اثرات بهسازهای مختلف آلی و غیر آلی بر سینتیک جذب سرب در یک خاک آهکی

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

چکیده

مطالعه حاضر به منظور بررسی اثرات بهسازهای آلی و غیر آلی بر جذب سرب در یک خاک آهکی غیرآلوده انجام گرفت. بدین منظور، خاک غیر آلوده به صورت جداگانه بوسیله بهسازهای آلی (کمپوست زباله شهری، بیوچار 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 آزمایشات سینتیک جذب سرب بر روی نمونه های ذکر شده انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین اثر از جذب سرب به ترتیب به صورت زیر بود: منگنز صفر ظرفیتی، بیوچار ۶۰۰، خاکستر بادی زغال سنگ، آهن صفر ظرفیتی، بیوچار ۳۰۰ درجه، و کمپوست زباله شهری. در بین معادلات جذب، معادله تابع توانی پیش بینی خوبی از جذب سرب نشان داد. به طور کلی به نظر می رسد همه بهسازهای ذکر شده (به استثنای کمپوست زباله شهری) سبب افزایش جذب سرب شده اند که در بین آنها منگنز صفر ظرفیتی بیشترین اثر را دارا می باشد که می توان در خاکهای آلوده به سرب جهت تثبیت سرب استفاده و پیشنهاد نمود.

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

مقدمه

فلزات سنگین، از جمله آرسنیک، سرب، نیکل، کروم، و کادمیم در غلظت اندک در اغلب خاک‌شوند، ولی در صورت ها یافت می های بسیار سمی در خاک محسوب های شدید و مزمن به عنوان آلاینده‌تجاوز غلظت آنها از حد مجاز به دلیل ایجاد سمیت کارها برای کاهش میزان فلزات سنگین در محصولات کشاورزی، جلوگیری شوند (کاباتاپندیاس، ۲۰۱۰). یکی از موثرترین راه‌می از ورود این عناصر به داخل خاک و اتخاذ اقدامات مدیریتی جهت کاهش غلظت این عناصر در محلول خاک است، تا از جذب و انتقال این عناصر به گیاهان جلوگیری شود. برای جلوگیری از ورود آلودگی ناشی از تجمع فلزات سنگین در خاک، به داخل های متعددی در دنیا بررسی و مورد آزمایش قرار گرفته است. غیر متحرک کردن گیاهان و نیز آبهای زیر زمینی، روش عناصرسنگین در خاک معمولا اهدافی چون افزایش و بهبود رشد گیاه، افزایش و بهبود کیفیت خاک و احیا مناطق صنعتی های کاهش کند. تثبیت عناصر سنگین در خاک بوسیله کاربرد ترکیبات مختلف، یکی از مهمترین روش‌تخریب شده را دنبال می ها تثبیت شده و بصورت محصور در حالت جامد که آلودگی آلودگی های محیط زیستی محسوب می شود. در این روش آلاینده کمتری برای محیط زیست داشته باشند، در می‌آیند (باستا و مکگون، ۲۰۰۴). این روش قابلیت تحرک و نفوذپذیری آلاینده‌های خطرناک را از طریق فرایندهای فیزیکی شیمیایی کاهش می‌دهد و بر خلاف دیگر روش‌ها، امکان تثبیت آلاینده‌ها در محل منطقه آلوده بدون نیاز به عملیات حفاری و حمل خاک آلوده را فراهم می‌سازد (بارنا و همکاران، ۱۹۹۷). آلودگی خاک به سرب به عنوان یک عنصر سنگین در سالهای اخیر تبدیل به یک چالش زیست محیطی جدی شده است. بیشتر مطالعات انجام شده در مورد تثبیت شیمیایی سرب به باشد که تحرک سرب را توسط تبادل یونی و ترسیب‌های فسفری متفاوت می‌کارگیری مکمل

انتشار سرب در خاک جلوگیری به عمل های فسفری و رسها براحتی ازدهند. مکمل‌مواد معدنی از گونهٔ پیرومورفیت کاهش می های طبیعی و مصنوعی، های متنوع حاوی فسفر شامل آپاتایت‌آورند. بیشتر تحقیقات تثبیت سرب با استفاده از مکمل‌می ها با پایه فسفات، فسفات دی آمونیوم فسفات، اسید فسفریک و ترکیبات آنها صورت هیدروکسی آپاتایت، سنگ فسفات، نمک گرفته است. تحقیقات کمی از اثر سایر بهسازهای مختلف بر تثبیت و جذب فسفر در خاکهای آهکی انجام گرفته است. لذا با توجه به مقدمه گفته شده، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثرات بهسازهای مختلف (دو نوع بیوچار 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 سینتیک جذب سرب در یک خاک آهکی و معرفی بهترین مدل های پیش بینی کننده جذب مس در این خاک می باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری خاک از افق سطحی (۳۰cm-۰) 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

