



## کاربرد کامپوزیت‌های آهن، آلومینیوم و مس برای حذف غلظت بالای کروم در آب

مائه پریچه‌ره\*<sup>۱</sup>، فردین صادق زاده<sup>۲</sup>، بهی جلیلی<sup>۲</sup>، محمدعلی بهمنیار<sup>۲</sup>، عبدالوحد سامسوری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مدیریت حاصلخیزی و زیست‌فناوری خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

<sup>۲</sup> گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

<sup>۳</sup> دانشکده کشاورزی، دانشگاه پوترا مالزی، سلانگور، مالزی

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	<b>مقدمه:</b> افزایش صنایع مختلف و رشد روزافزون جمعیت کره زمین سبب ایجاد انواع آلودگی در محیط زیست شده است. یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های موجود در آب که دارای خطرات متعددی بر سلامت انسان و موجودات زنده و خطرات مهم محیط‌زیستی است، ترکیبات آنیونی در غلظت بالا می‌باشد. فلزسنگین کروم یکی از این آلاینده‌هاست که موجب ایجاد آلودگی در محیط زیست شده و خطرات متعددی برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده به همراه دارد. روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از آب مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که اغلب شامل فرآیندهای شیمیایی یا انرژی‌بر است. لذا اصلاح این منابع با کمک جاذب‌های مقرون به صرفه و با صرف انرژی کم حائز اهمیت است. مطالعات گذشته نشان می‌دهند که بایوچار، بایوچارهای دارای پوشش فلز و کامپوزیت‌های کربن-فلز کارایی بالایی در حذف آلاینده کروم با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از آب دارند ولی تاکنون تأثیر این جاذب‌ها بر حذف این آلاینده‌ی آنیونی در غلظت‌های بالا مورد بررسی قرار نگرفته است.
تاریخچه مقاله:	<b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش کارایی جاذب‌های مختلف (بایوچار، بایوچار دارای پوشش مس، بایوچار دارای پوشش آلومینیوم، بایوچار دارای پوشش آهن، کامپوزیت بایوچار-مس، کامپوزیت بایوچار-آلومینیوم و کامپوزیت بایوچار-آهن) بر حذف کروم با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر از آب مورد بررسی قرار گرفت. بایوچارهای دارای پوشش فلز از ترکیب فلزات (مس، آهن و آلومینیوم) با غلظت ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم با بایوچار تولید شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و کامپوزیت‌های بایوچار-فلز مختلف از ترکیب این فلزات با کاه برنج و سپس حرارت‌دهی نمونه‌ها در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد تهیه شدند. به منظور تعیین کارایی جاذب‌ها، ۰/۵ گرم از هر جاذب با ۴۰ میلی‌لیتر محلول کروم با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH=۶ ترکیب شده و به مدت سه ساعت تکان داده شدند تا به تعادل رسیدند. سپس نمونه‌ها برای مدت ۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شده و فیلتراسیون، غلظت نهایی آلاینده قرائت شد و درصد حذف کروم محاسبه گردید.
کلمات کلیدی:	
آلاینده آنیونی	
بایوچار	
بایوچار با پوشش فلزی	
کامپوزیت بایوچار-فلز	
جذب	
	<b>نتایج:</b> نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تمامی جاذب‌های مورد استفاده، در حذف غلظت بالای کروم از آب مؤثر بودند. کمترین میزان حذف این آلاینده مربوط به نمونه بایوچار بود که تنها توانست ۱۵/۲۸ درصد از این آلاینده را از آب حذف نماید و بیشترین میزان حذف با استفاده از کامپوزیت بایوچار-آهن

حاصل شد، که این جاذب ۴۴/۴۵ درصد از آلاینده را از محلول آبی حذف کرد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشاهده می‌شود که بایوچارهای دارای پوشش فلز و کامپوزیت‌های بایوچار- فلز نسبت به جاذب بایوچار دارای کارایی بهتری در حذف کروم از آب می‌باشند. به طور مثال، کامپوزیت بایوچار- آهن و بایوچار دارای پوشش آهن توانستند به ترتیب ۴۴/۴۵ و ۳۰/۸۶۷ درصد از آلایندهی کروم را از محلول آبی حذف کنند در حالی که بایوچار کاه برنج تنها قادر به حذف ۱۵/۲۸ درصد از این آلاینده از آب بود. **بحث:** نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بایوچار پوشش‌دار شده با آهن و کامپوزیت بایوچار- آهن، نسبت به سایر نمونه‌های دارای پوشش سطحی و کامپوزیت‌های بایوچار- فلز دارای توانایی بیشتری در حذف آلاینده کروم از محلول آبی بوده است و توانسته است موفق‌تر عمل کند. بنابراین کاربرد این جاذب‌ها می‌تواند در اصلاح آب آلوده به این آلاینده مؤثر باشد.

## مقدمه

آلودگی آب توسط فلزات سنگین به دلیل عدم تجزیه پذیری زیستی و سمیت بالا، یک تهدید جدی برای محیط زیست در نظر گرفته می‌شود ( Gong et al., 2017; Nagara et al., 2022; Shakya & Agarwal, 2019; Thangagiri et al., 2022; Xue et al., 2018). از بین فلزات سنگین مختلف، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr) و نیکل (Ni)، حتی در غلظت‌های کم نیز خطرناک می‌باشند (Rahman & Singh, 2019). کروم یک آلاینده با حالت‌های اکسیداسیون مختلف می‌باشد و به طور معمول در محیط به صورت کروم سه ظرفیتی (Cr(III) و شش ظرفیتی (Cr(VI) یافت می‌شود. پساب صنایع مختلف، مانند تولید فولاد یا دیگر آلیاژهای حاوی کروم، آبکاری فلزات، صنایع چرم و نساجی حاوی گونه‌های کروم Cr(VI) به شکل کرومات ( $CrO_4^{2-}$ ) یا دی کرومات ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) است که این گونه‌ها دارای خاصیت سرطان‌زایی می‌باشند. کروم سه ظرفیتی کم تحرک‌تر از کروم شش ظرفیتی است، اما در صورت ورود بیش از حد آن به محیط و در شرایط اکسایشی به کروم شش ظرفیتی تبدیل می‌شود که خطرات جدی برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده دارد. سمیت کروم Cr(VI) ۱۰۰ برابر بیشتر از کروم Cr(III) است ( Fendorf et al., 2000; Huang et al., 2019). قرار گرفتن طولانی مدت پوست انسان در معرض فاضلاب حاوی Cr(VI) موجب درماتیت و اگزما می‌شود. استنشاق کروم (VI) می‌تواند باعث زخم معده، عطسه، جاری شدن بینی، خونریزی بینی، سرطان‌زایی، جهش‌زایی، تأثیر بر سیستم گردش خون و

آسیب کلیه شود و تهدید جدی برای سلامت انسان به حساب می‌آید (Huang et al., 2019).

