

## بررسی انتقال فلزات سمی از سد باطله کارخانه بوکسیت جاجرم و کاهش فلزات به کمک کربن فعال

مهیارمشتاق<sup>۱</sup>؛ احمد خدادادی<sup>۲\*</sup>؛ سید محمدجواد کلینی<sup>۳</sup>؛ هدی عرب یارمحمدی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، mahyar.moshtagh@modares.ac.ir  
 ۲- دانشیار، عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس، akdarban@modares.ac.ir  
 ۳- دانشیار، عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس، koleini@modares.ac.ir  
 ۴- دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، h.arabyarmohammadi@modares.ac.ir

(دریافت ۷ آبان ۱۳۹۲، پذیرش ۲۴ آذر ۱۳۹۴)

### چکیده

آلودگی ناشی از سدهای باطله از مهم‌ترین معضلات صنایع معدنی بوده و مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را ایجاد می‌کند. در این میان فلزات سنگین نقش عمده‌ای را در نابودی و تخریب زیستگاه‌های طبیعی داشته و همچنین اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان‌ها دارند. در این مطالعه ضمن بررسی عوامل موثر در انتقال فلزات سمی از سد باطله کارخانه بوکسیتی جاجرم، کاهش آن با استفاده از کربن فعال مورد ارزیابی قرار رفته است. در بخش اول مقاله حاضر به بررسی پارامترهای مؤثر در انتقال فلزات آلاینده در سد باطله پرداخته شده است. در ادامه با انجام آزمایش‌های مربوط به فروشویی مخزنی مشخص شد از بین عناصر سنگین تنها وانادیوم غلظت بالایی دارد که در pH برابر با ۱۲، دمای برابر با ۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۸ ساعت و نسبت فاز جامد به مایع ۱ حداکثر میزان انتقال آن به محلول اتفاق می‌افتد. حداکثر میزان جذب وانادیوم توسط کربن فعال در pH برابر با ۷، زمان ۶ ساعت و غلظت کربن ۰/۶ گرم به دست آمده است.

### کلمات کلیدی

وانادیوم، کربن فعال، فروشویی مخزنی، فلزات سنگین

## ۱- مقدمه

پایین خطرناک و سمی باشد اطلاق می‌شود [۵]. برخی دیگر از محققین عبارت "فلزات سنگین" را بیشتر برای فلزات و شبه‌فلزات با دانسیته بیشتر از چهار یا پنج به کار برده‌اند [۶-۸]. به‌طور کلی فلزات سنگین شامل سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، جیوه (Hg)، آرسنیک (As)، نقره (Ag)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، جیوه (Hg)، وانادیوم (V) می‌باشند.

## ۲- پیشینه تحقیق

از روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی استفاده می‌شود. جدول ۱-۲ مقایسه‌ای بین برخی از این روش‌ها را نشان می‌دهد [۱۰]. در حالت کلی روش‌های حذف فلزات سنگین (از قبیل وانادیوم) شامل موارد زیر می‌باشند [۱۴-۱۱]:

- شستشو با عامل‌های شیمیایی غیر برجا (خاک- برداری)
- شستشو با عامل‌های شیمیایی برجا
- روش‌های پایدارسازی به‌منظور کاهش حلالیت فلزات سنگین
- پوشش آلودگی‌های سطحی با خاک‌های تمیز
- روش‌های رقیق‌سازی
- استفاده از مواد آلی از جمله چوب‌های درختان و غیره.

مجموعه‌ای از روش‌ها به‌منظور کاهش pH، هم در پسماند و هم در آب‌های خروجی از کارخانه به‌کار گرفته می‌شود. روش‌هایی مانند در تماس گذاشتن پساب خروجی با آب دریا به‌منظور ترسیب یون‌های هیدروکسید، کربنات، آلومینات به همراه اضافه کردن منگنز و کلسیم، و یا دی-اکسید کربن به‌منظور کاهش کربنات کلسیم و کلسیم آلومینوکربنات پیشنهاد شده است. استفاده از اسیدهای معدنی قوی به‌منظور کاهش قلیائیت نهرها بازدهی خوبی دارد [۱۷-۱۵]. از سولفات کلسیم و آهن به‌منظور بهبود اسیدیته گل قرمز نیز استفاده می‌شود [۲۰-۱۸]. استفاده از مواد اصلاح‌کننده آلی مثل لجن فاضلاب‌ها موجب افزایش مواد آلی در خاک شده که می‌تواند سبب بهبود یافتن ساختار خاک و افزایش حاصل‌خیزی شود [۲۱، ۲۲].

