

حذف نیکل و کادمیوم از پساب مصنوعی با استفاده از ضایعات سرشاخه باغات گیلاس و پوست راش

ناهید رستگارفر*، دانشجوی دکترای چند سازه های چوبی، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
ربیع بهروز، دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

E-mail*: nrastegarfar@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۸ - پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۱۸

چکیده

استفاده از فرآیندهای جذب سطحی برای حذف آلاینده‌ها علی‌رغم کارایی خوب آن‌ها، اغلب به‌علت هزینه بالای جاذب‌ها محدود شده است. در این مطالعه کارایی جذب یون‌های فلزی نیکل و کادمیوم دو ظرفیتی توسط سرشاخه های حاصل از هرس باغات گیلاس و پوست راش در pH، زمان و غلظت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و سپس نتایج آن‌ها با هم مقایسه گردید. بر طبق نتایج این تحقیق، با افزایش pH اولیه پساب درصد حذف نیکل و کادمیوم افزایش یافت. به طوری که حداکثر مقدار جذب برای هر دو یون در pH برابر ۵ حاصل شد. همچنین سرعت جذب یون‌های فلزی در ابتدای فرآیند بسیار سریع بود و بیشترین میزان حذف در ۱۵ دقیقه اولیه آزمایش بدست آمد. در بررسی اثر غلظت پساب ملاحظه گردید که افزایش غلظت پساب از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش جذب یون‌های فلزی شد ولی با ادامه روند افزایش غلظت، ظرفیت جذب ماده لیکنوسولوزی کاهش یافت. فرآیند جذب سطحی از هر دو ایزوترم فروندلیچ و لانگمیر تبعیت کرد، اما اطلاعات به میزان بهتری با ایزوترم لانگمیر متناسب بود. در این بررسی پوست راش در مقایسه با سرشاخه چوب گیلاس برای حذف نیکل و کادمیوم دو ظرفیتی از پساب‌های مصنوعی توانایی جذب بالاتری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: سرشاخه چوب گیلاس، پوست راش، جذب سطحی، نیکل، کادمیوم.

۱- مقدمه

توجهی از فلزاتی هم‌چون کروم، نیکل، کادمیوم و روی می‌باشند (درمتمزیسو^۱ همکاران، ۲۰۱۱) که عدم تجزیه پذیری این فلزات مشکلات زیست محیطی فراوانی را به وجود آورده است.

کادمیوم یک فلز بسیار سمی است که اثرات اصلی سمیت آن بر روی ریه‌ها، کلیه‌ها، استخوان‌ها و نقص جنینی بوده (حیدری و همکاران، ۲۰۰۹) و حتی می‌تواند عامل یکسری از مرگ و میرهای انسانی نیز باشد. آسیب جدی ناشی از آن در انسان، بیماری به نام ایتایی- ایتایی (بیماری روماتیسم یا تغییر شکل دردناک اسکلتی)

آلودگی یکی از مهمترین عواملی است که باعث به هدر رفتن منابع آبی می‌گردد. تخلیه انواع پساب‌های خانگی، شهری، صنعتی و زهکشی‌های کشاورزی سهم عمده ای در این آلودگی‌ها دارند. محدود بودن منابع آبی، کمبود بارندگی، خطر بحران کم آبی در کشور و اهمیت بازیابی مجدد آب از یک سو و افزایش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌وسیله فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های حاصل از پساب صنعتی از سوی دیگر، یافتن راه حل‌های زیست محیطی را در جهت حذف این مواد از منابع، ضروری می‌سازد. پساب‌های صنعتی شامل مقادیر قابل

می‌باشد. کادمیوم از طریق فرسایش خاک و سنگ بستر، رسوبات آلوده اتمسفری ناشی از کارخانجات صنعتی، پساب مناطق آلوده و استفاده از لجن و کود در کشاورزی، وارد اکوسیستم های آبی می‌شود. هم‌چنین نیکل یکی دیگر از این فلزات بوده که مقادیر کم آن برای تولید سلول های قرمز خون در بدن انسان ضروری است، در حالی که مقادیر بالای این فلز تا حدودی می‌تواند سمی باشد. نیکل در کوتاه مدت مشکلاتی ایجاد نمی‌کند، اما در طولانی مدت می‌تواند باعث کاهش وزن بدن، بروز برونشیت مزمن، سرطان ریه و سینوس گردد (سن گوپتا و بیهااتا کاریا، ۲۰۰۸).

به‌علت نگرانی‌های محیطی و تقاضا برای تهیه آب با کیفیت بالا، کنترل منظمی در تخلیه پساب‌ها و ترکیبات سمی به درون آب‌ها صورت گرفته است. شناسایی و پاک سازی مواد شیمیایی سمی، امری ضروری در حفاظت محیط زیست است. در این راستا تصفیه پساب ثانویه برای حذف فلزات سنگین از پساب به‌طور کامل کافی نبوده بنابراین نیاز به روش های پیشرفته تصفیه پساب داریم (مودلی و همکاران، ۲۰۱۰).

