بررسی کارایی خاکستر میوه بلوط در حذف کادمیوم از محلول‌های آبی: مطالعات ایزوترم و سینتیک جذب

سلمان زارعی[1]، محبوبه دهواری[1]، بهزاد جمشیدی[2*] و محسن سعدانی[1]

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پیراپزشکی ابرکوه، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۱

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین به دلیل سمیت و عدم تجزیه بیولوژیکی، به عنوان آلاینده‌های حائز اهمیت شناخته شده‌اند. کادمیوم از جمله فلزات سنگین بوده که دارای پتانسیل سرطانزایی است. لذا این مطالعه با هدف بررسی کارایی خاکستر میوه بلوط در حذف کادمیوم از محلول‌های آبی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در شرایط آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام گرفت. طی این مطالعه، تأثیر پارامترهایی نظیر pH، زمان تماس، جرم جاذب و غلظت اولیه کادمیوم ارزیابی شد. مدل‌های ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برای آنالیز نتایج ایزوترم تعادلی مورد بررسی قرار گرفت. سینتیک‌های جذب کادمیوم نیز توسط مدل‌های مختلف بررسی گردید. اندازه‌گیری مقدار باقیمانده کادمیوم در نمونه‌ها با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی در طول موج ۲۲۸/۸ نانومتر انجام شد. جهت آنالیز داده ها از نرم افزار SPSS16 استفاده گردید.

یافته‌ها: مطابق با نتایج به دست آمده، حداکثر ظرفیت جذب کادمیوم برابر با ۹/۲۹mg/g در pH=۷ و جرم جاذب ۸ g/l به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس، راندمان حذف کادمیوم افزایش یافته، و با افزایش غلظت اولیه کادمیوم راندمان حذف کاهش یافت. بررسی داده‌های به دست آمده نشان داد که فرآیند جذب، از ایزوترم فروندلیچ تبعیت می‌کند و با سینتیک شبه درجه دوم تطابق بهتری دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این تحقیق، مشخص شد که خاکستر میوه بلوط توانایی بالایی در جذب کادمیوم داشته و می‌تواند به عنوان یک جاذب ارزان قیمت در حذف کادمیوم مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، فرآیند جذب، خاکستر میوه بلوط.

مقدمه

کادمیوم یکی از فلزات سنگین سمی می‌باشد که باعث آسیب به کلیه و اختلال در آن، فشار خون بالا، شکستگی استخوان و تخریب گلبول‌های قرمز خون می‌شود.[1] در حال حاضر روش‌های مختلفی از جمله ترسیب شیمیایی، تبادل یون، جداسازی غشایی، احیاء الکتروشیمیایی، انعقاد و لخته‌سازی،

* گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده پیراپزشکی ابرکوه، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، یزد، ایران
ایمیل: behzadjamshidi65@yahoo.com - شماره تماس: ۰۹۱۷-۱۵۰۶۴۳۲

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

شناورسازی، تصفیه بیولوژیکی و جذب سطحی برای حذف و بازیافت فلزات سنگین از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گرفته است.[۲-۵] اما عمده این روشها دارای محدودیت‌هایی همچون دفع محلول غلیظ، بالابودن انرژی مورد نیاز، هزینه بهره‌برداری و نگهداری بالا، حجم بالای لجن تولید شده و دفع آن و نیاز به تجهیزات گرانقیمت می‌باشند.[۶-۸] از میان روش‌های گفته شده، روش جذب به عنوان یک روش عالی برای تصفیه شناخته شده است[۸و۹] و در مقایسه با سایر روش‌ها روشی سریع، برگشت‌پذیر و اقتصادی بوده و فناوری آن سازگار با محیط زیست می‌باشد.[۱۰و۱۱]

در چند دهه گذشته، علاقه زیادی در توسعه جاذب‌های جدید و تغییر در عملکردهای موجود، مشاهده شده و استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است.[۳،۱۲] جاذب‌های ارزان قیمت، جاذب‌هایی هستند که به فراوانی یافت شده و در دسترس می‌باشند و هزینه آماده-سازی آن‌ها بسیار پایین می‌باشد.[۳،۱۳] با توجه به نتایج مطالعات انجام شده، مواد با منشأ بیولوژیکی، اعم از زنده و غیر زنده، پتانسیل خوبی برای حذف فلزات سنگین دارند.[۱۴] در میان جاذب‌های بیولوژیکی، مواد کشاورزی به دلیل فراوانی و سادگی در فرآیند تولید، نقش ویژه‌ای دارند.[۱۳،۱۵] از جمله جاذب‌هایی که برای جذب فلزات سنگین و ترکیبات آلی به میزان زیادی مورد استفاده قرار گرفته است، کربن فعال تهیه شده از مواد گوناگون می‌باشد. این جاذب به علت هزینه بالای تولید و احیاء، اقتصادی نمی‌باشد. به طوری‌که محققان به دنبال جایگزین‌هایی بوده که ارزان، در دسترس و دوستدار محیط زیست باشند.[۱۲،۱۶] درسال‌های اخیر، محققان از خاکستر مواد مختلف برای جذب فلزات سنگین استفاده کرده‌اند.[۱۷-۱۹]

