

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، شماره یک، بهار ۹۶

بررسی آزمایشگاهی حذف یون کادمیوم از محلول های آبی توسط بیو جاذب

گاه گندم بهبود یافته

ابوالفضل جهانگیری^۱

الهام عامری^{*۲}

ameri@iaush.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: کادمیوم از جمله فلزات سنگینی است که در پساب صنایع مختلف حضور داشته و به شدت برای انسان و محیط زیست سمی می باشد. لذا کاتیون های این فلز باید از پساب حذف شود و یا تا حد مجاز تقلیل یابد. پژوهش حاضر با هدف تعیین کارایی گاه گندم بهبود یافته در حذف کادمیوم از محلول آبی طراحی و اجرا گردید.

روش بررسی: در این مطالعه، جاذب گاه گندم در شرایط آزمایشگاهی آماده و با استفاده از الک های استاندارد با اندازه های مش بین ۴۰-۱۲۰ دانه بندی شد. سپس گاه گندم با استفاده از محلول هیدروکسید سدیم ۰/۷ مولار عامل دار گردید. جهت شناسایی گروه های عاملی در جاذب تهیه شده، آزمون اسپکتروسکوپی مادون قرمز انجام شد. فرآیند جذب به صورت ناپیوسته و در شرایط آزمایشگاهی با تأکید بر اثرات پارامترهای مختلفی چون اندازه جاذب، pH، زمان تماس، غلظت اولیه ی کادمیوم، مقدار جاذب و سرعت اختلاط بر راندمان جذب مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: نتایج آزمون اسپکتروسکوپی مادون قرمز، نشانه از تقویت شدید گروه هیدروکسیل و کربوکسیل در طی فرآیند بهبود جاذب بود. بهینه های هر عامل که بیشترین میزان جذب را داشتند به ترتیب مش ۷۰، pH برابر با ۷، زمان تماس ۳۰ دقیقه، غلظت اولیه کادمیوم ۲۰ میلی گرم بر لیتر، ۱/۵ گرم جاذب و شدت همزن ۲۴۰ دور بر دقیقه در دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد به دست آمد.

بحث و نتیجه گیری: مقدار بیشینه بازده حذف کادمیوم با کاربرد گاه گندم عامل دار شده، در شرایط بهینه ۹۸/۵ درصد حاصل شد. به طور کلی نتایج نشان داد که گاه گندم بهبود یافته به عنوان یک جاذب بلا استفاده و ارزان می تواند جهت حذف یون کادمیوم موثر واقع شود تا جایی که می توان در شرایط بهینه به بازده حذف تقریباً کامل دست یافت.

واژه های کلیدی: گاه گندم بهبود یافته، حذف، کادمیوم، بیو جاذب

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، اصفهان، ایران.

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی-مهندسی، اصفهان، ایران. * (مسئول مکاتبات)

Experimental Investigation on Cadmium Ions Removal from Aqueous Solutions by Modified Wheat Straw Biosorbent

Abolfazl Jahangiri¹

Elham Ameri^{2*}

ameri@iaush.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Cadmium is one of the heavy metals resulting from wastewater of different industries, and it is also highly toxic to human and the environment. So, the cations of this metal must be removed or reduced down to effluent standards. The aim of the current study was to investigate the cadmium removal efficiency by modified wheat straw from aqueous solutions.

Method: In this study, wheat straw as the adsorbent was prepared in a laboratory scale and pulverized by standard ASTM sieves (40-120 mesh sizes). Consequently, wheat straw was functionalized by using NaOH solution with concentration of 0.7 M. FTIR analysis was used to characterize the functional groups in the prepared adsorbent. Adsorption process was accomplished in a batch laboratory-scale with emphasis on the effect of various parameters such as mesh size, pH, contact time, initial concentration of Cd (II), adsorbent dosage and mixing rate on the adsorption efficiency.

Findings: FTIR results showed that the modification of the wheat straw brought increase of stretch vibration band of hydroxyl and carboxyl groups. Optimized values for each factor to achieve the highest uptake were found to be as follows: the mesh size of 70, the contact time of 30 minutes, the initial concentration of 20 mg/L, the pH 7, the adsorbent dose of 1.5 g and the agitation speed of 240 rpm, at 25 ° C, respectively.

Discussion and Conclusion: The maximum removal efficiency of cadmium was found to be %98.5, at the optimized experimental condition. In general, results showed that the modified wheat straw as an unusable and cheap sorbent could be consider for the removal of the cadmium ion with nearly complete removal efficiency, at the optimized condition.

Keywords: Modified Wheat Straw, Removal, Cadmium, Biosorbent.

1- MSc of Chemical Engineering, Shahreza Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Engineering, Faculty of Chemical Engineering, Shahreza Branch, Islamic Azad University, Shahreza, Iran. * (Corresponding Author)

مقدمه

یکی از عمده ترین آلاینده های محیط زیست، پساب های صنعتی حاوی فلزات سنگین می باشد. فلزات سنگین دارای ارزش زیادی می باشند، اما در صورتی که بیش از اندازه ی مجاز در رژیم غذایی انسان ها وارد گردند، باعث ایجاد ناراحتی های زیادی برای انسان می شوند. پژوهش های انجام شده در مورد تأثیرات فلزات سنگین نشان می دهد که این مواد می توانند مستقیماً با مختل کردن سیستم عصبی بر انسان ها و حیوانات اثر بگذارند. هم چنین موجب ایجاد اختلال در سیستم گوارش، سیستم ایمنی، اعصاب مرکزی و محیطی و مجاری ادراری می-شوند (۱).

فلز کادمیوم از جمله خطرناک ترین آلاینده های محیط زیست می باشد. این فلز با ورود به چرخه ی غذایی موجودات زنده سبب ایجاد بیماری های مهلک متعددی می شود. کادمیوم از طریق فاضلاب صنایع آب کاری، ذوب و استخراج فلزات، آلیاژی، رنگ رزی، کودهای شیمیایی، آفت کش ها و نیز کادمیوم موجود در رنگ ها، پلاستیک ها، جوهر ها، باتری های نیکل-کادمیوم وارد محیط زیست می گردد (۲). بنابراین حذف یون فلزات سنگین از آب های آلوده و حذف آن ها از آب های شیرین ضروری و سودمند می باشد. روش های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از آب های صنعتی به کار می روند. از جمله ی این روش ها می توان به فرآیند های رسوب دهی شیمیایی، انعقاد و ته نشینی، انعقاد الکترودی، کاربرد رزین های تبادل یون، جذب سطحی و فرآیند های جداسازی غشایی مانند اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و الکترودیالیز اشاره نمود (۳).

امروزه جذب سطحی یکی از متداول ترین فرآیندها جهت تصفیه ی فلزات سنگین از آب های آلوده به شمار می رود. ماده ی جذب، هسته ی اصلی این فناوری را تشکیل می دهد. تاکنون از جاذب های مختلفی جهت حذف فلزات سنگین از آب و فاضلاب استفاده شده است (۴-۶). در عمل استفاده از جاذب های متداول به دلیل محدودیت ظرفیت جذب، سرعت جذب یا احیا سازی با مشکلاتی همراه است. در سال های اخیر ضایعات کشاورزی به عنوان جاذب به دلیل هزینه های کم، توجه

بسیاری از محققین را در فرآیند های جذب سطحی به خود معطوف کرده است (۷-۴).

