

## بررسی بازده حذف فلزات سرب و کادمیوم توسط گرانول مرجان آهکی از محیط آبی

رضا شکوهی<sup>۱</sup>

حمید رضا احسانی<sup>\*۲</sup>

[hamidrezauk@yahoo.co.uk](mailto:hamidrezauk@yahoo.co.uk)

منیره طرلانی آذر<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۵/۱۵

### چکیده

زمینه و هدف: با توجه به استفاده روز افزون از فرایندهای جذب سطحی در حذف آلاینده های محیط زیست، انتخاب یک ماده مناسب از جنبه های فنی و اقتصادی بعنوان جاذب یکی از دغدغه های محققان این رشته بوده است. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی کارایی گرانول مرجان آهکی در حذف فلزات کادمیوم و سرب از محیط آبی می باشد.

روش: در این تحقیق که در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفته است، ابتدا طی مراحل متعددی گرانول مرجان آهکی با مش ۳۰ تهیه شد. سپس بازده حذف فلزات در شرایط مختلف و با تغییر فاکتورهای موثر شامل pH، زمان تماس و مقدار جاذب تعیین گردید. در نهایت ایزوترم جذب یونهای فلزی بر روی جاذب مورد نظر بر اساس آزمون مدل های ایزوترم لانگمیر و فروندلیخ مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته ها: نتایج این مطالعه نشان داد حداکثر ظرفیت جذب سطحی سرب و کادمیوم بر روی گرانول مرجان آهکی در شرایط بهینه به ترتیب برابر ۳۷۰/۳ و ۱۴/۷۷ میلی گرم بر گرم می باشد. همچنین بازده حذف فلزات با زمان تماس، مقدار جاذب و pH رابطه مستقیم داشته و مناسب ترین pH جهت حذف فلزات مورد بررسی pH=۱۰ می باشد در ضمن بهترین مدل ایزوترم جذب برای کادمیوم مدل لانگمیر ( $R^2=0/9891$ ) و برای سرب مدل فروندلیخ ( $R^2=0/9909$ ) تعیین شد.

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان\* (مسئول مکاتبات).

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط - دانشکده بهداشت همدان

**نتیجه گیری:** با توجه به بازده حذف مناسب، هزینه پایین فرایند و عدم تولید مواد مضر برای محیط زیست، می توان از این ماده جهت حذف کادمیوم و سرب از پساب های صنعتی استفاده نمود. تجزیه و تحلیل داده ها و تعیین همبستگی بین متغیرها با استفاده از آنالیز رگرسیون Spearman's Non-parametric نشان داد همبستگی معنی داری بین بازده و متغیرهای مورد بررسی وجود دارد.

**واژه های کلیدی:** مرجان، سرب، کادمیوم، جذب سطحی، ایزوترم جذب.

## زمینه و هدف

فلزات سنگین از جمله رایج ترین آلاینده هایی است که معمولاً در غلظت های بالا در فاضلاب صنایع یافت می شوند و موجب آسیب به محیط های آبی و به مخاطره افتادن سلامت موجودات زنده به خصوص انسان می گردد(۱). سرب و کادمیوم جزء عناصر حیاتی و مورد نیاز بدن نبوده و تجمع آن ها در بدن موجودات زنده باعث بیماری های خطرناکی می گردد(۲). بیشترین مصرف کادمیوم (۵۰٪) در صنایع آبکاری و سپس مصرف آن در آلیاژ های کادمیوم می باشد.

کادمیوم فلزی ترانژن و سرطان زا همچنین بازدارنده فعالیت آنزیم ها از طریق مداخله در گروه های SH آنزیم ها می باشد. از طرفی به دلیل تشابه با روی جانشین آن در ساختار متالوآنزیم ها شده و فعالیت آن ها را مختل می کنند(۳،۴،۱۰). سرب عنصری فلزی فوق العاده سمی می باشد. این عنصر به طور طبیعی در محیط زیست وجود دارد ولی در اکثر موارد حاصل فعالیت های بشری از جمله باطری سازی، صنایع سرامیک و کاشی، ساخت لاستیک ها و حشره کش ها و ... می باشد. متابولیسم سرب از نظر ذخیره و انتقال در استخوان ها، مشابه کلسیم می باشد. مطالعات نشان می دهد استخوان ها، کبد و کلیه ها دارای بیشترین مقدار سرب هستند(۳). مختل شدن عملکرد فیتوپلانکتون ها به عنوان یکی از منابع مهم تولید اکسیژن در دریاها و در نتیجه بر هم خوردن تعادل موجودات آبزی از مهم ترین اثرات سرب در اکوسیستم های آبی می باشد(۵). بر این اساس حذف یا کاهش کادمیوم و سرب فاضلاب خروجی از صنایع یاد شده ر قبل از ورود به محیط زیست امری اجتناب ناپذیر و ضروری می باشد.

جذب سطحی به منظور حذف فلزات سنگین از محیط های آبی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است ولی هریک از این فرایندها محدودیت هایی از نظر فنی و اقتصادی دارند. (۱،۲،۴،۱۰).