درخت بلوط متعلق به خانواده فاگاسه (Fagaceae) و جنس کوئرکوس (Quercus) می‌باشد. آنالیز تقریبی میوه بلوط نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی میوه بلوط شبیه غلات می‌باشد.[۲۰] بلوط‌ها از مهمترین و فراوان ترین گونه‌های درختی در جنگل-های زاگرس بوده و از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت می-باشند.[۲۱] عناصر اصلی درختی جنگل‌های غرب ایران را سه گونه از جنس بلوط به نام‌های برو، برودار یا بلوط ایرانی (Quercuspersica)، مازو، مازودار (Q.infectoria) و ویول (Q.libani) تشکیل می‌دهند.[۲۲و۲۳] تاکنون مطالعاتی در زمینه حذف کروم و نیکل توسط عصاره میوه بلوط و حذف سرب، مس و روی و همچنین حذف پنی‌سیلین توسط پوسته میوه بلوط انجام گردیده است.[۲۴-۲۶] در این مطالعه، کارایی خاکستر میوه درخت بلوط ایرانی در حذف یون کادمیوم از محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

برای تهیه جاذب، ابتدا دو لایه پوسته میوه بلوط را جدا کرده و در ادامه جهت زدایش مواد باقیمانده از پوسته دوم بر روی سطوح میوه بلوط، میوه بلوط چندین بار با آب گرم شستشو داده شد. سپس شستشو با آب مقطر انجام گرفت و در نهایت میوه‌ها در فور و در دمای ^0C ۱۰۵ جهت خشک شدن قرار داده شد. پس از خشک شدن، میوه بلوط را در کوره در دمای ^0C ۷۰۰ به مدت ۲ ساعت قرار داده و سپس با استفاده از آسیاب برقی، میوه‌ها را پودر کرده و در نهایت دانه‌بندی جاذب با استفاده از الک‌های استاندارد ASTM (با اندازه مش بین ۶۰-۴۰) صورت گرفت.

محلول استوک کادمیوم (۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) از طریق حل نمودن نیترات کادمیوم در آب دو بار تقطیر تهیه و سپس، محلول‌های کادمیوم با غلظت‌های مختلف (۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) تهیه گردید.

در مطالعه حاضر، تأثیر pHهای مختلف (۹، ۷، ۵، ۳) و جرم‌های مختلف خاکستر میوه بلوط (۸، ۶، ۴، ۲ گرم در لیتر) طی فرآیند جذب، مورد آزمایش قرار گرفت. در زمان‌های تماس مختلف (۱۸۰، ۱۲۰، ۶۰، ۱۵،۳۰ دقیقه)، از راکتور نمونه-برداری و غلظت باقیمانده کادمیوم اندازه‌گیری شد. تنظیم pH

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

نمونه‌ها، با استفاده از محلول‌های اسید نیتریک و سود یک نرمال توسط pH متر مدل Mi151 انجام شد. جهت اختلاط و تماس مناسب جاذب و کادمیوم، از همزن اربیتالی (GFL 137) با شدت اختلاط ۱۲۰ دور در دقیقه و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد استفاده شد. جهت جداسازی ذرات جاذب از محلول آبی، نمونه‌ها در طی زمان‌های مختلف واکنش با استفاده از فیلتر ۰/۲ میکرون، فیلتر شدند.

در این مطالعه، مقدار باقیمانده کادمیوم در نمونه‌ها با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی Atomic Absorption (AAS) توسط دستگاه جذب اتمی ساخت کشور آلمان در طول موج ۲۲۸/۸ نانومتر در شرایط جذب اتمی استاندارد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. راندمان حذف و ظرفیت جذب کادمیوم با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$\%\,Removal = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100 \qquad (۱)$$

$$q_e = \frac{v \times (C_0 - C_f)}{w} \qquad (۲)$$

در این روابط، C_0 و C_f به ترتیب غلظت اولیه و نهایی کادمیوم (بر حسب میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. q_e، ظرفیت جذب کادمیوم (برحسب میلی‌گرم بر گرم)، v حجم محلول (بر حسب لیتر) و wوزن خشک جاذب (بر حسب گرم) می‌باشد.[۱۷]

ایزوترم جذب و حداکثر ظرفیت جذب جاذب‌ها با استفاده از مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین بررسی شد. سینتیک جذب نیز جهت مشخص کردن شیمیایی یا فیزیکی بودن فرآیند، با سینتیک‌های شبه درجه اول، شبه درجه دوم و سینتیک الوویچ تعیین گردید.

یافته‌ها

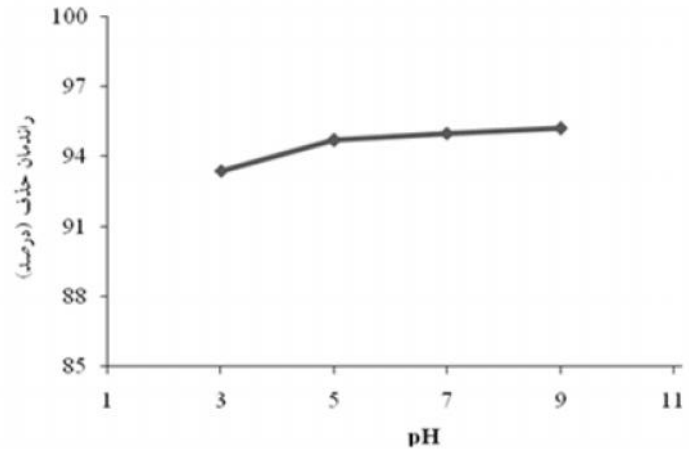
مهم‌ترین عامل مؤثر در فرآیند جذب، pH می‌باشد. اثر pH بر روی فرآیند جذب کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط در نمودار ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، جذب کادمیوم در طیف وسیعی از pH صورت می‌گیرد. همان گونه که در شکل مشاهده می‌گردد، به طور کلی راندمان جذب کادمیوم با افزایش pH افزایش یافته به طوری‌که با تغییر pH از ۳ به ۹، راندمان حذف کادمیوم از یک روند افزایش تدریجی برخوردار بوده و از ۹۳/٤٪ به ۹۵/۲٪ رسیده است.