روش‌های مختلفی برای حذف آلاینده‌ها از آب و خاک وجود دارد، اما تمامی این روش‌ها دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. بنابراین، استفاده از روش‌های اقتصادی و مؤثر برای تصفیه فلزات سنگین محلول در آب ضروری است. به طور معمول، کروم (VI) از طریق فرآیندهای فیزیکی شیمیایی مانند ته‌نشست شیمیایی (Reyes-Serrano et al., 2020)، فیلتراسیون غشایی (Jacob et al., 2020)، تبادل یونی (Heming Wang et al., 2020)، استخراج با حلال (Ying et al., 2020)، شستشو (Huan Wang et al., 2020; Heming Wang et al., 2020; J. Wang et al., 2020; L. Wang et al., 2020; Z. Wang et al., 2020)، جذب (Patra et al., 2020; Sakthivel et al., 2021)، انعقاد الکتریکی (Heming Wang et al., 2020; Huan Wang et al., 2020; J. Wang et al., 2020; L. Wang et al., 2020; Z. Yao et al., 2020)، کاهش الکتروشیمیایی (Wang et al., 2020)، الکترودیالیز (Revathi et al., 2020)، زیست‌پالایی (Ikegami et al., 2020) و فناوری نانو (Kumar et al., 2020; Mohamed & Mahmoud, 2020) حذف می‌شود.

در بین روش‌های موجود برای حذف آلاینده‌ها، جذب یکی از بهترین و مناسب‌ترین تکنیک‌ها است (Tareq et al., 2019). جذب یک فرآیند اقتصادی و مؤثر برای حذف آلاینده‌های محلول در نظر گرفته می‌شود که دارای مزایایی از جمله: حداقل تولید زباله، ردپای کم و نیاز به انرژی کم می‌باشد (Kumar et al., 2019; Sjøberg et al., 2019). علی‌رغم موجود بودن جاذب‌های تجاری مختلف،

## مواد و روش‌ها

**تهیه بایوچار:** بایوچار مورد استفاده در این آزمایش از تجزیه حرارتی کاه برنج که در منطقه به‌وفور یافت می‌شود، تولید شد. ابتدا نمونه ماده اولیه خرد شده، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و در آن با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا تبدیل به بایوچار شدند. بعد از ۱ ساعت کوره به دمای مورد نظر رسیده و سپس ۲ ساعت در این دما باقی ماند. پس از خنک شدن نمونه و رسیدن به دمای محیط، بایوچار از کوره خارج شده و به منظور انجام آزمایشات بعدی در ظروف پلاستیکی درب‌دار نگهداری شد (Fuchs et al., 2014).

**تهیه محلول‌های فلزات:** از نمک‌های کلرید آلومینیوم، کلرید آهن و کلرید مس محلول‌هایی با غلظت ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم این فلزات (آلومینیوم، آهن و مس) تهیه شد.

**تهیه بایوچار دارای پوشش سطحی:** سطح بایوچار کاه برنج تولید شده در مرحله قبل، چندین مرتبه با آب مقطر با نسبت ۱:۲۰ (۱ گرم بایوچار، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر) آبخشونی شد، سپس به مدت ۴۸ ساعت در آن با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. بایوچارهای آبخشونی شده با نسبت ۱:۵۰ (۱ گرم بایوچار، ۵۰ میلی‌لیتر محلول فلز) با محلول‌های ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ساخته شده از فلزات فوق‌الذکر ترکیب شده و به مدت ۲۴ ساعت تکان داده شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی فیلتر شده و بایوچارها در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند، بایوچارهای پوشش‌دار شده چندین بار با آب مقطر شستشو گردید تا فلزات آزاد حذف شود و در نهایت بایوچارهای پوشش‌دار شده جهت انجام آزمایشات بعدی ذخیره شدند (Zameni, 2016).

**تهیه کامپوزیت بایوچار-فلز:** ابتدا کاه برنج خرد شده، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و در آن با درجه حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. سپس کاه برنج با نسبت ۱:۵۰ (۱ گرم کاه برنج، ۵۰ میلی‌لیتر محلول فلز) با محلول‌های ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ساخته شده از فلزات فوق‌الذکر ترکیب شده و به مدت ۲۴ ساعت تکان داده شد. نمونه‌ها با استفاده از کاغذ