جذب سطحی فرایندی است که در حجم های بالایی از پساب ها و فاضلاب های صنعتی به کار می رود(۶). یکی از جاذب های پر کاربرد در این زمینه کربن فعال می باشد. اما هزینه بالای مراحل فعال سازی و کم بودن قابلیت احیا، کاربرد این ماده را در مقیاس های بزرگ محدود کرده است، به طوری که صاحبان صنایع رغبت زیادی جهت تهیه و استفاده از آن نشان نمی دهند(۱۱). در سال های اخیر استفاده از جاذب های ارزان قیمت مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. جاذب هایی که به فراوانی یافت شده و در دسترس باشد و هزینه آماده سازی آن ها پایین باشد(۸،۹). خاک رنگ بر، پوسته شلتوک اصلاح شده، خاکستر حاصل از تفاله زیتون، رس های فسفاته، خاکسترهای آتشفشانی، باگاس نیشکر، تفاله ذرت، و بسیاری از مواد دیگر به عنوان جاذب مورد بررسی قرار گرفته اند (۱،۸،۱۰ و ۱۵-۱۲). هدف از انجام این مطالعه تعیین بازده استفاده از گرانول تهیه شده از پوسته آهکی مرجان به عنوان جاذب در حذف فلزات کادمیوم و سرب از محیط آبی طی فرایند جذب سطحی می باشد. مرجان ها پس از مرگ به یک توده متخلخل آهکی تبدیل می شوند. توده های مرجانی به کمک کربنات کلسیم تولید شده توسط پلیپ های کوچک تشکیل می شوند (۱۶). مجاورت با آب های گرم ساحلی خلیج فارس و برخورداری از منابع با ارزش نفتی و از سوی دیگر ورود آلاینده های ناشی از صنایع متعدد همچون پالایشگاه های نفت و فرآورده های آن باعث می شود، از توده های آهکی مرجان ها

۸۰ ppm تهیه و پس از تنظیم pH روی ۷ مقدار مشخصی از هردو جاذب مرجان به هریک از محلول ها اضافه شد. (۲۶) و برای ایجاد اختلاط بر روی دستگاه هم زن مغناطیسی قرار گرفت. سپس در فواصل زمانی معین و منظم نمونه گیری صورت پذیرفته و پس از ۱۰ دقیقه سانتریفوژ با دور ۸۰۰۰ rpm (طبق آزمایش های صورت پذیرفته بازده بهینه جداسازی فاز جامد از مایع در این زمان و دور سانتریفوژ به دست آمد)، غلظت های باقی مانده توسط دستگاه جذب اتمی قرائت و نمودار تعادل رسم گردید. جهت تعیین ایزوترم های جذب، آزمایش ها در PH=۷ و با غلظت اولیه ۸۰ mg/l (کادمیوم) و ۳۰۰ mg/l (سرب) از یون های فلزی انجام یافت.

#### یافته ها

در نمودار های ۱ تا ۸ رابطه بین متغیرهای مورد مطالعه از جمله دوز جاذب، زمان تماس، PH و غلظت اولیه و بازده حذف فلزات مورد بررسی نشان داده شده است. از نمودار های رسم شده چنین استنباط می گردد که با افزایش هریک از متغیر ها بازده حذف افزایش می یابد. حداکثر و حداقل جذب به ترتیب در pH های ۳ و ۱۰ به دست آمده است. بر اساس آنالیز همبستگی Spearman ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بین pH - بازده، زمان تماس - بازده، غلظت اولیه - بازده و غلظت جاذب و بازده برابر ۱ بوده و میزان  $< 0.01$  P-Value می باشد.

به عنوان یک جاذب در دسترس و مقرون به صرفه در کشورهای حوزه خلیج فارس از جمله ایران بهره گرفته شود.

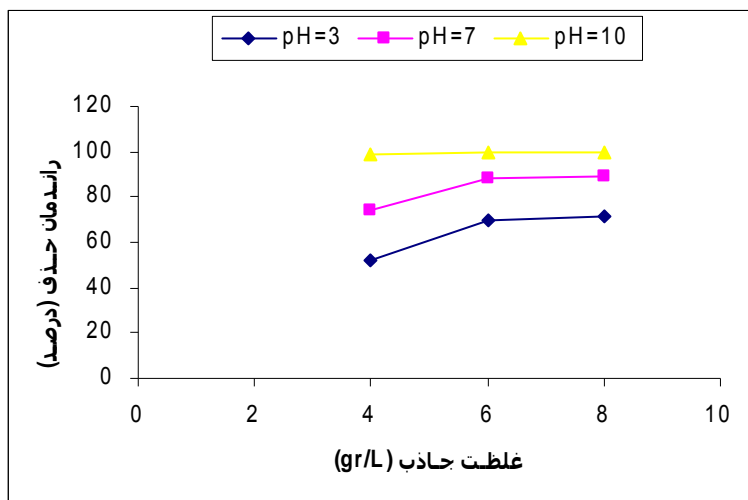
#### روش بررسی

جهت تهیه و آماده سازی گرانول های آهکی مرجان، قطعاتی از مرجان آهکی را با آب مقطر شست و شو داده و سپس جهت حذف رطوبت در دمای  $105^{\circ}\text{C}$  به مدت ۹۰ دقیقه در دستگاه آون قرار گرفت. پس از خنک شدن آن را خرد و با استفاده از الک، گرانول های مش ۳۰ تهیه شد. محلول اولیه کادمیوم از انحلال فلز خالص کادمیوم و محلول سرب از انحلال نمک نیترات سرب (II)، در آب مقطر تهیه شد. غلظت محلول های فلزی تهیه شده  $100\text{ mg/l}$  می باشد (۱۷) سپس از محلول مادر تهیه شده غلظت های استاندارد در محدوده مورد نظر فراهم گردید. و پس از تزریق به دستگاه جذب اتمی منحنی کالیبراسیون با ضریب همبستگی مناسب به دست آمد. جهت اندازه گیری غلظت فلزات از دستگاه جذب اتمی مجهز به شعله مدل Termo Jarrll ASH استفاده شد. دامنه تغییرات فاکتور های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