به منظور تعیین اثر متغیر pH بر راندمان حذف، میانگین داده‌ها توسط تست آماری ANOVA مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش راندمان حذف با افزایش pH معنادار نبوده است (p=۰/۷۹۳).

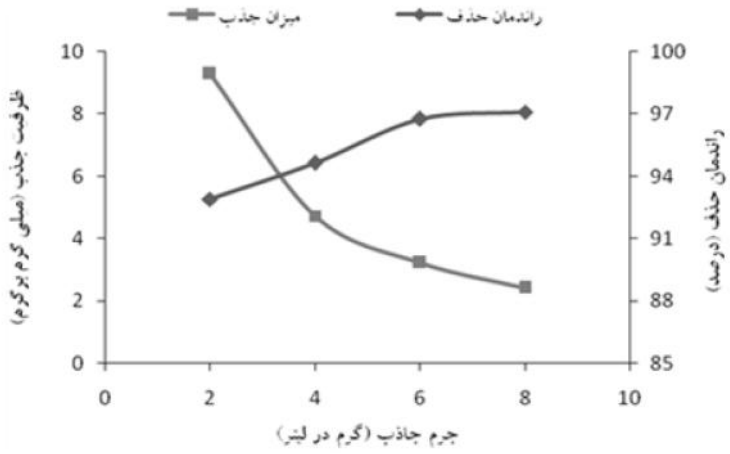
جهت بررسی تأثیر جرم جاذب، از جرم جاذب‌های ۲، ٤، ٦ و ۸ گرم در لیتر استفاده شد که نتایج آن در نمودار ۲ ارائه شده است. نتایج، نشان‌دهنده آن است که افزایش جرم جاذب از ۲ به ۸ گرم در لیتر، در غلظت اولیه و pH ثابت، منجر به افزایش راندمان حذف و کاهش ظرفیت جذب می‌شود. به طوری‌که با افزایش جرم جاذب از ۲ به ۸ گرم در لیتر، راندمان حذف کادمیوم (ظرفیت جذب) از ۹۲/۹٪ (۹/۲۹ میلی‌گرم بر گرم) به ۹۷/۱٪ (۲/٤۲ میلی‌گرم بر گرم) افزایش یافته است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]



نمودار ۱: تأثیر pH محلول برراندمان حذف کادمیوم(غلظت اولیه کادمیوم: ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان: ۲٤ ساعت، جرم جاذب = ٤ گرم در لیتر)



نمودار ۲: تأثیر جرم جاذب برراندمان حذف کادمیوم (غلظت اولیه کادمیوم: ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان: ۲٤ ساعت، pH=۷)

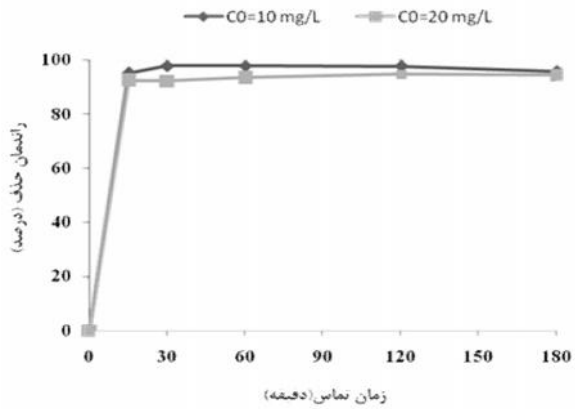
مطابق با آنالیز آماری انجام شده، از لحاظ آماری نیز با افزایش جرم جاذب، افزایش راندمان حذف معنادار می‌باشد (p=۰/۰٤۳).

زمان تماس و غلظت اولیه آلاینده از عوامل دیگری هستند که در فرآیند جذب مداخله می‌کنند. در این مرحله، جهت بررسی متغیر زمان تماس و غلظت آلاینده، جرم جاذب و pH، ثابت در نظر گرفته شد. محلول‌هایی با غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم، تهیه و آزمایشات در زمان‌های تماس ۱۵، ۳۰،٦۰، ۱۲۰و ۱۸۰ دقیقه انجام گردید. بررسی اثر زمان واکنش بر روند جذب (نمودار ۳) نشان داد که بیشترین جذب یون‌های کادمیوم، توسط جاذب، در زمان تماس ۱۵دقیقه صورت گرفته و بعد از آن افزایش چندانی نداشت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، راندمان حذف کادمیوم در زمان‌های تماس ۱۵ و ۱۸۰ دقیقه، برای غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و مقدار جاذب ٤ گرم در لیتر، به ترتیب برابر با ۹۵/٤٪ و ۹٦٪ و برای غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر برابر با ۹۲/۵٪و ۹٤/٦۵٪ بوده‌است.

