اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین افزایش کارایی حذف با افزایش زمان تماس و غلظت اولیه یون کروم رابطه معناداری وجود دارد ( $P<0.05$ ). دلیل افزایش راندمان حذف با افزایش غلظت اولیه کروم ۶ ظرفیتی را می‌توان اینطور توضیح داد که اصولاً در فرآیند جذب سطحی، در اغلب موارد افزایش غلظت آلاینده در محلول باعث ایجاد یک گرادینان غلظت از سمت محلول به سمت جاذب می‌گردد که این امر باعث می‌شود مقدار بیشتری از آلاینده به ازای هر گرم از جاذب حذف گردد. برای همین منظور جاذبی از لحاظ اقتصادی مناسب خواهد بود که علاوه بر افزایش راندمان حذف (%) ظرفیت جذب بالاتری نیز (mg/g) با افزایش غلظت آلاینده در محیط داشته باشد که در این مطالعه این پدیده مشاهده گردید.<sup>۱۵</sup> در مطالعه‌ای از دولومیت جهت حذف یون کروم ۶ ظرفیتی استفاده شده است. در این مطالعه، زمان تعادل در زمان تماس ۱۰۰ ساعت مشاهده گردیده است که منجر به حذف ۳۵ تا ۹۶ درصد از کروم ۶ ظرفیتی با افزایش غلظت اولیه آن از ۱۰ تا ۵۰ mg/L شده است.<sup>۱۶</sup> در مطالعه دیگری، از پوست گردو جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده گردیده و نشان داده شده است که در مدت زمان ۳۰۰ دقیقه منجر

درصد به ۹۵ درصد افزایش می‌یابد.<sup>۱۲</sup> در مطالعه دیگری، محققان از پوسته درخت پسته جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده کرده‌اند. در این مطالعه گزارش شده است که در غلظت ۵۰ mg/L از کروم ۶ ظرفیتی، در  $pH=2$  و زمان تماس ۶۰ دقیقه، با افزایش دوز از ۰/۵ به ۸ g/L کارایی حذف از ۸۲ درصد به ۹۸ درصد افزایش می‌یابد.<sup>۱۷</sup>

دمای محلول یکی دیگر از پارامترهای مهم و تأثیر گذار بر روی فرایند جذب سطحی می‌باشد. در اغلب موارد فرآیند جذب سطحی گرماتر است. بنابراین در فرآیند جذب سطحی با افزایش دمای محلول، کارایی حذف کاهش خواهد یافت. در برخی از موارد نیز، فرایند جذب سطحی گرماگیر بوده و با افزایش دمای محلول کارایی حذف افزایش می‌یابد.<sup>۱۸</sup> در مطالعه حاضر نیز مشخص گردید که با افزایش دمای محلول از ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتی گراد، کارایی حذف یون کروم ۶ ظرفیتی کاهش می‌یابد. نتایج آنالیز آماری واریانس یکطرفه نشان داد که رابطه معناداری بین دمای محلول و میزان راندمان حذف وجود دارد ( $P<0/05$ ). در مطالعه‌ای، از تفاله کارخانه زیتون جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده گردیده و نشان داده شده است که کارایی حذف فرآیند با افزایش دمای محلول افزایش می‌یابد که نشان دهنده گرماگیر بودن فرآیند می‌باشد.<sup>۱۹</sup> در مطالعه دیگری، از پوسته درخت پسته جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده شده و گزارش شده است که با افزایش دمای محلول از ۵ تا ۴۰ درجه سانتی گراد، راندمان حذف از ۹۵/۷ به ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد.<sup>۱۷</sup> در مطالعه دیگری، از ذغال تهیه شده از درخت بلوط جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده گردیده است و مشخص شده است که با افزایش دمای محلول راندمان حذف نیز افزایش می‌یابد.<sup>۱۹</sup> بنابراین علیرغم مطالعات صورت گرفته، مشخص گردید که راندمان حذف کروم ۶ ظرفیتی با استفاده از تفاله سیب خام و اشکال اصلاح شده آن با افزایش دمای محلول کاهش می‌یابد که نشان دهنده گرمازا بودن فرآیند می‌باشد.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تفاله سیب کارایی بسیار بالاتری در مقایسه با سایر جاذب‌ها در حذف کروم ۶ ظرفیتی از خود نشان می‌دهد و نسبت به جاذب‌های مطالعه شده قادر است در زمان تماس کمتری مقادیر بیشتری از کروم ۶ ظرفیتی را حذف کند.

