



## همدمای جذب سطحی مس در یک خاک آهکی تیمار شده با بهسازهای مختلف آلی و غیر آلی

محبوب صفاری

استادیار گروه پژوهشی محیط زیست، پژوهشگاه علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

### چکیده

تحقیق حاضر تلاش دارد به بررسی تأثیر بهسازهای آلی و غیر آلی بر جذب مس در یک خاک آهکی غیرآلوده بپردازد. بدین منظور، خاک غیر آلوده به صورت جداگانه با بهسازهای آلی (کمپوست زباله شهری، بیوجار تولید شده از سبوس برنج (در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس)) و غیر آلی (خاکستر بادی زغال سنگ، آهن عنصری، و منگنز عنصری) در سطوح ۲ و ۵ درصد به مدت ۹۰ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس تیمار شده و در نهایت آزمایش‌های همدمای جذب مس بر روی نمونه های ذکر شده انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین اثر بر جذب مس را به ترتیب جذب های آهن صفر ظرفیتی، بیوجار ۶۰۰، خاکستر بادی زغال سنگ، کمپوست زباله، منگنز صفر ظرفیتی، و بیوجار ۳۰۰ درجه داشتند. در بین معادلات جذب، معادلات خطی فروندلیچ و لانگمیر پیش بینی خوبی از جذب مس نشان دادند. به طور کلی به نظر می رسد همه بهسازهای ذکر شده سبب افزایش جذب مس در خاک شده اند که در بین آنها آهن صفر ظرفیتی بیشترین اثر را دارا می باشد که می توان در خاکهای آلوده به مس جهت تثبیت مس استفاده و پیشنهاد نمود.

واژه های کلیدی: مس، بهسازها، آلودگی خاک، معادلات جذب، خاک آهکی

### مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین به دلیل داشتن اثرات مضر زیست محیطی، تبدیل به یک چالش و نگرانی زیست محیطی شده است. این دسته از عناصر به دلیل سمیت بالا برای میکروارگانیسم های خاک، گیاهان و در نهایت انسان، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌های متفاوت امری سازی این گروه از عناصر در زیست بوم‌اند. بنابراین آگاهی از رفتار شیمیایی، پاکسازی و خنثی ها (از جمله آلاینده های آلی) بسیار طولانی باشد. مقاومت و پایداری فلزات سنگین در خاک نسبت به سایر آلاینده‌های ضروری می تواند از منابع صنعتی، کودهای ها می‌باشد. منبع و منشا این نوع از آلودگی بوده و آلودگی خاک توسط فلزات سنگین دایمی می (مس به Kabata-Pendias, 2010ها، و آبیاری با پساب فاضلاب باشد(کش فاضلاب، علف‌های شیمیایی، کودهای حیوانی، لجن عنوان یک عنصر سنگین از دو جهت مورد اهمیت است. از یک طرف این عنصر به عنوان یک عنصر ضروری کم مصرف برای رشد گیاه محسوب می شود که کمبود آن در خاک می تواند رشد گیاهان را محدود کند، و از طرف دیگر فراوانی این عنصر بیش از حد مجاز در طبیعت می تواند سبب آلودگی محیط زیست شود. در پاکسازی آلودگی خاک به فلزات سنگین بمانند توان آلودگی را از بین‌آلودگی با مواد آلی نمی برد یا تجزیه نمود، اما می‌های آلوده را به محل جدید جابجا کرد. توان خاک هزینه‌های بالای اصلاح خاک به روش سنتی (خاکبرداری و دفن)، پیشرفت روش‌های جایگزین اقتصادی که کمتر به محیط زیست آسیب می رسانند (مانند تثبیت‌عناصر در خاک) را برانگیخته است. تثبیت شیمیایی یک تکنیک مناسب برای کاهش انحلال آلاینده ها در خاک می‌باشد. از ویژگی های مهم ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در تثبیت آلاینده های خاک غیرفعال نمودن سریع اثرات سمی فلزات سنگین، برخورداری از تأثیرات دراز مدت، ارزانی و آسانی کاربرد آن ها می باشد. پایداری مس فسفات‌ها و رس‌ها هاش تحرک‌پذیری نیز افزایش می‌یابد). کربنات‌ها، هاش است ( با کاهش پ‌در خاک بشدت وابسته به پ می). کاربرد خاکستر بادی Kabata-Pendias, 2010توانند به صورت جذب شیمیایی تحرک مس را در خاک پایین نگه دارند ( مس تواند بر کنترل تحرک‌پذیری خاک و مقدار کربنات را در خاک بالا می‌برد، می هاش پ ذغال سنگ در خاک، که معمولا موثر باشد (جکسون و میلر، ۲۰۰۰). تحرک‌پذیری مس معمولا در نسبتا قلیایی کمترین مقدار را داراست، ولی هاش‌های پ