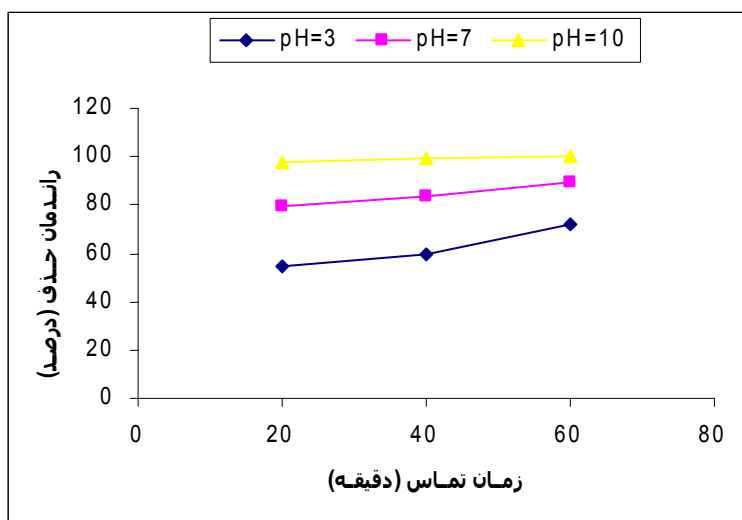
جدول ۱- دامنه تغییرات فاکتور های مورد مطالعه

متغیر	واحد	دامنه تغییرات
زمان تماس	Min	۲۰-۴۰-۶۰
غلظت سرب	gr/L	۵۰-۸۰-۱۰۰
غلظت کادمیوم	gr/L	۲۰-۵۰-۸۰
غلظت جاذب (سرب)	gr/L	۰/۶-۰/۸-۱
غلظت جاذب (کادمیوم)	gr/L	۴-۶-۸
pH	-	۳-۷-۱۰

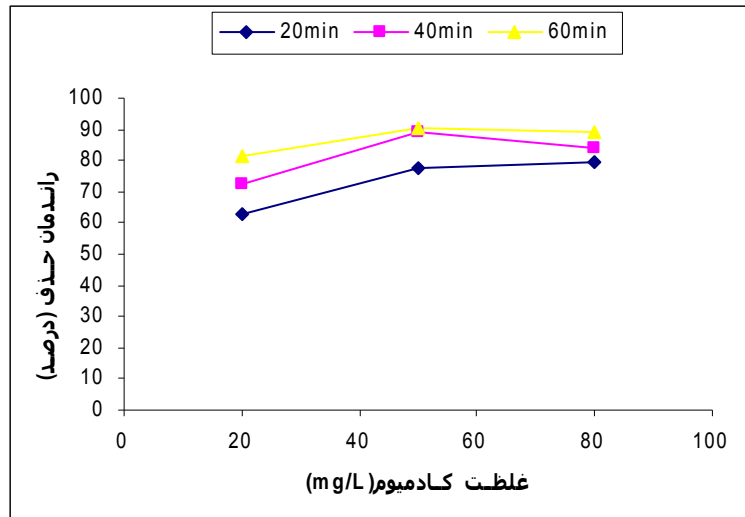
جهت تجزیه و تحلیل داده ها و تعیین رابطه همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی از آنالیز همبستگی Non-Spearman Parametri استفاده گردید. به منظور تعیین زمان تعادل جاذب، محلول فلزی از هردو فلز با غلظت



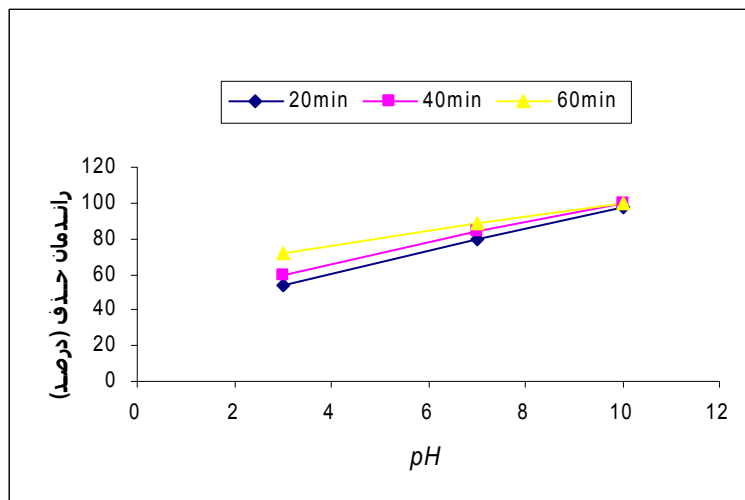
نمودار ۱- رابطه بین غلظت جاذب و بازده حذف کادمیوم



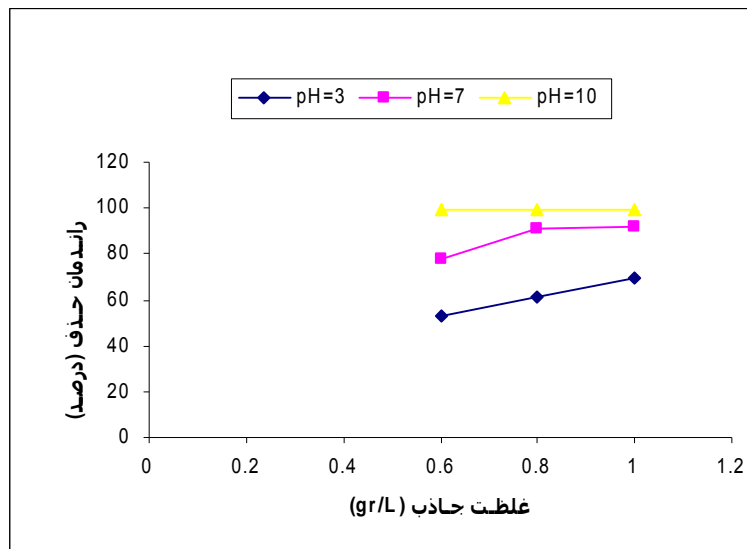
نمودار ۲- رابطه بین زمان تماس و بازده حذف کادمیوم



