

## مقایسه‌ی قابلیت جذب سطحی عنصر سرب توسط دو جاذب گوتیت طبیعی و گل قرمز اصلاح شده از آب‌های آلوده

سیده منیره حسینی<sup>\*</sup>، محمد حسین محمودی قرایی<sup>۱</sup>، سید احمد مظاهری<sup>۲</sup>، علی احمدپور<sup>۳</sup>، غلامرضا ثوابی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- گروه مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود

پست الکترونیکی مولف مسئول: m.hosseini.1989@gmail.com

### چکیده

جذب سطحی یکی از روش‌های مؤثر و با صرفه برای حذف فلزات سمی از جمله سرب از آب‌های آلوده می‌باشد. در این مقاله قابلیت جذب سطحی سرب توسط دو جاذب ارزان قیمت شامل گوتیت طبیعی و گل قرمز اصلاح شده (SDRM) مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که هر دو جاذب قابلیت بالایی برای حذف سرب از آب‌های آلوده دارند ولی در غلظت‌های بالا SDRM نسبت به گوتیت جاذب مؤثرتری برای سرب است. به طوری که SDRM و گوتیت طبیعی در غلظت اولیه‌ی ۱۵۰ mg/L به ترتیب ۹۸/۴۱ و ۷۸/۵۳ درصد سرب محلول در آب را در دمای محیط (۲۲/۵ °C) و با شرایط pH=۵، دوز جاذب ۶ g/L، زمان ۶۰ دقیقه و اندازه ذرات زیر ۲۳۰ میکرون حذف می‌کنند. در این شرایط حداکثر ظرفیت جذب (q<sub>e</sub>) سرب برای گوتیت و گل قرمز اصلاح شده به ترتیب ۱۹/۶۳۳ و ۲۴/۶۰۳ میلی‌گرم سرب بر گرم جاذب می‌باشد. همچنین نتایج آزمایشات نشان داد که رابطه‌ی بین غلظت اولیه‌ی سرب و درصد جذب، برای جاذب SDRM مستقیم بوده در حالی که برای گوتیت طبیعی این رابطه به شکل معکوس می‌باشد.

کلمات کلیدی: جذب سطحی، سرب، گوتیت، گل قرمز اصلاح شده

### ۱- مقدمه

امروزه آلودگی آب و تصفیه‌ی آن و در نتیجه تامین آب سالم از مشکلات اساسی جوامع انسانی محسوب می‌شود. از جمله آلاینده‌های آب می‌توان به فلز سمی سرب اشاره کرد. تاکنون روش‌های مختلفی برای حذف عناصر و ترکیبات سمی از آب و پساب‌های آلوده ارائه شده است. یکی از این روش‌ها جذب سطحی است. واژه‌ی "جذب سطحی" (Adsorption) در سال ۱۸۸۱ توسط Kayser برای توصیف افزایش غلظت مولکول‌های گاز در مجاورت سطح جامد به کار برده شده است (Roque R. M. A., 2007). جذب سطحی فرآیندی است که در آن اتم‌ها، مولکول‌ها و یا یون‌ها از فاز محلول یا گاز گرفته شده و توسط پیوند‌های شیمیایی و یا فیزیکی روی سطح مواد جامد نگه داشته می‌شوند (Jenne E. A., 1998).

تاکنون از جاذب‌های مختلفی برای حذف عنصر سرب از آب‌های آلوده استفاده شده است. در این مطالعه سعی شده است که با استفاده از دو جاذب گل قرمز اصلاح شده و گوتیت طبیعی، سرب از آب‌های آلوده حذف شود. گل قرمز خود باطله‌ی کارخانه‌ی آلومینای جاجرم است که در طی فرآیند بایر (Bayer) یا انحلال لوله‌ای (که در آن هیدروکسید آلومینیم موجود در بوکسیت طی واکنش با سود سوزآور ابتدا به آلومینات سدیم و سپس به صورت اکسید یا هیدروکسید آلومینیم تبدیل می‌شود)، تولید می‌شود. این باطله نه تنها کاربرد خاصی ندارد بلکه آثار سوئی بر محیط زیست دارد که مهم‌ترین آن pH بالا به میزان ۱۲ تا ۱۳ (اثنی عشری ا. و اسماعیلی د.، ۱۳۸۸) و در نتیجه تاثیر سوء آن بر روی گیاهان و نیز کیفیت آب‌های زیرزمینی است. ریز بودن ذرات آن (در حدود ۷۵ μm) هم باعث شده است که با وزش بادهای ریزگردهای گل قرمز ایجاد شده و مشکلات تنفسی را سبب

گردد (Liu Y. *et al.*, 2011). از آنجا که گل قرمز خام به علت pH بالا جاذب مناسبی نمی باشد، در این مطالعه با اعمال تغییراتی روی گل قرمز، به عنوان جاذب سرب از آن استفاده شده است.