روش‌های پیشرفته نظیر جداسازی غشایی، رزین‌های تعویض یون، رسوب گذاری، روش‌های الکترولیت و روش جذب سطحی می‌باشند. در بین این روش‌ها، فرآیند جذب به‌علت وجود جاذب‌های گوناگونی هم‌چون رس، کربن فعال، زئولیت و جاذب‌های کشاورزی کاربرد وسیعی پیدا کرده است (مودلی و همکاران، ۲۰۱۰). اگرچه در بین آن‌ها استفاده از کربن فعال، هزینه‌های عملکردی و سرمایه‌گذاری بالایی را نیاز دارند (دا^۱ و یانگ^۲، ۲۰۰۵). در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های طبیعی برای حذف انواع آلودگی‌ها مانند آلودگی‌های مرتبط با صنایع نفت و نساجی، هم‌چنین حذف فلزات سنگین مطرح شده و نتیجه‌های خوبی حاصل شده است (علی پور تراب، ۲۰۱۰). محصولات جانبی و زایدات کشاورزی مانند پوست درختان، خاک اره، پوست بادام زمینی به‌طور قابل توجهی می‌توانند به محیط جاذب برای تصفیه پساب‌های

شیمیایی تبدیل گردند. استفاده از مواد لیگنوسلولزی به‌علت تنوع این دسته از جاذب‌ها می‌تواند تحولی در صنعت تصفیه پساب‌های صنعتی ایجاد کند. کاربرد پسماندهای جامد کشاورزی به‌دلیل فراوانی، هزینه پایین و طبیعی بودن نسبت به روش‌های فیزیکی و شیمیایی دیگر بسیار کارآمد و مقرون به صرفه بوده است (محو، ۲۰۰۸). مودلی و همکاران (۲۰۱۰)، از خاک اره چوب کاج برای حذف فلز سنگین نیکل استفاده کردند که نتایج موفقیت آمیزی را بدست آوردند. هم‌چنین شهبازی و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از خاک اره چوب سپیدار توانستند ۶۵٪ نیکل پساب مصنوعی را حذف کنند. پژوهش دیگری توسط بولوت و تر^۳ (۲۰۰۶)، با استفاده از خاک اره چوب بلوط انجام گرفت که موفق به حذف یون‌های نیکل و کادمیوم بعد از گذشت ۶۰ دقیقه تیمار شدند. دایفول^۴ و همکاران (۲۰۰۳) طی مطالعه ای نشان دادند که مواد جاذب تهیه شده از پوست برنج توانایی حذف تقریباً ۱۰۰٪ فلزات سرب، کادمیوم، مس، روی، منگنز و آهن را از فاضلاب‌ها بر عهده دارند. اکاتی (۲۰۱۳) استفاده از پوست پرتقال اصلاح شده، به عنوان یک جاذب خوب جهت حذف فلزات سنگین سرب و مس از محلول‌های آبی را گزارش کرد.

جذب فلزات سنگین توسط مواد لیگنوسلولزی ممکن است به‌علت وجود کربوهیدرات‌ها و ترکیبات فنلی بوده که با داشتن گروه های کربوسیل، هیدروکسیل، سولفات، فسفات و آمینی در ساختار خود با یون‌های فلزی پیوند تشکیل داده و منجر به حذف این عناصر از پساب می‌گردند (بولوت و تز، ۲۰۰۶). کادیرولو^۵ و همکاران (۲۰۰۳). پساب حاوی فلز سنگین را با ترکیبات سلولزی و غیر سلولزی (مانند لیگنین و تانن‌ها) مورد واکنش قرار داده و مشاهده کردند که فلزات سنگین توسط ترکیبات سلولزی جذب می‌شوند و جذب آن‌ها توسط ترکیبات غیر سلولزی ناچیز است. بنابراین آن‌ها اظهار داشتند که فلزات سنگین در دیواره‌ی ثانویه چوب که از نظر سلولز غنی و از نظر لیگنین فقیر می‌باشند، انباشته می‌گردند.

گردید. در این مطالعه درصد ماده خشک به پساب یک درصد در نظر گرفته شد. برای تنظیم اسیدیته پساب از محلول ۱ مولار اسید سولفوریک و سود استفاده شد. متغیرهای pH در سطوح مختلف به عنوان عوامل موثر بر سیستم تصفیه پساب مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۲- آزمایش‌های جذب