استفاده گسترده از آن‌ها به دلیل قیمت بالا و دسترسی محدود این جاذب‌ها محدود شده است. همچنین بسیاری از جاذب‌های مذکور دارای گروه‌های عاملی هستند که بار آن‌ها وابسته به pH است و در pHهای قلیایی در خاک و آب توانایی جذب آنیون‌ها را از دست می‌دهند. بنابراین محققان در تلاشند تا جاذب‌هایی کم هزینه و در عین حال کارا از ضایعات صنعتی و کشاورزی تولید کنند (Tareq et al., 2019). بایوچار یک ماده کربن‌دار ارزان قیمت است که از ضایعات زیست‌توده تحت شرایط محدود اکسیژن به دست می‌آید و به دلیل سهولت در دسترسی، بی‌خطر بودن برای محیط، ارزان قیمت بودن و ویژگی‌های شیمیایی/فیزیکی سطحی مطلوب، توجه گسترده‌ای را به‌عنوان یک جاذب مؤثر به خود جلب کرده است (Ahmad et al., 2014; Kambo & Dutta, 2015; Zheng et al., 2020). با این حال، این جاذب به دلیل دارا بودن بار سطحی منفی، مانع جذب ترکیبات دارای بار منفی مانند Cr(VI) می‌شود و توانایی کمی برای حذف آلاینده‌های آنیونی از آب دارد (Tan et al., 2015; Yao et al., 2011). بنابراین، روش‌های اصلاحی مختلفی برای مهندسی بایوچار به‌منظور بهبود اتصال آن به آلاینده‌های آنیونی توسعه یافته‌اند (Zou et al., 2021). یکی از این روش‌ها استفاده از اکسیدهای آهن است که به دلیل اتصال قوی به آنیون‌ها و خاصیت مغناطیسی آن، به منظور ارتقای کاربرد بایوچار در تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Xiang et al., 2020). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که کاربرد بایوچار، بایوچارهای دارای پوشش فلز و کامپوزیت‌های کربن-فلز کارایی بالایی در حذف آلاینده کروم با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از آب دارند (Paricheh et al., 2022, 2023) ولی تاکنون تأثیر این جاذب‌ها بر حذف این آلاینده‌ی آنیونی در غلظت‌های بالا مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و افزایش قدرت جذب کروم توسط بایوچار از طریق پوشش‌دار کردن آن با فلزات و همچنین تهیه کامپوزیت‌های بایوچار-فلز و بررسی کارایی این جاذب‌ها در حذف کروم در غلظت بالا از آب می‌باشد.

صافی فیلتر شده و در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

نمونه‌های پوشش‌دار شده، به مدت ۳ ساعت در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا تبدیل به بایوچار شدند. بعد از ۱ ساعت کوره به دمای مورد نظر رسیده و سپس ۲ ساعت در این دما باقی ماند. کامپوزیت‌های بایوچار- فلز جهت انجام آزمایشات بعدی ذخیره شدند. انواع نمونه‌ها:

۱. بایوچار (ب)
۲. بایوچار دارای پوشش مس (ب م)
۳. بایوچار دارای پوشش آلومینیوم (ب آل)
۴. بایوچار دارای پوشش آهن (ب آ)
۵. کامپوزیت بایوچار- مس (ک م)
۶. کامپوزیت بایوچار- آلومینیوم (ک آل)
۷. کامپوزیت بایوچار- آهن (ک آ)

**خصوصیات کروم مورد استفاده:** از دی کرومات پتاسیم  $K_2Cr_2O_7$  با جرم مولی ۲۹۴/۱۸۵ گرم بر مول که یکی از مواد مورد استفاده در آزمایشات خاکشناسی است و در نتیجه پساب‌های حاصله از این آزمایشات موجب آلودگی محیط می‌شود، به منظور آلوده‌سازی آب استفاده شد.

#### خصوصیات جاذب مورد استفاده

**اسیدیته و هدایت الکتریکی جاذب‌ها:** برای اندازه‌گیری اسیدیته و هدایت الکتریکی بایوچار، بایوچار با نسبت ۱:۲۰ (آب: بایوچار) با آب مقطر به مدت ۲ ساعت شیک شده و پس از آن اسیدیته مخلوط مذکور توسط دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی مخلوط مذکور توسط دستگاه EC سنج قرائت گردید (IBI, 2012).

**زتا پتانسیل جاذب‌های مورد استفاده:** ۰/۰۰۸ گرم از هر جاذب به لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری اضافه شد، سپس ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزودیم. pH سوسپانسیون با استفاده از ۰/۱ NaOH یا ۰/۱ HCL مولار در مولار در محدوده ۵ تا ۹ تنظیم شد. سوسپانسیون در دستگاه سونیکاتور با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و با توان ۳۰۰ وات به مدت نیم‌ساعت در ۳۰ درجه سانتی‌گراد به صورت اولتراسونیک پراکنده شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت بدون تحرک باقی ماند و پس از این مدت تحرک الکتروفورز توسط دستگاه اندازه‌گیری شد (Samsuri et al., 2014).

**تعیین کارایی جاذب‌ها:** به منظور تعیین کارایی جاذب‌ها در حذف آلایندة کروم از آب، مقدار بهینه‌ای از جاذب و ماده‌آلایندة با pH بهینه و در زمان تعادل با هم ترکیب شدند. مقادیر بهینه در نظر گرفته شده در این پژوهش، برطبق آزمایشات دیگری که در مطالعات گذشته گزارش شده است انتخاب شدند (Parichehre et al., 2023). بر این اساس، ۰/۵ گرم از هر جاذب به لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری اضافه شد، سپس ۴۰ میلی‌لیتر محلول کروم با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH = ۶ به لوله‌ها افزوده و به مدت سه ساعت تکان داده شدند. تمامی نمونه‌ها برای مدت ۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شده، سپس با استفاده از کاغذ صافی فیلتر شدند. در نهایت غلظت آلایندة باقی‌مانده در محلول، توسط دستگاه جذب اتمی SP-AA-5000 spectrometer در آزمایشگاه شیمی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری قرائت شد (Hoseinzadeh et al., 2013). درصد حذف کروم با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$R(\%) = \frac{100(c_0 - c_e)}{c_0} \quad (1)$$

در معادله بالا،  $R\%$  = درصد حذف،  $C_0$  = غلظت اولیه کروم در محلول (میلی‌گرم بر لیتر)،  $C_e$  = غلظت تعادلی کروم در محلول (میلی‌گرم بر لیتر) است.

**محاسبات آماری:** به منظور بررسی توانایی جاذب‌های مختلف در حذف مواد آلایندة، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به دست آمده، از نرم‌افزار Statistix 8 (USDA & NRCS, 2007) استفاده شد و مقایسه میانگین با روش حداقل اختلاف معنی‌دار<sup>۱</sup> در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار اکسل انجام شد.