گویت با فرمول  $\alpha\text{-FeOOH}$  یکی از ۱۶ نوع اکسی هیدروکسید آهن موجود در طبیعت (Cornell R. M. & Schwertmann U., 2003) و از فراوانترین کانی های پایدار آهن موجود در خاک است که نقش مهمی در کنترل قابلیت دسترسی عناصر مغذی و سمی در خاک دارد (Grossl P. R. *et al.*, 1997). این کانی در اکثر معادن آهن به عنوان باطله کنار گذاشته می شود. گویت به جز در موارد معدودی مثل ساخت رنگدانه یا کانسار آهن در صورت خلوص بالا، کاربرد چندانی ندارد. در این مطالعه از یک نمونه گویت طبیعی که باطله ی یکی از معادن آهن می باشد، به عنوان جاذب سرب استفاده شده است. عنصر سرب با عدد اتمی ۸۲ از جمله فلزات سمی و سنگین بوده که آثار سوئی بر سلامت انسان دارد. حد مجاز این عنصر در آب آشامیدنی بر اساس استاندارد (EPA (2009)، ۰/۱۵ میلی گرم در لیتر (۱۵ ppb)، WHO (2011)، ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر (۱۰ ppb) و بر اساس استاندارد ۱۰۵۳ ایران (۱۳۸۸) ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر (۱۰ ppb) می باشد.

هدف این مطالعه بررسی و مقایسه ی قابلیت دوجاذب گویت طبیعی و گل قرمز اصلاح شده، برای حذف سرب به روش جذب سطحی از آب های آلوده می باشد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- ساخت گل قرمز نیمه هضم شده

ابتدا گل قرمز خام از محل سد باطله ی گل قرمز کارخانه ی آلومینای جاجرم تهیه شد و برای آنالیز XRD و XRF به شرکت طیف کانساران بینالود فرستاده شد. برای تهیه ی گل قرمز نیمه هضم شده با اسید (SDRM)، در ابتدا کلوخه های گل قرمز کوبیده شده و ذرات ریزتر از ۲۳۰ مش برای کار جدا شد. سپس برای تهیه ی SDRM، گل قرمز خام را با نسبت معین با اسید سولفوریک رقیق مخلوط شده و برای مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد. این عمل باعث افزایش سطح ویژه گل قرمز می شود و ظرفیت جذب را بالا می برد. پس از آن گل در آون در دمای  $105^{\circ}\text{C}$  خشک و در هاون پودر شد.

### ۲-۲- آماده سازی گویت

نمونه گویت مورد مطالعه از یکی از معادن فعال استان تهیه شده و برای تعیین فاز های کانی شناسی آن با استفاده از آنالیز XRD و آنالیز XRF به شرکت طیف کانساران بینالود مشهد فرستاده شد که تنها کانی شناسایی شده در آن گویت بود. قطعات سنگی گویت پس از پودر شدن برای انجام آزمایش جذب استفاده شد. در نهایت هر دو نمونه ی گل قرمز خام و SDRM و نیز گویت پودر شده، برای تعیین گروه های عاملی سطح از طریق آنالیز FTIR (Fourier Transform Infrared) به آزمایشگاه شیمی فیزیک دانشکده ی علوم فرستاده شد.