توسعه صنایع معدنی منجر به تولید مقادیر زیادی از مواد باطله و محصولات جانبی بی‌ارزش شده که خود موجب پدید آمدن مشکلات زیست محیطی مختلف است. در طی سال‌های بهره‌برداری از معادن، به‌تدریج کیفیت کانسنگ در اثر استخراج ذخایر پرعیارت، کاهش یافته و در نتیجه میزان باطله تولید شده افزایش می‌یابد. انباشت باطله‌ها، به‌ویژه باطله‌های حاصل از مراحل مختلف فرآوری، از منابع مهم ایجاد مشکلات زیست محیطی ناشی از معدن-کاری محسوب می‌شوند، بسیاری از این باطله‌های معدنی سمی بوده و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم روی محیط زیست اثر می‌گذارند. در صورتی که باطله‌ها به درستی کنترل نشوند، مواد مضر آن‌ها وارد آب‌های سطحی و زیرسطحی شده و منطقه وسیعی را آلوده می‌سازند [۱]. باطله‌های معدنی به سه دلیل با سایر باطله‌های صنایع دیگر متفاوت است:

- ۱- باطله‌های معدنی اغلب هوازده نیستند و بنابراین در ابتدا حاوی کانی‌های غیر اکسید شده که ممکن است بعد از اکسید شدن، زهاب‌های اسیدی معدن را به وجود آورند.
- ۲- باطله‌های معدنی حاوی مواد آلی نیستند؛ بنابراین مواد مغذی که اغلب در خاک یافت شده و برای رشد گیاه لازم است را در خود ندارند.

۳- باطله‌ها ممکن است غلظت بالایی از فلزات سنگین و معرف‌های اضافه شده در آسیاها و فلوتاسیون را در خود داشته باشند، که در این صورت منابع بالقوه‌ای برای آلاینده‌ها می‌باشند [۲]. مهم‌ترین آلودگی که کارخانه‌های فرآوری تولید می‌کنند، آلودگی مربوط به فلزات سنگین بوده و محل‌های دیو و سدهای باطله مهم‌ترین نقاط برای انتشار فلزات سنگین است.

## ۱-۱- فلزات سنگین

فلزات سنگین موجود در خاک یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط زیستی را در سراسر جهان ایجاد کرده است [۳، ۴]. طبق تعریف، عبارت "فلز سنگین" به هر عنصری که دارای چگالی بالا بوده و در غلظت‌های حتی

جدول ۱: مخاطرات بهداشتی فلزات سنگین [۹].

نام عنصر	اثرات سوء
کادمیوم	تجمع در کلیه‌ها، پیدایش امراض قلبی و فشار خون، دردهای استخوانی، اسهال، سرطان پروستات
باریم	افزایش فشار خون، تحریک ماهیچه‌های قلب، بروز تشنج، ضایعات عصبی، بروز سرطان
جیوه	تجمع در کبد و کلیه، ایجاد مسمومیت در مغز، اختلال در اعصاب تا در حد مرگ
کروم	ورم ریه، ایجاد حساسیت‌های پوستی
مس	کم خونی در اطفال، ایجاد ناراحتی‌های کبدی، تهوع و استفراغ
سرب	ایجاد دردهای استخوانی، تهوع و استفراغ، فلج، اختلالات مغزی
آرسنیک	سرطان پوست و ریه، کم شدن وزن، اسهال، تورم بدن
نیکل	سرطان ریه، تورم بدن
کبالت	عامل گواتر و فشار خون
قلع و وانادیوم	ایجاد عارضه در حلق، بینی و گلو

جدول ۲: روش‌های مختلف برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی.