می‌افزایش یابد (Jackson and Miller, 2000). OH<sup>-</sup>تواند در شرایط قلیایی زیاد (بیش از ۱۰) به علت تشکیل کمپلکس‌های- محصولات جانبی مانند پسمانده دولومیتی و در مقدار کمتر، سنگ گچ و فسفات سنگ گچ هم می‌تواند تحرک پذیری و دسترسی مس را در خاک کاهش دهند. با توجه به مقدمه گفته شده، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثرات بهسازهای مختلف (دو نوع بیوجار تولید شده در دماهای مختلف ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس از سبوس برنج، آهن صفر ظرفیتی، منگنز صفر ظرفیتی، کمپوست زباله و خاکستر بادی زغال سنگ) بر جذب سطحی مس در یک خاک آهکی و معرفی بهترین مدل پیش بینی کننده جذب سطحی مس در این خاک می باشد.

### مواد و روش‌ها

نمونه برداری خاک از افق سطحی (۰-۳۰cm) سری دانشکده واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی آن بررسی شد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

۳۹/۵	کربنات کلسیم معادل (درصد)	۳۸	سیلت (درصد)
۱/۴	ماده آلی (درصد)	۳۵	رس (درصد)
۰/۹۲	مس استخراجی با DTPA (میلی گرم بر کیلوگرم)	۷/۸	پ هاش خمیر اشباع
۴۵	مس کل (میلی گرم بر کیلوگرم)	۰/۶۵	قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)

جهت مطالعه همدماهای جذب سطحی مس در خاک‌های تیمار شده، نمونه خاک تهیه شده به مدت ۳ ماه تحت شرایط ( و B300 رطوبت ظرفیت مزرعه به صورت جداگانه با مقادیر یکسان از بیوجارهای تولید شده از سبوس برنج در دماهای ۳۰۰ ) (، منگنز صفر ظرفیتی MWCS)، کمپوست زباله شهری (CFA) درجه سلسیوس، خاکستر بادی زغال سنگ (B600 ۶۰۰ ) ( در سطوح ۲ و ۵ درصد خوابانیده شد (جدول ۲). برخی از خصوصیات شیمیایی بهسازهای Fe<sup>0</sup>، و آهن صفر ظرفیتی (Mn<sup>0</sup>) مورد مطالعه در جدول ۳ مشاهده می شود. آهن صفر ظرفیتی و منگنز صفر ظرفیتی به صورت خالص از شرکت مرک های خاک را در بطری‌های پلاستیکی ۱۰۰ میلی لیتری خریداری شد. در پایان مدت خوابانیدن یک گرم از هر یک از نمونه ریخته و با ۳۰ میلی لیتر از محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار حاوی سطوح مختلف از مس (۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) از منبع نیترات مس به تعادل رسانده شد. تعلیق خاک به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس به تعادل رسانده و بعد از رسیدن به تعادل سانتیفریوژ و غلظت مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. مقدار فلزات جذب شده توسط خاکها از تفاوت بین مقدار غلظت اولیه و نهایی فلزات در محلولهای تعادلی تعیین می شود. همچنین مدل‌های فروندلیچ، لانگمویر، تمکین، و ادی هافستی (جدول ۴) بر داده‌ها برازش داده و مدل‌هایی که می‌توانند جذب مس را توصیف کنند، انتخاب شد.