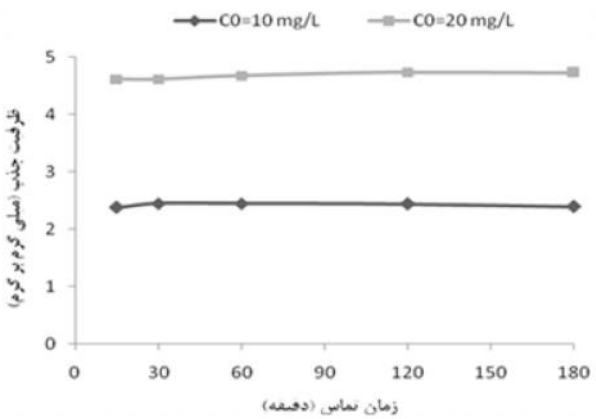
همان طور که در نمودارهای ۳ و ٤ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت کادمیوم از ۱۰ به ۲۰ mg/l، راندمان حذف کاهش یافته ولی با این حال میزان جذب افزایش یافته است. ظرفیت جذب غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم، در زمان تماس ۱۵ دقیقه، به ترتیب برابر با ۲/۳۸ میلی‌گرم بر گرم و ٤/٦۲ میلی‌گرم بر گرم بوده است (نمودار ٤).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]



نمودار ۳: تأثیر زمان تماس و غلظت اولیه کادمیوم بر راندمان حذف کادمیوم (جرم جاذب: ٤ گرم در لیتر و **pH**=۷)



نمودار ٤: تأثیر زمان تماس و غلظت اولیه کادمیوم بر ظرفیت جذب کادمیوم (جرم جاذب: ٤ گرم در لیتر و **pH**=۷)

جدول ۱: مدل‌های ایزوترم جذب

مدل‌های ایزوترم	معادله	پارامترها
لانگمویر	$\frac{C_e}{q_e}=\frac{C_e}{q_{max}}+\frac{1}{b.q_{max}}$	C_e:غلظت نهایی ماده جذب شونده در محلول پس از برقراری تعادل (mg/L) q_e: مقدار ماده جذب شده در شرایط تعادل (mg/g) q_{max}: ظرفیت جذب (mg/g) b: ثابت لانگمیر (L/mg)
فروندلیچ	$Lnq_e=LnK_f+\frac{1}{n}LnC_e$	K_f: ثابت فروندلیچ، نشان‌دهنده ظرفیت جاذب ($(mg/g)\ (L/g)^{1/n}$) n: ثابت فروندلیچ، نشان‌دهنده شدت جذب
تمکین	$q_e=BLnA+BLnC_e$	B: ثابت ایزوترم تمکین (kJ/mol) A: ثابت پیوندی، نشان‌دهنده حداکثر انرژی پیوندی (L/g)

نتایج آماری نشان می‌دهد که با افزایش زمان از ۱۵ دقیقه به ۱٤٤۰ دقیقه (۲٤ ساعت)، راندمان حذف کادمیوم تقریباً ثابت می‌ماند و این افزایش راندمان از نظر آماری (p=۰/۰۹٦) معنا-دار نیست. با تجزیه و تحلیل آماری مشخص شد که راندمان حذف با افزایش غلظت اولیه کادمیوم، کاهش معناداری نداشته است (p=۰/۱٤۰).

خصوصیات جذب، معمولاً توسط ایزوترم‌های تعادلی جذب توصیف می‌شود. در این مطالعه، جذب تعادلی کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط با استفاده از ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های ایزوترم جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین با استفاده از روابط ارائه شده در جدول ۱ محاسبه گردید.[۵،۱۷،۲۷]

مبنای انتخاب بهترین ایزوترم جذب، ضریب همبستگی (R^2) می‌باشد. بر اساس نتایج (جدول ۲)، بیشترین میزان مطابقت داده‌ها با ایزوترم فروندلیچ (R^2=۰/۹٤۹) می‌باشد. مقدار n در مدل ایزوترمی فروندلیچ، نوع ایزوترم را نشان می-دهد. به طوری که اگر n=۰، ایزوترم غیرقابل برگشت، ۱>n>۰، ایزوترم مطلوب و اگر n>۱، در نتیجه ایزوترم نامطلوب می-باشد. بر اساس مقدار n در ایزوترم فروندلیچ (n=۰/۷٤)، مقدار این پارامتر برای جذب کادمیوم بر روی خاکستر میوه بلوط بین صفر و یک بوده که تأییدکننده جذب این آلاینده، بر اساس ایزوترم فروندلیچ می‌باشد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

یکی از مهم‌ترین عوامل برای طراحی سیستم جذب (جهت تعیین زمان تماس بهینه)، پیش‌بینی سرعت فرآیند جذب می‌باشد که توسط سینتیک سیستم، کنترل می‌شود. جهت تعیین سینتیک جذب کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط، محلول کادمیوم با غلظت‌های اولیه ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و در زمان‌های تماس ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه، جرم جاذب ٤ گرم در لیتر و pH=۷ بررسی شد. جهت تعیین سینتیک واکنش، داده‌های حاصل از جذب با استفاده از مدل‌های شبه درجه اول، شبه درجه دوم و مدل الوویچ بررسی شد. روابط خطی شبه درجه اول، شبه درجه دوم و الوویچ در جدول ۳ ارائه شده است.[۱،۲۷]