<sup>۱</sup> LSD

## نتایج

## برخی از خصوصیات جاذب‌های مورد استفاده

اسیدیته و هدایت الکتریکی جاذب‌های مورد استفاده در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- خصوصیات جاذب‌های مورد استفاده

EC (ds/m)	pH	تیما
۰/۷۴۰	۹/۸۴	بایوچار
۰/۳۸۳	۵/۲۹	بایوچار پوشش سطحی مس
۰/۳۸۹	۳/۴۹	بایوچار پوشش سطحی آلومینیوم
۰/۱۹۲	۳/۲۹	بایوچار پوشش سطحی آهن
۰/۳۳۸	۶/۰۴	کامپوزیت بایوچار- مس
۰/۲۱۵	۴/۶۹	کامپوزیت بایوچار- آلومینیوم
۴/۸۰	۲/۱۷	کامپوزیت بایوچار- آهن

با افزایش pH شدیداً منفی‌تر شده به طوری که در  $pH = 9$  به  $200 \text{ mV}$  - رسیده است. زتا پتانسیل کامپوزیت بایوچار- آهن در  $pH = 5$  برابر با  $11/6 \text{ mV}$  - بود و با افزایش pH منفی‌تر گردید و در  $pH = 7$  به  $64/5$  - رسید. پس از آن، زتا پتانسیل به طور قابل توجهی تحت تأثیر افزایش pH قرار نگرفت. در مورد سایر جاذب‌ها نیز مشاهده می‌شود که با افزایش pH میزان زتا پتانسیل منفی‌تر می‌شود. زتا پتانسیل بایوچار در تمامی pHها نسبت به سایر جاذب‌ها منفی‌تر می‌باشد. مقادیر منفی زتا پتانسیل جاذب‌ها در تمامی pHها بیانگر این امر می‌باشد که سطوح تمامی جاذب‌ها دارای بار منفی است. با افزایش pH، گروه‌های عاملی بیشتری پروتون‌زدایی شده و سطوح جاذب‌ها دارای بار منفی بیشتری می‌شود. بار منفی بیشتر بایوچار نسبت به سایر جاذب‌ها، می‌تواند به دلیل حضور مقادیر بیشتری از گروه‌های عاملی دارای OH باشد (Samsuri et al., 2014).

## pH محلول پس از فرآیند جذب

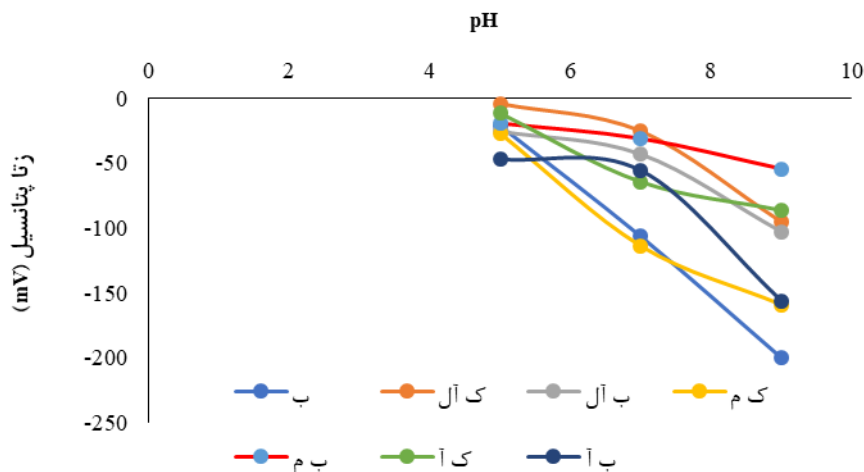
تأثیر جاذب‌های مختلف بر pH محلول حاوی کروم پس از فرآیند جذب در جدول ۲ نشان داده شده است.

برطبق نتایج به دست آمده از جدول ۱ مشاهده می‌شود که بایوچار کاه برنج بالاترین pH در بین جاذب‌های مورد استفاده را دارا می‌باشد و پوشش‌دار کردن بایوچار با فلزات موجب کاهش pH در جاذب‌ها شده است، که این امر با نتایج حاصل از پژوهش Samsuri و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. همچنین باتوجه به نتایج فوق مشاهده می‌شود که نمونه‌های پوشش‌دار دارای pH کمتری نسبت به نمونه‌های کامپوزیتی می‌باشند، به استثنای بایوچار دارای پوشش آهن که pH آن نسبت به نمونه‌ی کامپوزیت بایوچار- آهن بیشتر می‌باشد.

نتایج مرتبط با هدایت الکتریکی نمونه‌ها نیز نشان می‌دهد که نمونه بایوچار کاه برنج دارای بیشترین هدایت الکتریکی است و با پوشش‌دار کردن جاذب‌ها هدایت الکتریکی آن‌ها کاهش یافته است. در بین نمونه‌های مورد آزمایش بایوچار پوشش‌دار شده با آهن دارای کمترین میزان هدایت الکتریکی بوده است.

## زتا پتانسیل جاذب‌های مورد استفاده

شکل ۱ نشان‌دهنده زتا پتانسیل جاذب‌های مورد استفاده در این پژوهش در pHهای مختلف می‌باشد. زتا پتانسیل تمامی جاذب‌ها در pH (۵ تا ۹)، منفی است. زتا پتانسیل بایوچار کاه برنج در  $pH = 5$  برابر با  $21/3 \text{ mV}$  - می‌باشد و



شکل ۱- زتا پتانسیل جاذب‌های مورد استفاده در pH های مختلف

جدول ۲- pH محلول پس از فرآیند جذب

pH	تیمار
۷/۹۵	بایوچار
۵/۷۰	بایوچار پوشش سطحی مس
۴/۶۳	بایوچار پوشش سطحی آلومینیوم
۳/۲۶	بایوچار پوشش سطحی آهن
۶/۶۹	کامپوزیت بایوچار- مس
۶/۶۳	کامپوزیت بایوچار- آلومینیوم
۵/۲۴	کامپوزیت بایوچار- آهن

و ۵/۲۴ رسانده است. در بین نمونه‌های مورد استفاده بایوچار دارای پوشش آهن دارای کمترین pH بعد از فرآیند جذب می‌باشد.