جدول ۲- سطوح و نوع بهسازهای کاربردی

نوع بهساز و سطوح بکار رفته	اختصار	نوع بهساز و سطوح بکار رفته	اختصار
B600 (2%)	S7	MSWC (2%)	S1
B600 (5%)	S8	MSWC (5%)	S2
Fe <sup>0</sup> (2%)	S9	CFA (2%)	S3
Fe <sup>0</sup> (5%)	S10	CFA (5%)	S4
Mn <sup>0</sup> (2%)	S11	B300 (2%)	S5
Mn <sup>0</sup> (5%)	S12	B300 (5%)	S6

MSWC: کمپوست زباله شهری

CFA: خاکستر بادی زغال سنگ

B300 و B600: به ترتیب بیوجارهای تولید شده در دمای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس

Fe<sup>0</sup> و Mn<sup>0</sup>: به ترتیب آهن و منگنز صفر ظرفیتی

نتایج و بحث

تغییرات میزان مس جذب شده بوسیله خاک های تیمار شده با بهسازهای مختلف در سطوح مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. روند بدست آمده از تغییرات همدمای جذب سطحی مس نشان می دهد که مقادیر مس جذب شده با افزایش میزان های خاک از (۱۹۷۴) نوع منحنی ایجاد شده در نمونه Giles et al غلظت مس تعادلی افزایش نشان داد. بر طبق طبقه بندی باشد، که این نوع از منحنی نشان دهنده تمایل بالای نسبی جذب بخش جامد در غلظت های شکل می-نوع ایزوترم جذبی های مختلف مس گرم در کیلوگرم) در غلظت ، (۲۰۰۳). میانگین مقدار مس جذب سطحی شده (میلی Sparks باشد) پایین می شود در تمام غلظت های مس در محلول اولیه، بیشترین مقدار در محلول در جدول ۵ آمده است. همانگونه که مشاهده می مس جذب شده در حضور تیمار آهن صفر ظرفیتی مشاهده شد. همچنین در بعضی غلظت های مس در محلول، مقدار مس گرم در کیلوگرم) در سطوح ۵ درصد بیش از سطوح ۲ درصد بود (جدول ۶) و در بعضی غلظت ها جذب سطحی شده (میلی (۲۰۰۳) جذب سطحی مس را در یک خاک آهکی و اجزاء بافت آن Rodriguez-Rubio et al دارای مشاهده نشد. تفاوت معنی در حضور تیمار آلی مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که جذب سطحی مس در خاک آهکی بسیار زیاد بود و در حضور های شاهد و تیمار شده از تیمارهای آلی افزایش می یابد. این نویسندگان نشان دادند که همدمای جذب سطحی مس در خاک شکل بوده، که نشان می دهد که همچنان که غلظت مس در محلول تعادل افزایش می یابد، تعداد مکان های قابل -نوع یابد، بنابراین داده های جذب سطحی مس به وسیله همدمای دسترس و یا تمایل این مکان ها برای جذب مس کاهش می ۰/۹۸ بود. جذب سطحی لانگمیر و فروندلیچ قابل برازش بودند و در تمامی حالات ضریب تبیین بیش از

جدول ۳- برخی خصوصیات شیمیایی بهسازهای مورد استفاده

خصوصیات						نوع بهساز
SIO <sub>2</sub> (%)*	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)*	TiO <sub>2</sub> (%)*	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)*	CaO (%)**	BaO (%)**	
۴۶/۴۷	۲۷/۳۲	۰/۹	۶/۷۳	۴/۵۶	۰/۱۵	
SrO (%)**	MgO (%)**	K <sub>2</sub> O (%)**	Na <sub>2</sub> O (%)**	SO <sub>3</sub> (%)**	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)**	CFA
۰/۱۴	۲/۳۲	۳/۴۲	۰/۸۲	۴/۶	۴/۶	
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (%)**	pH	C (%)**	H (%)**	N (%)**	O (%)**	
۰/۸۲	۹/۱	۶۷	3.8	۳/۹۲	۰/۹۶	
pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	C (%)**	H (%)**	N (%)**	H/C	B300
۶/۲	۱۳/۱	۴۱/۵۷	۲/۱۱	۱/۵۲	۰/۰۵	
۸/۷	۲۱/۲	۴۸/۹۹	۱/۵۵	ناچیز	۰/۰۳	B600