روش	مزایا	معایب
تبادل یونی	قابلیت بازیابی بالای مواد مصرفی، عملکرد انتخابی	هزینه بالا، کاربرد محدود (برخی یون‌ها)
روش‌های الکتروشیمیایی	عملکرد انتخابی، بدون مصرف مواد شیمیایی، می‌توان به فلز خالص دست یافت	هزینه سرمایه‌گذاری بالا، هزینه عملیاتی بالا، ثابت ماندن pH و چگالی جریان اولیه
جذب روی کربن فعال	بیشتر فلزات را می‌توان حذف نمود راندمان بالا (۰/۹۹)	هزینه بالای کربن فعال، عدم بازیابی مواد و میزان راندمان آن بستگی به نوع جاذب دارد
زئولیت‌های طبیعی	بیشتر فلزات را می‌توان حذف نمود مواد نسبتاً ارزان	راندمان پایین
فرایندهای غشاء و ترافیلتراسیون	تولید باطله جامد کمتر، مصرف کم مواد شیمیایی راندمان بالا (بالای ۰/۹۵)	هزینه اولیه و عملیاتی بالا، نرخ پایین جریان، در حضور دیگر فلزات میزان حذف پایین می‌آید
کواگولاسیون شیمیایی	کاربرد برای بیشتر فلزات، ته‌نشست لجن، آگیری	هزینه بالا، مصرف بالای مواد شیمیایی
ترسیب شیمیایی	روش انجام ساده، ارزان	تولید زیاد لجن، مشکلات عملیاتی

### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- سد باطله کارخانه آلومینای جاجرم

کارخانه بوکسیت جاجرم در ۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان جاجرم و در جنوب شرقی استان خراسان شمالی قرار گرفته است. میزان گل قرمز تولیدی در مجتمع سالانه یک میلیون تن برآورد شده است. سد باطله کارخانه از نوع حلقه‌ای بوده و شامل چهار باند به شکل مستطیل است. گل قرمز تولید شده در کارخانه توسط لوله‌هایی به سد باطله که در ۳ کیلومتری شرق کارخانه قرار دارد، وارد می‌شود (شکل ۱).

#### ۳-۲- خصوصیات فیزیکی گل قرمز

برای اندازه‌گیری برخی از خواص فیزیکی گل قرمز از قبیل چگالی ویژه، درصد جامد، تخلخل و غیره، ابتدا یک استوانه مدرج ۲۵۰ میلی لیتری وزن شده و تا حجم ۲۵۰ میلی لیتر از گل قرمز پر می‌شود. استوانه و گل قرمز موجود در آن مجدداً توزین می‌شوند، تا وزن خالص گل به دست آید. سپس آنقدر آب بر روی گل قرمز ریخته می‌شود تا حجم گل بر روی ۱۵۰ میلی لیتر ثابت شود (در حالت اشباع). با توجه به روابط زیر برخی از خواص گل قرمز محاسبه شده و در جدول ۵ آمده است.

حجم فضای خالی - حجم کلی = حجم ویژه

حجم کل / وزن کل = چگالی حجمی

حجم ویژه / وزن کل = چگالی ویژه

حجم کل / حجم فضای خالی = تخلخل

جدول ۳: پارامترهای مؤثر در انتقال فلزات سنگین در سد باطله و حد بالا و پایین آن‌ها.

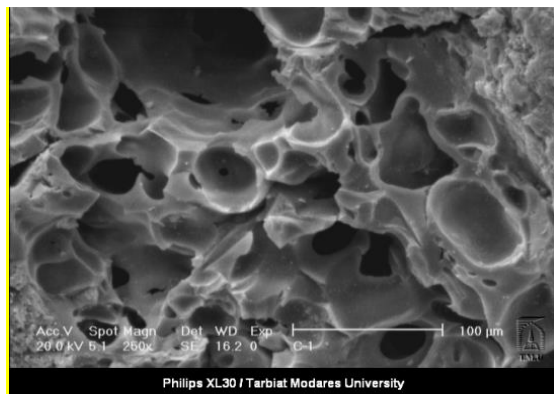
پارامترها	سطح پایین	سطح بالا
pH	۸	۱۱
دمای (درجه سانتیگراد)	۲۰	۵۰
نسبت مایع به جامد	۱	۱۰
زمان (ساعت)	۰/۵	۸

### ۳-۴- کربن فعال

برای به دست آوردن کربن فعال شده ابتدا پوست نارگیل را در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت توسط هیدروژن پراکسید ۱۰ درصد عمل آوری شد و سپس توسط آب به-سرعت شسته، در دمای ۱۰۰ درجه خشک و سرد شده و دوباره در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت زمان ۳ ساعت فعال شد. این محصول تا زمان استفاده در دسیکاتور قرار داده شد. شکل ۲ کربن فعال به کار گرفته شده را نشان می‌دهد.