در اوایل سال ۱۹۸۶ در جلسه ای که توسط گروه تبادل یونی صنایع شیمیایی و مهندسی استخراج در انگلیس برگزار شد، بیو جاذب به عنوان یک تکنولوژی جدید مورد توجه قرار گرفت. از آن زمان توجهات زیادی از سراسر دنیا در زمینه ی بیو جذب، در جهت مشخص نمودن بیو جاذب های بالقوه جلب شد. پژوهش های انجام شده تا این زمان نشان می دهد که بیو جذب یک فرآیند ایده ال برای پاک سازی از فاضلاب های حاوی فلزات می باشد (۸). مهم ترین مزایای فرآیند بیو جذب در مقایسه با روش های متداول حذف فلزات سنگین عبارتند از: مقرون به صرفه بودن به دلیل فراوانی بیو جاذب ها در طبیعت و ضایعات صنایع مختلف، جذب انتخابی بیو جاذب ها در حذف فلزات، بالا بودن سرعت فرآیند، کمینه کردن حجم لجن تولیدی، امکان انجام فرآیند در بازه ی وسیعی از دما و pH (۹). در دهه ی ۱۹۹۰ میلادی بیومس میکروارگانیسم ها و جلبک ها به عنوان جاذب های ارزان قیمت و تجدیدپذیر برای حذف فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفت. بیومس ها ارزان قیمت بوده و دارای کارایی مناسبی هستند. ساختار سلولی این بیوجاذب ها و هم چنین گروه های عاملی موجود در ساختار آمین، هیدروکسیل، کربوکسیل و سولفات نقش مهمی در ایجاد پیوند بین محل های فعال بیوجاذب ها و فلزات سنگین دارند (۱۰). از طرف دیگر، ضایعات کشاورزی از لیگنین^۱، سلولز^۲، همی سلولز^۳، لیپید، پروتیین، قندهای ساده، نشاسته، آب، هیدروکربن و املاح معدنی تشکیل شده اند. گروه های عاملی موجود در ساختمان ضایعات کشاورزی کربونیل، ترکیبات فنلی، پلی ساکارید های ساختمانی، آمید، آمین، سولوفیدریل، کربوکسیل، الکل و استر می باشند. این ترکیبات میل زیادی به تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین دارند. یون هیدروژن موجود در ساختار این ترکیبات می تواند جایگزین یون فلز سنگین شود

1- Lignin

2- Cellulose

3- Hemi Cellulose

برای حذف یون های فلزی کادمیوم و مس از جاذب کاه گندم استفاده کردند. در این تحقیق ظرفیت جذب لانگمویر برای کادمیوم ۲۳ درصد بیشتر از مس به دست آمد (۱۸).
جمالی و شامحمدی برای حذف یون سرب از جاذب پوسته شلتوک استفاده نمودند. بازده جذب برای سرب در محلول با غلظت ۱ میلی گرم، ۹۸٪ حاصل شد (۱۹). دیوبند و همکاران در سال ۱۳۹۲ برای حذف یون فلز کادمیوم، از جاذب های برگ سدر و خاکستر آن استفاده نمودند. با بررسی پارامترهای pH، زمان تماس و مقدار جاذب به ترتیب به pH بهینه ۵ و ۶، زمان تماس ۴۵ و ۳۰ دقیقه و مقدار جاذب ۳ گرم دست یافتند. ظرفیت جذب هر کدام از جاذب ها را به ترتیب ۳/۹۱ و ۴/۲۷ به دست آوردند (۲۰). مارتینز^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۵ برای حذف یون های فلزی کادمیوم و سرب از جاذب ساقه ی انگور استفاده نمودند. با بررسی پارامتر های غلظت اولیه، زمان تماس و pH توانستند در شرایط بهینه زمان تماس ۴۰ دقیقه و pH برابر ۵/۵، به راندمان جذب ۸۵ درصد برای کادمیوم و ۷۸ درصد برای سرب دست یابند (۲۱). لیم^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای حذف یون های فلزی مس و کادمیوم از جاذب هسته نوعی درخت استفاده نمودند و به ترتیب راندمان جذب ۵۱ و ۷۸ درصد حاصل شد (۲۲). اکافر^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای حذف مس، کادمیوم، سرب و آرسنیک از محلول های آبی، از جاذب پوسته ی نارگیل استفاده نمودند و به ترتیب به راندمان جذب ۴۵، ۷۸، ۸۱ و ۸۰ درصد دست یافتند (۲۳). پاتل^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای حذف یون های فلزی کادمیوم و روی از جاذب های پوسته برنج و پوسته نخود فرنگی استفاده نمودند. در این میان پوسته ی برنج قدرت جذب بیشتری داشته و به ترتیب با جاذب پوسته ی برنج به راندمان جذب ۷۵ و ۷۸ درصد دست رسیدند (۲۴). هیدالگو^۸ و همکاران در سال ۲۰۱۱ جهت حذف یون های فلزی کادمیوم و

(۱۶-۱۱). از اواخر دهه ی ۹۰ میلادی بود که مطالعات جذب با استفاده از بقایای گیاهی و به خصوص ضایعات کشاورزی، متحول گردید، به طوری که به جای استفاده از روش های فعال سازی فیزیکی (کربن فعال)، از فرآیند بهبود دهنده ی شیمیایی استفاده شد. در این روش ضمن افزایش ظرفیت جذب، هزینه ی فعال سازی به مراتب کمتر از روش فعال سازی فیزیکی بود. چراغی و همکاران برای حذف یون های فلزی کادمیوم از جاذب برگه و ساقه کنجد استفاده نمودند. با بررسی پارامتر های غلظت اولیه، زمان تماس و pH توانستند در شرایط بهینه زمان تماس ۳۰ دقیقه و pH برابر ۶ به ظرفیت جذب ۸۴/۸۷ گرم بر میلی گرم دست یابند (۱۶). سیسار^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۴ برای حذف یون های فلزی کادمیوم و سرب از جاذب پوسته ی سبوس برنج بهبود یافته با هیدروکسید سدیم استفاده نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد پوسته ی سبوس بهبود یافته با محلول ۰/۷۵ مولار هیدروکسید سدیم، نسبت به سبوس خام ظرفیت جذب بیشتری دارد و به راندمان جذب ۹۲ درصد برای کادمیوم و ۸۵ درصد برای سرب دست یافتند (۱۲). اپندرا^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۶ برای حذف یون فلز کادمیوم از جاذب سبوس برنج بهبود یافته با بی کربنات سدیم استفاده نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد سبوس بهبود یافته با محلول بی کربنات سدیم، نسبت به سبوس خام ظرفیت جذب بیشتری دارد و به راندمان جذب ۸۴ درصد دست یافتند (۱۳). ملکی و همکاران در سال ۱۳۸۹ برای حذف آرسنیک پنج ظرفیتی از جاذب کاه گندم بهبود یافته از محلول بی کربنات سدیم استفاده نمودند. با بررسی پارامتر های غلظت اولیه، مقدار جاذب و pH توانستند در شرایط بهینه pH برابر ۷/۷ و غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر، به راندمان جذب ۹۱ درصد برسند (۱۴). عزیز و عامری برای حذف یون سرب از جاذب کاه گندم مغناطیسی شده استفاده نمودند. pH بهینه ۵، ظرفیت جذب لانگمویر ۵۰/۷۶ گرم بر میلی گرم و زمان تماس تعادلی ۳۰ دقیقه به دست آمد (۱۷). دانگ^۳ و همکارانش در سال ۲۰۰۹

4- Martinez
5- Lim
6- Okafor
7- Patel
8- Hidalgo

1- Cesar
2- Upendra
3- Dang

های آن ها، از طیف سنجی مادون قرمز (FT-IR, PE-1710) (USA) استفاده شد. در این آزمایش نمونه ی ذرات به صورت جداگانه به نمک KBr اضافه و در هاون عقیق به طور کامل ساییده شد و در اثر فشاری که به آن ها وارد گردید، مخلوط مورد نظر به صورت ماتریکس یکنواخت و به شکل قرص در آمد. قرص های تهیه شده در یک نگه دارنده، در داخل دستگاه اسپکتروفوتومتر FT-IR قرار داده شد و طیف هر یک از نمونه ها در محدوده ی طول موج 450 cm^{-1} تا 4000 به دست آمد.

۱-۲- تهیه ی محلول های استاندارد کادمیوم

اندازه گیری غلظت کادمیوم با استفاده از دستگاه طیف سنج اتمی^۱ (Perkin Elmer model Aanalist 2300) و شعله ی استیلن-هوا و لامپ کاتد توخالی کادمیوم انجام شد.