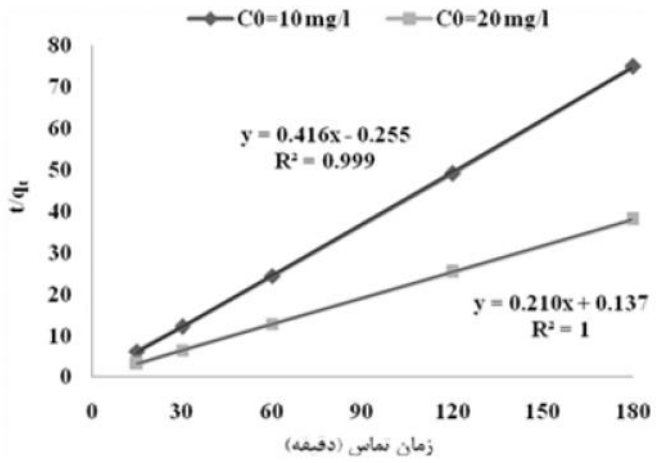
جدول ۲: پارامترهای ایزوترم‌های جذب

ایزوترم	ایزوترم لانگمیر			ایزوترم فروندلیچ			ایزوترم تمکین		
پارامترها	R^2	b	q_{max}	R^2	n	K_f	R^2	K_t	B_t
مقدار	۰/٦۱۸	۰/۲۸۱	۱۲/۹۸	۰/۹٤۹	۰/۷٤	۱/٦٤٦	۰/۸۲۷	٦/۸٥٥	٥/۸۷۷

جدول ۳: مدل‌های سینتیک جذب

مدل‌های سینتیک	معادله	پارامترها
شبه درجه اول	$Ln(q_e - q_t) = Lnq_e - k_1 t$	q_e: مقدار آلاینده جذب شده در زمان تعادل (mg/g) q_t: مقدار آلاینده جذب شده در زمان t (mg/g) k_1: ثابت سرعت جذب مدل شبه درجه اول (min^{-1})
شبه درجه دوم	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2(q_e^2)} + \frac{t}{q_e}$	k_2: ثابت سرعت جذب مدل شبه درجه دوم (min^{-1})
الوویچ	$q_t = \frac{1}{\beta}Ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta}Lnt$	α: مقدار جذب اولیه(mg.g/min) β: ثابت واجذبی و انرژی فعال‌سازی در واکنش‌های شیمیایی (g/mg)

میزان ضرایب همبستگی (R^2)، برای هر دو غلظت ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتردر مورد سینتیک شبه درجه دوم بالاتر بود. مقدار این پارامتر برای غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب برابر با ۰/۹۹۹ و ۱ به دست آمد. بر اساس نتایج، بیشترین میزان مطابقت داده‌ها با مدل شبه درجه دوم بوده است که منحنی آن در نمودار ۵ ارائه شده است. این مدل به عنوان بهترین نمونه جهت توصیف رفتار سینتیکی جاذب خاکستر میوه بلوط در جذب کادمیوم از محیط‌های آبی انتخاب شد.



نمودار ۵: مدل سینتیک شبه درجه دوم جذب کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

مقایسه ظرفیت جذب کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط با دیگر جاذب‌ها

مطالعات مختلفی در مورد جذب کادمیوم توسط جاذب‌های مختلف انجام شده است. نتایج مربوط به برخی از این مطالعات در جدول ٤ ارائه شده است. مطابق با نتایج، ظرفیت جذب کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط نسبت به برخی از جاذب‌ها بالاتر و نسبت به برخی از آنها پایین‌تر بوده است.

جدول ٤: مقایسه ظرفیت جذب کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط با دیگر جاذب‌ها

جاذب	ظرفیت جذب (mg/g)
برگ‌های لوکوآت (loquat)	٢٩/٢٤
خاکستر برگ‌های لوکوآت	٢١/٣٢
خاکستر پوسته برنج	١١/٧٨٦
لجن فعال	٩/٦
خاکستر میوه بلوط (این مطالعه)	٩/٢٩
لجن خشک شده	٦/٦
پوسته برنج (خام) پوسته برنج	٠/١٢٨
(اصلاح شده)	٠/١٤
خاک اره (خام) خاک اره	٠/١٢٣
(اصلاح شده)	٠/١٤

بحث

یکی از مهمترین پارامترهای تأثیرگذار روی فرآیند جذب، pH محیط واکنش است. چون با تغییر pH محیط، حالت یونی فلزات نیز تغییر می‌کند. همچنین تغییرات pH باعث یونیزاسیون آلاینده و بار سطحی جاذب می‌شود که این تغییرات، بر روی واکنش بین جاذب و ماده جذب شونده تأثیر می‌گذارد.[٢٨] نتایج به دست آمده از مطالعه نشان داد که راندمان جذب کادمیوم با افزایش pH، افزایش می‌یابد. به طوری‌که با تغییر pH از ٣ به ٩، راندمان جذب کادمیوم از یک روند افزایش تدریجی برخوردار بوده است. دلیل کمتر بودن راندمان در pH اسیدی این است که در pH اسیدی، به علت یونیزاسیون در سطح جاذب، یک لایه بار مثبت بر روی جاذب قرار می‌گیرد و یک نیروی دافعه الکترواستاتیک بین جاذب و یون کادمیوم بوجود می‌آید. از طرفی دیگر، یون‌های هیدروژن به شدت با یون‌های فلزی کادمیوم برای سایت‌های جذب رقابت کرده و به جای آن‌ها بر روی جاذب قرار می‌گیرند. در نتیجه راندمان حذف کادمیوم کاهش پیدا می‌کند.[٢٩] با افزایش pH، غلظت یون‌های هیدروژن کم شده و این امر سبب افزایش جذب یون کادمیوم می‌شود. این افزایش راندمان در pH قلیایی ممکن است به دلیل رسوب یون فلزی نیز باشد. بنابراین در مطالعه حاضر، برای جلوگیری از دخالت رسوب یون فلزی در نتیجه آزمایش، از pH های قلیایی صرف نظر شده و pH=٧ به عنوان pH بهینه انتخاب گردید. در مطالعه منگل و همکاران در مورد جذب زیستی کادمیوم از آب توسط دانه‌های مورینگا (Moringa) و همچنین مطالعه بیات و همکاران در مورد حذف روی و کادمیوم توسط خاکستر فرار ترکیش (Turkish) با کلسیم بالا نیز pH برابر ٧ به عنوان pH بهینه در نظر گرفته شد که نشاندهنده تشابه مطالعه حاضر با مطالعه این محققین می‌باشد.[٣٠،٣١]