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

*پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی

جهت مطالعه سینتیک جذب سرب، کروم، نمونه خاک تهیه شده به مدت ۳ ماه تحت شرایط رطوبت ظرفیت مزرعه به صورت جداگانه با مقادیر یکسان از مواد کمپوست زباله شهری، خاکستر بادی زغال سنگ، دو نوع بیوچار (تولید شده از سبوس برنج در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس) و آهن عنصری و منگنز عنصری در سطوح ۲ و ۵ درصد وزنی خوابانیده شد (جدول ۲). برخی خصوصیات شیمیایی بهسازهای به کار برده شده در تحقیق حاضر در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- سطوح و نوع بهسازهای کاربردی

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

MSWC: کمپوست زباله شهری

CFA: خاکستر بادی زغال سنگ

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

Fe0 و Mn0: به ترتیب آهن و منگنز صفر ظرفیتی

جدول ۳- برخی خصوصیات شیمیایی بهسازهای مورد استفاده

نوع بهساز	خصوصیات					
CFA	BaO (%)*	CaO (%))*	Fe_2O_3 (%)*	TiO_2 (%)*	$Al2O_3$ (%)*	SIO_2 (%)*
	۰/۱۵	۴/۵۶	۶/۷۳	۰/۹	۲۷/۳۲	۴۶/۴۷
	P_2O_5 (%)*	SO_3 (%)*	Na_2O (%)*	K_2O (%)*	MgO (%)*	SrO (%)*
	۴/۶	۴/۶	۰/۸۲	۳/۴۲	۲/۳۲	۰/۱۴
	O (%)**	N (%)**	H (%)**	C (%)**	pH	Mn_3O_4 (%)*
	۰/۹۶	۳/۹۲	3.8	۶۷	۹/۱	۰/۸۲
	H/C	N (%)**	H (%)**	C (%)**	EC (dS m^{-1})	pH
B300	۰/۰۵	۱/۵۲	۲/۱۱	۴۱/۵۷	۱۳/۱	۶/۲
B600	۰/۰۳	ناچیز	۱/۵۵	۴۸/۹۹	۲۱/۲	۸/۷

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

** اندازه گیری شده بوسیله دستگاه CHN analyzer

در پایان مدت خوابانیدن، یک گرم از هر یک از نمونه‌های خاک را در بطری‌های پلاستیکی ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و با ۳۰ گرم بر لیتر از منبع نیترات سرب به صورت جداگانه افزوده و نمونه ها بطور مداوم میلی‌لیتر از محلول های با غلظت ۸۰ میلی در تکان دهنده در دمای آزمایشگاه برای زمانهای ۳۰ تا ۱۴۴۰ دقیقه تکان داده شد و بعد از اتمام دوره تکان دادن، با دستگاه گریز از مرکز محلول روئی جدا و از کاغذ صافی عبور داده و غلظت عناصر با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. طرح آماری مورد استفاده در این بخش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی (۷ بهساز شامل شش بهساز و یک نمونه شاهد، ۲ سطح (دو و پنج درصد)، و سه تکرار) بود. معادله های مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، مرتبه سوم، الوویچ ساده شده، تابع به منظور ارزیابی .توانی، وپخشیدگی پارابولیکی (جدول ۴) جهت پیش بینی سینتیک جذب سرب، مورد استفاده قرار گرفت هایی که دارای بیشترین ضریب معادله‌های سینتیکی مقادیر ضریب تبیین و خطای استاندارد هر معادله محاسبه شد. معادله ها انتخاب تبیین و کمترین خطای استاندارد باشند به عنوان بهترین معادله‌های پیش‌بینی کننده سینتیک جذب سرب در خاک شدند.