\*اندازه گیری شده بوسیله دستگاه X-ray fluorescence (XRF) analyzer

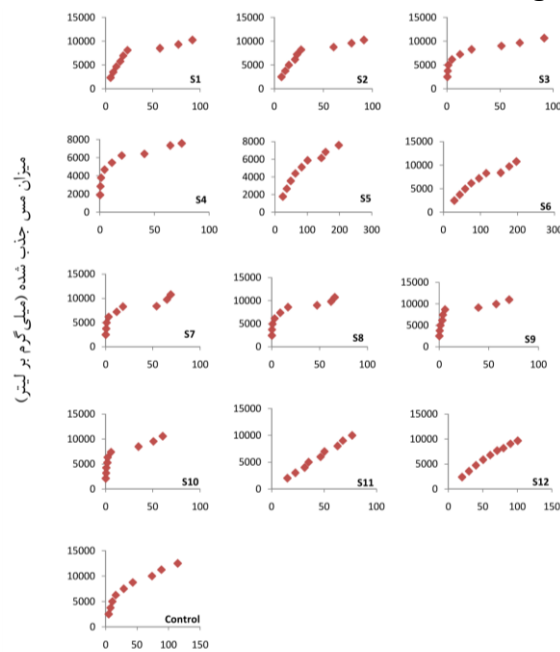
\*\* اندازه گیری شده بوسیله دستگاه CHN analyzer

جدول ۴- معادلات همدمای جذب سطحی مورد استفاده

مدل	معادله	ضرایب
خطی فروندلیچ	$\text{Log } X = \text{Log } K_F + (1/n) \text{Log } C$	$K_F$ : ضریب توزیع ( $\text{L kg}^{-1}$ ), $1/n$ : ثابت فروندلیچ
خطی لانگمیر	$C/X = [1/(K_L b)] + (1/b)C$	$K_L$ : ضریب لانگمیر ( $\text{L kg}^{-1}$ ), $b$ : حداکثر میزان جذب عنصر بروی خاک ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
تمکین	$X = K_{1T} + K_{2T} \text{Ln} C$	$K_{1T}$ و $K_{2T}$ : ضرایب ثابت جذب تمکین
ادی-هافستی	$X = bE - X/KEC$	$bE$ : حداکثر جذب ادی-هافستی, $KE$ : ضریب ثابت ادی-هافستی

X و C به ترتیب مقدار عنصر جذب شده در واحد وزن خاک ( $\text{mg Kg}^{-1}$ ) و غلظت عنصر در محلول تعادل ( $\text{mg L}^{-1}$ )

همانطور که ملاحظه می‌دارد شیب منحنی نسبت به تیمار شاهد شده شود، اضافه کردن بعضی از بهسازها سبب افزایش معنی‌های تیمارهای بدست آمده از شکل ۱ و جدول ۵، بهسازهای مورد استفاده در این مطالعه، به استثنای نمونه‌است. بر طبق یافته شده با بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس و منگنز صفر ظرفیتی، سبب افزایش ظرفیت جذب مس نسبت به دهد که معادلات خطی فروندلیچ و لانگمیر به دلیل تا ۱۰ نشان می‌تیمار شاهد شده است. نتایج بدست آمده از جداول ۷ های تبیین بالا و خطای استاندارد برآورد پایین نسبت به معادلات دیگر به عنوان معادلات برتر پیش بینی کننده داشتن ضریب جذب مس در نمونه خاک های مورد بررسی شناخته شدند. در طرف مقابل معادله تمکین هر چند که دارای مقادیر بالایی از های تبیین را دارا بود، اما به دلیل مقادیر بسیار بالای خطای استاندارد، نمی‌تواند به عنوان معادله پیش بینی کننده ضریب *Shaheen et al*، نشان از بالا بودن ظرفیت جذب خاک برای عناصر دارد (d)همدمای جذب مس، معرفی شود. مقادیر بالای های تیمار شده ۵۵۰-۵۹۰۳ و برای خاک شاهد ۵۸۵ لیتر بر محاسبه شده برای خاک (۲۰۰۹kd). دامنه تغییرات مقادیر در kdهای تیمار شده با آهن صفر ظرفیتی (۵٪) مشاهده شد. در طرف مقابل، حداقل در خاک (۲۰۰۹kd) کیلوگرم بدست آمد. حداکثر های تیمار شده با بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس (۵٪) مشاهده شد. به طور کلی نتایج بدست آمده خاک های تیمار شده با بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس، به استثنای نمونه‌نشان می‌سلسیوس و منگنز صفر ظرفیتی، سبب افزایش جذب مس در خاک مورد مطالعه شده است، هر چند که آهن صفر ظرفیتی در های تیمار شده نشان داده است. سطح ۵٪ اختلاف بسیار زیادی از نظر میزان جذب مس نسبت به تیمار شاهد و سایر نمونه