اثر متغیرهای ذکر شده با ثابت نگه داشتن هر کدام و تغییر دادن یکی از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مثلاً برای بررسی تاثیر pH، آزمایشات در pH (۱، ۳، ۵، ۷) در یک ارلن ۲۵۰ سی سی با غلظت مشخص محلول (۱۰۰mg/l) و حجم ۲۰۰ میلی لیتر به مدت ۱۲۰ دقیقه انجام گرفت. به دلیل افت شدید و سریع یون‌های نیکل و کادمیوم بعد از pH خنثی در غلظت‌های یونی بالا، آزمایشات در pH بالاتر از ۷ انجام نگرفت. پس از تعیین pH بهینه، به منظور بررسی اثر غلظت، پساب‌هایی با غلظت‌های (۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر) و با حجم ۲۰۰ سی سی تهیه شد. هم‌چنین اثر مدت زمان تماس در ۵ سطح (۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ دقیقه) برای محلول ساختگی با حجم ۲۰۰ میلی لیتر در pH و غلظت بهینه انجام گردید. برای هر تیمار ۲ گرم جاذب (چوب گیلاس یا پوست راش) به ۲۰۰ میلی لیتر محلول یون فلزی افزوده شد و سپس نمونه‌ها در دمای محیط (۲۵ درجه) و با سرعت ۲۰۰ rpm بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شدند. نمونه‌ها در فواصل زمانی معین از سیستم برداشته شده و از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شدند، غلظت یون‌های فلزی در محلول‌ها قبل و بعد از جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی محصول شرکت فیلیپس^۱ مدل PU 9400 اندازه گیری گردید. داده‌های آزمایش با مدل‌های جذب لانگمیر و فروندلیچ به صورت تابعی از غلظت اولیه کادمیوم و نیکل مطابقت داده شدند. برای محاسبه ظرفیت جذب تعادلی جاذب از رابطه (۱) استفاده شد.

$$q_e = (C_0 - C_e) V / m \quad (1)$$

هدف از این مطالعه، بررسی کارایی ذرات خاک اره چوب گیلاس و پوست راش به عنوان جاذب کم‌هزینه در حذف فلزات سنگین نیکل (II) و کادمیوم (II) از پساب مصنوعی می‌باشد. هرس سرشاخه‌های چوب گیلاس سالانه حجم زیادی ضایعات تولید کرده که کاربرد خاصی ندارند. اثر غلظت اولیه یون‌های فلزی، pH و زمان تماس در میزان جذب بررسی شد و سپس توانایی جاذب‌ها در مقدار حذف یون‌های فلزی با یکدیگر مقایسه گردید. هم‌چنین فرآیند جذب با استفاده از مدل‌های ایزوترم جذب لانگمیر و فروندلیچ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی جاذب‌ها و پساب مصنوعی

سرشاخه‌های چوب گیلاس از هرس باغات گیلاس منطقه زشک مشهد و پوست گونه راش از جنگل تحقیقاتی واقع در شهرستان نور تهیه شد. در ابتدا به منظور حذف آلودگی‌ها از روی سطح این مواد، چندین بار با آب مقطر شستشو و هوا خشک شدند. در مرحله بعد هر کدام توسط اره به قطعات ریز خرد و توسط آون در دمای ۱۰۳ درجه سانتی گراد رطوبت آن‌ها گرفته شد. سپس با آسیاب آزمایشگاهی آسیاب شدند. از آنجایی که سطح تماس ذرات در جذب فلزات سنگین موثر است، به منظور کنترل اثر این متغیر، دامنه اندازه ذرات با عبور ذرات از الک با مش‌های >۴۰ و <۶۰ محدود گردید. برای جلوگیری از جذب رطوبت، مواد جاذب تا قبل از آزمایشات جذب در دسیکاتور نگهداری شدند.

برای آماده سازی پساب مصنوعی از نمک‌های فلزی مربوطه استفاده شد. محلول‌های یونی (۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر)، به وسیله انحلال مقدار معینی از نمک‌های کلرید نیکل $Ni(Cl)_2$ و سولفات کادمیوم $Cd(SO_4)$ ساخت شرکت آلمان در آب مقطر آماده گردید. محلول‌های آزمایش با غلظت‌های خواسته شده با برداشتن میزان مشخصی از محلول اصلی، تهیه و سپس با آب مقطر رقیق