#### تعیین کارایی جاذب‌ها

نتایج تجزیه واریانس تأثیر جاذب‌های مختلف بر حذف کروم از محلول آبی در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس این جدول چنین استنباط می‌شود که اثر تیمارها در سطح یک درصد ( $P < 0.01$ ) معنی‌دار می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش مشاهده می‌شود که کاربرد جاذب‌های آلی مختلف موجب حذف مقدار قابل قبولی از آلاینده کروم با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر از آب شده است (شکل ۲).

برطبق نتایج به‌دست آمده از جدول ۲ مشاهده می‌شود که محلول حاوی بایوچار کاه برنج بالاترین pH در بین نمونه‌های مورد استفاده را دارا می‌باشد. همچنین براساس نتایج حاصل از آزمایشات می‌توان مشاهده نمود که پس از فرآیند جذب، pH محلول‌های حاوی بایوچار، کامپوزیت بایوچار- مس و کامپوزیت بایوچار- آلومینیوم افزایش یافته است و از مقدار اولیه  $pH=6$  به ترتیب به ۷/۹۵، ۶/۶۹ و ۶/۶۳ رسیده است. افزایش pH در اثر کاربرد این جاذب‌ها می‌تواند به این دلیل باشد که جاذب بایوچار تاحدی قلیایی است و کاربرد آن در محلول موجب افزایش pH شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که کاربرد بایوچارهای دارای پوشش مس، آلومینیوم، آهن و کامپوزیت بایوچار- آهن موجب کاهش pH محلول شده است و مقدار pH را از ۶ به ترتیب به ۵/۷۰، ۴/۶۶۳، ۳/۲۶

جدول ۳- تجزیه واریانس درصد حذف کروم از محلول آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
تیمار	۶	۱۳۹۳/۰۴	۲۳۲/۱۷۳**
خطا	۱۴	۰/۳۷	۰/۰۲۶
ضریب تغییرات			۰/۵۷

\*\* نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ است.



شکل ۲- مقایسه میانگین درصد حذف کروم از محلول آبی توسط جاذب‌های مختلف

فراهم کردن پروتون به منظور کاهش  $Cr^{6+}$  به  $Cr^{3+}$  در طی جذب هستند. براساس مشاهدات (Wang et al., 2010)، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای الکترون‌های مورد نیاز برای کاهش  $Cr^{6+}$  را فراهم می‌کنند.  $Cr^{3+}$  حاصله یا جذب می‌شود و یا در کمپلکس‌سازی سطحی با اصلاح‌گرهای آلی شرکت می‌کند. (Choppala et al., 2012)، بیان داشتند که بایوچارهای اسیدی با تعداد زیاد گروه‌های عاملی در اصلاح کروم در خاک مؤثرند. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این امر می‌باشد که پوشش‌دار کردن تیمارها با فلزات به دلیل ایجاد پل کاتیونی توانسته است کارایی جاذب‌ها را در حذف آلایندگی افزایش دهد. به طور مثال، پوشش‌دار کردن بایوچار با آهن توانسته است که درصد حذف را از ۱۵/۲۸ درصد به ۳۰/۸۶۷ درصد افزایش دهد. نتایج حاصل از پژوهش‌های (Zhang et al., 2012)، نیز نشان می‌دهد که بایوچار پوشش‌دار توانسته ۲۰ برابر بیشتر از بایوچار متیلن‌بلو را حذف نماید.

همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، افزودن جاذب‌های آلی مختلف به آب توانسته است درصدی از این آلایندگی آنیونی را از آب حذف نماید. براساس یافته‌های این پژوهش جاذب‌های کامپوزیت بایوچار- آهن و بایوچار دارای پوشش سطحی آهن بیشترین کارایی را در حذف آلایندگی کروم از آب داشتند و توانستند به ترتیب ۴۴/۴۵ و ۳۰/۸۶۷ درصد از آلایندگی مورد نظر را حذف کنند. در مطالعه‌ای که بر روی اصلاح آب آلوده به کروم با استفاده از بایوچار تولید شده از پیرولیز چوب بلوط و پوست بلوط انجام شد نیز نتایج بیانگر این امر بود که این جاذب‌ها دارای توانایی اصلاح آب آلوده به کروم شش ظرفیتی می‌باشند (Mohan et al., 2011). در آزمایشی که بر روی بایوچارهای پوسته برنج، کلزا، سویا و بادام‌زمینی به منظور جذب کروم از محیط‌های اسیدی انجام شد، مشاهده شد که ظرفیت جذب با افزایش گروه‌های عاملی بایوچار افزایش یافت (Pan et al., 2013). بایوچارهای حاوی گروه‌های عاملی مختلف قادر به

فلزات یا دیگر مواد ترکیب شوند تا ظرفیت جذب آن‌ها افزایش یابد و بتوانند در حذف آلاینده‌های آنیونی مؤثر باشند. یکی از ترکیباتی که ظرفیت نگهداری آنیون‌ها در خاک را افزایش می‌دهد، ترکیبات کربن‌دار دارای پوشش سطحی فلزات می‌باشد. ترکیبات کربن‌دار دارای پوشش فلز ممکن است در درازمدت به علت آزاد شدن فلز از روی سطح آن، خاصیت نگهداری آنیونی را از دست بدهد ولی افزودن فلزات به زیست‌توده کربن‌دار و سپس پیرولیز ترکیب کربن‌دار و فلز یک روش نسبتاً جدید برای ایجاد ترکیب کامپوزیتی و ساخت جاذبی است که کارایی بالایی در حذف آلاینده‌ها دارد. کامپوزیت دارای ماهیت فیزیکی و شیمیایی جدیدی نسبت به زیست‌توده که به تنهایی پیرولیز شده (بایوچار) است. حتی کامپوزیت می‌تواند تفاوت محسوسی با بایوچار دارای پوشش سطحی فلز داشته باشد.