شکل ۱- همدمای جذب سطحی مس در خاک‌های تیمار شده با بهسازهای مختلف

شکل ۱- همدمای جذب سطحی مس در خاک‌های تیمار شده با بهسازهای مختلف

جدول ۵- اثر بهسازهای مختلف بر میانگین مقادیر مس جذب سطحی شده (میلی‌های اولیه مس در محلول گرم در کیلوگرم) در غلظت

تیمار	غلظت اولیه مس در محلول (میلی‌گرم در لیتر)								
	۵۰۰	۴۵۰	۴۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰
MSWC	۱۰۲۱۰ <sup>CD</sup>	۹۳۰۲/۸ <sup>C</sup>	۸۵۲۵/۹ <sup>CD</sup>	۸۱۱۹/۷ <sup>CD</sup>	۵۷۹۲/۸ <sup>C</sup>	۵۷۹۲/۸ <sup>C</sup>	۴۶۷۵/۱ <sup>C</sup>	۳۵۱۱/۲ <sup>D</sup>	۲۳۴۲/۶ <sup>D</sup>
CFA	۱۰۴۱۸ <sup>C</sup>	۹۵۸۵ <sup>C</sup>	۸۸۴۸/۳ <sup>C</sup>	۸۲۰۸/۸ <sup>C</sup>	۶۱۳۶/۵ <sup>C</sup>	۶۱۳۶/۵ <sup>C</sup>	۴۹۶۷/۹ <sup>C</sup>	۳۷۳۲/۴ <sup>C</sup>	۲۴۹۰/۸ <sup>C</sup>
B300	۷۵۶۷/۱ <sup>E</sup>	۷۰۶۷/۸ <sup>D</sup>	۶۲۶۸/۸ <sup>E</sup>	۶۰۴۲/۸ <sup>F</sup>	۴۵۲۵/۲ <sup>E</sup>	۴۵۲۵/۲ <sup>E</sup>	۳۶۵۹/۶ <sup>E</sup>	۲۷۴۷/۵ <sup>F</sup>	۱۸۳۱/۶ <sup>F</sup>
B600	۱۲۴۶۹ <sup>B</sup>	۱۰۹۸۸ <sup>B</sup>	۹۶۹۲/۱ <sup>B</sup>	۹۵۵۱/۹ <sup>B</sup>	۷۰۹۴/۹ <sup>B</sup>	۷۰۹۴/۹ <sup>B</sup>	۵۷۱۹/۲ <sup>B</sup>	۴۲۹۶/۴ <sup>B</sup>	۲۸۶۶/۶ <sup>B</sup>
Fe <sup>0</sup>	۱۴۱۳۴ <sup>A</sup>	۱۲۸۷۵ <sup>A</sup>	۱۱۷۹۸ <sup>A</sup>	۱۱۲۳۴ <sup>A</sup>	۸۰۱۰/۶ <sup>A</sup>	۸۰۱۰/۶ <sup>A</sup>	۶۴۶۶/۳ <sup>A</sup>	۴۸۵۵/۹ <sup>A</sup>	۳۲۴۱/۲ <sup>A</sup>
Mn <sup>0</sup>	۱۰۲۸۲ <sup>CD</sup>	۹۲۷۳/۶ <sup>C</sup>	۸۲۴۴ <sup>D</sup>	۷۱۹۲/۱ <sup>E</sup>	۵۱۳۶/۲ <sup>D</sup>	۵۱۳۶/۲ <sup>D</sup>	۴۱۲۰/۳ <sup>D</sup>	۳۰۹۰/۶ <sup>E</sup>	۲۰۶۰ <sup>E</sup>

۹۶۳۷/۸<sup>D</sup> ۹۰۳۱/۷<sup>C</sup> ۸۱۵۵/۸<sup>D</sup> ۷۶۶۴/۴<sup>DE</sup> ۵۸۳۸/۹<sup>C</sup> ۵۸۳۸/۹<sup>C</sup> ۴۷۲۴/۴<sup>C</sup> ۳۵۴۷/۹<sup>CD</sup> ۲۳۶۷/۶<sup>CD</sup> Control

\*اعدادی که در هر ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌باشند. دار در سطح ۵ درصد می