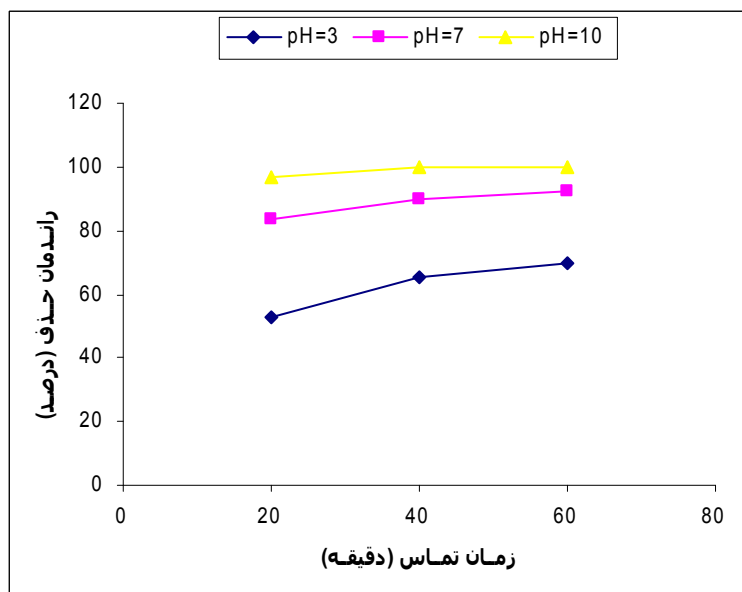
نمودار ۳- رابطه بین غلظت اولیه و بازده حذف کادمیوم



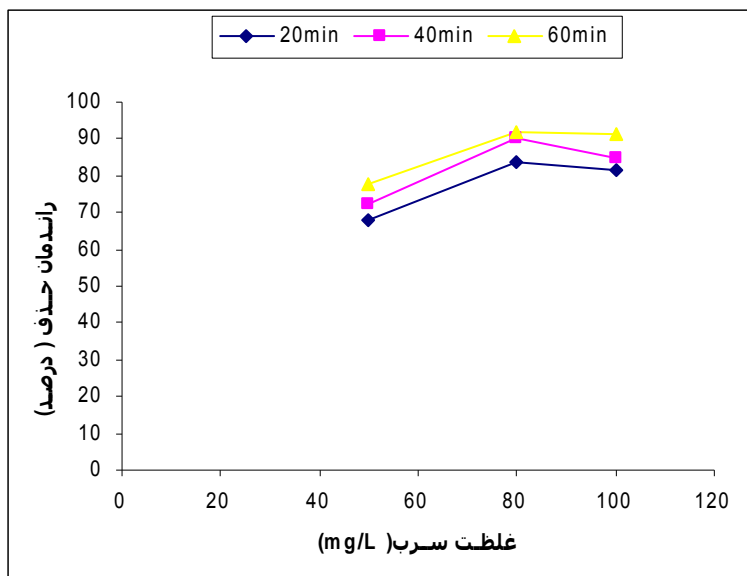
نمودار ۴- رابطه بین pH و بازده حذف کادمیوم



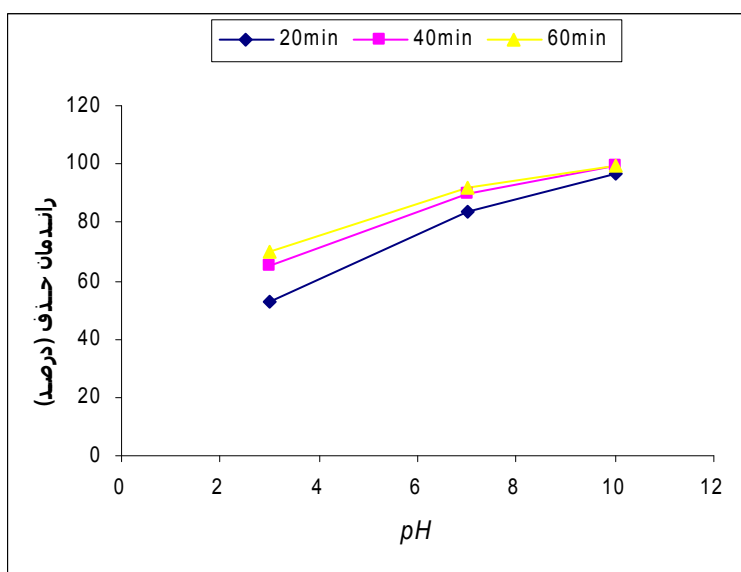
نمودار ۵ - رابطه بین غلظت جاذب و بازده حذف سرب