برای رسم کردن منحنی کالیبراسیون در محدوده ی خطی برای کاتیون کادمیوم، در ابتدا محلول مادر 1000 میلی گرم بر لیتر کادمیوم تهیه شد. برای جلوگیری از تشکیل رسوب کادمیوم هیدروکسید، پس از رقیق سازی متوالی و تهیه ی محلول 10 میلی گرم بر لیتر، $2/5$ میلی لیتر اسید نیتریک به محلول اضافه گردید. سپس با رقیق سازی متوالی از محلول مذکور، محلول های استاندارد 5 و 2 میلی گرم بر لیتر به دست آمد.

۱-۳- روش انجام آزمایشات جذب ناپیوسته

جهت انجام آزمایشات، در ابتدا مقدار معین از جاذب به ظرف های پلی اتیلنی درب دار مختلف حاوی 100 میلی لیتر محلول با غلظت 20 میلی گرم بر لیتر کادمیوم اضافه شد. نمونه های حاصل در دمای محیط و با سرعت اختلاط 240 دور بر دقیقه، مخلوط شدند.

سرب از جاذب خاک اره درخت کاج استفاده کردند و به ترتیب به راندمان جذب 79 و 82 درصد دست یافتند (۲۵). در پژوهش حاضر با بهره گیری از جاذب ارزان قیمت و در دسترس بقایای گیاهی کاه گندم و کاه گندم بهبود یافته (با استفاده از محلول بازی هیدروکسید سدیم)، حذف یون کادمیوم از محلول آبی برای اولین بار مورد مطالعه قرار گرفت. در این راستا، تاثیر عواملی چون اندازه جاذب، مدت زمان تماس، غلظت اولیه کادمیوم در محلول خوراک، pH، مقدار جاذب و دور هم زن بر میزان جذب بررسی شد.

مواد و روش تحقیق

۱-۱- آماده سازی و تهیه ی جاذب

کاه گندم مورد نظر محصول مزارع استان اصفهان است. به منظور استفاده از جاذب (پسماند های کاه گندم) در این پژوهش کاه گندم چندین بار با آب بدون یون شست و شو داده شد، تا گرد و غبار آن به طور کامل حذف گردد. پس از آن به مدت 24 ساعت در دمای 50 درجه ی سانتی گراد در داخل آون حرارتی خشک و با آسیاب پودر گردید. سپس با استفاده از دستگاه شیکر الک از مش هایی با اندازه ی 40 تا 120 عبور داده شد. بعد از آن نمونه ها با اندازه های متفاوت در پلاستیک های در بسته نگه داری شدند. برای تهیه ی جاذب بهبود یافته مقدار 100 گرم از کاه گندم عادی با اندازه ی بهینه، به 2 لیتر محلول هیدروکسید سدیم 0.7 مولار اضافه شد و به مدت 4 ساعت مخلوط گردید. بعد از اتمام زمان فعال سازی جهت حذف نمودن مازاد هیدروکسید سدیم از کاه گندم بهبود یافته، کاه چندین بار با آب دو بار تقطیر شست و شو داده شد. جاذب های بهبود یافته ی به دست آمده در آون و در دمای 90 درجه ی سانتی گراد به مدت 5 ساعت خشک گردید و در ظروف در بسته ی جداگانه نگه داری شد. نوع مواد به کاررفته همراه مشخصات در جدول (۱) ارایه شده است. برای شناسایی کیفی نمونه ها، نوع گروه های عاملی و پیوند های موجود در مولکول

جدول ۱- مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Materials used in this study.

نام	شرکت	فرمول شیمیایی	توضیحات
نیترات کادمیوم	مرک	$Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	عامل حذف شونده
اسید کلریدریک	مرک	HCl	عامل تنظیم pH
هیدروکسید سدیم	مرک	NaOH	عامل تنظیم و بهبود pH
اسید نیتریک	مرک	HNO_3	جلوگیری از تشکیل رسوب

با استفاده از معادله ی (۲) درصد جذب یون کادمیوم توسط جاذب به دست آمد.

$$\% \text{Removal} = (C_i - C_e) / C_i \quad (2)$$

در فرآیند جذب انجام شده در این پژوهش، شش متغیر کنترلی وجود دارد که تغییر هر یک از آن ها بر راندمان جذب تأثیر گذار است. جدول ۲ عوامل بررسی شده و شرایط انجام آزمایش در فرآیند جذب کادمیوم را با کاربرد جاذب کاه گندم اصلاح شده نشان می دهد.

پس از رسیدن به زمان تعادلی ۳۰ دقیقه نمونه ها از روی تکاننده برداشته شده و جاذب داخل محلول توسط کاغذ صافی جداسازی شد. غلظت محلول های کادمیوم عاری از جاذب توسط دستگاه جذب اتمی، سپس با استفاده از رابطه ی (۱) میزان کادمیوم جذب شده توسط جاذب تعیین شد.

$$q_e = (C_i - C_e) * V / M \quad (1)$$

در رابطه ی فوق q_e مقدار یون جذب شده توسط جاذب در لحظه ی تعادل بر حسب میلی گرم بر گرم جاذب، V حجم محلول بر حسب لیتر، M مقدار گرم جاذب اضافه شده به محلول بر حسب گرم و C_i و C_e ترتیب غلظت اولیه و غلظت تعادلی کاتیون های کادمیوم بر حسب میلی گرم بر لیتر است.

جدول ۲- عوامل بررسی شده در فرآیند جذب و شرایط انجام آزمایش

Table 2- Investigated parameters in adsorption process and empirical conditions.

شرایط انجام آزمایش	محدوده تغییرات	عامل
زمان تماس: ۴۰ دقیقه، غلظت اولیه کادمیوم: ۲۰ میلی گرم بر لیتر، مقدار جاذب: ۰/۱ گرم، pH: ۵، سرعت هم زن: ۲۴۰ دور بر دقیقه	۴۰-۱۲۰	اندازه جاذب
زمان تماس: ۳۰ دقیقه، سرعت هم زن: ۲۴۰ دور بر دقیقه، مقدار جاذب: ۰/۱ گرم، pH: ۵، مقدار جاذب: ۰/۱ میلی گرم بر لیتر	۵-۱۰۰	غلظت اولیه کادمیوم (میلی گرم بر لیتر)
زمان تماس: ۳۰ دقیقه، سرعت هم زن: ۲۴۰ دور بر دقیقه، مقدار جاذب: ۰/۱ گرم، غلظت اولیه کادمیوم: ۲۰ میلی گرم بر لیتر، اندازه جاذب: مش ۷۰.	۲-۸	pH
غلظت اولیه کادمیوم: ۲۰ میلی گرم بر لیتر، سرعت هم زن: ۲۴۰ دور بر دقیقه، مقدار جاذب: ۰/۱ گرم، pH: ۵، اندازه جاذب: مش ۷۰.	۵-۹۰	زمان تماس (دقیقه)
غلظت اولیه کادمیوم: ۲۰ میلی گرم بر لیتر، سرعت هم زن: ۲۴۰ دور بر دقیقه، زمان تماس: ۳۰ دقیقه، pH: ۷، اندازه جاذب: مش ۷۰.	۰/۱-۱/۵	مقدار جاذب (گرم)
غلظت اولیه کادمیوم: ۲۰ میلی گرم بر لیتر، زمان تماس: ۳۰ دقیقه، مقدار جاذب: ۰/۱ گرم، pH: ۷، اندازه جاذب: مش ۷۰.	۷۰-۴۱۰	شدت هم زدن (دور بر دقیقه)