### ۳-۴-۱- استفاده از کربن فعال برای جذب وانادیوم از محلول

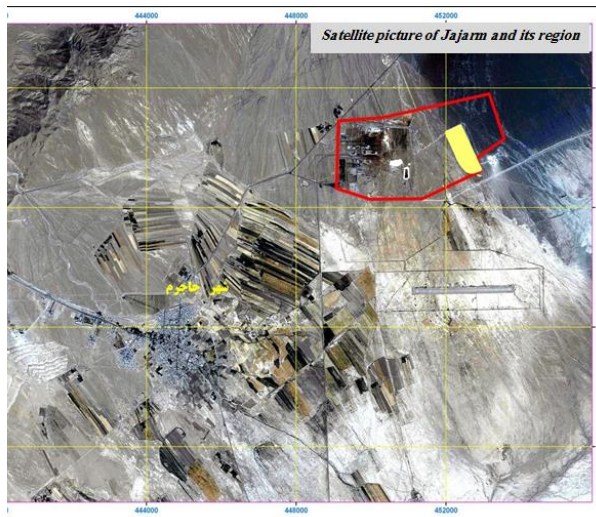
به منظور حذف وانادیوم از محلول توسط کربن فعال سه پارامتر مقدار کربن فعال، pH و زمان در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۴ حد بالا و پایین هر یک از این پارامترها را نشان می‌دهد.



شکل ۲: تصویر SEM نمونه به کار گرفته شده زغال فعال در فرایند جذب.

جدول ۴: پارامترها و حد بالا و پایین آن‌ها برای جذب وانادیوم از محلول توسط کربن فعال.

نام پارامتر	حد بالا (گرم)	حد پایین (گرم)
غلظت (جاذب) گرم	۰/۶	۰/۱
pH	۸	۱۳
زمان (ساعت)	۱	۶



شکل ۱: تصویر ماهواره‌ای از شهر جاجرم، محدوده کارخانه (به رنگ قرمز) و سد باطله آن (به رنگ زرد).

### ۳-۳- آزمایش فروشویی مخزنی

در آزمایش‌های فروشویی مخزنی از دستگاه حمام آب (به منظور تنظیم و یکنواخت کردن دمای انحلال) به همراه همزن- موتور الکتریکی، pH متر و بشر استفاده شده است. به منظور اسیدی کردن محلول از اسید سولفوریک ۳۳ درصد و به دلیل این که سود در فرایند فروشویی تحت فشار بوکسیت به کار می‌رود و بخشی از آن مورد بازیابی قرار نگرفته و وارد سد باطله می‌شود از این ماده برای قلیایی کردن محلول نیز استفاده شده است. در هر یک از آزمایش‌های انجام شده در حمام آب مقدار ۲۰ گرم نمونه برای انجام آزمایش وارد تانک فروشویی شده است.