**جدول ۶- اثر سطوح بهسازیهای مختلف بر میانگین مقادیر مس جذب سطحی شده در غلظت‌های اولیه مس در محلول**

غلظت اولیه مس در محلول (میلی‌گرم در لیتر)									
۵۰۰	۴۵۰	۴۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	سطوح بهسازیها
۱۰۴۲ <sup>B</sup>	۹۸۵۴/۴ <sup>A</sup>	۸۶۲۶/۵ <sup>B</sup>	۸۱۵۳/۷ <sup>B</sup>	۷۳۰۶/۶ <sup>A</sup>	۶۱۵۵/۳ <sup>A</sup>	۴۹۷۱/۷ <sup>A</sup>	۳۷۳۲/۳ <sup>A</sup>	۲۴۸۹/۸ <sup>A*</sup>	%۲
۱۰۹۲۸ <sup>A</sup>	۹۶۰۹/۶ <sup>A</sup>	۸۹۵۴/۲ <sup>A</sup>	۸۴۲۱/۵ <sup>A</sup>	۷۰۸۳/۵ <sup>A</sup>	۵۹۹۷/۶ <sup>A</sup>	۴۸۳۷/۷ <sup>A</sup>	۳۶۳۳/۹ <sup>A</sup>	۲۴۲۴/۹ <sup>A</sup>	%۵

\*اعدادی که در هر ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند طبق آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌باشند. دار در سطح ۵ درصد می

**جدول ۷- ضریب (شرح علائم تیمارهای ها، ضریب تبیین، و خطای استاندارد همدمای جذب سطحی مس بوسیله معادله فروندلیچ خطی**

( در جدول ۱ آمده است). **S1-S12** اعمال شده )

SE	R <sup>2</sup>	1/n	Kf	تیمار	SE	R <sup>2</sup>	1/n	Kf	تیمار
۰/۰۶	۰/۹۲	۰/۲۲	۴۰۵۷/۵۷	<b>S7</b>	۰/۰۹	۰/۸۶	۰/۴۶	۱۴۵۳/۴۲	<b>S1</b>
۰/۰۷	۰/۹۱	۰/۲۱	۴۳۱۶/۱۶	<b>S8</b>	۰/۰۸	۰/۸۷	۰/۵۰	۱۲۱۸/۵۷	<b>S2</b>
۰/۰۸	۰/۸۸	۰/۲۳	۴۳۷۶/۷۲	<b>S9</b>	۰/۰۵	۰/۹۴	۰/۲۳	۳۸۹۸/۷۷	<b>S3</b>
۰/۰۹	۰/۸۶	۰/۲۴	۴۰۲۵/۵۶	<b>S10</b>	۰/۰۶	۰/۹۴	۰/۲۲	۳۰۲۱/۷۷	<b>S4</b>
۰/۰۱	۱/۰۰	۰/۹۹	۱۳۳/۹۶	<b>S11</b>	۰/۰۵	۰/۹۶	۰/۶۶	۲۵۱/۲۶	<b>S5</b>
۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۸۷	۱۸۴/۴۵	<b>S12</b>	۰/۰۴	۰/۹۷	۰/۷۲	۲۴۸/۵۱	<b>S6</b>
-	-	-	-	-	۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۴۷	۱۴۲۲/۹۵	<b>Control</b>

**جدول ۸- ضریب (شرح علائم ها، ضریب تبیین، و خطای استاندارد همدمای جذب سطحی مس بوسیله معادله لانگمیر خطی**

( در جدول ۱ آمده است). **S1-S12** تیمارهای اعمال شده )