جرم جاذب از پارامترهای دیگری است که در آزمایشات جذب مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصله از این تحقیق حاکی از آن است که با افزایش جرم جاذب از ٢ به ٨ گرم بر لیتر، راندمان حذف یون کادمیوم افزایش می‌یابد. با افزایش جرم جاذب، تعداد سایت‌های فعال جذب در محلول افزایش و در نتیجه سطح تماس میان جاذب و آلاینده افزایش می‌یابد. در نتیجه راندمان حذف آلاینده نیز افزایش خواهد یافت. دینگ و همکارانش مطالعه‌ای تحت عنوان جذب زیستی کادمیوم توسط بوریای برنج اصلاح نشده انجام دادند که نتایج مطالعه نشان داد که با افزایش جرم جاذب از ٠/٥ به ٢/٥ گرم در ١٠٠ میلی‌لیتر، راندمان حذف کادمیوم افزایش می‌یابد.[٣٢] همچنین آتار و همکاران (٢٠١٢) طی مطالعه‌ای در مورد جذب کادمیوم و روی توسط زائدات حاصل از فرآیند غنی‌سازی بور، به نتایجی مشابه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

نتایج مطالعه ما دست یافتند.[۳۳]

زمان تماس و غلظت اولیه آلاینده از دیگر پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه بودند که در فرآیند جذب مداخله می‌کنند. مطابق با نتایج به دست آمده از این مطالعه، با افزایش غلظت کادمیوم از ۱۰ به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف کاهش یافته ولی میزان جذب افزایش می‌یابد (نمودارهای ۳ و ٤). دلیل کاهش راندمان حذف در غلظت‌های بالا، اشباع شدن سایت‌های فعال جذب قرار گرفته روی سطح جاذب توسط آلاینده می‌باشد. نتایج نشاندهنده افزایش راندمان حذف کادمیوم با افزایش زمان می‌باشد که این امر ناشی از آن است که با افزایش زمان، یون کادمیوم فرصت بیشتری برای تماس با سطح جاذب دارد. در ابتدا، با گذشت زمان، میزان جذب افزایش می‌یابد ولی بعد از مدتی میزان جذب، تغییر قابل توجهی پیدا نمی‌کند که نشاندهنده به تعادل رسیدن واکنش است. سیف و همکاران طی مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که جذب کادمیوم توسط پروتئین‌های دانه استریکنوس پتاتوریوم (Strychnospotatorum) تا۱۸۰ دقیقه به طور سریع افزایش یافته و در ۳٦۰ دقیقه به تعادل رسیده است.[۳٤]

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که جذب یون‌های کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط از مدل ایزوترمی فروندلیچ (R^2=۰/۹٤۹) تبعیت می‌کند. موهان و همکاران طی مطالعه خود بر روی جذب کادمیوم توسط کربن فعال مشتق شده از باگاس (زایدات کشاورزی) به این نتیجه رسیدند که داده‌های جذب با ایزوترم فروندلیچ تطابق بیشتری دارند که با نتیجه به دست آمده از مطالعه حاضر مطابقت دارد.[۳۵] در مطالعه داس و همکاران تحت عنوان حذف کادمیوم توسط زئولیت سنتزشده توسط خاکستر فرار، و مطالعه اسمان و همکاران تحت عنوان حذف کادمیوم توسط روزنامه‌های قدیمی تصفیه شده، داده‌های جذب با هر دو ایزوترم لانگمیر و فروندلیچ مطابقت داشت.[۳٦، ۵]

مطابق با نتایج به دست آمده، سینتیک جذب کادمیوم توسط خاکستر میوه بلوط با مدل شبه درجه دوم (۱، R^2=۰/۹۹۹) بهتر توصیف شده است. این امر نشان دهنده این است که عمل جذب بر روی مکان‌های ناهمگن در روی جاذب انجام می‌گیرد. سالم و همکاران نیز طی مطالعه خود در مورد جذب زیستی کادمیوم توسط برگ‌های پرونوس آویوم (PrunusAvium)، مبنای انتخاب بهترین سینتیک جذب را ضریب همبستگی (R^2) در نظر گرفتند. میزان ضریب همبستگی در مطالعه این محققین ۰/۹۹۹٦ به دست آمد.[۳۷] نتایج مطالعه حاضر با نتایج به دست آمده از مطالعه اونگ و همکاران نیز همخوانی دارد.[۸]

نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نشان داد که خاکستر میوه بلوط در محدوده pH اسیدی تا خنثی و بالاتر از آن، قادر است مقادیر بالایی از کادمیوم را حذف کند. این کارایی بالا در pH مختلف نشان می‌دهد که این جاذب می‌تواند در انواع فاضلاب‌هایی که حاوی کادمیوم بوده و دارای pH اسیدی ویا بازی می‌باشند، مورد استفاده قرار گیرد. مطابق با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، راندمان حذف کادمیوم با افزایش جرم جاذب و زمان تماس، افزایش و با افزایش غلظت اولیه کادمیوم، کاهش یافته است. با توجه به فراوانی جنگل‌های بلوط در غرب، جنوب غرب و شمال کشور، خاکستر میوه بلوط می‌تواند به عنوان یک جاذب ارزان قیمت در تصفیه فاضلاب حاوی کادمیوم استفاده شود. هر چند که عملکرد این جاذب در فاضلاب واقعی، با فاضلاب سنتتیک متفاوت خواهد بود و بستگی زیادی به یون‌های موجود در فاضلاب و تداخل دیگر فلزات دارد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر نتیجه یک طرح تحقیقاتی بوده است که درکمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد با کد ۲۷۳۰ به تصویب رسیده است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از کمیته تحقیقات دانشجویی، کارشناسان محترم آزمایشگاه شیمی و

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

پایلوت دانشکده بهداشت سرکارخانم پروانه طالبی، محبوبه شیرانیان، زهرا دهقانی فیروزآبادی و همچنین معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی وخدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد جهت حمایت‌های مالی از طرح، کمال تشکر را داشته باشند.

منابع

1. Al-Dujaili AH, Awwad AM, Salem NM. Biosorption of cadmium (II) onto loquat leaves (Eriobotrya japonica) and their ash from aqueous solution, equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies. Int J Ind Chem 2012;3(1): 273-84.
2. Ahmed LAA. Removal of heavy metals from wastewater by date palm tree wastes. Eng Tech J 2010;28(1): 119-25.
3. Osman H, Badwy R, Ahmad H. Usage of some agricultural by-products in the removal of some heavy metals from industrial wastewater. J Phytology 2010;2(3): 51-62.
4. Özer A, Özer D, Dursun G, et al. Cadmium (II) adsorption on Cladophora crispata in batch stirred reactors in series. Waste Manage 1999;19(3): 233-40.
5. Ossman ME, Mansour MS. Removal of Cd (II) ion from wastewater by adsorption onto treated old newspaper: kinetic modeling and isotherm studies. J Ind Chem 2013;4(1): 155-65.
6. Abdel-Halim S, Shehata A, El-Shahat M. Removal of lead ions from industrial wastewater by different types of natural materials. Water Res 2003;37(7): 1678-83.
7. Popuri SR, Vijaya Y, Boddu VM, et al. Adsorptive removal of copper and nickel ions from water using chitosan coated PVC beads. Bioresource Technol 2009;100(1): 194-9.
8. Ong SA, Toorisaka E, Hirata M, et al. Comparative study on kinetic adsorption of Cu(II), Cd(II) and Ni(II) ions from aqueous solutions using activated sludge and dried sludge. Appl Water Sci 2013;3(1): 321-5.
9. Dhir B, Kumar R. Adsorption of heavy metals by Salvinia biomass and agricultural residues. Int J Environ Res 2010;4(3): 427-32.
10. Ahuja P, Gupta R, Saxena RK. Zn^{2+} biosorption by Oscillatoria anguistissima. Process Biochem 1999;34(1): 77–85.
11. Filipovic-Kovacevic Z, Sipos L, Briski F. Biosorption of chromium, copper, nickel and zinc ions onto fungal pellets of Aspergillus niger 405 from aqueous solutions.Food Technol Biotech 2000;38(3): 211-16.
12. RaoK S, Mohapatra M, Anand S, et al. Review on cadmium removal from aqueous solutions. Int J Eng Sci Technol 2010;7(2): 81-103.
13. Saikaew W, Kaewsarn P, Saikaew W. Pomelo Peel: Agricultural waste for biosorption of cadmium ions from aqueous solutions. World Academy Sci Eng Technol 2009;56: 287-91.
14. Opeolu BO, Bamgbose O, Arowolo TA, et al. Utilization of biomaterials as adsorbents for heavy metals' removal from aqueous matrices. Sci Res Essays 2010;5(14): 1780-7.
15. Farooq U, Kozinski JA, Ain Khan M, et al. Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. Bioresource Technol 2010;10(14): 5043–53.
16. Singh RP, Gupta N, Suman R, et al. Removal of heavy metals from electroplating effluents by carbonized agrowastes. International HydrologicalProgramme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris 2006; 79: 167-73.
17. Malarvizhi TS, Santhi T, Manonmani S. A comparative study of modified lignite fly ash for the adsorption of nickel from aqueous solution by column and batch mode study. Res J Chem Sci 2013;3(2): 44-53.
18. Malarvizhi TS, Santhi T. Demineralised lignite fly ash for the removal of zn (II) ions from aqueous solution. J Water Res Protection 2013;5(1): 72-81.
19. Malarvizhi TS, Santhi T.Removal of Ni (II) ions from aqueous solution onto lignite fired fly ash. Res J Chem Environ 2013;17(3): 10-8.
20. Özcan T. Total Protein and Amino acid Compositions in the Acorns of Turkish Quercus L. Taxa Genet Resour Crop Ev 2006;53(2): 419-29.
21. Hoseini H. Effect of canopy density on natural regeneration in Manesht oak forests of Ilam. Iran. J Forest Popular Res 2010;18(2): 219-29 [In Persian].
22. Afzahvakili H, Khezri M. Removal of Aluminum by the roots, stems and leaves powder of oak (Q.infectoria). J Biol Sci Islamic Azad U Lahijan 2009;3(1): 1-8 [In Persian].
23. Panahi P, Jamzad Z, Pourhashemi M. Acorn production of Zagros forests oaks and their qualitative characteristics in Zagros section of National Botanical Garden of Iran. J Forest Wood Products 2009;62(1): 45-57 [In Persian].
24. MasoudiNejad M, Yazdanbakhsh A. Removal of chrome and nickel from sewages-polluted water sources by using Oak fruit. Koomesh 2004;6(1): 7-14 [In Persian].
25. Vazquez G, Calvo M, Freire MS, et al. Chestnut shell as heavy metal adsorbent: Optimization study of lead, copper