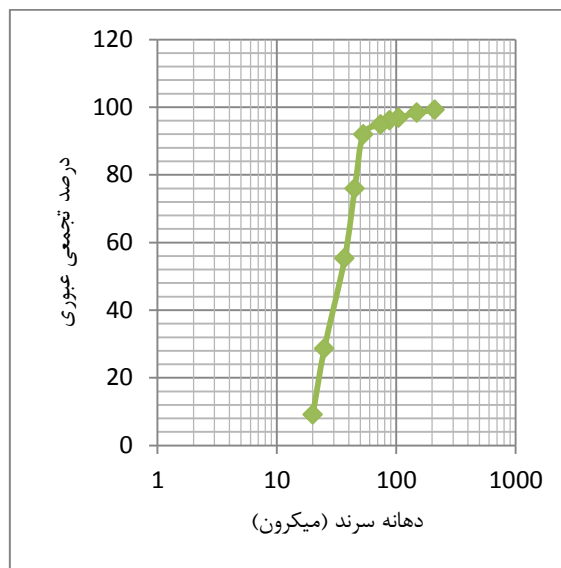
### ۳-۳-۱- طراحی آزمایش

با مطالعه منابع گذشته مشخص شد چهار پارامتر دما، pH، زمان و نسبت فاز جامد به مایع بیشترین تأثیر را در انتقال فلزات سنگین از حالت جامد به حالت محلول دارند. در این بررسی از نرم افزار طراحی آزمایش (DX7) و روش پاسخ سطح (CCD) برای طراحی آزمایش استفاده شده است. در جدول ۳ پارامترهای مؤثر در انتقال فلزات سنگین در سد باطله به همراه مقادیر بالا و پایین هر یک از این پارامترها آورده شده است.

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱- نمونه برداری و آنالیز گل قرمز

از سد باطله کارخانه بوکسیت جاجرم ۱۲ نمونه گل از نقاط مختلف آن گرفته شد و همگن سازی شده است. با انجام آنالیز دانه بندی نمونه همگن شده  $d_{80}$  نمونه به دست آمده ۴۸ میکرون به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۳: آنالیز سرندهی گل قرمز.

جدول ۵: خصوصیات فیزیکی گل قرمز.

۱۵۰	حجم کلی (میلی لیتر)
۱۲۲/۴۵	وزن (گرم)
۸۵/۵۱	حجم فضای خالی (میلی لیتر)
۶۴/۴۹	حجم ویژه (میلی لیتر)
۰/۸۱۶	چگالی حجمی (گرم بر میلی لیتر)
۱/۹	چگالی ویژه (گرم بر میلی لیتر)
۰/۴۳	درصد جامد
۰/۵۷	تخلخل

۴-۱-۱- آنالیز XRD گل قرمز

جدول ۶ آنالیز XRD نمونه گل قرمز سد باطله کارخانه بوکسیت جاجرم را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود آلومینیوم موجود در سد باطله در ترکیبات هیدروسلیکاتهای سدیم و کلسیم قرار گرفته است. آهن موجود در سد باطله نیز به صورت اکسیدی- هیدروکسیدی (هماتیتی و گوتیتی) است. همچنین تیتانیوم در ترکیبات ایلمینیت و آناتاز در گل قرمز موجود است.

جدول ۶: آنالیز XRD نمونه گل قرمز.

فرمول شیمیایی	نام کانی (فاز)
$Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-x}(OH)_4x$ $=x(1/5 - 3)$	کائولینیت
$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	کائولینیت
$Fe_2O_3$	هماتیت
$CaCO_3$	کلسیت
$FeO(OH)$	گوتیت
$Na_8(Al_6Si_6O_{24})Cl_2$	سودالیت
$TiO_2$	آناتاز
$TiO_2$	روتیل
$FeTiO_3$	ایلمینیت

۴-۱-۲- آنالیز XRF گل قرمز

جدول ۷ آنالیز XRF نمونه گل قرمز گرفته شده از سد باطله را نشان می دهد. البته آنالیز XRF دقت بالایی نداشته، اما به کمک آن می توان میزان فراوانی عناصر موجود در سد باطله را مشخص کرد. همان طور که از جدول ۵ مشاهده می شود، عناصر آهن، کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و تیتان بالاترین میزان غلظت را در گل قرمز داشته اند.

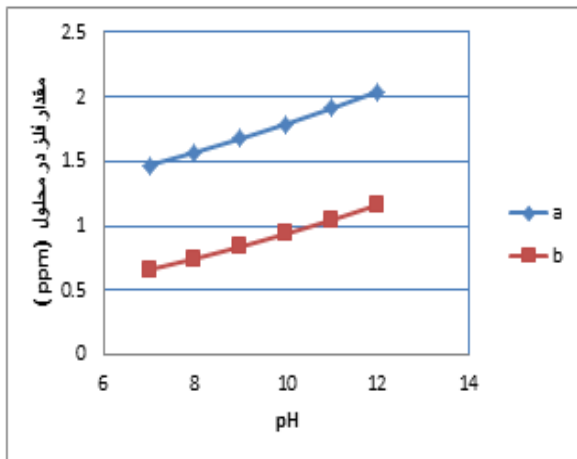
جدول ۷: آنالیز XRF نمونه گل قرمز سد باطله.