### منابع

1. **Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S. and Ok, Y.S., 2014.** Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99, 19-33.
2. **Choppala, G., Bolan, N., Megharaj, M., Chen, Z. and Naidu, R., 2012.** The influence of biochar and black carbon on reduction and bioavailability of chromate in soils. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1175-1184.
3. **Fendorf, S., Wielinga, B.W. and Hansel, C.M., 2000.** Chromium transformations in natural environments: the role of biological and abiological processes in chromium (VI) reduction. *International Geology Review*, 42(8), 691-701.
4. **Fuchs, M.R., Garcia-Perez, M., Small, P. and Flora, G., 2014.** Campfire lessons: Breaking down the combustion process to understand biochar production and characterization. *The Biochar Journal*.
5. **Gong, X., Huang, D., Liu, Y., Zeng, G., Wang, R., Wan, J., Zhang, C., Cheng, M., Qin, X. and Xue, W., 2017.** Stabilized nanoscale zerovalent iron mediated cadmium accumulation and oxidative damage of *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich cultivated in cadmium contaminated sediments. *Environmental*

همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که کامپوزیت‌های بایوچار- فلز توانستند درصد قابل قبولی از کروم را از محلول آبی حذف کنند. به طور مثال کامپوزیت بایوچار- آهن توانست ۴۴/۴۵ درصد از این آلاینده را از محلول آبی حذف کند. این امر مطابقت دارد با نتایج حاصل از پژوهش (Li *et al.*, 2018)، که بیان کردند کامپوزیت بایوچار- فلز کارایی بالایی برای حذف آرسنات، آرسنیت، کرومات، نیترات و فسفات از محیط‌های آبی دارد. (Yi *et al.*, 2020)، نیز بیان داشتند که اصلاح بایوچار به وسیله اکسید آهن می‌تواند حذف کروم (VI) از آب را افزایش دهد. نتایج حاصل از پژوهش (Zou *et al.*, 2021)، نیز نشان می‌دهد که کامپوزیت‌های جدید بایوچار/اکسید آهن می‌توانند به عنوان یک جاذب مؤثر برای حذف کروم (VI) از آب استفاده شوند.

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش مشاهده می‌شود که کامپوزیت بایوچار- مس در مقایسه با بایوچار پوشش‌دار شده با این فلز دارای توانایی بیشتری در حذف کروم از محلول آبی می‌باشد. بایوچار دارای پوشش مس توانست ۲۴/۶۸۳ درصد از آلاینده را حذف کند در حالی که کامپوزیت بایوچار- مس، ۲۸/۰۷ درصد از این آلاینده را حذف کرد. در پژوهشی که (Li *et al.*, 2018)، انجام دادند نیز نمایان شد که کامپوزیت بایوچار- فلز کارایی بالایی در حذف آلاینده‌ها از محیط‌های آبی دارد.

### بحث

تحقیق حاضر نشان داد که افزودن جاذب‌های بایوچار، بایوچار دارای پوشش فلز و کامپوزیت بایوچار- فلز به آب موجب کاهش میزان آلاینده آنیونی کروم با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر شده است و در برخی از موارد توانسته است تا حدود ۴۴ درصد از آلاینده مذکور را از محلول آبی حذف نماید، بنابراین کاربرد این جاذب‌ها می‌تواند در اصلاح آب‌های آلوده به این آلاینده مفید واقع شود. مواد آلی و بایوچار از جمله جاذب‌هایی هستند که به وفور جهت کاهش آلاینده‌ها از آب و خاک کاربرد دارند ولی آلاینده‌های آنیونی به دلیل بار غالب منفی سطحی جاذب‌های مذکور به خوبی بر روی آن جذب نمی‌شوند. لذا برای استفاده مؤثرتر از جاذب‌های آلی لازم است تا این مواد با



- phosphate: Research gaps and economic analysis. *Water Research X*, 4, 100029.
15. **Li, R., Wang, J.J., Gaston, L.A., Zhou, B., Li, M., Xiao, R., Wang, Q., Zhang, Z., Huang, H. and Liang, W., 2018.** An overview of carbothermal synthesis of metal-biochar composites for the removal of oxyanion contaminants from aqueous solution. *Carbon*, 129, 674-687.
  16. **Mohamed, A.K. and Mahmoud, M.E., 2020.** Nanoscale Pisum sativum pods biochar encapsulated starch hydrogel: a novel nanosorbent for efficient chromium (VI) ions and naproxen drug removal. *Bioresource Technology*, 308, 123263.
  17. **Mohan, D., Rajput, S., Singh, V.K., Steele, P.H. and Pittman Jr, C.U., 2011.** Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost bio-char, a green adsorbent. *Journal of hazardous materials*, 188(1-3), 319-333.
  18. **Nagara, V.N., Sarkar, D., Elzinga, E.J. and Datta, R., 2022.** Removal of heavy metals from stormwater runoff using granulated drinking water treatment residuals. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102636.
  19. **Pan, J., Jiang, J. and Xu, R., 2013.** Adsorption of Cr (III) from acidic solutions by crop straw derived biochars. *Journal of environmental sciences*, 25(10), 1957-1965.
  20. **Parichehreh, M., Sadeghzadeh, F., Jalili, B., Bahmanyar, M.A. and Samsuri, A.W., 2022.** Removal of Direct Blue 71 and chromium from aqueous solutions by metal coating organic adsorbents, metal coating biochar and biochar-metal composite. *Water and Soil Management and Modeling*. <https://doi.org/10.22098/MMWS.2022.11696.1158>. (in persian)
  21. **Parichehreh, M., Sadeghzadeh, F., Jalili, B., Bahmanyar, M.A. and Samsuri, A.W., 2023.** Determining the Efficiency of carbonaceous adsorbents in Removing Chromium (VI) from Aqueous Solution. *Journal of water and wastewater*. <https://doi.org/10.22093/WWJ.2023.371326.3306>. (in persian)
  22. **Patra, C., Shahnaz, T., Subbiah, S. and Narayanasamy, S., 2020.** Comparative assessment of raw and acid-activated preparations of novel Pongamia pinnata shells for adsorption of hexavalent chromium from simulated wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 14836-14851.
  23. **Rahman, Z. and Singh, V.P., 2019.** The relative impact of toxic heavy metals science & technology, 51(19), 11308-11316.
  6. **Hoseinzadeh, E., Rezaee, A., Shams Khorramabadi, G., Azizi, S. and Yousefzadeh, A., 2013.** Evaluation of Photocatalytic Conversion of Hexavalent Chromium (Cr(VI)) to Trivalent Chromium (Cr(III)) in the presence of Zinc Oxide Nanoparticle from Aqueous Solution [Research(Original)]. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 22(1), 116-132. <http://jmums.mazums.ac.ir/article-1-3438-fa.html>
  7. **Huang, D., Liu, C., Zhang, C., Deng, R., Wang, R., Xue, W., Luo, H., Zeng, G., Zhang, Q. and Guo, X., 2019.** Cr (VI) removal from aqueous solution using biochar modified with Mg/Al-layered double hydroxide intercalated with ethylenediaminetetraacetic acid. *Bioresource Technology*, 276, 127-132.
  8. **IBI. 2012.** Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil
  9. **Ikegami, K., Hirose, Y., Sakashita, H., Maruyama, R. and Sugiyama, T., 2020.** Role of polyphenol in sugarcane molasses as a nutrient for hexavalent chromium bioremediation using bacteria. *Chemosphere*, 250, 126267.
  10. **Jacob, L., Joseph, S. and Varghese, L.A., 2020.** Polysulfone/MMT mixed matrix membranes for hexavalent chromium removal from wastewater. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 7611-7620.
  11. **Kambo, H.S. and Dutta, A., 2015.** A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 359-378.
  12. **Kumar, A., Singh, E., Khapre, A., Bordoloi, N. and Kumar, S., 2020.** Sorption of volatile organic compounds on non-activated biochar. *Bioresource Technology*, 297, 122469.
  13. **Kumar, N., Kardam, A., Jain, V. and Nagpal, S., 2020.** A rapid, reusable polyaniline-impregnated nanocellulose composite-based system for enhanced removal of chromium and cleaning of waste water. *Separation Science and Technology*, 55(8), 1436-1448.
  14. **Kumar, P.S., Korving, L., van Loosdrecht, M.C. and Witkamp, G.J., 2019.** Adsorption as a technology to achieve ultra-low concentrations of