### ۲-۳- تهیه ی محلول ها

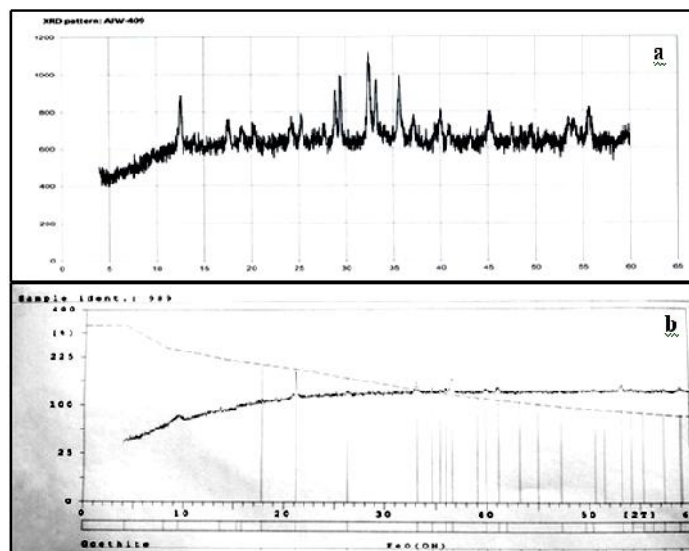
برای تهیه ی محلول سرب دار از پودر نترات سرب ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) استفاده شد و محلول های حاوی  $\text{Pb}^{2+}$ ، با غلظت های مختلف ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر از آن تهیه شد. برای تنظیم pH محلول ها از  $\text{HNO}_3$ ، ۰/۱ مولار) و  $\text{NaOH}$ ، ۰/۱ مولار) استفاده شد. pH محلول ها توسط دستگاه pH متر مدل AZ8685 اندازه گیری شد.

## ۲-۴- آزمایشات جذب

برای انجام آزمایشات جذب، پس از تعیین پارامترهای مؤثر بر فرآیند جذب، یک پارامتر به عنوان متغیر در نظر گرفته می‌شود و بقیه پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شوند. در این مطالعه پارامتر متغیر غلظت اولیه‌ی عنصر سرب می‌باشد و باقی پارامترها که شامل pH، زمان واکنش، اندازه ذرات جاذب و دوز جاذب می‌باشند، ثابت نگه داشته می‌شوند. برای پارامتر متغیر غلظت اولیه‌ی سرب، ۴ سطح مختلف با مقادیر ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد. بدین منظور از هر کدام این غلظت‌ها مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر در ظرف ریخته شد و محلول‌های آماده شده در دمای محیط (حدود ۲۲/۵°C) و با شرایط pH=۵، اندازه ذرات جاذب ریزتر از ۲۳۰ mesh و دوز جاذب ۶ g/L، برای مدت ۶۰ دقیقه روی استیرر هم زده شدند که این مرحله برای هر جاذب به طور جداگانه انجام شد. پس از اتمام ۶۰ دقیقه، ۳۰ دقیقه برای ته‌نشینی ذرات جاذب به محلول‌ها زمان داده شد. سپس هدایت الکتریکی (EC) و pH نهایی محلول‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت محلول‌های آماده شده برای اندازه‌گیری مقدار سرب موجود در آن، به روش جذب اتمی (AAS)، به آزمایشگاه ژئوشیمی گروه زمین شناسی فرستاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

نتایج آنالیز XRD گل قرمز خام و گوتیت در شکل ۱ آورده شده است. فاز اصلی شناسایی شده در گل قرمز خام شامل هماتیت (اکسید آهن) و فازهای فرعی آن شامل کائولینیت، کلسیت و آمسیت می‌باشد و کانی گوتیت تنها کانی شناخته شده در نمونه‌ی گوتیت می‌باشد.



شکل ۱- نتایج XRD نمونه‌ی گل قرمز خام (a) و نمونه‌ی گوتیت (b).

نتایج اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی با روش XRF دو نمونه‌ی گل قرمز خام و گوتیت در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، گل قرمز به طور عمده شامل اکسیدهای آلومینوم، کلسیم، آهن، سیلیسیم و تیتانیم می‌باشد و میزان  $Fe_2O_3$  آن ۲۲/۱۷ درصد می‌باشد. البته انتظار می‌رود که پس از اسیدشویی و اصلاح گل قرمز درصد اکسید آهن آن افزایش یابد. نمونه‌ی گوتیت هم شامل ۷۸/۸۶ درصد  $Fe_2O_3$  می‌باشد.