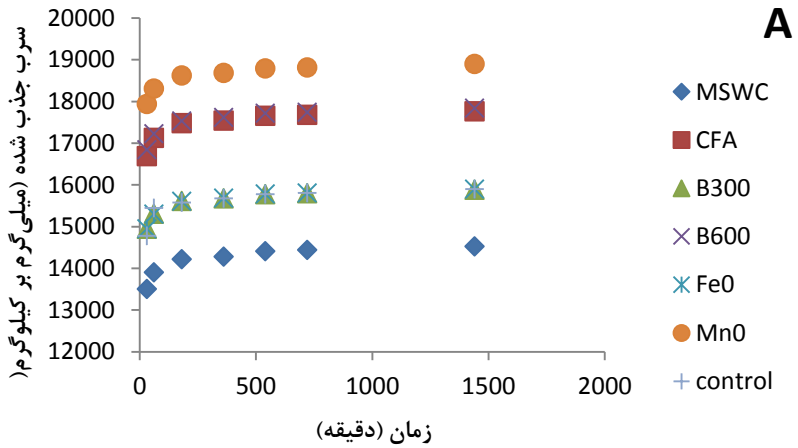
جدول۴- معادلات سینتیکی مورد استفاده در مطالعه حاضر

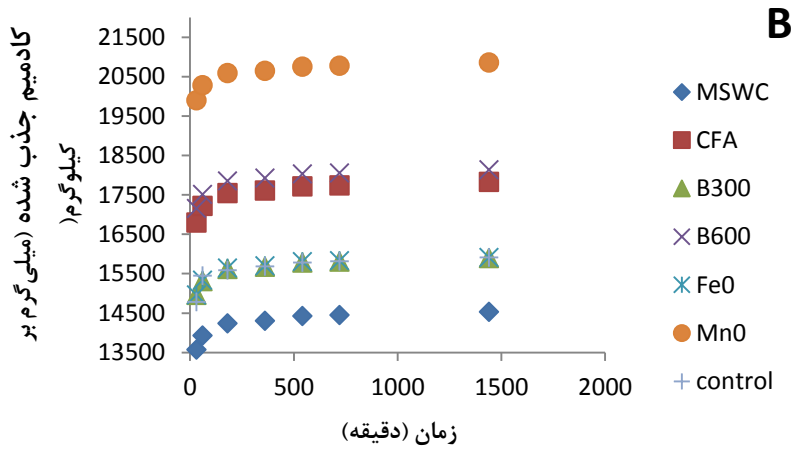
مدل‌های سینتیکی	معادله ها	ضرایب
مرتبه صفر	$q_t = q_0 - k_0 t$	K_0 ثابت سرعت واجذب ($mg\ kg^{-1}s^{-1}$)
مرتبه اول	$\ln q_t = \ln q_0 - k_1 t$	k_1 ثابت سرعت واجذب (s^{-1})
مرتبه دوم	$1/q_t = 1/q_0 - k_2 t$	k_2 ثابت سرعت واجذب [$(mg\ kg^{-1})^{-1}$]
مرتبه سوم	$1/q_t^2 = 1/q_0^2 - k_3 t$	k_3 ثابت سرعت واجذب [$(mg\ kg^{-})^{-2}s^{-2}$]
پخشیدگی سهموی	$q_t = q_0 - k_p t^{1/2}$	k_p ثابت سرعت واجذب [$(mg\ kg^{-1})^{0.5}$]
الوویچ ساده شده	$q_t = 1/\beta \ln (\alpha_s\beta_s) + (1/\beta_s) \ln t$	α_s، ($mg\ kg^{-1}\ s^{-1}$) و β_s [$(mg\ kg^{-1})^{-1}$]، ثابت‌های معادله‌اند.
تابع توانی	$q_t = at^b$	a، ($mg\ kg^{-1}s^{-1}$) و b [$(mg\ kg^{-1})^{-1}$]، ثابت‌های معادله‌اند

q_0: مقدار عنصرآزاد شده در زمان شروع q_t: مقدار عنصر آزاد شده در زمان t (ثانیه)

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جذب سرب در خاک‌های تیمار شده و غیر تیمار شده به عنوان تابعی از زمان در نمودار ۱ نشان داده شده است.





نمودار ۱- سینتیک جذب سرب در خاک ۵ درصد :B و : A۲های تیمار شده بوسیله بهسازهای مختلف، در سطح

همانگونه که مشاهده می‌های تیمار شده و تیمار نشده با افزایش زمان تماس، افزایش بسیار شود، میزان جذب سرب در خاک کمی را نشان داده است به طوری که بلافاصله پس از زمان ۱۸۰ دقیقه، روند جذب به سمت تعادل پیش رفت.