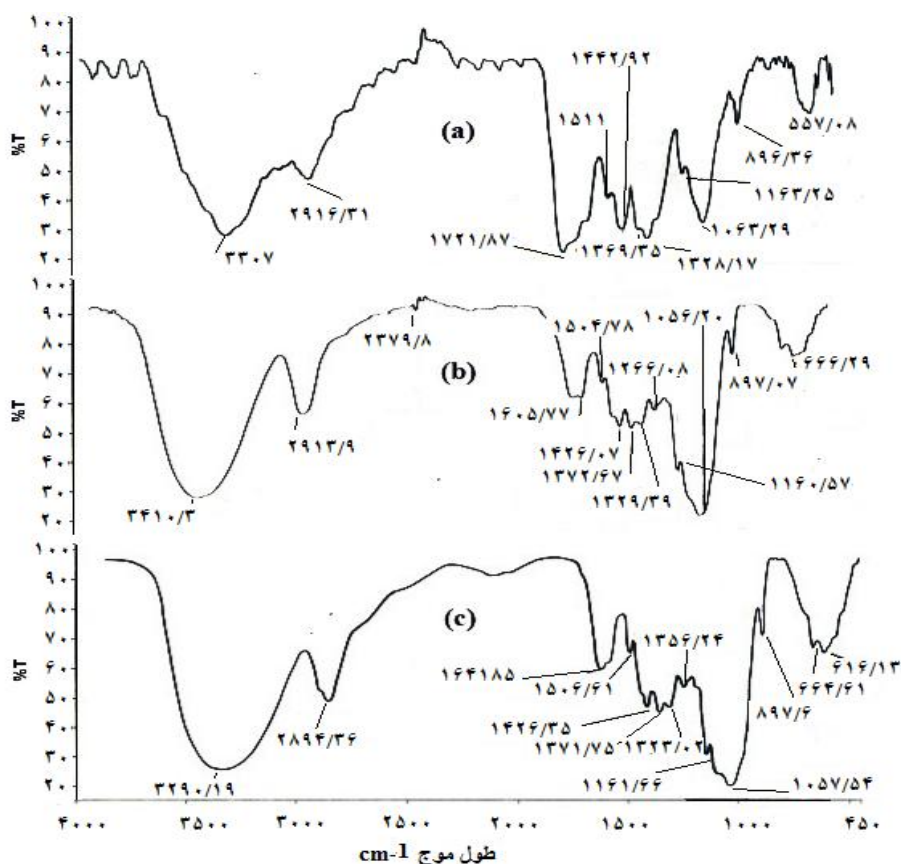
نتایج و بحث

۲-۱- نتایج حاصل از بررسی طیف مادون قرمز

شکل (۱) طیف مادون قرمز مربوط به کاه گندم عادی و کاه گندم بهبود یافته، کاه گندم بهبود یافته در تماس با محلول را نشان می دهد. در شکل (۱) پیک ظاهر شده مربوط به کاه گندم در ناحیه ی $3307/45 \text{ cm}^{-1}$ ارتعاشات OH را نشان می دهد که به وجود گروه های هیدروکسیل روی سطح گندم اشاره می کند.

این باند مربوط به ارتعاشات گروه سیلانول گروه هیدروکسیل پیوندی در سلولز و لیگنین و آب جذب شده روی سطح کاه گندم است. پیک های واقع در $2916/31 \text{ cm}^{-1}$ به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی باند CH در گروه متیل هستند. پیک های مشخص شده در $1721/87 \text{ cm}^{-1}$ شاخص ارتعاشات کششی گروه کربونیل مربوط به کتون ها می باشند. پیک های واقع در محدوده ی $1511/00 \text{ cm}^{-1}$ را می توان به ارتعاشات کششی پیوند $C=C$ حلقه ی آروماتیک نیز نسبت داد. هم چنین پیک

های مربوط به ناحیه ی $1442/92 \text{ cm}^{-1}$ را می توان ناشی از ارتعاشات C-OH کششی گروه کربونیل دانست. پیک در ناحیه ی $1063/29 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی نامتقارن C-O از ساختار لیگنین کاه گندم می است. پیک های موجود در نواحی $1163/25 \text{ cm}^{-1}$ ممکن است مربوط به ارتعاشات کششی گروه C-O در فنول ها باشد. جابه جایی پیک $3307/45 \text{ cm}^{-1}$ به $3410/31 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش O-H در طی فرآیند بهبود جاذب، نشان از تقویت شدید این باند دارد. هم چنین جابه جایی پیک با طول موج $3410/31 \text{ cm}^{-1}$ به $3390/19 \text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاش O-H نشان دهنده ی اثر واکنش جاذب بهبود یافته و یون کادمیوم است. از طرفی در طی تماس جاذب بهبود یافته و محلول حاوی یون کادمیوم انتقال پیک $2913/90 \text{ cm}^{-1}$ به $2894/36 \text{ cm}^{-1}$ نشانه ی شرکت آن در فرآیند جذب است.



شکل ۱ - طیف مادون قرمز (a) کاه گندم عادی، (b) کاه گندم بهبود یافته و (c) کاه گندم بهبود یافته بعد از تماس محلول کادمیوم

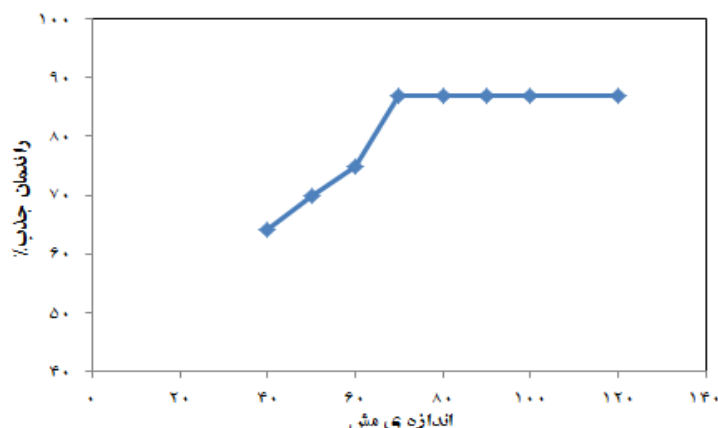
Figure 1- FTIR spectra of (a) wheat straw, (b) modified wheat straw, and (c) loaded modified wheat straw after cadmium adsorption.

۲-۲- تأثیر اندازه ی ذرات

درونی در جاذب در اندازه ی کوچکتر، بیشتر است. از سوی دیگر مقاومت نفوذ برای انتقال جرم در ذرات کوچکتر کمتر می باشد.

تأثیر منفی فاکتور های متفاوت نظیر طول مسیر نفوذ، مقاومت انتقال جرم و انسداد برخی از مسیرهای نفوذ در اندازه های بزرگتر منجر به بلا استفاده ماندن سطوح داخلی ذرات در فرآیند جذب شده و باعث کاهش بازده جذب می شود. با توجه به افزایش راندمان جذب بر اثر افزایش سطح مؤثر تا مش ۷۰ و ثابت ماندن درصد جذب بعد از افزایش مش تا ۱۲۰، در مراحل بعدی آزمایشات با کاربرد جاذب مش ۷۰ انجام گردید.