۳-۱- تاثیر pH اولیه پساب بر روی میزان جذب

یکی از پارامترهای مهم در فرآیند جذب، pH اولیه محلول می‌باشد. pH محلول نقش اساسی در تعیین غلظت گونه کاتیون موجود در محلول دارد. کاتیون‌ها بسته به pH به شکل‌های کاتیونی، کمپلکس‌های هیدروکسیدی و رسوب یافت می‌شوند (علی پور تراب، ۲۰۱۰). در این قسمت اثر pH پساب مصنوعی بر روی ظرفیت جذب سرشاخه چوب گیلان در حذف یا کاهش یون فلزی نیکل و کادمیوم مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. شکل ۱ روند کاهش یون‌های فلزی توسط سرشاخه چوب گیلان (الف) و پوست راش (ب)، را با افزایش مقدار pH اولیه پساب نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود افزایش pH از ۱ تا ۵ تاثیر قابل توجهی بر روی کاهش نیکل و کادمیوم داشت به طوری که در pH برابر ۱، ۱۳/۱٪ و در pH ۵، ۳۴/۵٪ و در pH ۷، ۳۵/۵٪ برای نیکل و برای کادمیوم نیز در pH ۱، ۲۹٪ و در pH ۵، ۵۳/۲٪ و pH ۷، ۵۵/۲٪ توسط چوب گیلان بدست آمد. میزان حذف بسته به نوع فلز متفاوت بوده و کادمیوم درصد حذف بالاتری نسبت به نیکل داشت. استفاده از جاذب پوست راش نیز نتیجه مشابهی را بدست آورد، اما مطابق نمودار، پوست توانایی جذب بالاتری نسبت به جاذب چوب گیلان برای هر دو نوع فلز از خود نشان داد. به طوری که در pH برابر ۱، ۳۴٪ و در pH ۵، ۶۶/۶٪ و در pH ۷، ۷۰٪ برای نیکل و نیز در pH ۱، ۶۰٪ و در pH ۵، ۸۹/۵٪ و pH ۷، ۹۲٪ برای کادمیوم به دست آمد. بنابراین با توجه به اطلاعات حاصل، جاذب پوست حتی در pH کم قابلیت جذب بالایی را داشت. هم‌چنین با توجه به شیب نمودارها ملاحظه می‌شود که اختلاف چندانی بین درصد حذف در pH ۵ و ۷ وجود ندارد، بنابراین pH ۵ به عنوان pH بهینه انتخاب گردید. افزایش pH سبب افزایش بارهای منفی شبکه روی سطح جاذب گشته که منجر به تشدید نیروهای الکتروستاتیکی در فرآیند جذب و در نتیجه حذف بیشتر یون‌های فلزی می‌گردد

که در این رابطه q_e مقدار فلز جذب شده به ازای واحد وزن جاذب، C_0 غلظت اولیه یون‌های فلزی در محلول بر حسب میلی گرم در لیتر، C_e غلظت تعادلی یون‌های فلزی در محلول بر حسب میلی گرم در لیتر، V حجم محلول بر حسب میلی لیتر و m وزن جاذب بر حسب گرم است.

ایزوترم‌های تعادلی جذب اهمیت اساسی در طراحی سیستم جذب دارند. به منظور مطالعه ظرفیت جذب، داده‌های آزمایش با دو ایزوترم جذب مطابقت داده شدند. ایزوترم‌های جذب ویژگی‌های سطحی جاذب‌ها را توصیف می‌کنند. عمومی‌ترین مدل تعادلی به کار رفته برای درک سیستم جذب سطحی، معادلات همدمای لانگمیر (جذب به صورت یک لایه ای) و فروندلیچ (جذب به صورت چند لایه ای) می‌باشد. در مدل لانگمیر فرض بر این است که تمام سایت‌های فعال در فرآیند پیوند سطحی میل ترکیبی یکسانی دارند ولی در مدل فروندلیچ که نشان دهنده چند لایه ای بودن سطح جاذب بوده، شامل سایت‌های فعال مختلف مانند OH و COOH می‌باشد (مودلی و همکاران، ۲۰۱۰). روابط (۲) و (۳) به ترتیب مدل لانگمیر و فروندلیچ را نشان می‌دهد (حیدری و همکاران، ۱۳۸۸).

$$q_e = (q_m \cdot b \cdot C_e) / (1 + b \cdot C_e) \quad (2)$$

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (3)$$

C_e غلظت تعادلی یون فلزی بر حسب میلی گرم در لیتر، q_e مقدار یون جذب شده بر حسب میلی گرم بر گرم، q_m حداکثر ظرفیت جذب یون فلزی بر حسب میلی گرم بر گرم، b ثابت تعادلی جذب لانگمیر بر حسب میلی گرم بر میلی گرم است. ضرایب K_f و n ثابت‌های فروندلیچ به ترتیب شاخص‌های ظرفیت و شدت جذب هستند.

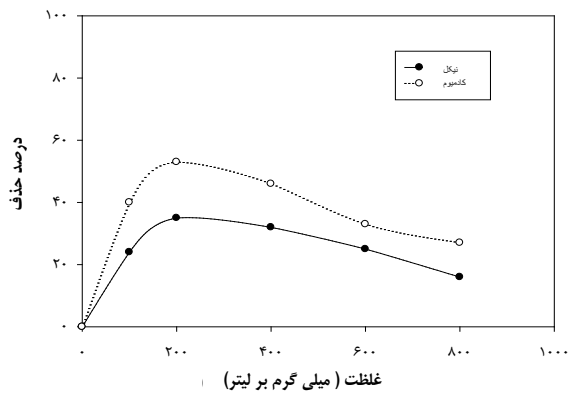
۳- نتایج و بحث

در این بخش اثر pH، زمان تماس و غلظت اولیه پساب بر میزان جذب یون‌های فلزی نیکل و کادمیوم با استفاده از مخلوط خاک اره و پوست مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