نام عنصر (به صورت اکسیدی)	غلظت (%)
$Al_2O_3$	۱۶/۲۱
$SiO_2$	۱۹/۶۲
$CaO$	۲۵/۳۱
$Fe_2O_3$	۲۸/۰۲
$TiO_2$	۶/۸۷

با توجه به غلظت عناصر به دست آمده توسط دستگاه ICP، چهار عنصر کبالت، نیکل، آرسنیک و منگنز به منظور انجام آنالیزهای بعدی و کاهش آن ها از گل قرمز انتخاب شده اند. در جدول ۸ آنالیز ۱۳ نمونه را نشان می دهد. این آنالیزها مربوط به عناصر نیکل، منگنز، آرسنیک، کروم، کبالت، اورانیوم، تیتانیوم و آهن است. همان طور که مشاهده می شود، این فلزات در شرایط مختلف آزمایشگاهی به فاز مایع منتقل نشده اند.

جدول ۸: آنالیز غلظت عنصر راه یافته به محلول.

شماره تست	پارامترهای مؤثر				غلظت عناصر سنگین (ppm)							
	دما (درجه سانتیگراد)	pH	زمان (ساعت)	نسبت (مایع به جامد)	As	Co	Cr	Fe	Mn	Ti	Ni	U
۱	۵۰	۱۱	۳	۱۰	Nd	Nd	۰/۰۰۶	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
۲	۲۰	۸	۳	۱۰	Nd	Nd	۰/۰۰۶	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
۳	۵۰	۸	۸	۴	Nd	Nd	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	Nd	Nd	Nd	Nd
۴	۲۵	۹/۵	۱۰/۵	۷	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
۵	۲۵	۱۲/۵	۵/۵	۷	Nd	Nd	۰/۰۰۴	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
۶	۲۰	۱۲	۳	۷	Nd	Nd	۰/۰۰۳	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
۷	۲۰	۱۲	۸	۴	Nd	Nd	۰/۰۰۲	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
۸	۲۰	۸	۸	۴	Nd	Nd	Nd	Nd	۰/۰۰۶	Nd	Nd	Nd
۹	۲۰	۱۱	۰/۵	۱	Nd	Nd	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱	Nd	Nd	Nd	Nd
۱۰	۲۰	۸	۸	۱	Nd	Nd	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	Nd	Nd	Nd	Nd
۱۱	۵۰	۹	۸	۵	Nd	Nd	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	Nd	Nd	Nd
۱۲	۲۰	۵	۱۰	۳	Nd	Nd	۰/۰۰۷	Nd	۰/۰۰۱	Nd	Nd	Nd
۱۳	۲۵	۴	۵/۵	۷	Nd	Nd	۰/۰۱۲	Nd	۰/۰۰۲	Nd	Nd	Nd



شکل ۵: اثر pH بر روی انحلال وانادیوم (a: نسبت مایع به جامد = ۱، دما = ۵۰°C، زمان = ۷ ساعت  
b: نسبت مایع به جامد = ۵، دما = ۳۰°C، زمان = ۷ ساعت).

#### ۴-۲-۲- اثر زمان

شکل ۶: اثر زمان را بر روی انحلال وانادیوم (در زمان های ۱ تا ۸ ساعت) در مقادیر مختلف نسبت مایع به جامد، دما و pH نشان می دهد.

#### ۴-۲- بررسی پارامترهای مؤثر در انتقال وانادیوم به فاز محلول

در این مطالعه سه پارامتر زمان، pH، دما و نسبت فاز مایع به جامد بررسی شد، که در قسمت های زیر به بررسی هر یک از این عوامل پرداخته می شود. حداکثر حد مجاز وانادیوم در پساب کارخانه ها ۰/۱ ppm است. اما در دما و pH های بالا این مقدار در پساب کارخانه بوکسیت جاجرم بیش از ۱/۵ ppm است. در آزمایش های مربوط به حذف وانادیوم از محلول، از محلول حاوی ppm ۱ وانادیوم استفاده شده است.