به منظور بررسی اندازه ی ذرات، ۰/۱ گرم از کاه گندم در اندازه های مش مختلف ۴۰-۵۰-۶۰-۷۰-۸۰-۹۰-۱۰۰-۱۲۰ در تماس با محلول ۲۰ ppm در مدت زمان ۴۰ دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت. شکل (۲) راندمان جذب مربوط به این ذرات را نشان می دهد. افزایش جذب در نتیجه ی کاهش اندازه ی ذرات به زیاد بودن مساحت سطح انتقال جرم نسبت داده می شود. علاوه بر این ذرات ریزتر سریع تر از ذرات درشت تر عمل جذب را انجام می دهند و موجب افزایش شانس جذب در سطح خارجی ذرات جاذب خواهند شد. افزون بر افزایش احتمال جذب در سطح خارجی ذرات در نتیجه ی کاهش اندازه ی ذرات، احتمال نفوذ یون های فلزی از سطح خارجی به حفرات



شکل ۲- تأثیر اندازه ی ذرات بر فرآیند جذب

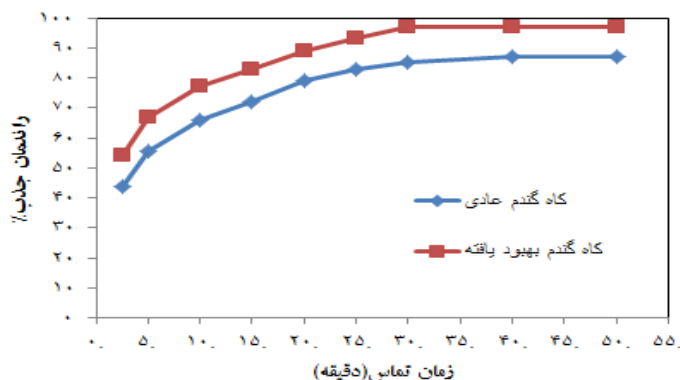
(غلظت اولیه: ۲۰ ppm، pH: ۵، مقدار جاذب: ۰/۱ گرم و زمان تماس: ۴۰ دقیقه)

Figure 2- Effect of the adsorbent size on the adsorption process (initial Cd(II) concentration 20 mg L^{-1} , pH 5, adsorbent dose 0.1 g, and contact time 40 min).

۳-۲- تأثیر مدت زمان تماس

نشان داد که در زمان های اولیه، مقدار یون کادمیوم موجود در محلول زیاد بوده و در نتیجه تعداد برخورد های مؤثر بین یون های کادمیوم و مکان های جذب در روی سطح زیاد می باشد. بنابراین درصد جذب در زمان های اولیه ی فرآیند با سرعت بیشتری انجام می شود. با گذشت زمان جذب کاتیون های کادمیوم با استفاده از جاذب، مقدار کاتیون های فلزی در محلول کاهش یافته و بخش بیشتری از مکان های فعال روی سطح جاذب توسط کاتیون های کادمیوم اشباع شده و سرعت جذب کاهش می یابد.

به منظور بررسی اثر زمان تماس و تعیین زمان تعادل، مقدار ۰/۱ گرم از کاه گندم عادی و کاه گندم بهبود یافته در زمان های مختلف در تماس با ۱۰۰ میلی لیتر محلول کادمیوم با غلظت ۲۰ ppm قرار داده شد و راندمان جذب یون فلزی توسط جاذب مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده، زمان تعادل برای حذف کادمیوم در شرایط آزمایشگاهی برای جاذب کاه گندم عادی ۴۰ دقیقه و برای جاذب کاه گندم بهبود یافته ۳۰ دقیقه به دست آمد و در زمان تعادلی درصد جذب، ۸۵ درصد برای جاذب کاه گندم عادی و ۹۴ درصد برای جاذب کاه گندم بهبود یافته حاصل شد. نتایج آزمایش ها



شکل ۳- اثر مدت زمان تماس بر فرآیند جذب (غلظت اولیه: 20 ppm ، pH : ۵، و مقدار جاذب 0.1 گرم)

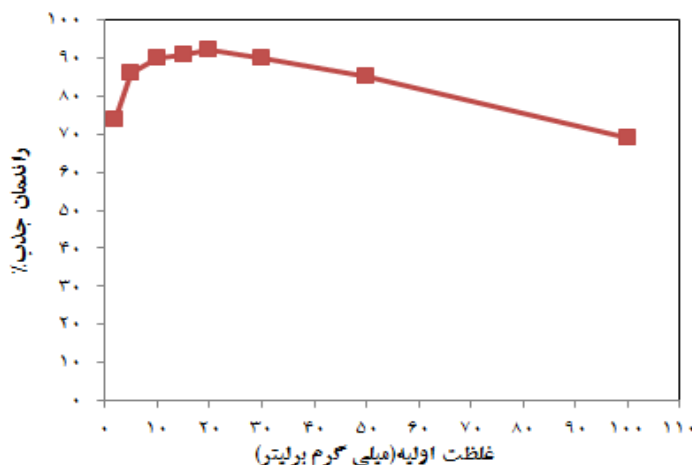
Figure 3- Effect of the contact time on the adsorption process (initial Cd(II) concentration 20 mg L^{-1} , pH 5, and adsorbent dose 0.1 g).

کادمیوم از ۲ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر راندمان جذب افزایش و بعد از آن کاهش می یابد. علت این پدیده این است که در غلظت پایین مکان های خاصی از جاذب قدرت جذب فلز را دارند، اما در غلظت های بالا این مکان ها اشباع شده که باعث کاهش راندمان جذب می گردد. از سوی دیگر با افزایش میزان غلظت اولیه ی کاتیون، میزان جذب افزایش یافته است. در محلول های غلیظ تر به دلیل افزایش تعداد کاتیون مورد نظر، برخورد های مؤثر با جایگاه های جذبی افزایش یافته و این امر سبب افزایش میزان جذب می شود. هم چنین در غلظت های اولیه ی بالاتر نیروی محرکه ی انتقال جرم که با غلظت گونه در محیط و میزان اختلاط محلول رابطه ی مستقیم دارد، بیشتر شده و در نتیجه ی آن میزان جذب افزایش خواهد یافت. از طرفی در غلظت های بالاتر ظرفیت جذب هم چنان سیر صعودی را طی خواهد کرد. این روند به دلیل اشغال شدن اکثر جایگاه های جذبی بالاتر توسط جذب شونده با شیب ملایمی پیش خواهد رفت، تا آن جا که تمام جایگاه های جذبی توسط کادمیوم اشغال شود (۳۰ و ۳۱).

در ضمن باید به این نکته توجه داشت که جایگاه های فعال جذب در قسمت های سطحی و تخریب شده ی جاذب قرار دارند، اما جایگاه های سطحی به راحتی در معرض یون های کادمیوم قرار داشته و شانس بیشتری برای رویارویی با یون های کادمیوم دارند. لذا این امر سرعت جذب را بالا می برد. اما به تدریج با اشباع شدن جایگاه های سطحی، جذب از طریق قسمت های تخریب شده عمیق ادامه پیدا می کند و باعث کند شدن سرعت جذب خواهد شد. البته این موضوع بدان معنی نیست که در شروع واکنش جذب قسمت های تخریب شده ی عمیق جاذب در امر جذب دخالت نداشته باشند.

۴-۲- تأثیر غلظت اولیه ی محلول کادمیوم

آزمایش مربوط به بررسی تأثیر غلظت اولیه ی محلول کادمیوم روی جاذب کاه گندم بهبود یافته با استفاده از تماس $0.1 \text{ گرم جاذب با } 100 \text{ میلی لیتر محلول های حاوی غلظت های } 2 \text{ تا } 100 \text{ میلی گرم بر لیتر با } \text{pH}$ برابر ۵ انجام شد. همان طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، با تغییر غلظت اولیه ی



شکل ۴- تأثیر تغییرات غلظت اولیه بر راندمان جذب (pH:۵، زمان تماس ۳۰ دقیقه و مقدار جاذب ۰/۱ گرم)

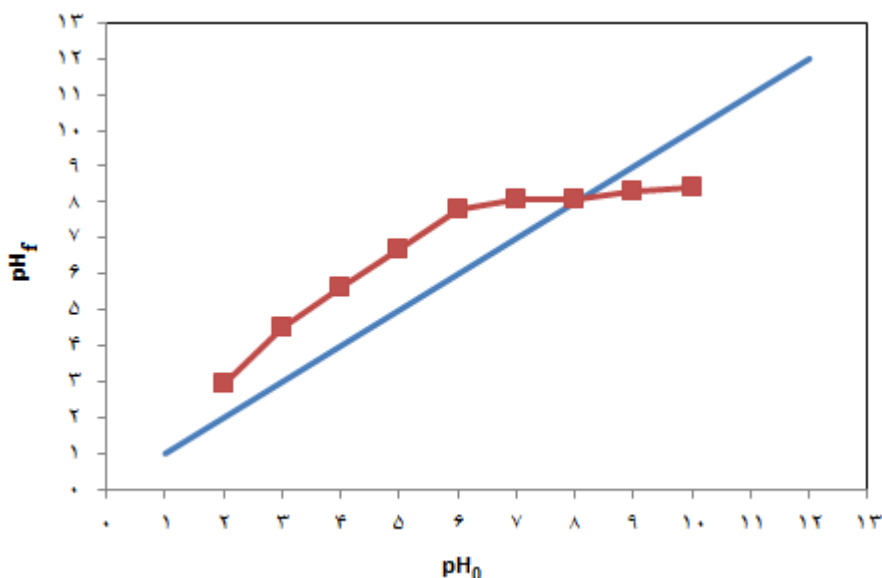
Figure 4- Effect of the initial Cd(II) concentration on the adsorption process (pH 5, contact time 30 min, and adsorbent dose 0.1 g).