SE	R <sup>2</sup>	Kd	Kl	b	تیمار	SE	R <sup>2</sup>	Kd	Kl	b	تیمار
۴E-۰۴	۰/۹۸	۴۶۲۸	۰/۴۷	۹۸۲۶	<b>S7</b>	۳E-۰۴	۰/۹۸	۳۰۳۳	۰/۲۹	۱۰۴۲۱	<b>S1</b>
۳E-۰۴	۰/۹۹	۵۹۰۳	۰/۵۹	۱۰۰۴۸	<b>S8</b>	۴E-۰۴	۰/۹۸	۲۸۰۰	۰/۳۷	۷۵۶۶	<b>S2</b>
۲E-۰۴	۰/۹۹	۵۶۴۰	۰/۵۳	۱۰۶۳۹	<b>S9</b>	۳E-۰۴	۰/۹۹	۶۹۱	۰/۰۶	۱۱۷۰۱	<b>S3</b>
۲E-۰۴	۰/۹۹	۵۲۲۸	۰/۵۱	۱۰۱۹۸	<b>S10</b>	۳E-۰۴	۰/۹۹	۵۵۰	۰/۰۴	۱۲۵۸۸	<b>S4</b>
۱E-۰۴	۰/۹۲	۱۳۱	۰/۰۰۱	۱۳۰۲۶۷۲	<b>S11</b>	۱E-۰۳	۰/۹۶	۹۶	۰/۰۱	۱۲۴۴۷	<b>S5</b>
۲E-۰۴	۰/۹۲	۱۳۱	۰/۰۰۳	۳۸۴۵۱	<b>S12</b>	۹E-۰۴	۰/۹۲	۱۰۷	۰/۰۱	۲۰۷۱۶	<b>S6</b>
-	-	-	-	-	-	۳E-۰۴	۰/۹۹	۵۸۵	۰/۰۴	۱۴۴۵۴	<b>Control</b>

**جدول ۹- ضریب-S1 (شرح علائم تیمارهای اعمال شده ) ها، ضریب تبیین، و خطای استاندارد همدمای جذب سطحی مس بوسیله معادله تمکین**

( در جدول ۱ آمده است). **S12**

SE	R <sup>2</sup>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	تیمار	SE	R <sup>2</sup>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	تیمار
۶۸۸/۱۶	۰/۹۵	۱۲۸۴/۴۳	۴۳۲۳/۳۱	<b>S7</b>	۷۲۵/۱۵	۰/۹۴	۲۵۹۵/۹۵	-۱۴۷۷/۳۸	<b>S1</b>
۵۶۳/۳۸	۰/۹۷	۱۲۶۱/۴۵	۴۶۷۶/۴۵	<b>S8</b>	۶۸۹/۰۴	۰/۹۴	۲۹۱۶/۲۰	-۲۷۷۷/۸۶	<b>S2</b>
۷۵۳/۷۱	۰/۹۴	۱۴۱۵/۰۶	۴۷۳۹/۷۵	<b>S9</b>	۳۴۳/۲۶	۰/۹۹	۱۳۴۰/۲۲	۴۰۷۷/۸۸	<b>S3</b>
۸۷۰/۴۵	۰/۹۲	۱۳۷۳/۹۹	۴۴۲۵/۹۹	<b>S10</b>	۲۴۸/۶۰	۰/۹۹	۹۷۴/۴۸	۳۱۹۵/۰۷	<b>S4</b>
۶۷۸/۳۱	۰/۹۵	۴۹۳۳/۸۴	-۱۲۳۰۹/۶۵	<b>S11</b>	۲۱۲/۲۶	۰/۹۹	۲۷۳۲/۱۱	-۷۰۱۶/۹۵	<b>S5</b>
۳۱۶/۴۰	۰/۹۹	۴۶۰۴/۸۹	-۱۱۹۴۸/۰۰	<b>S12</b>	۴۱۳/۱۸	۰/۹۸	۴۱۷۰/۸۹	-۱۱۸۴۳/۰۱	<b>S6</b>
-	-	-	-	-	۳۶۰/۱۵	۰/۹۹	۳۰۶۲/۱۱	-۲۵۸۰/۲۰	<b>Control</b>



بر اساس آزمایش انجام شده، تثبیت مس بوسیله بهسازهای مورد مطالعه می‌تواند در نتیجه دو پروسه انجام گیرد: (۱) بهسازها توانند سبب ایجاد جذب ویژه یا جذب شیمیایی مس شوند (۲) کاهش قابلیت سبب ایجاد سطوح جذبی جدید شده، که می‌ها، تشکیل کمپلکس با لیگاندهای مختلف، رسوب های جذب از جمله جذب بروی سطوح کانی دسترسی مس در نتیجه پروسه سطحی و یا تبدالی یونی انجام شود. به طور کلی نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد، بهسازهای آهن صفر ظرفیتی و بیوچار تولید شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، بیشترین جذب از مس را سبب و میتوانند به عنوان بهسازهای برتر نسبت به سایر بهسازهای مورد مطالعه معرفی شوند.