جدول ۵- اثر بهسازهای مختلف بر میانگین مقادیر سرب جذب شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) در زمانهای مختلف

تیمار	زمان (دقیقه)						
	۳۰	۶۰	۱۸۰	۳۶۰	۵۴۰	۷۲۰	۱۴۴۰
MSWC	۱۳۵۴۰ D	۱۳۹۲۰ D	۱۴۲۲۹ D	۱۴۲۹۱ D	۱۴۴۱۸ D	۱۴۴۴۷ D	۱۴۵۳۱ D
CFA	۱۶۷۴۵ B	۱۷۱۷۴ B	۱۷۵۱۱ B	۱۷۵۷۹ B	۱۷۶۸۷ B	۱۷۷۱۱ B	۱۷۸۰۰ B
B300	۱۴۹۵۶ C	۱۵۳۱۲ C	۱۵۶۱۷ C	۱۵۶۷۹ C	۱۵۷۸۰ C	۱۵۸۰۶ C	۱۵۸۹۲ C
B600	۱۶۹۹۹ B	۱۷۳۷۰ B	۱۷۶۹۵ B	۱۷۷۷۳ B	۱۷۸۷۶ B	۱۷۹۰۱ B	۱۷۹۸۹ B
Fe^0	۱۴۹۵۷ C	۱۵۳۱۹ C	۱۵۶۲۷ C	۱۵۶۹۳ C	۱۵۷۹۵ C	۱۵۸۱۹ C	۱۵۹۰۵ C
Mn^0	۱۸۹۲۲ A	۱۹۲۹۴ A	۱۹۶۰۸ A	۱۹۶۶۹ A	۱۹۷۷۰ A	۱۹۷۹۷ A	۱۹۸۸۰ A
Control	۱۴۷۸۰ C	۱۵۴۵۰ C	۱۵۵۸۲ C	۱۵۶۸۲ C	۱۵۷۸۲ C	۱۵۸۰۹ C	۱۵۹۰۶ C

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

جدول ۶- اثر سطوح بهسازها بر میانگین مقادیر سرب جذب شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) در زمانهای مختلف

سطوح بهسازها	زمان (دقیقه)						
(درصد)	۳۰	۶۰	۱۸۰	۳۶۰	۵۴۰	۷۲۰	۱۴۴۰
٪۲	۱۵۶۶۹^{B}	۱۶۰۹۳^{B}	۱۶۳۸۳^{B}	۱۶۴۵۵^{B}	۱۶۵۶۳^{B}	۱۶۵۸۹^{B}	۱۶۶۷۸^{A}
٪۵	۱۶۰۱۷^{A}	۱۶۴۳۲^{A}	۱۶۷۲۲^{A}	۱۶۷۹۲^{A}	۱۶۸۹۷^{A}	۱۶۹۲۲^{A}	۱۷۰۰۸^{A}