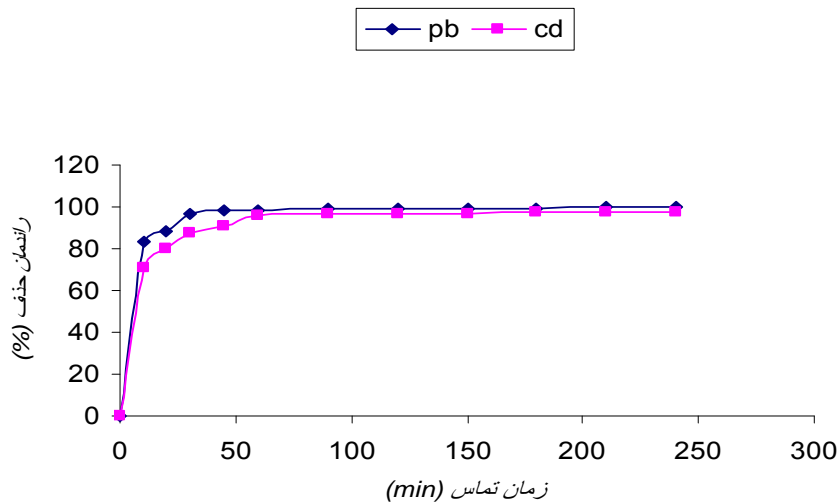
نمودار ۶ - رابطه بین زمان تماس و بازده حذف سرب



نمودار ۷- رابطه بین غلظت اولیه و بازده حذف سرب



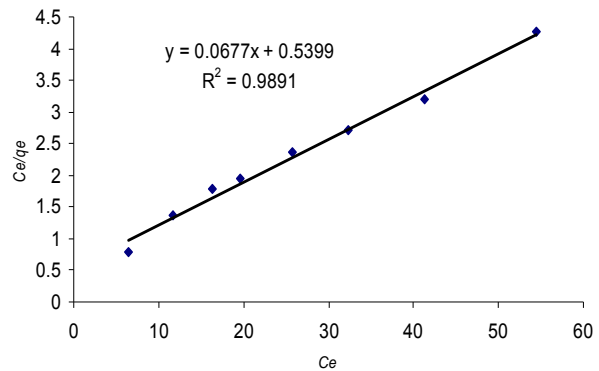
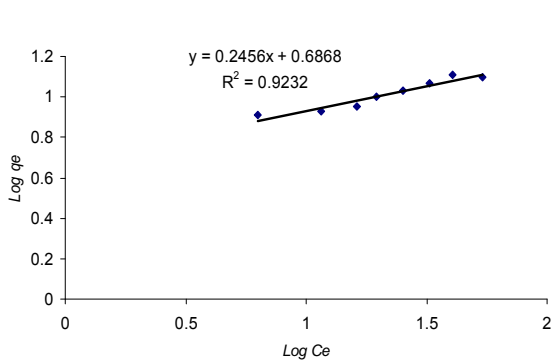
نمودار ۸- رابطه بین pH و بازده حذف سرب



نمودار ۹- زمان تعادل جذب سرب و کادمیوم بر روی گرانول مرجان آهکی (T=۲۵°C ، pH=۷)

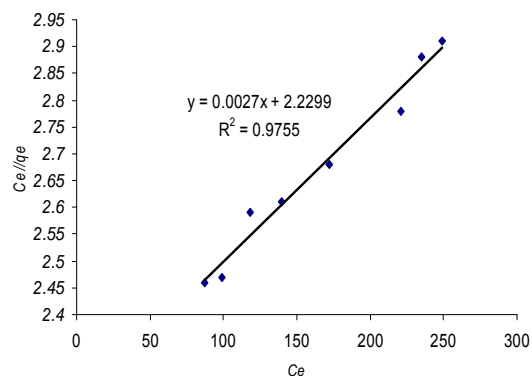
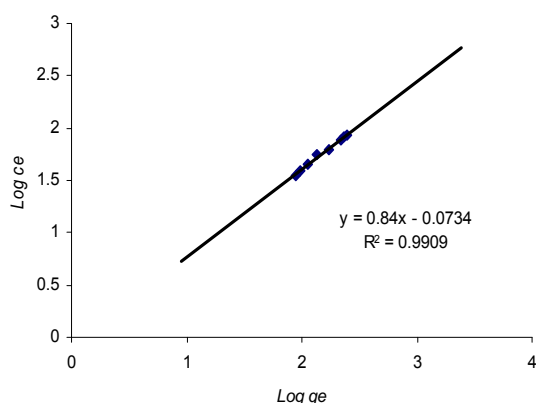
است. بهترین مدل جذب برای جذب سرب مدل فروندلیخ (R<sup>2</sup>=۰/۹۹) و برای جذب کادمیوم مدل لانگمیر (R<sup>2</sup>=۰/۹۸) می باشد.

مدل های خطی شده ایزوترم های لانگمیر و فروندلیخ بر روی داده های حاصل از آزمایشهای جذب در نمودارهای ۱۰ و ۱۱ همچنین ضرایب در جدول ۲ داده شده



نمودار ۱۰- ایزوترم جذب لانگمیر و فروندلیخ مرجان آهکی در حذف کادمیوم (T=۲۵°C ، pH=۷)





نمودار ۱۱- ایزوترم جذب لانگمیر و فروندلیخ مرجان آهکی در حذف سرب ( $T=25^\circ\text{C}$  ,  $\text{pH}=7$ )

جدول ۲- پارامترها و ضرایب همبستگی مدل های ایزوترم جذب سرب و کادمیوم بر روی مرجان آهکی

جذب کادمیوم روی مرجان	جذب سرب روی مرجان	مدل لانگمیر
۱۴/۷۷	۳۷۰/۳۷	$q_m$
۰/۱۲	۰/۰۰۱	$K_L$
۰/۹۸۹۱	۰/۹۷۵۵	$R^2$
جذب کادمیوم روی مرجان	جذب سرب روی مرجان	مدل فروندلیخ
۴/۸۶	۰/۸۴	$K_F$
۰/۲۴۵۶	۰/۸۴	$1/n$
۰/۹۲۳۲	۰/۹۹۰۹	$R^2$