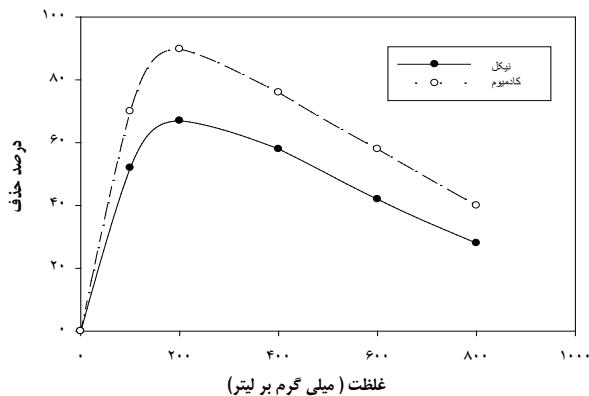
۳-۲- تاثیر غلظت اولیه پساب بر روی میزان جذب

پس از حصول pH بهینه، ظرفیت جذب در غلظت های اولیه متفاوت یون های فلزی نیکل و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که شکل ۲ نشان می دهد، افزایش میزان غلظت از ۱۰۰ به ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر یون های فلزی بیشتری را از محلول حذف کرد. به طوری که بیشترین میزان حذف در ۲۰۰ mg/l برای هر دو فلز به دست آمد.

۲.الف



۲.ب

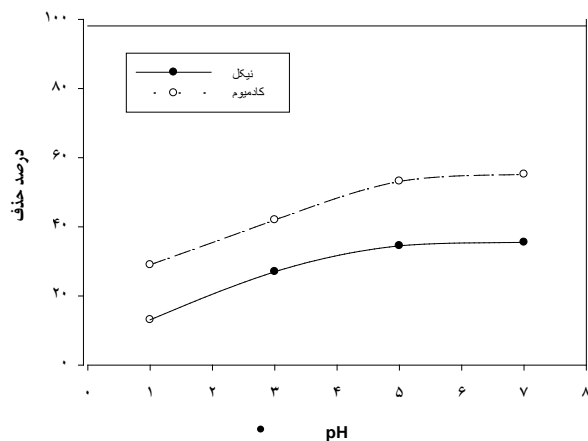


شکل ۲. اثر غلظت اولیه پساب بر روی درصد حذف نیکل و کادمیوم با استفاده از پوست راش (الف) و چوب گیلاس (ب)

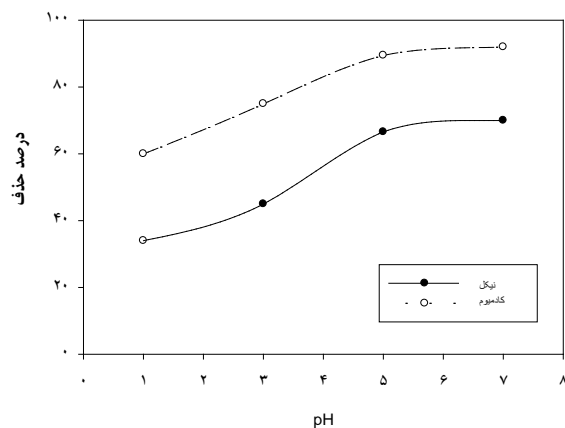
در ادامه، غلظت بالای محلول یونی سبب کاهش میزان جذب گردید. مثلاً برای پوست راش، افزایش غلظت

(روزینسی^۹ و همکاران، ۲۰۱۰). روزینسی و همکاران (۲۰۱۰)، تاثیر pH در دامنه ۱۰-۲ برای حذف نیکل مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش pH سبب افزایش درصد حذف خواهد شد. در ادامه تا pH ۷، شیب نمودار برای هر دو فلز ثابت شده و افزایش pH نتوانست سبب افزایش حذف یون فلزی شود. در pH بالاتر از ۵ یون های فلزی به حالت ترسیب در آمده و کاهش غلظت فلز در پساب ساختگی به دلیل جذب آن توسط ذرات خاک اره نبوده بلکه با افزایش pH محیط و افزایش غلظت یون های هیدروژن، یون های فلزی به حالت ترسیب در می آیند (شهبازی و همکاران، ۲۰۰۵).

۱.الف



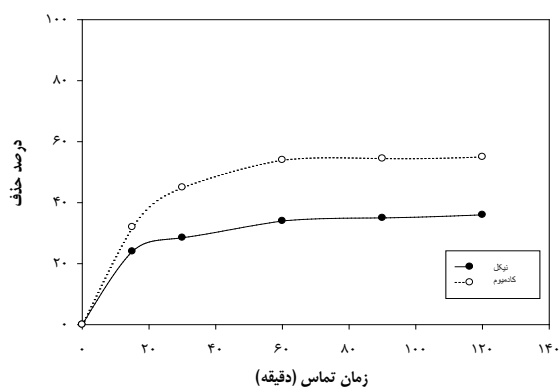
۱.ب



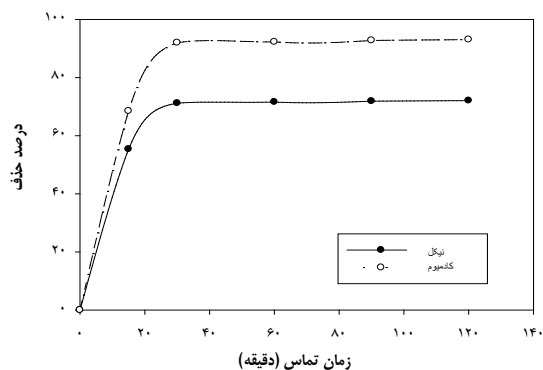
شکل ۱. اثر pH روی درصد حذف نیکل و کادمیوم با استفاده از چوب گیلاس (الف) و پوست راش (ب)