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

اثر بهسازهای مختلف بر میانگین مقادیر سرب جذب شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) در زمانهای مختلف در جدول ۵ نشان داده های تیمار شده با منگنز صفر ظرفیتی شده است. همانگونه که مشاهده می شود حداکثر و حداقل میزان جذب به ترتیب در نمونه های تیمار شده با آهن صفر دهد که نمونه‌های بدست آمده نشان می‌و کمپوست زباله شهری بدست آمد. نتایج مقایسه میانگین ظرفیتی و بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس، در زمانهای مختلف تفاوت معنی داری با نمونه شاهد از خود نشان های تیمار شده با منگنز صفر ظرفیتی، خاکستر بادی زغال سنگ و بیوچار تولید شده در دمای ندادند. در طرف مقابل نمونه ۶۰۰ درجه سلسیوس دارای تفاوت افزایشی معنی داری از لحاظ آماری در میزان جذب سرب در زمانهای مختلف جذب در مقایسه با نمونه شاهد بودند. مک کینز (۱۹۸۰) نشان داد که جذب سرب بوسیله اکسیدهای منگنز نسبت به اکسیدهای آهن، ۴۰ برابر بیشتر می باشد، و پیشنهاد کرد که اکسیدهای منگنز می توانند به عنوان یک جاذب قوی برای سرب در محیط خاک گرم در کیلوگرم) و آبی، معرفی شوند. همچنین تجزیه آماری از اثر سطوح بهسازها بر میانگین مقادیر سرب جذب شده (میلی در زمانهای مختلف نشان دادکه بین سطوح کاربردی بهسازها از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود دارد، به نحوی که در سطوح ۵ درصد جذب بیشتری با اختلاف معنی داری نسبت به سطوح ۲ درصد از بهسازها صورت گرفت (جدول ۶). به منظور ارزیابی فرایند جذب و پیش بینی مقادیر جذب شده سرب از معادلات سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، مرتبه سوم، های تبیین و خطای استاندارد پخشیدگی سهموی، الوویچ ساده شده و تابع توان استفاده شد. بر اساس مقادیر بدست آمده ضریب برآورد، معادله تابع توانی به عنوان بهترین معادله سینتیک جذب سرب معرفی شد (جدول ۷). هرچند که معادله الوویچ ساده و پخشیدگی سهموی دارای ضریب تبیین مشابه با تابع توانی را دارا بود، اما بدلیل خطای استاندارد برآورد بالا نتوانستند به عنوان معادلات مناسب جهت بررسی سینتیک جذب سرب استفاده شوند. فونسکا و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی سینتیک جذب سرب و کروم در یک خاک شن لومی در مدت زمان ۲۸۸ ساعت نشان داد که از بین سه معادله الوویچ، شبه مرتبه اول و تابع توانی بدلیل آنکه جذب سرب بلافاصله انجام گرفت هیچکدام از معادلات قابل پیش بینی نبودند، در حالی که برای کروم معادله تابع توانی توانست به عنوان بهترین مدل برازش شده بر سینتیک جذب کروم معرفی شود. بطور کلی بر طبق نتایج بدست آمده، های تیمار شده با بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس، آهن صفر تمام بهسازهای آلی و غیر آلی، به استثنای نمونه ظرفیتی و کمپوست زباله شهری، سبب افزایش جذب سرب شده اند، اما کاربرد منگنز صفر ظرفیتی نسبت به سایر بهسازها بیشترین اثر را بر جذب سرب از خود نشان داده است. الخطیب و همکاران (۱۹۹۲) در بررسی سینتیک جذب سرب بوسیله چهار معادله الوویچ، فروندلیچ تعدیل شده، معادله پارابولیک، و معادله مرتبه اول نشان دادند که معادله مرتبه اول بهترین برازش های مورد مطالعه داشته است. را بر خاک

جدول ۷-ضریب‌های ثابت، ضریب‌های تبیین (R2) و خطای استاندارد برآورد (SE) معادلات سینتیکی جذب سرب در نمونه خاک‌های تیمار شده (شرح علائم تیمارهای اعمال شده (S1-S12) در جدول۲ آمده است).