### بحث و نتیجه گیری

#### بازده حذف کادمیوم و سرب

بر اساس نتایج این تحقیق در شرایطی که غلظت اولیه کادمیوم  $80 \text{ mg/l}$ ، زمان تماس ۶۰ دقیقه،  $\text{pH}=7$  و غلظت جاذب  $6 \text{ gr/l}$  بود، بازده حذف کادمیوم به میزان  $96.02\%$  حاصل شد. در مورد فلز سرب در شرایط مشابه و غلظت جاذب  $1 \text{ gr/l}$  بازده حذف به  $98.70\%$  رسید. بدیهی است دستیابی به چنین بازده بالایی بدون نیاز به تغییر یا تامین شرایط محیطی خاص و همچنین عدم ایجاد آثار سوء زیست محیطی جانبی بسیار مطلوب می باشد.

بخش دیگری از نتایج این پژوهش نشان داد که در  $\text{pH}=7$  و غلظت اولیه  $80 \text{ mg/l}$ ، ظرفیت جاذب ( $q_m$ ) برابر  $14/77$  و  $370/37 \text{ mg/gr}$  به ترتیب برای کادمیوم و سرب می باشد، این در حالی است که Yan-Hui li و همکاران با استفاده از نانو- تیوب های کربن اکسید شده با  $\text{H}_2\text{O}_2$ ،  $\text{KMNO}_4$  و  $\text{HNO}_3$  ظرفیت جذب را به میزان  $2/26$ ،  $5/1$  و  $0/1$  به دست آوردند (۲۰). نتایج مطالعات Issabayeva و همکاران ظرفیت جذب کربن فعال ساخته شده از پوست درخت خرما در حذف سرب را به میزان  $2/95 \text{ mg/gr}$  نشان داده است (۱۹).

مرجان در حذف ترکیبات ارسنیک از آب در حالت های با پوشش و بدون پوشش با آلومنیوم،  $pH = 11-2$  را مورد بررسی قرار دادند، طبق نتایج این مطالعه بعد از تعادل،  $pH$  به  $8-8.5$  می رسد و کربنات کلسیم ساختمان مرجان با حل شدن در محلول به عنوان یک بافر عمل کرده و  $pH$  محلول را ثابت نگه می دارد. بنابراین  $pH$  در بازه تاثیر ندارد و این مورد برتری نسبی مرجان نسبت به سایر جاذب ها تلقی می گردد (۱۸).

در خصوص تاثیر غلظت جاذب و بازه نتایج نشان داد، رابطه معنی داری بین غلظت جاذب و بازه وجود دارد ( $R^2 = 1$ ) و  $(P-Value < 0.01)$ ، به عبارتی در مورد هر دو فلز با افزایش غلظت جاذب، بازه افزایش می یابد. البته روند افزایش بازه به تدریج با افزایش غلظت جاذب کاهش می یابد و در یک غلظتی به حد تعادل می رسد، این حالت در در مورد کادمیوم در غلظت  $8 \text{ gr/l}$  و در مورد سرب در غلظت  $1 \text{ g/l}$  اتفاق می افتد. Garge و همکاران در مطالعه ای به منظور حذف کادمیوم توسط زیست توده زایعات کشاورزی در غلظت های  $2/5 \text{ g/l}$  و  $5, 10, 15, 20$  افزایش جذب فلز همگام با افزایش غلظت جاذب را نشان دادند (۱۴).

با توجه به نمودارهای ۳ و ۷ و ضرایب همبستگی حاصل، ملاحظه می شود، متناسب با ظرفیت جاذب و قبل از رسیدن به نقطه اشباع بین غلظت اولیه فلزات مورد مطالعه و بازه حذف ارتباط معنی داری وجود دارد ( $R^2 = 1$ ) و  $(P-Value < 0.01)$  و با افزایش غلظت اولیه فلزات، بازه حذف نیز افزایش می یابد، بدیهی است بعد از اشباع شدن ظرفیت جاذب بازه حذف کاهش پیدا می کند.

#### زمان تعادل و ایزوترم جذب کادمیوم و سرب

با توجه به نمودار نمودار ۹ زمان تعادل جذب کادمیوم در غلظت  $80 \text{ mg/l}$ ، غلظت جاذب  $6 \text{ gr/l}$  و  $pH = 7$  برابر ۱ ساعت می باشد. در مورد فلز سرب نیز زمان تعادل در شرایط مشابه و با غلظت جاذب  $1 \text{ gr/l}$  به همین میزان به دست آمد. نکته قابل توجه این است که سرعت جذب در دقایق ابتدایی

همچنین An و همکاران در تحقیقی میزان جذب کادمیوم به وسیله کربن فعال گرانولی و پودری را  $3/37 \text{ mg/g}$  به دست آورده اند. (۱۶) باتوجه به نتایج حاصل ملاحظه می شود که ظرفیت جذب مرجان جهت حذف فلزات مورد بررسی به ویژه سرب نسبت به مقادیر رایج شده بیشتر بوده و در صورت استفاده از مرجان در حذف فلزات مورد مطالعه به مقدار کم تری از ماده جاذب نیاز خواهد بود و با کاربرد مقدار جزئی از مرجان می توان بازه قابل توجهی در حذف سرب از پساب های صنعتی به دست آورد. از طرفی حجم لجن تولیدی به مراتب کم تر خواهد شد. این موضوع ضمن کاهش هزینه تصفیه و دفع لجن، از نظر بازیافت فلزات با ارزش اهمیت بیشتری دارد.