داشته که در اینجا نیز فلز کادمیوم درصد جذب بالاتری نسبت به نیکل داشت. برای خاک اره چوب گیللاس نیز نتایج به همین صورت بود ولی درصد حذف یون‌های محلول کمتر بود. درصد حذف برای چوب گیللاس (۳۲٪ کادمیوم، ۲۴٪ نیکل) و برای پوست (۶۸٪ کادمیوم، ۵۷٪ نیکل) بعد از ۱۵ دقیقه بدست آمد. الوالیا^{۱۲} و گوئیال^{۱۳} (۲۰۰۵)، نیز نشان دادند که بیشترین میزان حذف در همان ۳۰ دقیقه آغاز واکنش بدست آمد. شارما^{۱۴} و سینگ^{۱۵} (۲۰۰۸)، گزارش کردند که بیشترین درصد جذب فلز روی در زمان های تماس اولیه رخ می دهد و بعد از آن به آهستگی افزایش خواهد یافت که احتمالاً ناشی از عمل دفع یون فلزی روی توسط پوسته برنج می باشد.

۳. الف



۳. ب



شکل ۳. اثر مدت زمان تیمار بر روی درصد حذف نیکل و کادمیوم با استفاده از پوست راش (الف) و چوب گیللاس (ب)

پساب از ۲۰۰ به ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر سبب افت درصد حذف از ۸۹/۸٪ به ۷۶٪ برای کادمیوم و از ۶۷٪ به ۵۸٪ برای نیکل گردید و تا غلظت ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر روند کاهش ادامه داشت تا جایی که میزان حذف، ۲۸٪ و ۴۰٪ به ترتیب برای نیکل و کادمیوم بدست آمد.

نتایج مشابهی نیز برای چوب گیللاس برای هر دو یون فلزی حاصل شد به طوری که افزایش غلظت از ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر از ۳۵٪ (حداکثر حذف) به ۱۶٪ برای نیکل و از ۵۳٪ (حداکثر حذف) به ۲۷٪ برای کادمیوم در غلظت ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر بدست آمد.

علت این پدیده را می توان این چنین بیان کرد که در ابتدا با افزایش غلظت به دلیل افزایش تعداد برخورد یون‌های فلزی و جاذب، یون‌های بیشتری از محلول حذف می گردد، ولی با ادامه روند افزایش غلظت به دلیل افزایش یون‌های در حال رقابت برای واکنش با گروه‌های فعال سطحی و در نهایت کاهش مکان‌های فعال سطحی و اشباع شدن آن‌ها درصد حذف را کاهش می یابد (کومار^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۸).

۳-۳- تاثیر زمان واکنش بر روی میزان جذب

بعد از رسیدن به pH و غلظت اولیه بهینه، آزمایشات برای تعیین موثرترین شرایط جذب انجام گرفت. نتایج مربوط به بررسی اثر افزایش زمان تماس بر مقدار جذب یون‌های فلزی در شکل ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، شیب نمودار در زمان‌های اولیه بسیار زیاد می باشد. این ویژگی را می توان به بالا بودن مساحت سطح خاک اره و زیاد بودن گروه‌های عاملی فعال برای کمپلکس نمودن یون‌های فلزی در ابتدای واکنش نسبت داد که به سهولت در دسترس یون‌های فلزی قرار می گیرند (ساراوانان^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۲). تقریباً بیش از ۵۰٪ مقدار کل جذب در همان دقایق اولیه شروع آزمایش توسط جاذب پوست صورت می پذیرد، به طوری که پس از گذشت ۱۵ دقیقه بین ۵۵ تا ۶۷ درصد از یون های فلزی جذب شدند. البته مقدار جذب بستگی به نوع فلز

جدول ۱، مقادیر حداکثر ظرفیت جذب (q_m)، ثابت ایزوترم (b)، ضریب همبستگی (R^2) برای مدل لانگمیر و ثابت ایزوترم (K_f, a)، ضریب همبستگی (R^2) برای مدل فرندلیچ را برای فلز کادمیوم و جدول ۲ برای نیکل نشان می دهد. مطابق با جداول داده شده، ضرایب همبستگی داده های آزمایش با مدل لانگمیر برای هر دو فلز بالاتر از ضرایب همبستگی مدل فرندلیچ بوده که این اعداد بیان کننده تطابق بیشتر داده ها با مدل لانگمیر می باشد. از آنجایی که مدل لانگمیر مربوط به جذب تک لایه ای است و فرض می کند سطح جاذب دارای مکان های با انرژی مساوی است که هر مولکول جذب شونده تنها به یک مکان اختصاص داده می شود. بنابراین احتمالاً توزیع یکنواخت سایت های فعال سطحی چوب و پوست را بیان می کند. هم چنین پوست و چوب ظرفیت جذب (q_m) متفاوتی برای حذف یون های کادمیوم و نیکل داشتند. ظرفیت جذب پوست بالاتر از چوب بوده، به علاوه کادمیوم ظرفیت جذب بالاتری در مقایسه با نیکل با استفاده از جاذب پوست نشان داد.