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	Control
مرتبه صفر	q_0	۱۳۹۲۵/۹۵	۱۳۹۵۷/۵۰	۱۷۱۵۶/۳۶	۱۷۲۳۲/۳۵	۱۵۳۳۸/۲۳	۱۵۳۳۸/۲۹	۱۷۳۵۰/۹۹	۱۷۵۵۶/۰۹	۱۵۳۳۶/۵۲	۱۵۳۵۶/۲۴	۱۸۳۴۰/۸۴	۲۰۲۹۹/۲۸	۱۵۳۱۶/۶۵
	k_0	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
	R^2	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۴۸
	SE	۲۶۰/۶۳	۲۴۵/۹۰	۲۸۶/۳۲	۲۷۲/۱۱	۲۴۳/۴۵	۲۳۹/۰۱	۲۵۴/۹۲	۲۵۹/۹۶	۲۴۳/۱۴	۲۴۷/۶۹	۲۴۹/۳۳	۲۵۱/۱۴	۲۹۹/۷۷
مرتبه اول	q_0	۱۳۹۲۳/۱۳	۱۳۹۵۵/۰۰	۱۷۱۵۳/۴۷	۱۷۲۲۹/۷۸	۱۵۳۳۵/۹۶	۱۵۳۳۶/۲۳	۱۷۲۴۸/۸۰	۱۷۵۵۳/۸۲	۱۵۳۳۴/۲۹	۱۵۳۵۳/۸۷	۱۸۳۳۸/۸۵	۲۰۲۹۷/۴۳	۱۵۳۱۲/۹۵
	K_1	۶/۵E-۰۷	۶/۱E-۰۷	۵/۴E-۰۷	۵/۲E-۰۷	۵/۴E-۰۷	۵/۴E-۰۷	۵/۱E-۰۷	۵/۰E-۰۷	۵/۵E-۰۷	۵/۴E-۰۷	۴/۶E-۰۷	۴/۱E-۰۷	۵/۷E-۰۷
	R^2	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۴۷
	SE	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
مرتبه دوم	q_0	۱۳۹۲۰/۲۸	۱۳۹۵۲/۴۸	۱۷۱۵۰/۵۵	۱۷۲۲۷/۱۸	۱۵۳۳۳/۶۷	۱۵۳۳۴/۰۵	۱۷۲۴۶/۵۹	۱۷۵۵۱/۵۳	۱۵۳۳۳/۰۴	۱۵۳۵۱/۴۷	۱۸۳۳۶/۸۴	۲۰۲۹۵/۵۷	۱۵۳۰۹/۱۹
	K_2	-۴/۶E-۱۱	-۴/۳E-۱۱	-۳/۱E-۱۱	-۳/۰E-۱۱	-۳/۵E-۱۱	-۳/۵E-۱۱	-۲/۹E-۱۱	-۲/۸E-۱۱	-۳/۶E-۱۱	-۳/۵E-۱۱	-۲/۵E-۱۱	-۲/۰E-۱۱	-۳/۷E-۱۱
	R^2	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۴۶
	SE	۱/۴E-۰۶	۱/۳E-۰۶	۹/۸E-۰۷	۹/۲E-۰۷	۱/۰E-۰۶	۱/۰E-۰۶	۸/۶E-۰۷	۸/۵E-۰۷	۱/۰E-۰۶	۱/۰E-۰۶	۷/۴E-۰۷	۶/۱E-۰۷	۱/۳E-۰۶
مرتبه سوم	q_0	۱۳۹۱۷/۳۹	۱۳۹۴۹/۹۳	۱۷۱۴۷/۶۰	۱۷۲۲۴/۵۶	۱۵۳۳۱/۳۶	۱۵۳۳۱/۸۵	۱۷۲۴۴/۳۷	۱۷۵۴۹/۲۲	۱۵۳۲۹/۷۷	۱۵۳۴۹/۰۶	۱۸۳۳۴/۸۱	۲۰۲۹۳/۷۰	۱۵۳۰۵/۳۶
	K_3	-۶/۵E-۱۵	-۶/۱E-۱۵	-۳/۶E-۱۵	-۳/۴E-۱۵	-۴/۵E-۱۵	-۴/۵E-۱۵	-۳/۴E-۱۵	-۳/۲E-۱۵	-۴/۶E-۱۵	-۴/۵E-۱۵	-۲/۷E-۱۵	-۲/۰E-۱۵	-۴/۸E-۱۵
	R^2	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۴۵
	SE	۲/۰E-۱۰	۱/۸E-۱۰	۱/۱E-۱۰	۱/۱E-۱۰	۱/۴E-۱۰	۱/۳E-۱۰	۱/۰E-۱۰	۹/۷E-۱۱	۱/۴E-۱۰	۱/۴E-۱۰	۸/۱E-۱۱	۶/۰E-۱۱	۱/۷E-۱۰
پخشیدگی سهموی	q_0	۱۳۶۵۸/۱۷	۱۳۷۰۳/۳۳	۱۶۸۷۵/۶۴	۱۶۹۶۳/۲۹	۱۵۰۹۱/۷۱	۱۵۰۹۳/۴۷	۱۶۹۸۹/۷۵	۱۷۲۹۳/۹۷	۱۵۰۸۶/۱۸	۱۵۱۰۸/۲۲	۱۸۰۸۸/۶۹	۲۰۰۴۸/۸۹	۱۵۰۵۳/۱۶
	K_p	۳/۵۸	۳/۳۹	۳/۷۱	۳/۵۷	۳/۲۸	۳/۲۷	۳/۴۹	۳/۴۹	۳/۳۴	۳/۳۰	۳/۳۶	۳/۳۳	۳/۵۰
	R^2	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۶۶
	SE	۱۹۱/۷۹	۱۷۹/۷۸	۲۱۵/۴۸	۲۰۴/۳۳	۱۸۰/۲۴	۱۷۵/۹۱	۱۸۷/۴۸	۱۹۱/۶۷	۱۷۸/۲۸	۱۸۴/۴۲	۱۸۴/۶۳	۱۸۷/۵۳	۲۴۲/۶۶
الوویچ ساده شده	Ln αs⊛	۵۲/۲۸	۵۵/۳۸	۶۱/۹۴	۶۴/۹۷	۶۳/۰۳	۶۳/۴۷	۶۷/۱۸	۶۷/۹۸	۶۲/۰۷	۶۲/۷۰	۷۴/۲۵	۸۳/۰۶	۵۸/۱۸
	βs	۴/۰E-۰۳	۴/۲E-۰۳	۳/۸E-۰۳	۳/۹E-۰۳	۴/۳E-۰۳	۴/۳E-۰۳	۴/۱E-۰۳	۴/۰E-۰۳	۴/۳E-۰۳	۴/۳E-۰۳	۴/۲E-۰۳	۴/۲E-۰۳	۴/۰E-۰۳
	R^2	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۸۳
	SE	۱۰۱/۴۳	۹۲/۳۵	۱۱۹/۶۳	۱۱۳/۰۶	۹۵/۶۱	۹۱/۹۳	۹۷/۶۹	۹۹/۳۲	۹۱/۸۴	۹۹/۳۶	۹۷/۸۵	۱۰۲/۱۰	۱۶۹/۸۰
تابع توانی	a	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲	۱۱۹۳۷/۴۲
	b	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
	R^2	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۸۳
	SE	۷/۵E-۰۳	۶/۸E-۰۳	۷/۱E-۰۳	۶/۷E-۰۳	۶/۴E-۰۳	۶/۱E-۰۳	۵/۸E-۰۳	۵/۸E-۰۳	۶/۱E-۰۳	۶/۶E-۰۳	۵/۴E-۰۳	۵/۱E-۰۳	۱/۱E-۰۲