جدول ۱۰- ضریب(شرح علائم تیمارهای اعمال ها، ضریب تبیین، و خطای استاندارد همدمای جذب سطحی مس بوسیله معادله ادی هافستی ( در جدول ۱ آمده است). S1-S12 شده )

SE	R <sup>2</sup>	K <sub>E</sub>	b <sub>E</sub>	تیمار	SE	R <sup>2</sup>	K <sub>E</sub>	b <sub>E</sub>	تیمار
۱۱۴۰/۶۸	۰/۸۵	-۱/۱۵	۸۸۷۴/۴۱	<b>S7</b>	۱۳۵۶/۶۴	۰/۷۸	-۰/۰۶	۱۱۸۸۱/۱۵	<b>S1</b>
۱۱۹۳/۴۴	۰/۸۵	-۱/۴۷	۹۰۵۷/۶۸	<b>S8</b>	۱۴۹۷/۵۶	۰/۷۲	-۰/۰۴	۱۲۶۱۴/۰۵	<b>S2</b>
۱۰۶۹/۸۲	۰/۸۸	-۱/۰۹	۹۵۶۷/۶۶	<b>S9</b>	۱۰۳۱/۱۹	۰/۸۸	-۰/۹۴	۹۰۱۵/۳۹	<b>S3</b>
۱۲۶۱/۱۶	۰/۸۳	-۱/۰۸	۹۰۸۱/۳۶	<b>S10</b>	۶۸۴/۰۳	۰/۹۰	-۱/۰۸	۶۶۵۴/۵۳	<b>S4</b>
۲۸۹۳/۶۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۳۷۲۱۰/۲۹	<b>S11</b>	۸۱۰/۶۶	۰/۸۵	-۰/۰۱	۱۲۲۷۹/۸۲	<b>S5</b>
۹۶۹/۶۱	۰/۸۷	۰/۰۰	۳۵۹۶۴/۸۹	<b>S12</b>	۱۳۰۹/۲۵	۰/۸۰	-۰/۰۱	۱۹۶۹۶/۳۱	<b>S6</b>
-	-	-	-	-	۸۹۱/۵۲	۰/۹۴	-۰/۰۵	۱۳۷۱۷/۴۵	<b>Control</b>

## منابع

- Giles C.H., MacEwan T.H., Nakhwa S.N., and Smith, D. 1960. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*. 3973-3993.
- Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants. CRC press.
- Jackson B.P., and Miller W.P. 2000. Soil solution chemistry of a fly ash, poultry litter-, and sewage sludge-amended soil. *Journal of Environmental Quality*. 29(2): 430-436.
- Shaheen S.M., Tsadilas C.D., and Eskridge, K.M. 2009. Effect of common ions on phosphorus sorption and lability in Greek Alfisols with different pH. *Soil Science*. 174(1): 21-26.
- Sparks, D. L. 2003: *Environmental Soil Chemistry*. 2nd Edition. Elsevier.
- Rodriguez-Rubio P., Morillo E., Madrid L., Undabeytia T., and Maqueda C. 2003. Retention of copper by a calcareous soil and its textural fractions: influence of amendment with two agroindustrial residues. *European Journal of Soil Science*. 54(2): 401-409.

### Sorption isotherm of copper in a treated calcareous soil with various organic and inorganic amendments

Mahboub Saffari

Department of Environment, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

#### Abstract

A laboratory experiment was conducted to determine the benefits of some soil organic and inorganic amendments on copper (Cu) sorption capacity in non-polluted calcareous soil. The non-polluted soil was separately incubated with organic [municipal solid waste compost (MSWC), rice husk biochars prepared at 300°C (B300) and 600°C (B600)] and inorganic amendments (coal fly ash, CFA), zero valent iron (Fe<sup>0</sup>), and zero valent manganese (Mn<sup>0</sup>) at 2% and 5% (W/W) for 90 days at 25°C. After incubation, sorption isotherms of Cu were determined using batch experiments. The increase of Cu sorption in the soils with different amendments followed the sequence Fe<sup>0</sup> > B600 > CFA > MSWC > Mn<sup>0</sup> > B300. Among the sorption isotherms, the linear forms of Freundlich and Langmuire yielded good prediction of Cu sorption. Generally, all amendments improved and increased Cu sorption rate. Given that, Fe<sup>0</sup> treatment had the highest impact on increasing Cu sorption capacity and can be recommended for the stabilization of Cu in polluted soils.

**Keywords:** Copper, Amendments, Soil pollution, Sorption equations, Calcareous soil