از نمونه ها میزان مشخصی جاذب اصلاح شده اضافه و به مدت ۶ ساعت هم زده شد و pH نهایی محلول اندازه گیری گردید. سپس منحنی تغییرات pH نهایی در مقابل pH اولیه رسم و بر اساس آن pH_{pzc} تعیین شد. نتایج حاصل از آزمایش تعیین pH_{pzc} برای جاذب کاه گندم بهبود یافته در شکل (۵)، نشان داده شده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل (۵) pH_{pzc} برای جاذب کاه گندم بهبود یافته برابر ۸/۲ به دست آمد. در pH های کمتر از ۸/۲ به دلیل اتصال پروتون ها به سطح جاذب، بارالکتریکی سطح جاذب مثبت بوده و در صورت حضور کاتیون در محلول، پروتون ها با بارالکتریکی مثبت کاتیون ها، ایجاد دافعه الکتریکی کرده و از جذب کاتیون ها توسط جاذب جلوگیری می کنند.

۲-۵- تأثیر pH محلول

۲-۵-۱- نتایج بررسی pH_{pzc} برای جاذب

عامل pH می تواند از مهم ترین عوامل محیطی در فرآیند حذف کادمیوم باشد، زیرا نه تنها در تعادل جذب کاتیون کادمیوم اثر می گذارند، بلکه می تواند باعث هیدرولیز و نیز تشکیل رسوب هیدروکسید شود. به این منظور در ابتدا pH_{pzc} جاذب کاه گندم بهبود یافته تعیین شد و سپس اثر pH بر میزان حذف کادمیوم توسط جاذب کاه گندم بهبود یافته مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین pH_{pzc} جاذب مورد مطالعه، ۹ نمونه ۵۰ میلی لیتری محلول ۰/۰۱ مولار نیترات پتاسیم آماده گردید. pH اولیه ی هر یک از نمونه ها توسط اسید نیتریک و سدیم هیدروکسید تنظیم شد. سپس به هر یک



شکل ۵- نمودار تعیین pH_{pzc} برای جاذب

Figure 5- The pH_{pzc} curve of sorbent.

افزایش یافته است. تغییر pH از طریق تغییر درجه ی یونیزاسیون گونه ی جاذب شونده بر میزان جذب تأثیر می گذارد، زیرا یون های فلزی دو ظرفیتی M^{2+} در محلول های آبی می توانند به اشکال متفاوت $M(OH)^+$ ، $M(OH)_2$ و $M(OH)_3^-$ وجود داشته باشند. مناسب ترین گونه برای جذب روی سطح جاذب مورد نظر گونه ی M^{2+} است که برای هر کاتیون در pH خاصی گونه ی غالب خواهد بود (۱۶). در pH های بالاتر تشکیل هیدروکسید فلزی با فرآیند جذب هم زمان شده و در خارج کردن گونه های فلزی از محلول مؤثر واقع می شود. در pH های پایین تر نیز رقابت بین H_3O^+ و M^{2+} ظرفیت جذب را برای کاتیون فلزی کاهش می دهد (۲۶). همان طور که در شکل (۶) نشان داده شده، با افزایش pH سرعت جذب کادمیوم افزایش می یابد. با توجه به این مطالب که pH تشکیل هیدروکسید کادمیوم در غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر با استفاده از مقدار حاصل ضرب حلالیت برابر با ۸ می باشد، بنابراین اعداد به دست آمده در pH های بالاتر از این مقدار با این که مقدار جذب بالاتری را نشان می دهد، اعمال نگردید. به این علت که اگر pH از این عدد تجاوز کند، رسوب یون های کادمیوم با گروه هیدروکسیل به صورت هم زمان با

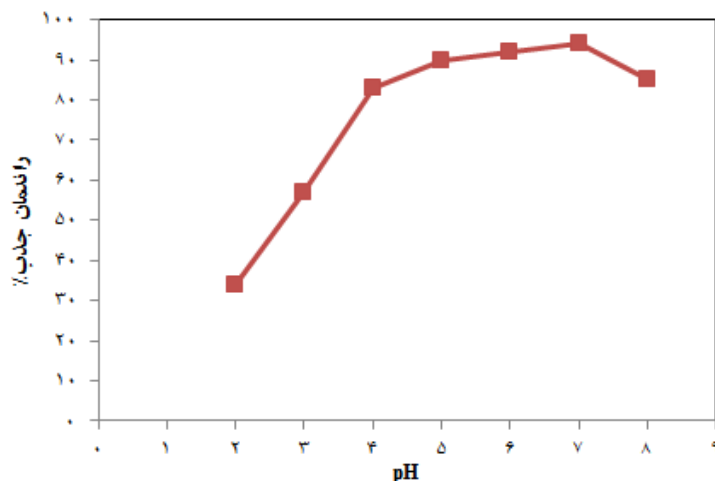
در pH_{pzc} به دلیل خنثی شدن پروتون های موجود در سطح جاذب توسط یون های هیدروکسید موجود در محلول، سطح جاذب از نظر بارالکتریکی خنثی می شود و در صورت حضور کاتیون در محلول، می تواند به راحتی و بدون هیچ ممانعتی جذب جاذب گردد. با افزایش pH بالاتر از pH_{pzc} و با افزایش غلظت یون هیدروکسید در محلول، این یون ها به سطح جاذب متصل شده و باعث ایجاد بار منفی در سطح آن می شوند و در صورت حضور کاتیون در محلول، جاذبه الکتریکی که بین بار منفی سطح جاذب و بار مثبت کاتیون ها اتفاق می افتد، باعث افزایش میزان کاتیون حذف شده از محلول توسط جاذب می گردد.

۲-۵-۲- تأثیر pH

نتایج مربوط به اثر pH بر جذب فلز کادمیوم با شرایط آزمایش pH از ۸ تا ۱۲، غلظت اولیه ی ۲۰ میلی گرم بر لیتر، مقدار جاذب برابر ۱/۱ گرم، زمان تماس ۳۰ دقیقه برای جاذب کاه گندم بهبود یافته و سرعت اختلاط ۲۴۰ دور بر دقیقه و دمای 25 ± 1 درجه ی سانتی گراد در شکل (۶) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش pH از ۲ تا ۷ درصد جذب

است که pH بهینه برای حذف کادمیوم در این محدوده است (۱۵).

فرآیند جذب انجام می گیرد. لذا در ادامه ی پژوهش pH بهینه برای جذب کادمیوم روی کاه گندم بهبود یافته ۷ انتخاب شد. در مطالعات انجام شده توسط سایر محققان نشان داده شده



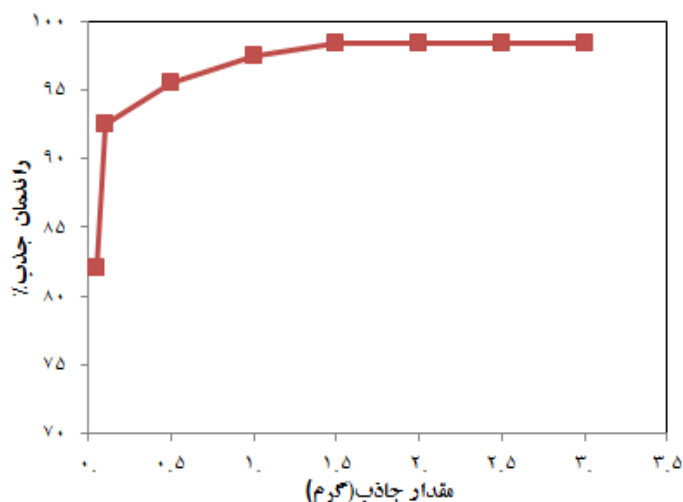
شکل ۶- تأثیر تغییرات pH بر فرآیند جذب (غلظت اولیه: ۲۰ ppm، مقدار جاذب: ۰/۱ گرم و زمان تماس ۳۰ دقیقه)

Figure 6- Effect of the pH on the adsorption process (initial Cd(II) concentration 20 mg L^{-1} , adsorbent dose 0.1 g, and contact time 30 min).