#### تاثیر متغیر های مورد مطالعه بر بازه حذف

همان طور که از نمودارهای ۴ و ۸ استنباط می شود، بین  $pH$  و بازه حذف فلزات مورد بررسی رابطه معنی داری وجود دارد ( $R^2 = 1$ ) و  $(P-Value < 0.01)$ . بازه حذف کادمیوم و سرب با افزایش  $pH$  در دامنه  $10-3$  افزایش یافته و بیشترین بازه در  $pH = 10$  به دست آمده است. با توجه به این که در  $pH$  های قلیایی ترسیب شیمیایی فلزات کادمیوم و سرب تاثیر قابل توجهی بر بازه حذف دارد، لذا نمی توان نتایج حاصل در  $pH = 10$  را صرفاً ناشی از تاثیر فرایند جذب سطحی دانست. لازم به ذکر است بازه حذف در  $pH = 7$  نیز مطلوب می باشد. نکته دیگری که در این مطالعه مشاهده شده این است که روند تاثیر  $pH$  بر بازه حذف در غلظت های مختلف یکسان است.

Elouear و همکاران در تحقیقی  $pH = 6$  را به عنوان  $pH$  بهینه برای حذف کادمیوم توسط خاکستر ضایعات زیتون به دست آوردند (۱۰). در صورتی که Kumar و همکاران در تحقیقی که بر روی سه نوع شلتوک برنج اصلاح شده به منظور حذف کادمیوم انجام دادند  $pH = 9$  را به عنوان بهترین  $pH$  برای هر سه جاذب گزارش دادند. در این شرایط بیشترین میزان حذف توسط جاذب اصلاح شده با بیکربنات سدیم، به میزان  $97\%$  به دست آمد (۲۲). Ohki و همکاران در استفاده از

همچنین با توجه به این که ضریب همبستگی Spearman بین هریک از پارامترهای مورد بررسی و بازده برابر  $(R^2=1)$  بوده و میزان  $P\text{-Value} < 0/01$  می باشد بنابراین بین متغیرهای مورد بررسی و بازده همبستگی در حد معنی داری وجود دارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود وظیفه می دانند از مسئولان و کارشناسان دانشکده بهداشت همدان که امکانات لازم برای انجام این تحقیق را فراهم آوردند، تشکر و قدردانی نمایند.

### منابع

۱. شوکتی، پورثانی، افشین، شریعت، محمود، جعفر زاده حقیقی، نعمت الله، نبی زاده، رامین، " حذف فلزات از پساب ها با استفاده مجدد از یک دور ریز، مثال موردی حذف املاح کادمیوم با استفاده از خاک رنگ بر صنایع روغن نباتی، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، بهار ۱۳۸۷، جلد ۳، شماره ۴۶-۴۱.
۲. بذرافشان، ادریس، محوی، امیر حسین، " کاربرد فرایند الکترو کواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیومی در حذف فلز کادمیوم از محیط های آبی، مجله تحقیقات علوم پزشکی زاهدان، بهار ۱۳۸۶، جلد ۷۶، شماره ۶۱.
۳. ثنایی، غلامحسین، "سم شناسی صنعتی"، ۱۳۷۶، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۱۸۴-۱۸۱ و ۲۲۳-۲۲۱.
۴. انصاری، رضا، نوروزی، بابک، فیضی، جواد، " جذب یون های سرب، جیوه، کادمیوم از محلول های آبی با استفاده از= کربن فعال، فصلنامه محیط زیست، تابستان ۱۳۸۶، جلد ۴۴، شماره ۳.

بیش تر بوده و به تدریج سرعت جذب کاهش یافته و از دقیقه ۶۰ به بعد سرعت جذب روند ثابتی را نشان می دهد. میزان حذف کادمیوم و سرب در این زمان به ترتیب در حدود ۹۶/۰۲٪ و ۹۸/۷۰٪ بود. در تحقیقی که Garge و همکاران بر روی زیست توده زایدات کشاورزی انجام دادند در غلظت ۵۰ mg/l کادمیوم، غلظت جاذب ۲۰۰۰ mg/l و  $pH=6$  بهترین زمان تماس در حدود ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شده است (۱۴). همچنین نتیجه مطالعه Ashtoukhy و همکاران در مورد تعادل جذب سرب بر روی کربن فعال تهیه شده از پوست انار، در غلظت ۵۰ mg/l سرب، غلظت جاذب ۲/۵ و ۵/۶ = pH زمان تعادل معادل ۶۰ دقیقه به دست آمد (۲۲).

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ فرایند جذب کادمیوم بیشتر با مدل لانگمیر مطابقت می کند، در صورتی که فرایند جذب سرب بیشتر با مدل فروندلیخ قابل تطبیق می باشد. در مطالعاتی که Min و همکاران بر روی خاک آره تهیه شده از سرو کوهی و نیز رضا فولادی فر بر روی پودر لجن دفعی فاضلاب شهری، در حذف کادمیوم از محیط های آبی انجام دادند تطابق مدل لانگمیر را در جذب سطحی کادمیوم اعلام کردند (۹ و ۲۴). Issabayeva و همکاران در مطالعه ای که با استفاده از کربن فعال ساخته شده از چوب درخت خرما در حذف سرب انجام دادند، تطابق مدل جذب سرب را با مدل لانگمیر نشان دادند (۲۱). همچنین در تحقیقاتی با موضوع مشابه از سوی ملکوتیان و همکاران با استفاده از لیکا و مهراستی با استفاده از پوست موز اصلاح شده، جذب فلزات کادمیوم و سرب با مدل فروندلیخ تطبیق بیشتری داشته است (۹، ۲۴). Ohki و همکاران نیز در استفاده از مرجان آهکی در حذف ترکیبات آرسنیک در دو حالت با پوشش و بدون پوشش تطابق مدل فروندلیخ را با نتایج خود عنوان کردند (۱۸).