#### ۴-۲-۱- اثر pH

شکل ۵ اثر pH را در دو مقدار مختلف دما، زمان و نسبت فاز مایع به جامد نشان می دهد. همان طور که در این شکل ملاحظه می شود، افزایش pH سبب افزایش میزان انحلال وانادیوم شده است. افزایش pH موجب می شود که وانادیوم ۴ ظرفیتی نسبت به وانادیوم ۵ ظرفیتی بیشتر در محلول قرار گیرد. همچنین از شکل بالا نیز می توان نتیجه گرفت، کاهش نسبت فاز مایع به جامد و افزایش دما سبب بالا رفتن میزان انحلال وانادیوم می شود.





که علاوه بر استفاده از جاذبها و ترسیب کننده‌های شیمیایی باید قبل از ورود پالپ به سد باطله از موادی استفاده شود که pH پالپ را کاهش دهد. به عنوان مثال استفاده از سولفات آهن علاوه بر کاهش pH محلول ( به دلیل تشکیل اسید سولفوریک)، به علت حضور نمک‌های آهن در pH بالا سبب ترسیب همزمان فلزات از جمله وانادیوم خواهد شد.

### منابع

[1]. Nriagu JO, A History of Global Metal Pollution. Science, New Series, 1996. 272: p. 223-224.

[2]. Sedaqat Behzad; Analyzing effective factors on the transfer of hazardous waste leaching plant on the environment, Master Thesis, Tarbiat Modares University of Tehran, Fall of 2008.

[3]. Doumett S, L.L., Checchini L, Azzarello E, Mugnai S, Mancuso S, Petruzzelli G, Del Bubba M., Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. Chemosphere, 2008. 72: p. 1481-1490.

[4]. Jafar N, Aliakbar B, Elham A, Regional Pattern Distribution Of Groundwater Fluoride In The Shush Aquifer Of Khuzestan Country, Iran. Department of Environmental Health Engineering and Center for Environmental Research, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, 2006. 39: p. 321-325.

[5]. Lenntech, R., Water Treatment and Air Purification. Water Treatment, 2004, Published by Lenntech, Rotterdamseweg, Netherlands.

[6]. Hutton M, Symon C, The Quantities of Cadmium, Lead, Mercury and Arsenic Entering the U.K. Environment from Human Activities. The Science of the Total Environment, 1986. 57: p. 129-150.

[7]. Nriagu JO, Pacyna J, Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soil by Trace Metals. Nature, 1988. 333: p. 134-139.

[8]. Garbarino JR, Hayes H, Roth D, Antweider R, Brinton TI, Taylor H, Contaminants in the Mississippi River, U. S. 1995. Geological Survey Circular 1133, Virginia, U.S.A.

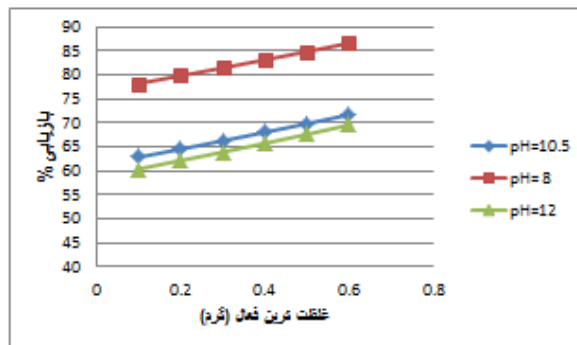
[9]. Strategic Planning and Monitoring of Vice President. "Environmental criteria of reuse water

با توجه به نمودارهای به دست آمده در زمان‌های ۱ تا ۶ ساعت می‌توان گفت که هرچه زمان افزایش یابد، میزان جذب نیز افزایش خواهد یافت. همچنین از نمودارهای بالا می‌توان نتیجه گرفت که اثر زمان بر روی جذب وانادیوم از محلول توسط کربن فعال نسبت به دو پارامتر دیگر تأثیر کمتری را دارد. در مقادیر بالای pH اثر زمان تأثیر بر روی جذب وانادیوم از محلول ندارد.