جدول ۱. متغیرهای ایزوترم فرندلیچ و لانگمیر کادمیوم

| ایزوترم | لانگمیر | | | فرندلیچ | | |
|-----------|--------------------|------------|--------|---------|--------|--------|
| | متغیر q_m (mg/g) | B (L/mg) | R^2 | k_f | n | R^2 |
| چوب گیلاس | ۱۲۳/۴۸ | ۰/۰۲۳۳ | ۰/۹۲۴۰ | ۵/۱۵۵ | ۰/۶۵۰۹ | ۰/۹۱۶۲ |
| پوست راش | ۲۴۶/۸۷ | ۰/۰۱۵۶ | ۰/۹۳۵۸ | ۶/۴۷۳۸ | ۰/۶۰۸۰ | ۰/۹۰۴۵ |

جدول ۲. متغیرهای ایزوترم فرندلیچ و لانگمیر نیکل

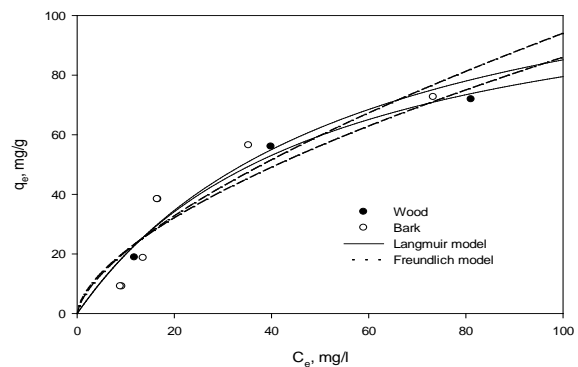
| ایزوترم | لانگمیر | | | فرندلیچ | | |
|-----------|--------------------|------------|--------|---------|--------|--------|
| | متغیر q_m (mg/g) | B (L/mg) | R^2 | k_f | n | R^2 |
| چوب گیلاس | ۱۱۹/۰۵ | ۰/۰۲۰۱ | ۰/۹۲۸۱ | ۵/۱۵۴ | ۰/۶۱۱ | ۰/۸۸۹۶ |
| پوست راش | ۱۳۴/۰۵ | ۰/۰۱۷۴ | ۰/۹۱۴۴ | ۴/۶۲۷ | ۰/۶۵۴۲ | ۰/۸۷۷۹ |

با گذشت زمان با وجود ادامه حذف یون فلزی، به علت اشباع سطح جاذب تمایل کمتری به جذب یون داشت و کارایی جذب کاهش یافت. به طوری که مدت زمان ۶۰ دقیقه برای خاک ازه و زمان ۳۰ دقیقه برای پوست برای حذف هم نیکل و هم کادمیوم به عنوان زمان بهینه واکنش در نظر گرفته شد. سرانجام بالاترین درصد حذف ۳۴٪ نیکل و ۵۴٪ کادمیوم توسط چوب گیلاس و ۷۱٪ نیکل و ۹۰٪ کادمیوم با استفاده از پوست راش در شرایط بهینه بدست آمد.

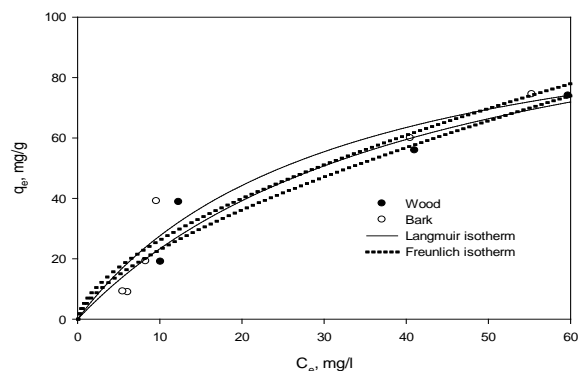
۴- ایزوترم های جذب

ایزوترم های مدل فرندلیچ و لانگمیر در شکل ۴. الف، برای کادمیوم و ۴. ب، برای نیکل نشان داده شده است.

۴. الف



۴. ب



شکل ۴. مدل سازی ایزوترم جذب یون های فلزی کادمیوم (الف) و نیکل (ب) به وسیله جاذب چوب و پوست با استفاده از مدل لانگمیر و فرندلیچ

11. Saravanane
12. Ahluwalia
13. Goyal
14. Sharma
15. Singh

۷- مراجع

- Ahluwalia, S. S., and D. Goyal. (2005) "Removal of heavy metals by waste tea leaves from aqueous solution", J. Engineering Life Science. 5 (2), 158-162.