جدول ۱- آنالیز XRF نمونه‌های گل قرمز و گوتیت

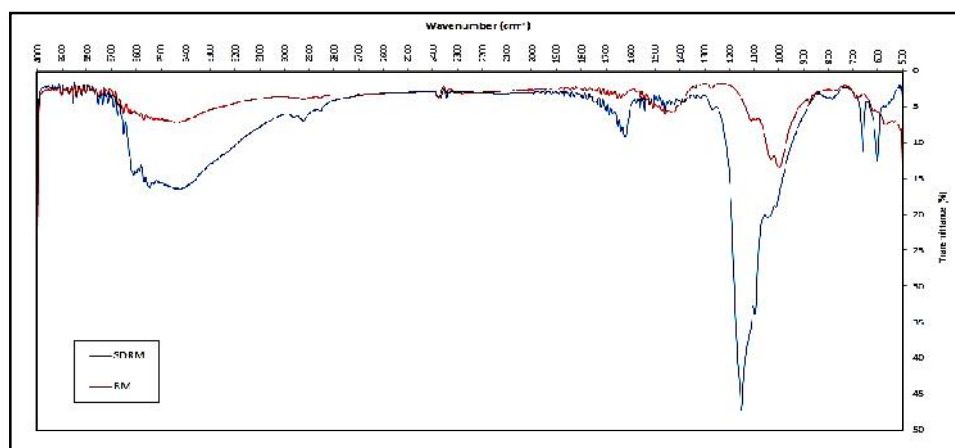
اکسیدهای اصلی	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	LOI
گل قرمز	۱۳	۱۳/۹۸	۴/۲	۲/۰۱	۰/۴۲	۷/۱۷	۰/۰۶	۲۴/۲۵	۰/۱۶	۲۲/۱۷	۱/۶۳	۹/۵۵
گوتیت	۲/۳۷	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۴	۵/۲	۰/۷۹	۰/۰۶	۷۸/۸۶	۰/۴۸	۱۱/۲۹

### ۳-۱- نتایج آنالیز FTIR

طیف سنجی تبدیل فوریه‌ی مادون قرمز بر اساس جذب تابش و بررسی جهش‌های ارتعاشی مولکول‌ها و یون‌های چند اتمی صورت می‌گیرد. از این روش برای شناسایی کیفی یک نمونه‌ی مجهول، نوع گروه‌های عاملی و پیوندهای موجود در مولکول‌های آن استفاده می‌شود. پیک‌ها در هم‌هی نمونه‌ها گستره‌ی طول موج‌های ۴۵۰ تا ۴۰۰۰ cm<sup>-1</sup> می‌باشند.

#### ۳-۱-۱- گل قرمز خام و گل قرمز اصلاح شده (SDRM)

نتایج آنالیز FTIR گل قرمز خام و اصلاح شده نشان داده است که عمده گروه‌های عاملی سطح آن‌ها مربوط به OH- می‌باشد. البته پیک‌ها در SDRM مشخص‌تر و قوی‌ترند که می‌تواند نشان دهنده‌ی افزایش مقدار آن‌ها باشد. نتایج بررسی‌های انجام شده توسط محققین روی گل قرمز نشان می‌دهد که پیک‌های در محدوده‌ی ۴۷۰-۴۵۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به شبکه‌ی Fe-O- می‌باشد. پیک‌های در محدوده‌ی ۵۳۰- و ۵۶۶- مربوط به پیوندهای Si-O-Al، پیک‌های در محدوده‌ی ۹۹۹- cm<sup>-1</sup> مربوط به Si-O، پیک‌های در محدوده‌ی ۶۹۷-۶۷۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به Al-O، پیک‌های در محدوده‌ی ۱۴۶۲-۱۴۳۴ cm<sup>-1</sup> مربوط به C-O موجود در CO<sub>2</sub> یا کربنات و پیک‌های در محدوده‌ی ۱۶۷۰- و حدود ۳۴۰۰-۴۰۰۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به OH- و H-O-H می‌باشد و پیک موجود در طول موج ۲۴۰۰-۲۳۰۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به CO<sub>2</sub> موجود در هواست. بنابراین به طور کیفی می‌توان گفت که مقدار گروه‌های عاملی OH- پس از اصلاح افزایش یافته است که این تأثیر مثبتی روی فرآیند جذب دارد (Gok A. et al., 2007 and C. Sahu R. et al., 2010).