۳-۳-۴ اثر مقدار کربن فعال در جذب وانادیوم از

### محلول

نمودارهای شکل ۱۰ اثر غلظت کربن فعال را در زمان شش ساعت با مقادیر مختلف pH نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- اثر غلظت کربن فعال در زمان شش ساعت در مقادیر مختلف pH در حذف وانادیوم از محلول.

با توجه به نمودارهای به دست آمده در شکل بالا می‌توان گفت که با افزایش میزان کربن فعال در محلول، میزان جذب وانادیوم از محلول نیز افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان گفت که افزایش pH فعال محلول اثر منفی بر روی میزان جذب وانادیوم گذاشته است (خط قرمز رنگ).

### ۵- نتیجه‌گیری

با بررسی‌های انجام شده در این تحقیق مشخص گردید که از بین تمامی فلزات سنگین خطرناک، تنها وانادیوم می‌باشد که با غلظت بالا وارد فاز مایع می‌شود. به طوریکه حداکثر میزان انتقال وانادیوم از حالت جامد به محلول در pH برابر با ۱۲، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان ۸ ساعت و نسبت فاز مایع به جامد ۱ اتفاق می‌افتد. حداکثر میزان جذب وانادیوم توسط کربن فعال در pH برابر با ۰.۷، مدت زمان ۶ ساعت و مقدار ۰/۶ گرم به دست می‌آید. به منظور کاهش میزان وانادیوم در فاز آبی پیشنهاد می‌شود



of Derelict and Degraded Land, 1980, Oxford: Blackwell. 308.

[22]. Seaker, E.M., and Sopper, W.E Municipal sludge for minespoil reclamation. II. Effects on organic matter. J. Environ. Qual, 1988.

drainage and wastewaters", Iran, 2010 Publication No. 535.

[10]. Umar F, Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. Bioresource Technology, 2010. 101: p. 5043-5053.

[11]. Fawzy E, Soil remediation using in-situ immobilization techniques .Chem. Eco, 2008. 24: p. 147-156.

[12]. Kord B, Mataji A, Babaie S, Pine (Pinus eldarica Medw.) needles as indicator for heavy metals pollution. Int. J. Environ. Sci. Tech, 2010. 7: p. 79-84.

[13]. Nour J, Khorasani N, Lorestani B, KaramiM, Hassani A, Yousefi N. Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. Environ. Earth Sci., 2009. 59: p. 315-323.

[14]. GOC, Site Remediation Technologies: A Reference Manual, Contaminated Sites Working Group, Ontario, 2003, Chapter 6.

[15]. Shiao, S.J., and Akashi, K. Phosphate removal from aqueous solution from activated red mud. J. Water Pollut. Control Fed. , 1977. 290.15. Shannon, E.E., and Verghese, K. Utilization of aluminized red mud solids for phosphorus removal. J. Water Pollut. Control Fed, 1976. 48: p. 19-48.

[16]. Shannon, E.E., and Verghese, K. Utilization of aluminized red mud solids for phosphorus removal. J. Water Pollut. Control Fed, 1976. 48: p. 19-48.

[17]. Pradhan, J., Das, J., Das, S., and Thakur, R.S Thakur R. Adsorption of phosphate from aqueous solution using activated red mud. J. Colloid Interface Sci. , 1998. 204.

[18]. Barrow, N. J. Possibility of using caustic residue from bauxite for improving the chemical and physical properties of sandy soil. Aust. J. Agric. Res. , 1982. 33: p. 285-295.

[19]. Ho, G.E., Newman, P.W.G., Mathew, K., and De Potter, H. Neutralization of bauxite processing residue with copperas. Chemeca, 1985. 85.

[20]. Wong, J.W.C., and Ho, G.E. Effectiveness of acidic industrial wastes for reclaiming fine bauxite refining residue (red mud). Soil Sci, 1994. 158.

[21]. Bradshaw, A.D., and Chadwick, M.J. The Restoration of Land: The Ecology and Reclamation