- Alipour Torab., Sh. (2010) "Removal of cadmium from agricultural waste using sugarcane bagasse", Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 29 (2), 99-107.

- Bulut, Y., and Z. Tez, (2006) "Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption", J. Environmental Sciences, 19(2), 160-166.

- Dae, W. C., and H.K. Young, (2005) "Chromium (VI) removal in a semi continues process of hallow fiber membrane with organic extractants", J. Chemical Engineering, 22 (4), 894-898.

- Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S., Gad., H.M.H., (2003) "Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plants", Materials Letters, 57, 1723-1731.

- Dermentzis, K., A. Christoforidis., and E. Valsamidou, (2011) "Removal of nickel, copper, zinc and chromium from synthetic and industrial wastewater by electrocoagulation", J. Environmental Sciences, 1 (5), 112-119.

- Heidari, A., H. Younesi, Z. Mehraban., (2009) "Removal of Cd(II), Ni(II), and Pb(II) ions in an aqueous solution by chemically modified nanoporous MCM-41", 1, 25-33.

- Kadirevelu, K., M. Kavipriva, and O. Kartnika (2003) "Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solution", J. Bioresource Technology, 87 (1), 129-132.

- Kumar, R., N. Bishnoi, R. Garima, and K. G. Bishnoi, (2008) "Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass", J. Chemical Engineering, 135 (3), 202-208.

- Mahvi, H. A. (2008) "Application of agricultural

۵- نتیجه گیری

در این بررسی قابلیت حذف نیکل و کادمیوم با استفاده از خاک اره چوب گیلان و پوست راش تحت پارامترهای عملکردی مانند pH، زمان تماس و غلظت مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل، فرآیند جذب توسط هر دو نوع جاذب تحت مقادیر بالای pH افزایش یافت ولی با افزایش pH روند صعودی افزایش درصد جذب هر دو فلز متفاوت شده به طوری که شیب منحنی درصد جذب برای کادمیوم بیشتر از نیکل بود و در نهایت در pH برابر ۵، درصد جذب برای هر دو فلز مورد مطالعه به بیشترین مقدار خود رسید. هم‌چنین با افزایش زمان تماس درصد جذب افزایش یافت که البته شیب منحنی در زمان‌های ابتدایی واکنش برای هر دو نوع جاذب زیاد و سپس میزان حذف با سرعت کمتری ادامه یافت. در حالی که افزایش غلظت سبب کاهش میزان جذب یون‌های فلزی گردید. حداکثر بازده حذف در شرایط تعادلی pH برابر ۵، غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و مدت زمان ۶۰ دقیقه برای چوب گیلان و در همین شرایط بعد از زمان ۳۰ دقیقه برای پوست راش بدست آمد. مطابق با مدل لانگمیر حداکثر ظرفیت یون‌های نیکل و کادمیوم برای جاذب پوست راش بدست آمد، به علاوه کادمیوم نسبت به نیکل درصد جذب بیشتری را نشان داد، بنابراین در این بررسی پوست راش از قابلیت جذب بالاتری برای حذف فلزات سنگین نیکل و کادمیوم دو ظرفیتی از پساب‌های مصنوعی در مقایسه با سرشاخه چوب گیلان برخوردار بود.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Dermentzis
2. Dae
3. Young
4. Bulut
5. Tez
6. Daifullah
7. Kadirevelu
8. Philips
9. Rozaini
10. Kumar

- Sen Gupta, S., and Bhattacharyya, K.G. (2008) "Immobilization of Pb(II), Cd(II) and Ni(II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium", *J. of Environmental Management*, 87 (1), 46-58.
- Shahbazi, A, N. Khorasani, K. Nosrati. (2005) "Application of organic solid waste in wastewater treatment", *Iranian J.Natural Res*, Vol.58, No.1.
- Sharma, N., J. Singh., (2008) "Removal of Zn ions from aqueous solution using rice (oryza sativa) husk in a sequential bed adsorption column", *The 12thworld Lake Conference*. Pp: 944-951.
- Rozaini C. A., K. Jain, K .W. Tan, L. S. Tan, A. Azraa and K. S. Tong, (2010) "Optimization of Nickel and Copper Ions Removal by Modified Mangrove Barks", *J. Chemical Engineering and Applications*, 1 (1), 84-89.
- fibers in pollution removal from aqueous solution", *J. Environmental Science Technology*, 5 (1), 275-285.
- Moodley, K., R. Singh, E. Musapatika, M. Onyango, and A. Ochieng, (2010) "Removal of nickel from wastewater using an agricultural adsorbent", *J. Chemical engineering*. 37(1), 45-53.
- Okati, N. (2013) "Using of the modified orange bark as adsorbents for the removal heavy metals such as lead and copper from aqueous solution", *journal of environmental*, 56, 45-56.
- Saravanane, R. T. Sundararajan, S. Sivamurthyreddy, (2002) "Efficiency of chemically modified low cost adsorbents for the removal of heavy metals from wastewater: A comparative study", *Indian Journal of Environmental Health*, lth., 44, 78-81.