⊛میزان پارامتر αs به دلیل بزرگی به صورت ln گزارش شده است

جذب عناصر سنگین می تواند بروی سطوح کلوییدی در خاک‌ها شامل هوموس، اکسی هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیوم و بعضی نمک های محلول از جمله کربنات کلسیم انجام شود (آلووی، ۲۰۱۳). گزارشات متعددی از اثر بیوچارها بر کاهش قابلیت دسترسی تحرک عناصر سنگین انجام گرفته است (بسلی و مارمیرولی، ۲۰۱۱) . از آنجا که سطح ویژه در بیوچارهای باشد (لیدیگنا و رینو، ۲۰۱۳)، لذا افزایش جذب سرب تولید شده در دمای بالاتر بیشتر از بیوچارهای تولیدی در دمای پایین می در بیوچار تولید شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس نسبت به بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس قابل انتظار دهد که کاربرد بیوچار تولید شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس و خاکستر بادی بود. به طور کلی نتایج بدست آمده نشان می زغال سنگ به واسطه افزایش پ هاش سبب رسوب سرب به صورت فاز نامحلول شده اند. از طرف دیگر، مکانیسم دقیق سرب بوسیله منگنز صفر ظرفیتی مشخص نیست، هرچند که شاید بتوان بیان کرد افزایش سطح ویژه، سبب افزایش جذب این عنصر دهد که کاربرد منگنز صفر ظرفیتی، بیوچار تولید شده در دمای ۶۰۰ شده است (آینسوورت و همکاران، ۱۹۹۴). نتایج نشان می درجه سلسیوس و خاکستر بادی زغال سنگ برتری محسوسی نسبت به تیمارهای دیگر در تثبیت سرب از خود نشان داده اند.

منابع

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.

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.

Effects of various organic and inorganic amendments application on sorption kinetic of lead in a calcareous soil

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

Abstract
Present study was conducted to determine the benefits of some soil organic and inorganic amendments on lead (Pb) sorption kinetic in a 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^0), and zero valent manganese (Mn^0) at 2% and 5% (W/W) for 90 days at 25°C. After incubation, sorption kinetic of Pb were determined using batch experiments. The increase of Pb sorption in the soils with different amendments followed the sequence Mn^0 > B600> CFA > Fe^0 > B300>MSWC. Among the sorption kinetic, Power function had the best prediction of Pb sorption. Generally, all amendments (except MSWC), improved and increased Pb sorption rate. However, Mn^0 treatment had the highest impact on increasing Pb sorption capacity, it can thus be recommended in the immobilization of Pb from polluted soil.

Keywords: Sorption, Copper, Amendments, Calcareous soil