۶-۲- تأثیر مقدار جاذب

می توان این گونه نتیجه گیری کرد که با افزایش مقدار جاذب، سهم هر گونه از جذب شونده ها نسبت به میزان جاذب کم می شود و مقدار کادمیوم جذب شده کاهش می یابد. تا جایی که با افزایش مقدار جاذب، مقدار جذب کادمیوم ثابت باقی می ماند، که علت آن کاهش مقدار کادمیوم باقی مانده در محلول می باشد. این روند کاهشی در ظرفیت جذب با افزایش مقدار جاذب به دلیل تعداد زیاد جایگاه های غیر اشباع جذب است. در واقع با افزایش مقدار جذب تعداد زیادی از جایگاه های جذبی که می توانند در عمل جذب شرکت نمایند، به دلیل محدود بودن تعداد یون های کادمیوم، به صورت آزاد باقی خواهند ماند

جهت بررسی تأثیر مقدار جاذب بر جذب کادمیوم، آزمایشات روی محلول ۲۰ میلی گرم بر لیتر و با کاربرد جاذب در محدوده ی ۰/۰۵ تا ۳ گرم در دمای 25 ± 1 درجه ی سانتی گراد انجام گرفت. بهینه ی مقدار جاذب برای کاه گندم بهبود یافته ۱/۵ گرم مشخص شد. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایشات، می توان به این مورد دست یافت که در حذف فلز کادمیوم، افزایش مقدار جاذب باعث افزایش مکان های جذب شده و در نتیجه راندمان جذب افزایش یافته است. این افزایش بازدهی نیز با توجه به افزایش سطح جذب، با بالا رفتن مقدار ماده ی جاذب، قابل توجیح می باشد. شکل (۷) تأثیر مقدار جاذب بر میزان جذب کاتیون کادمیوم را نشان می دهد. در خصوص اثر مقدار جاذب بر میزان جذب کادمیوم



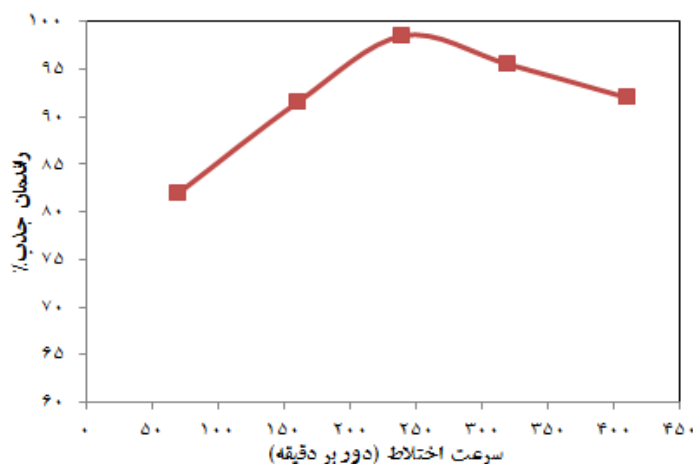
شکل ۷- تأثیر مقدار جاذب بر راندمان جذب (غلظت اولیه: ۲۰ ppm، pH: ۷ و زمان تماس ۳۰ دقیقه)

Figure 7- Effect of the adsorbent dose on the adsorption process (initial Cd(II) concentration 20 mg L^{-1} , pH 7, and contact time 30 min).

۷-۲- تأثیر سرعت اختلاط

به این مورد رسید که در فرآیند حذف کادمیوم بالا بودن سرعت اختلاط در ابتدا باعث افزایش راندمان جذب کادمیوم می‌شود. اما بالا رفتن سرعت اختلاط از حد مشخصی، باعث کاهش راندمان جذب می‌گردد. این پدیده را می‌توان این گونه توجیح نمود که افزایش سرعت اختلاط از یک میزان معین باعث جنبش بیشتر ذرات و در نتیجه سست شدن پیوند بین ذرات با سطح جاذب و کاهش احتمال جذب ذرات توسط جاذب و حتی جدا شدن ذرات جذب شده ی قبلی می‌گردد. بنابراین از بین پنج سطح مربوط به سرعت های اختلاط، سرعت اختلاط بهینه برابر با ۲۴۰ دور بر دقیقه مشخص شد.

در این مرحله از آزمایشات به فرآیند حذف کادمیوم با انتخاب سرعت اختلاط مناسب از بین پنج سطح ۷۰، ۱۶۰، ۲۴۰، ۳۲۰ و ۴۱۰ دور بر دقیقه پرداخته شد. به منظور بررسی، نمونه ها تحت شرایط کاملاً یکسان pH برابر با ۷ برای جاذب کاه گندم بهبود یافته و زمان تماس ۳۰ دقیقه برای جاذب کاه گندم بهبود یافته، مقدار جاذب ۱/۵ گرم و غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر روی هم زن قرار گرفتند. کلیه ی آزمایشات در دمای 25 ± 1 درجه ی سانتی گراد انجام شد. در شکل (۸) تأثیر تغییرات سرعت اختلاط بر راندمان جذب کادمیوم ارایه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایشات می‌توان



شکل ۸- تأثیر سرعت اختلاط بر فرآیند جذب

(غلظت اولیه: ۲۰ ppm، pH: ۷ و زمان تماس: ۳۰ دقیقه و مقدار جاذب: ۱/۵ گرم)

Figure 8- Effect of the agitation rate on the adsorption process (initial Cd(II) concentration 20 mg L^{-1} , pH 7, contact time 30 min, and adsorbent dose 1.5 g).

نتیجه گیری

یافته بود. در این رابطه، دیوبند و همکاران برای حذف یون فلز کادمیوم از جاذب های برگ سدر و خاکستر آن استفاده نمودند. با بررسی پارامترهای pH، زمان تماس و مقدار جاذب به ترتیب به بهینه pH ۵ و ۶، زمان تماس ۴۵ و ۳۰ دقیقه و مقدار جاذب ۳ گرم دست یافتند (۲۰). همان طور که مشاهده می-شود، مقادیر بهینه حاصل نزدیک به نتایج پژوهش حاضر است. در پژوهش حاضر مقدار بهینه pH برای کاه گندم بهبود یافته برابر ۷ به دست آمد که مشابه نتایج پژوهش های دیگر بود. به عنوان مثال دانگ و همکارانش جذب یون های فلزی کادمیم و مس در محلول آبی توسط جاذب تهیه شده از کاه گندم را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که مقدار جذب یون های فلزی با افزایش pH از ۴ تا ۷ افزایش می یابد (۱۸). محمدی ثانی و همکارانش توانایی پوست گلابی به عنوان یک بیو جاذب برای حذف یون های سرب و کادمیم از محلول های آبی به روش جذب سطحی را مورد مطالعه قرار دادند. حداکثر ظرفیت جذب یون های سرب و کادمیم در زمان ۶۰ دقیقه بود (۲۷)، که این زمان برای حذف یون های کادمیم در پژوهش حاضر کوتاهتر بوده و برابر ۳۰ دقیقه به دست آمد.