32. **Thangagiri, B., Sakthivel, A., Jeyasubramanian, K., Seenivasan, S., Raja, J.D. and Yun, K., 2022.** Removal of hexavalent chromium by biochar derived from *Azadirachta indica* leaves: batch and column studies. *Chemosphere*, 286, 131598.
33. **USDA. and NRCS., 2007.** Statistix8 and user guid for the plant material program T version 2. 1-80.
34. **Wang, H., Song, X., Zhang, H., Tan, P. and Kong, F., 2020.** Removal of hexavalent chromium in dual-chamber microbial fuel cells separated by different ion exchange membranes. *Journal of hazardous materials*, 384, 121459.
35. **Wang, H., Wang, S. and Gao, Y., 2020.** Cetyl trimethyl ammonium bromide modified magnetic biochar from pine nut shells for efficient removal of acid chrome blue K. *Bioresource Technology*, 312, 123564.
36. **Wang, J., Sun, T., Saleem, A. and Chen, Y., 2020.** Enhanced adsorptive removal of Cr (VI) in aqueous solution by polyethyleneimine modified palygorskite. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28(10), 2650-2657.
37. **Wang, L., Chen, M., Li, J., Jin, Y., Zhang, Y. and Wang, Y., 2020.** A novel substitution-based method for effective leaching of chromium (III) from chromium-tanned leather waste: The thermodynamics, kinetics and mechanism studies. *Waste Management*, 103, 276-284.
38. **Wang, X.S., Chen, L.F., Li, F.Y., Chen, K.L., Wan, W.Y. and Tang, Y.J., 2010.** Removal of Cr (VI) with wheat-residue derived black carbon: reaction mechanism and adsorption performance. *Journal of hazardous materials*, 175(1-3), 816-822.
39. **Wang, Z., Shen, Q., Xue, J., Guan, R., Li, Q., Liu, X., Jia, H. and Wu, Y., 2020.** 3D hierarchically porous NiO/NF electrode for the removal of chromium (VI) from wastewater by electrocoagulation. *Chemical Engineering Journal*, 402, 126151.
40. **Xiang, W., Zhang, X., Chen, J., Zou, W., He, F., Hu, X., Tsang, D.C., Ok, Y.S. and Gao, B., 2020.** Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, 252, 126539.
41. **Xue, W., Huang, D., Zeng, G., Wan, J., Zhang, C., Xu, R., Cheng, M. and Deng, R., 2018.** Nanoscale zero-valent iron (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-21.
24. **Revathi, M., Sivagaami Sundari, G., Ahmed Basha, C., Alam, M., Sagadevan, S. and Ahmad, N., 2020.** Reclamation of hexavalent chromium from electroplating effluents by electroextraction. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 20(10), 6547-6554.
25. **Reyes-Serrano, A., López-Alejo, J.E., Hernández-Cortázar, M.A. and Elizalde, I., 2020.** Removing contaminants from tannery wastewater by chemical precipitation using CaO and Ca (OH) 2. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28(4), 1107-1111.
26. **Sakthivel, A., Thangagiri, B., Jeyasubramanian, K., Raja, J.D., Prabhakar, R.S.S., Nayagi, S.P.B. and Krishnamurthy, N., 2021.** Switching the hydrophobic Neyveli lignite into hydrophilic type by surface modification and its subsequent use for removing Cr (VI)/F<sup>-</sup> from artificial pollutant. *Fuel*, 298, 120787.
27. **Samsuri, A., Sadegh-Zadeh, F. and Sehbardan, B., 2014.** Characterization of biochars produced from oil palm and rice husks and their adsorption capacities for heavy metals. *International Journal of environmental science and technology*, 11(4), 967-976.
28. **Shakya, A. and Agarwal, T., 2019.** Removal of Cr (VI) from water using pineapple peel derived biochars: Adsorption potential and re-usability assessment. *Journal of molecular liquids*, 293, 111497.
29. **Søberg, L.C., Winston, R., Viklander, M. and Blecken, G.T., 2019.** Dissolved metal adsorption capacities and fractionation in filter materials for use in stormwater bioretention facilities. *Water Research X*, 4, 100032.
30. **Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y. and Yang, Z., 2015.** Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70-85.
31. **Tareq, R., Akter, N. and Azam, M.S., 2019.** Biochars and biochar composites: Low-cost adsorbents for environmental remediation. In *Biochar from biomass and waste* (pp. 169-209). Elsevier.