شکل ۲- آنالیز FTIR گل قرمز خام (RM) و اصلاح شده (SDRM).

#### ۳-۱-۲- گوتیت

نتیجه‌ی آنالیز FTIR نمونه‌ی گوتیت و نیز بر اساس مطالعات انجام گرفته بر روی سایر نمونه‌های گوتیت، تفسیر پیک‌های ظاهر شده بدین شرح زیر است؛ پیک‌های در محدوده‌ی ۴۵۰-۴۶۰ cm<sup>-1</sup> و ۶۳۰-۶۰۲ cm<sup>-1</sup> مربوط به شبکه‌ی Fe-O، پیک‌های

در محدوده‌ی  $780-800 \text{ cm}^{-1}$  و  $887-900 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به Fe-OH، پیک‌های در محدوده‌ی  $1080 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به  $\text{SiO}_2$ ، پیک-های در محدوده‌ی  $1634-1700 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوندهای OH-، پیک‌های در محدوده‌ی  $3150 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به OH- و پیک-های در محدوده‌ی  $3400 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به مولکول آب یا H-O-H می‌باشد. پیک کوچکی که در طول موج حدود  $2400 \text{ cm}^{-1}$  -  $2300$  هم ظاهر شده مربوط به  $\text{CO}_2$  هواست. نتایج بالا نشان می‌دهد که OH- که در ساختار کانی گوتیت هم وجود دارد تنها گروه عاملی موجود در سطح کانی است که نقش اصلی را در فرآیند جذب سطحی بازی می‌کند (Rong X. *et al.*, 2010; Prasad P. S. R. *et al.*, 2006; Russell J. D. and Fraster A. R., 1994 and Kustova G. N. *et al.*, 1992)

### ۳-۲- جذب سطحی سرب

در این مطالعه ابتدا از منابع مختلف مقدار بهینه‌ی تقریبی پارامترهای pH، زمان، دوز جاذب و اندازه‌ی ذرات مشخص شد و سپس برای بررسی تأثیر غلظت اولیه‌ی سرب روی فرآیند جذب، آزمایشات جذب سطحی برای هر جاذب در ۴ سطح ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام شد. جدول ۲ مقادیر پارامترهای آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۲- پارامترهای آزمایش جذب سطحی سرب

نمونه‌ها	پارامترها	pH	زمان هم زدن (min)	دوز جاذب (g/L)	غلظت اولیه عنصر (mg/L)	اندازه ذرات جاذب (mesh)	دما	درصد جذب	ظرفیت جذب
							(C)	(%)	(mg/g) ( $q_e$ )
گل قرمز	SDRM-01	۵	۶۰	۶	۱۰	-۲۳۰	۲۲/۵	۸۶/۲۸	۱/۴۳۳
	SDRM-02	۵	۶۰	۶	۵۰	-۲۳۰	۲۲/۵	۹۶/۳۳	۸/۰۲۸
	SDRM-03	۵	۶۰	۶	۱۰۰	-۲۳۰	۲۲/۵	۹۷/۹۳	۱۶/۳۲۲
	SDRM-04	۵	۶۰	۶	۱۵۰	-۲۳۰	۲۲/۵	۹۸/۴۱	۲۴/۶۰۴
گوتیت	GT-01	۵	۶۰	۶	۱۰	-۲۳۰	۲۲/۴	۹۷/۴۷	۱/۶۲۵
	GT-02	۵	۶۰	۶	۵۰	-۲۳۰	۲۲/۴	۹۹/۱۶	۸/۲۶۳
	GT-03	۵	۶۰	۶	۱۰۰	-۲۳۰	۲۲/۴	۹۶/۵۲	۱۶/۰۸۶
	GT-04	۵	۶۰	۶	۱۵۰	-۲۳۰	۲۲/۴	۷۸/۵۳	۱۹/۶۳۳

درصد جذب با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد. که در آن  $U_p$ ، درصد جذب،  $C_e$  و  $C_i$  به ترتیب غلظت تعادلی و غلظت اولیه سرب بر حسب (mg/L) می‌باشند (Pradhan J. *et al.*, 1999).