یون های  $OH^-$  برای جذب بر روی جاذب رقابت خواهند کرد که به دلیل غلظت بالای یون های  $OH^-$ ، یون‌های کروم بر روی جاذب جذب نشده و به این ترتیب راندمان حذف کاهش خواهد یافت.<sup>۱۶ و ۱۵</sup> محققان مختلفی، گزارش‌های مختلفی از تأثیر  $pH$  محلول در حذف یون کروم ۶ ظرفیتی توسط جاذب‌های مختلف ارائه داده‌اند. در مطالعه‌ای از پوسته درخت پسته جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده گردیده است. در این مطالعه گزارش شده است که با افزایش  $pH$  محلول از ۲ تا ۸ کارایی حذف از ۹۹ درصد به ۴۹ درصد کاهش می‌یابد. دلیل بیشترین حذف کروم ۶ ظرفیتی در  $pH$  برابر ۲، تشکیل یونهای  $CrO_4^{2-}$  و  $HCrO_4^-$  ذکر گردیده است که منجر به افزایش کارایی فرآیند گردیده است.<sup>۱۷</sup> در مطالعه دیگری، از بیوماس قارچ الو لاکتوا و کربن فعال تهیه شده از آن استفاده گردیده است. در این مطالعه نیز گزارش شده است که بیشترین میزان حذف کروم ۶ ظرفیتی در  $pH$  برابر ۱ و به ترتیب برابر ۱۰۰ درصد و ۸۰ درصد توسط بیوماس قارچ الو لاکتوا و کربن فعال تهیه شده از آن اتفاق می‌افتد و با افزایش  $pH$  محلول به ۱۲، کارایی حذف توسط هر دو نوع جاذب به حدود ۶۸ درصد کاهش می‌یابد.<sup>۱۸</sup>

افزایش میزان کارایی حذف فرآیند با افزایش میزان جاذب به دلیل افزایش سطح مخصوص و همچنین منافذ داخلی جاذب می‌باشد که باعث افزایش کارایی حذف فرآیند خواهد شد.<sup>۱۷</sup> در مطالعه حاضر نیز، با افزایش غلظت جاذب‌های مورد استفاده، راندمان حذف کروم ۶ ظرفیتی افزایش چشمگیری نشان داد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که بین افزایش کارایی حذف با افزایش دوز جاذب رابطه معناداری وجود دارد ( $P<0/05$ ). در مطالعه‌ای، از تفاله زیتون جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده گردیده است. در این مطالعه نشان داده شده است که در غلظت ۱۰۰ mg/L از کروم ۶ ظرفیتی، با افزایش دوز جاذب از ۵ به ۱۵ g/L، کارایی حذف از ۵۱/۷ درصد به ۹۸/۶ درصد افزایش یافت.<sup>۱۹</sup> در مطالعه دیگری، از کربن فعال تهیه شده از زائدات کشاورزی جهت حذف کروم ۶ ظرفیتی استفاده گردیده است. در این مطالعه نشان داده شده است که در مدت زمان تماس ۱۵۰ دقیقه، در  $pH=2$  و غلظت ۲۵۰ mg/L از کروم ۶ ظرفیتی، با افزایش دوز جاذب از ۴ به ۲۰ g/L کارایی حذف از ۸۳

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی دانشگاه علوم پزشکی البرز به شماره ۱۹۴۶۷۰۲ می باشد. نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از دانشگاه علوم پزشکی البرز به خاطر حمایت مالی از این طرح تحقیقاتی اعلام می دارند.

همچنین نشان داده که اصلاح تفاله سیب خام با استفاده از محلول های پراکسید هیدروژن و کلرید منیزیم باعث افزایش کارایی حذف آن می گردد.