به طور کلی نتایج نشان داد که پوسته مرجان آهکی ظرفیت بالایی جهت جذب هردو فلز مورد مطالعه در شرایط خنثی و قلیایی دارد و با توجه به عدم نیاز به هزینه فعال سازی و ایمن بودن فرایند از نظر زیست محیطی می توان از این جاذب در حذف فلزات سنگین از محیط های آبی بهره گرفت.

- hazardous materials J, vol. 136, pp. 654-662
13. Esmaili, a., Nsseri, S., Mahvi, A.H., Atash-Dehghan, R., 2005. Adsorption of lead and zinc Ions aqueous solutions by volcanic ash soil. Mining and the Environment conference , ontario , canada
  14. Garg, U., Kaur, M.P., Jawa, A.K., Sud, Dhiraj, Garg, V.K., 2008. Removal of cadmium from aqueous solution by adsorption on agricultural waste biomass. J. of hazardous materials, vol. 154, pp. 1149-1157
  15. Low, K.S., Lee, C.K., Liew, S.C., 2003. Sorption of cadmium and lead from aqueous solution by spent grain. J. process biochemistry, vol. 36, pp. 59-64
  16. An, .H. K ., park, B. Y., kim, D S., 2001. Carb shell fr the removal of heavy metals from aqueous solution. Water Res, vol. 35, pp, 3551-3556
  17. APHA, AWWA, WEF, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 1998, 20th ed., American Public Health Association Publishers, USA.
  18. Akira, O., Nakaya chigo, K., Naka, K., Maeda, S., 1996. Adsorption of in organic and inorganic compounds by aluminium-loaded coral. Applied organo metal chemistry, Vol. 10, pp. 747-752
  19. Haque, N., Morrison, G., Cano-Aguilera, I., 2008. Iron -modified light expanded clay aggregate for the removal of arsenic from groundwater. Microchemical J, pp, 887-894
  20. Li, Y., Wang, Sh., Luan, Z., Ding, J., 2002. Adsorption of cadmium (II)
  ۵. نیک آذر، منوچهر، نوربخش، نوید، "حذف فلزات سنگین کادمیوم، سرب، کروم از محلول های آبی توسط کربن اکتیو تهیه شده از ضایعات کشاورزی (سبوس، برنج، سبوس گندم، کاه)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، بهار ۱۳۸۵، جلد ۲۸، شماره ۳۵.
  ۶. شکوهی، رضا، "تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی"، ۱۳۸۷، همدان، انتشارات فن آوران، شماره ۱۳۳.
  ۷. مهراسبی، محمدرضا، فرهمندکیا، زهره، "حذف فلزات سنگین از محیط آبی توسط جذب سطحی بر روی پوست موز اصلاح شده، مجله سلامت و محیط، ۱۳۸۷، جلد اول، شماره ۶۶-۵۷.
  ۸. شاه محمدی حیدری، زمان، معاضد، هادی، جعفر زاده حقیقی، نعمت الله، سعادت نغمه، "کاربرد پوسته شلتوک اصلاح شده در حذف کادمیوم از محیط های آبی در غلظت های پایین، مجله علمی پژوهشی آب و فاضلاب، پاییز ۱۳۸۷، جلد ۶۷، شماره ۲۷.
  ۹. فولادی فرد، رضا، عظیمی، علی اکبر، بیدهندی، غلامرضا، "بررسی جذب فلز کادمیوم توسط پودر لجن دفعی فاضلاب شهری در راکتور ناپیوسته، مجله آب و فاضلاب، پاییز ۱۳۸۷، جلد ۶۷، صفحه ۲.
  10. Elouear, Z., Bouzid, J., Boujelben, N., Feki, M., Montiel, A., 2008, The use of exhausted olive cake ash (EOCA) as a low cost adsorbant for removal of toxic ions from aqueous solutions. Fuel, vol. 87, pp. 2582-2589
  11. Sharam, Y.C., 2008. Thermodynamics of removal of cadmium by adsorption on an indigenous clay, Chemical Engineering J, pp. 64-68
  12. Singh, S.P., Ma, L.Q., Hendry, M.J., 2006. Characterization of aqueous lead removal by phosphatic clay,

- Bioreource technology, vol. 97, pp, 104-109
24. Min, S.H., Han, J.S., Shin, E.W., Park, J.K., 2004. Improvement of cadmium ion removal by base treatment of juniper fiber. *J. Water research*, vol 38, pp, 1289-1295
25. Malaakootian, M., Nouri, J., Hossaini, H., 2009. Removal of heavy metals from paint industry wastewater using Leca as an available adsorbent, *int J. Environ. sci. Tech*, vol6(2), pp. 183-190
- from aqueous solution by surface oxidized carbon nanotubes. *Carbon Bultin*, vol. 41. Pp. 1057-1062
21. Issabayeva, G., Kheireddine Aroua, M., Merriam, N., 2006. Removal of Lead from aqueous solution on palmshell activated carbon, *J. Bioreource Technology*, vol 971, pp , 2350-2355
22. EL-Ashtokhy, E., Amin, N., Abdoelwahab, O., 2008. Removal of Lead (II) and Copper (II) from aqueous solution using pomegranate peel as a new adsorbent, *J. Desalination*, vol. 223, pp, 167-173
23. Kumar, U., Bandyopadhyay, M., 2008. Sorption of cadmium from solution using pretreated rice husk, *J.*