این پژوهش با هدف حذف کادمیم از محلول آبی توسط کاه گندم بهبود یافته در فرآیند ناپیوسته انجام شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش به شرح زیر است:

نتایج آزمایشگاهی نشان داد که در شرایط بهینه، این جاذب می تواند به عنوان جاذبی ارزان قیمت با بازده بالا مورد استفاده قرار گیرد. کارایی حذف کادمیم از محلول های آبی در سامانه ناپیوسته در شرایط بهینه برابر ۹۸/۵ درصد در مدت زمان نیم ساعت برای جاذب کاه گندم بهبود یافته به دست آمد. در این راستا، سیسار و همکاران برای حذف یون های فلزی کادمیم از جاذب پوسته ی سبوس برنج بهبود یافته با هیدروکسید سدیم استفاده نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد پوسته ی سبوس بهبود یافته با محلول ۰/۷۵ مولار هیدروکسید سدیم، نسبت به سبوس خام ظرفیت جذب بیشتری دارد و به راندمان جذب ۹۲ درصد برای کادمیم دست یافتند (۱۲).

در پژوهش حاضر مقادیر بهینه هر عامل به ترتیب معادل اندازه جاذب برابر با ۷۰، غلظت اولیه ۲۰ میلی گرم بر لیتر، pH برابر با ۷، مقدار ۱/۵ گرم جاذب و شدت ۲۴۰ دور بر دقیقه در دمای ۲۵ درجه ی سانتی گراد برای جاذب کاه گندم بهبود

منابع

- wastes, *Process Biochemistry*, Vol. 40, pp. 1293-1299.
8. H. A., Qdaisa, H., Moussa, 2004. Removal of heavy metal from waste water by membrane processes, *Desalination*, Vol. 164, pp. 105-110.
 ۹. خونساری. س، ۱۳۸۹، جذب یون های کبالت و سریم توسط MCM-41-48 عامل دار شده با گروه آمینو سیلان"، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا.
 10. E. S., Abdel-Halim, S. S., Al-Deyaba, 2011. Removal of heavy metal from their aqueous solutions through adsorption onto natural polymer, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 84, pp. 454-458.
 11. M. G., Mulgund, S. P., Dabeer, S. , Dhar, V., Makani, B. Jadhav, 2011. Equilibrium uptake and column studies of Pb(II), Cu(II) and Cd(II) using waste eucalyptus charcoal Australian, *Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 5, pp. 135-142.
 12. R., Cesar, L., Sergio, A., Marco, 2004. Use of modified rice husks as a natural solid adsorbent of trace metals: characterization and development of an online preconcentration system for cadmium and lead determination by FAAS, *Microchemical Journal*, Vol. 77, pp. 163-75.
 13. K., Upendra, B., Manas, 2006. Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk, *Bioresource Technology*, Vol. 9, pp. 97-104.
 14. A., Maleki, A. H., Mahvi, R., Rezaee, A., Eslami, 2011. Isotherm and kinetics of arsenic (V) adsorption from aqueous solution using modified wheat
 1. J. M., Motgomery, 1985. *Water treatment principles and design*, Wiley Int. Pub, The University of Michigan, 696.
 2. B. L., White, B. T., Stachoase, A. H., James, 2009. Magnetic Fe₂O₃ nanoparticles coated with poly-L-cystine for chelation of As (II), Cu (II), Ni (II), Pb (II) and Zn (II), *Journal of Hazardous Material*, Vol. 167, pp. 848-853.
 3. I., Anital, J., Bhavanath, 2005. Biosorption of heavy Metals by a marine bacterium, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 50, pp. 340-343.
 4. Y. T., Zhou, H. L., Nie, C. B., White, Z. Y., He, L. M., Zhu, 2009. Removal of Cu from aqueous solution by chitosan acid-coated magnetic nanoparticles modified with α-ketoglutaric acid, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 330, pp. 29-37.
 5. A. R., Ces tari, E. F., S. Vieira, I. A., Olivevia, R. E., Bruns, 2007. The removal of Cu(II) and Co(II) from aqueous solutions using Cross-linked chitosan-Evaluation by the factorial design methodology, *Journal of Hazardous Material*, Vol. 143, pp. 8-16.
 6. J. Y., Tseng, C. Y., Chang, Y. H., Chen, C. F., Chan, P. C., Chiang, 2007. Synthesis of micro-size magnetic polymer adsorbent and its application for the removal of Ca(II) ion, *Journal of colloid an Interface Science*, Vol. 295, pp. 209-216.
 7. R., Ayyappan, A., Carmalinsophia, K., Swaminathan, 2005. Removal of Pb(II) from aqueous solution using carbon derived from agricultural

- using grape stalk waste, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 133, pp. 203-211.
22. L. B., Lim, N., Priyantha, D., Tennakoon, M. K., Dahri, 2012. Biosorption of cadmium (II) and copper (II) ions from aqueous solution by core of *Artocarpus odoratissimus*, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 19, pp. 3250-3256.
23. P., Okafor, P., Okon, E., Daniel, E., Ebenso, 2012. Adsorption capacity of coconut (*Cocos nucifera* L.) shell for lead, copper, cadmium and arsenic from aqueous solutions, *International Journal of Electrochemistry and Science*, Vol. 7, pp. 12354-12369.
24. K. P., Patel, S., Tank, K. M., Patel, P., Patel, 2013. Removal of cadmium and zinc ions from aqueous solution by using two type of husks, *APCBEE Procedia*, Vol. 5, pp. 141-144.
25. A., Hidalgo-Vázquez, R., Alfaro-Cuevas-Villanueva, L., Márquez-Benavides, R., Cortés-Martínez, 2011. Cadmium and lead removal from aqueous solutions using pine sawdust as biosorbent, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, Vol. 6, pp. 4-9.
26. C., Delacote. F. O. M., Gaslain. A., Lebeau. A., Walcarius, 2009. Factors affecting the reactivity of thiol-functionalized mesoporous silica adsorbents toward mercury (II), *Talanta*. Vol. 79, pp. 877-886.
۲۷. محمدی ثانی. ع، تجلی. ف، علیزاده گلستانی. ح و سعید فرجی. م، ۱۳۹۲، جذب سطحی سرب و کادمیوم توسط پوست گلابی از محلول آبی، دومین همایش ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان.
- straw", *Iranian Journal of Health and Environment*, Vol. 3, pp. 439-449.
15. E., Cheraghi. E., Ameri, A., Moheb, 2015. Continuous biosorption of Cd (II) ions from aqueous solutions by sesame waste: thermodynamics and fixed-bed column studies. *Desalination and water treatment*, Vol. xx: pp. xxx-xxx.
16. E., Cheraghi. E., Ameri, A., Moheb, 2015. Adsorption of cadmium ions from aqueous solutions using sesame as a low-cost biosorbent: kinetics and equilibrium studies. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. xx: pp. xxx-xxx.
17. Z., Azizi Haghghat, E., Ameri, 2015, Synthesis and characterization of magnetic wheat straw for lead adsorption, *Desalination and Water Treatment*, Vol. xx, pp. xxx-xxx.
18. V. B. H., Dang, 2009. Equilibrium and kinetics of biosorption of cadmium(II) and copper(II) ions by wheat straw, *Bioresource Technology*. Vol. 1001, pp. 211-219.
۱۹. جمالی. ح، شامحمدی. ش، ۱۳۸۹، تاثیر غلظت بر راندمان و زمان تعادل جذب سرب از محیط آبی توسط جاذب پوسته شلتوک، علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱۲، صص ۶۱-۵۱.
۲۰. دیوبند. ل، برومندنسب. س، بهزاد. م. و عابدی کوپایی. ج، ۱۳۹۲، امکان کاربرد برگ سدر و خاکستر آن برای جداسازی کادمیم از آب به وسیله فرآیند جذب سطحی ناپیوسته، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۶۵، صص ۱۲۵-۱۳۷.
21. M., Martinez, N., Miralles, S., Hidalgo, N., Fiol, I., Villaescusa, J., Poch, 2006. Removal of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solutions