## تشکر و قدردانی

## References

- Noori Sepehr M, Zarrabi M, Amrane A. Removal of CR (III) from model solutions by isolated *Aspergillus niger* and *Aspergillus oryzae* living microorganisms: Equilibrium and kinetic studies. J Taiwan Instit Chem Eng. 2012; 43: 420-427.
- Zongo I, Leclerc J-P, Maïga HA, Wethe J, Lapique F. Removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by electrocoagulation: A comprehensive comparison of aluminum and iron electrodes. Sep Puri Technol. 2009; 66: 159-166.
- Bulgariu D, Bulgariu L. Equilibrium and kinetics studies of heavy metal ions biosorption on green algae waste biomass. Bioresour Technol. 2012; 103: 489-493.
- Noori Sepehr M, Naseri S, Zarrabi M, Samarghandi MR, Amrane A. Removal of Cr (III) from tanning effluent by *Aspergillus niger* in airlift bioreactor. Sep Puri Technol 2012; 96: 256-262.
- Uguzdogan E, Denkbaş EB, Kabasakal OS. The use of polyethyleneglycolmethacrylate-co-vinylimidazole (PEGMA-co-VI) microspheres for the removal of nickel (II) and chromium (VI) ions. J Hazard Mater. 2010; 177: 119-125.
- Samani MR, Borghei SM, Olad A, Chaichi MJ. Removal of chromium from aqueous solution using polyaniline-Poly ethylene glycol composite. J Hazard Mater. 2010; 184: 248-254.
- Martins M, Faleiro ML, Chaves S, Tenreiro R, Santos E, Costa MC. Anaerobic bio-removal of uranium (VI) and chromium (VI): Comparison of microbial community structure. J Hazard Mater. 2010; 176: 1065-1072.
- Kumar PA, Chakraborty S. Fixed-bed column study for hexavalent chromium removal and recovery by short-chain polyaniline synthesized on jute fiber. J Hazard Mater. 2009; 162: 1086-1098.
- Zhang H, Tang Y, Cai D, Liu X, Wang X, Huang Q, Yu Z. Hexavalent chromium removal from aqueous solution by algal bloom residue derived activated carbon: Equilibrium and kinetic studies. J Hazard Mater. 2010; 181: 801-808.
- Malkoc E, Nuhoglu Y, Dundar M. Adsorption of chromium (VI) on pomace An olive oil industry waste: Batch and column studies. J Hazard Mater. 2006; B138: 142-151.
- Wang XS, Li ZZ, Rong TS. Removal of chromium (VI) from aqueous solution using walnut hull. J. Environ. Manag. 2009; 90: 721-729.
- Bansal M, Singh D, Garg VK. A comparative study for the removal of hexavalent chromium from aqueous solution by agriculture wastes carbons. J Hazard Mater. 2009; 171: 83-92.
- Mohammad Kalhori E, Yetilmezsoy K, Uygur N, Abu Shmeis RM, Zarrabi M. Modeling of adsorption of toxic chromium on natural and surface modified lightweight expanded clay aggregate (LECA). App Sur Sci. 2013; 287: 428-442.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, (2005), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington DC.
- Karatas M. Removal of Pb(II) from water by natural zeolitic tuff: Kinetics and Thermodynamics. J Hazard Mater. 2012; 199-200: 383-389.
- Albadarin AB, Mangwandi C, Muhtaseb AHA, Walker GM, Allen SJ, Ahmad MNM. Kinetic and thermodynamics of chromium ions adsorption onto low-cost dolomite adsorbent, Chem. Eng. J. 2012; 179: 193-202.
- Moussavi G, Barekbin B. Biosorption of chromium (VI) from industrial wastewater onto pistachio hull waste biomass. Chem Eng J. 2010; 162: 893-900.
- El-Sikaily A, El Nemr A, Khaled A, Abdelwehab O. Removal of toxic chromium from wastewater using green alga *Ulvalactuca* and its activated carbon. J Hazard Mater. 2007; 148: 216-228.
- Mohan D, Rajput S, Singh VK, Steele PH, Pittman CUJ. Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost bio-char, a green adsorbent. J Hazard Mater. 2011; 188: 319-333.