- extraction with amide. Hydrometallurgy, 196, 105440.
46. **Zameni, L., 2016.** Leaching in a soil amended with biochar and Fe-coated biochar Nitrate Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (in persian)].
47. **Zhang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y. and Inyang, M., 2012.** Synthesis, characterization, and environmental implications of graphene-coated biochar. Science of the Total Environment, 435, 567-572.
48. **Zheng, Y., Zimmerman, A.R. and Gao, B., 2020.** Comparative investigation of characteristics and phosphate removal by engineered biochars with different loadings of magnesium, aluminum, or iron. Science of the Total Environment, 747, 141277.
49. **Zou, H., Zhao, J., He, F., Zhong, Z., Huang, J., Zheng, Y., Zhang, Y., Yang, Y., Yu, F. and Bashir, M.A., 2021.** Ball milling biochar iron oxide composites for the removal of chromium (Cr (VI)) from water: Performance and mechanisms. Journal of hazardous materials, 413, 125252.
- coated with rhamnolipid as an effective stabilizer for immobilization of Cd and Pb in river sediments. Journal of hazardous materials, 341, 381-389.
42. **Yao, F., Jia, M., Yang, Q., Luo, K., Chen, F., Zhong, Y., He, L., Pi, Z., Hou, K. and Wang, D., 2020.** Electrochemical Cr (VI) removal from aqueous media using titanium as anode: Simultaneous indirect electrochemical reduction of Cr (VI) and in-situ precipitation of Cr (III). Chemosphere, 260, 127537.
43. **Yao, Y., Gao, B., Inyang, M., Zimmerman, A.R., Cao, X., Pullammanappallil, P. and Yang, L., 2011.** Removal of phosphate from aqueous solution by biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings. Journal of hazardous materials, 190(1-3), 501-507.
44. **Yi, Y., Tu, G., Zhao, D., Tsang, P.E. and Fang, Z., 2020.** Key role of FeO in the reduction of Cr (VI) by magnetic biochar synthesised using steel pickling waste liquor and sugarcane bagasse. Journal of Cleaner Production, 245, 118886.
45. **Ying, Z., Ren, X., Li, J., Wu, G. and Wei, Q., 2020.** Recovery of chromium (VI) in wastewater using solvent





## Application of Iron, Aluminum and Copper Composites to Remove High Concentration of Chromium in Water

Maedeh Parichehreh<sup>1\*</sup>, Fardin Sadeghzadeh<sup>2</sup>, Bahi Jalili<sup>2</sup>, Mohammad Ali Bahmanyar<sup>2</sup>, Abd Wahid Samsuri<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD candidate of Soil Fertility and Biotechnology Management, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

<sup>2</sup> Department of Soil Science and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

<sup>3</sup> Department of Land Management, Faculty of Agriculture, University Putra Malaysia, Selangor, Malaysia

### Original Article

**Received:**  
2023.03.12

**Accepted:**  
2023.06.10

**Keywords:**  
Adsorption,  
Anionic  
Contaminant,  
Biochar,  
Biochar-Metal  
Composite,  
Metal Coated  
Biochar

### Abstract

**Introduction:** The increase of various industries and the ever-increasing growth of the population of the planet have caused all kinds of contamination in the environment. One of the most important contaminants in water, which has many risks for human health and living organisms and important environmental risks, is anionic compounds in high concentration. Chromium is one of these contaminants that causes contamination in the environment and brings many risks to human health and other living organisms. Various methods have been evaluated to remove heavy metals from water, which often include chemical or energy-intensive processes. Therefore, it is important to modify these sources with the help of affordable adsorbents and with low energy consumption. Previous studies showed that biochar, metal-coated biochars and carbon-metal composites are highly effective in removing chromium contaminants with a concentration of 20 mg/liter from water, but so far the effect of these adsorbents on removing this anionic contaminant in high concentrations has not been investigated.

**Materials and Methods:** In this research, the efficiency of different adsorbents (biochar, copper-coated biochar, aluminum-coated biochar, iron-coated biochar, biochar-copper composite, biochar-aluminum composite and biochar-iron composite) on the removal of chromium, with a concentration of 300 mg per liter, from water was investigated. Metal-coated biochars were prepared from the combination of metals (copper, iron and aluminum) with a concentration of 10000 mg/kg with biochar produced at 600 degrees Celsius and various biochar-metal composites were prepared from the combination of these metals with rice straw and then the samples were pyrolyzed at 600 degrees Celsius. In order to determine the efficiency of the adsorbents, 0.5 grams of each adsorbent was mixed with 40 ml of chromium solution with a

concentration of 300 mg/l and pH= 6 and shaken for three hours until they reached equilibrium. Then the samples were centrifuged for 5 minutes at 6000 rpm and after the filtration, the final concentration of the contaminant was obtained and the percentage of chromium removal was calculated.

**Results:** The results of the present study showed that all of the applied adsorbents were effective in removing high concentrations of chromium from water. The lowest removal rate of this contaminant was related to the biochar sample, which only removed 15.28% of this contaminant from water; And the highest amount of removal was achieved using iron composite, which removed 44.45% of the contaminant from the aqueous solution. According to the results of this research, it can be observed that coating biochar and rice straw with metals has been able to increase the efficiency of this adsorbent in removing chromium from water. For example, iron composite and iron-coated biochar were able to remove 44.45 and 30.86% of chromium contaminant from the aqueous solution, respectively, while rice straw biochar was only able to remove 15.28% of this contaminant from water.

**Discussion:** The results of present study showed that iron coated biochar and biochar-iron composite had more ability to remove chromium contaminant from aqueous solution than other metal coated biochars and biochar-metal composites and were able to perform more successfully. Therefore, the use of these adsorbents can be effective in the treatment of chromium-contaminated water.