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

and zinc cations removal. J Hazard Mater 2009;172(2-3): 1402-14.

26. Sheikh Mohammadi A, Sardar M. The Removal of Penicillin G from Aqueous Solutions using Chestnut Shell Modified with H_2SO_4: Isotherm and Kinetic Study. J Health Environ 2012;6(1): 497-508 [In Persian].

27. Kaur R, Singh J, Khare R, Singh Cameotra S, Ali A. Batch sorption dynamics, kinetics and equilibrium studies of Cr (VI), Ni (II) and Cu (II) from aqueous phase using agricultural residues. Appl Water Sci 2013;3(1): 207-18.

28. Regmi P, Garcia Moscoso JL, Kumar S, et al. Removal of copper and cadmium from aqueous solution using switch grass biochar produced via hydrothermal carbonization process. J Environ Manag 2012;109: 61-9.

29. Gupta V, Nayak A. Cadmium removal and recovery from aqueous solutions by novel adsorbents prepared from orange peel and Fe_2O_3 nanoparticles. Chem Eng J 2012;180: 81-90.

30. Meneghel AP, Gonçalves Jr. AC, Rubio F, et al.Biosorption of Cadmium from water using Moringa (Moringaoleifera Lam) Seeds. Water Air Soil Poll 2013;224: 1383-96.

31. Bayat B. Combined removal of Zinc (II) and Cadmium (II) from aqueous solutions by adsorption onto High-Calcium Turkish Fly Ash. Water Air Soil Poll 2002;136(1-4): 69-92.

32. Ding Y, Jing D, Gong H, et al. Biosorption of aquatic cadmium (II) by unmodified rice straw. Bioresource Technol 2012;114: 20-5.

33. Atar N, Olgun A, Wang S. Adsorption of cadmium (II) and zinc (II) on boron enrichment process waste in aqueous solutions: Batch and fixed-bed system studies. Chem Eng J 2012;192: 1-7.

34. Saif MMS, Kumar NS, Prasad M. Binding of cadmium to Strychnospotatorum seed proteins in aqueous solution: Adsorption kinetics and relevance to water purification. Coll Surf B 2012;94: 73-9.

35. Srivastava VC, Mall ID, Mishra IM. Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA. J Hazard Mater 2006;134(1): 257-67.

36. Das G, Pradhan NC, Madhu GM, et al. Removal of Cadmium from aqueous streams by zeolite Synthesized from Fly Ash. J Mater Environ Sci 2013;4(3): 410-19.

37. Salem NM, FarhanAM, Awwad AM. Biosorption of Cadmium (II) from aqueous solutions by prunusavium leaves. Am J Environ Eng 2012;2(5): 123-7.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]

Investigation of Acorn fruit Ash Efficiency in Cadmium Removal from Aqueous Solutions: Adsorption Isotherm and Kinetic Studies

Salman Zarei[1], Mahboubeh Dehvari[1], Behzad Jamshidi[2*], Mohsen Sadani[1]

1. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

2. Department of Environmental Health Engineering, Abarkouh Paramedical School, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

E-mail: behzadjamshidi65@yahoo.com

Received: 16 Mar 2014 ; Accepted: 23 Aug 2014

ABSTRACT

Background: Heavy metals are known as significant pollutants because of toxicity and nonbiodegradable characteristics. Cadmium is one of the heavy metals that have carcinogen potential. So, this study carried out in order to investigate the acorn fruit ash efficiency in cadmium removal from aqueous solutions.

Methods: This study was done in the batch laboratory conditions. In this study, the effect of different parameters including pH, contact time, adsorbent dose, and initial cadmium concentration were evaluated. The Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models were used for analysis of the equilibrium isotherm. Adsorption kinetics of cadmium by different models were also investigated. The measurement of residual cadmium in the samples was determined by atomic absorption spectrophotometry at 228.8 nm. The SPSS-16 software was used for analysis of data.

Results: According to the results, the maximum adsorption capacity of cadmium was 9.29 mg/g at pH=7 and 8 g/L adsorbent dose. The removal efficiency was increased with increasing contact time and decreased with increasing of cadmium initial concentration. Investigation of achieving data showed that the adsorption process followed better by Freundlich isotherm and the pseudo-second order kinetic.

Conclusions: According to the results of this study, it could be concluded that the acorn fruit ash had high ability in cadmium adsorption and could be used as a cheap adsorbent in the removal of cadmium.

Key words: Heavy metals, Adsorption process, Acorn fruit ash.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.18869/acadpub.jehe.2.1.54]