$$U_p = ((C_i - C_f) \times 100) / C_i \quad (1)$$

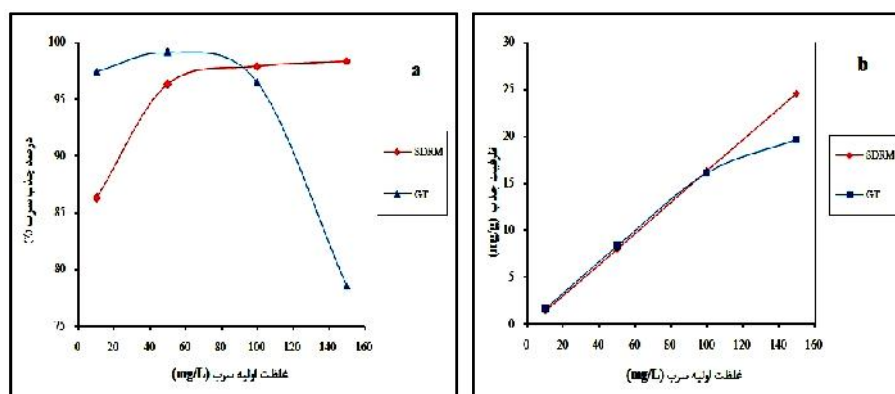
که در آن  $U_p$ ، درصد جذب،  $C_i$ ، غلظت اولیه عنصر بر حسب (mg/L)، و  $C_e$ ، غلظت تعادلی (پس از جذب) عنصر در محلول بر حسب (mg/L) می‌باشد. همچنین ظرفیت جذب ( $q_e$ ) جاذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم، با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد و پارامترهای آن بدین صورت می‌باشند:

$$q_e = ((C_i - C_f) \times V) / m \quad (2)$$

که در فرمول  $q_e$ ، ظرفیت جذب بر حسب (mg/g)،  $C_i$ ، غلظت اولیه‌ی عنصر بر حسب (mg/L)،  $C_e$ ، غلظت تعادلی (پس از جذب) عنصر در محلول بر حسب (mg/L)،  $V$ ، حجم محلول بر حسب (L)، و  $m$  مقدار جاذب مورد استفاده بر حسب (g) می‌باشد (Zhang S. *et al.*, 2008).

همان‌طور که در شکل ۳ (a) مشخص است، با افزایش مقدار سرب اولیه‌ی محلول درصد جذب سرب روی گوتیت کاهش و درصد جذب سرب روی گل قرمز اصلاح شده (SDRM) افزایش یافته و حداکثر به میزان ۹۸/۴۱ درصد می‌رسد. این نتایج نشان می‌دهد که در مورد SDRM با افزایش سرب موجود در محلول به دلیل بالا رفتن نیرو محرکه و احتمال برخورد آن با سطح جاذب، درصد جذب آن هم افزایش می‌یابد ولی در مورد گوتیت افزایش تعداد برخوردها نقش مهمی در میزان جذب نداشته و جذب سرب روی گوتیت بیش‌تر به تعداد جایگاه‌های جذب فعال وابسته است. بنابراین با توجه به این که تعداد جایگاه‌های جذب با افزایش غلظت سرب موجود در محلول کاهش می‌یابد، درصد جذب سطحی هم کاهش یافته به طوری که از ۹۷/۴۷ درصد در غلظت سرب ۱۰ mg/L به ۷۸/۵۳ درصد در غلظت ۱۵۰ mg/L می‌رسد.

از طرفی با افزایش غلظت اولیه‌ی سرب مقدار میلی گرم سرب جذب شده روی هر گرم جاذب یا به عبارتی ظرفیت جذب هر دو جاذب افزایش می‌یابد (شکل ۳ (b)). ولی به طور کلی در شرایط برابر ظرفیت جذب سرب SDRM بیش‌تر از گوتیت می‌باشد و حداکثر مقدار آن به ۲۴/۶۰۴ mg/g می‌رسد.



شکل ۳- نمودار غلظت اولیه‌ی سرب در برابر درصد جذب (a)، نمودار غلظت اولیه‌ی سرب در برابر ظرفیت جذب (b).

### ۳-۳- نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌های به دست آمده می‌توان گفت که هر دو جاذب گوتیت و SDRM قابلیت خوبی برای حذف سرب از محلول‌های آبی دارند ولی با توجه به این که جذب سرب توسط SDRM با افزایش غلظت اولیه‌ی سرب افزایش یافته و ظرفیت جذب آن هم بالاتر از گوتیت می‌باشد، SDRM برای سرب جاذب مؤثرتری نسبت به گوتیت است. ماکزیمم درصد جذب سرب در غلظت اولیه‌ی سرب ۱۵۰ mg/L برای دو جاذب گل قرمز اصلاح شده (SDRM) و گوتیت به ترتیب ۹۸/۴۱ و ۷۸/۵۳ درصد و مقدار ظرفیت جذب (q<sub>e</sub>) آن‌ها به ترتیب ۲۴/۶۰۴ و ۱۹/۶۳۳ میلی گرم سرب بر گرم جاذب می‌باشد.

### منابع

- اثنی عشری، ا. و اسماعیلی، د.، (۱۳۸۸). "بررسی پتانسیل اقتصادی و فرآوری عناصر مختلف در کانسار بوکسیت جاجرم (استان خراسان شمالی) و محصولات حاصل از فرآیند بایر"، مجله‌ی علوم دانشگاه تهران، جلد سی و پنجم، شماره ۲، صفحات ۵۰-۳۹.
- استاندارد ۱۰۵۳، (۱۳۸۸). استاندارد «آب آشامیدنی- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی»، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ISIRI).
- C. Sahu, R., Patel, R. K. and C. Ray, B. (2010). "Neutralization of red mud using CO<sub>2</sub> sequestration cycle, Journal of Hazardous Materials", No. 179, pp. 28-34.
- Cornell, R. M. & Schwertmann, U., (2003). The Iron Oxides, Wiley, Weinheim.



- EPA (Environmental Protection Agency) Guidelines for drinking water quality, (2009). "<http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm>".
- Gok, A., Omastova, M. and Prokes J. (2007). "Synthesis and characterization of red mud/polyaniline composites: Electrical properties and thermal stability", *Journal of European Polymer*, No. 43, pp. 2471- 2480.
- Grossl, P. R., Eick, M. Sparks, D. L. and Ainsworth, C. C., (1997), "Arsenate and Chromate retention mechanisms on Goethite. 2. Kinetic evaluation using a pressure-jump relaxation technique", *Journal of Environmental Sciences Technology*, Vol. 31, pp. 321-326.
- Jenne, E. A. (1998). "Adsorption of metals by geomedias: variables, mechanisms, and model applications", in Chapter 1 (pp. 1-61). Accademic Press, Washington.
- Kustova, G.N., Sadykov, V.A., Poryvaev, S.G. (1992). "Vibrational spectroscopic investigations of the goethite thermal decomposition products", *Journal of Physics and Chemistry of Minerals*, No. 18, pp. 379-382.
- Liu, Y., Naidu, R. & Ming, H. (2011). "Red mud as an amendment for pollutants in solid and liquid phases", *Journal Of Geoderma*, No. 163, pp. 1-12.
- Pradhan, J., N. Das, S. and Thakur, R. S. (1999). "Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Using Activated Red Mud", *Journal of Colloid and Interface Science*, No. 217, pp. 137-141.
- Prasad, P. S. R., Prasad, K. S., Chaitanya, V. K., Babu, E. V. S. S. K., Sreedhar, B. and R. Murthy, S. (2006). "In situ FTIR study on the dehydration of natural goethite, *Journal of Asian Earth Sciences*", No. 27, pp. 503-511.
- Rong, X., Chen, W., Huang, Q., Cai, P. and Liang, W. (2010). "Pseudomonas putida adhesion to goethite: Studied by equilibrium adsorption, SEM, FTIR and ITC", *Journal of Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, No. 80, pp. 79-85.
- Roque-Melherbe, R. M. A., (2007). "Adsorption and Diffusion in nanoporous materials", CRC press, Frence.
- Russell, J.D., Fraser, A.R., (1994). In: Wilson, MJ (Ed.). "Infrared Methods in Clay Mineralogy: Spectroscopic and Chemical determinative Methods", Chapman & Hall, London.
- WHO (World Health Organization) Guidelines for drinking water quality, (2011). "[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/)".
- Zhang, S., Liu, C., Luan, Z., Peng, X., Ren, H. & Wang, J. (2008). "Arsenate removal from aqueous solutions using modified red mud", *Journal of Hazardous Materials*, No. 152, pp. 486-492.