نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۲، ص. ۹۹۷-۹۸۵

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.5, Nov.-Dec. 2013, p. 985-997

اثر شوری و لجن فاضلاب بر فراهمی و جذب فلزات سنگین توسط گیاه جو

علی فلاحتی مروست[۱*]- علیرضا حسین‌پور[۲]- سید حسن طباطبایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۱

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی اثر شوری خاک برفراهمی و جذب کادمیم، سرب، نیکل، روی و مس در یک خاک تیمار شده با لجن فاضلاب بود. شوری خاک (۲، ۴، ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، عصاره گل اشباع) با نسبت ۱:۱ با استفاده از نمک‌های کلرید سدیم و کلرید کلسیم ایجاد گردید و خاک به مدت یک ماه در رطوبت مزرعه نگه‌داری شد. سپس خاک، با لجن فاضلاب (۱/۵درصد) تیمار گردید و به مدت یک ماه، خوابانده شد. قبل از کشت، غلظت فلزات سنگین در محلول، کلرید محلول و فلزات سنگین عصاره‌گیری شده با DTPA –TEA تعیین گردید. سپس گیاه جو کشت و ۱۰ هفته پس از جوانه‌زنی، قسمت‌های هوایی برداشت و شاخص‌های گیاهی (عملکرد، غلظت و جذب) تعیین شدند. نتایج نشان داد که کلیه سطوح شوری خاک باعث افزایش معنی‌دار مقادیر محلول و قابل استفاده کادمیم، سرب، نیکل، روی و مس شد. شوری خاک بر غلظت وجذب کادمیم و سرب گیاه اثر معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) داشت در حالیکه بر غلظت و جذب روی و مس اثر معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) نداشت. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت قابل استفاده و محلول فلزات سنگین در خاک شد و یون کلر نقش موثری در قابلیت استفاده آن‌ها در خاک داشت. بنابراین نتایج بدست آمده می‌تواند برای ارزیابی جذب فلزات سنگین، در خاک‌های شور تیمارشده با لجن فاضلاب، استفاده شود.

واژه‌های کلیدی : جذب، شوری، فراهمی، فلزات سنگین، لجن فاضلاب

مقدمه

شوری خاک و آلودگی آن با فلزات سنگین، دو مشکل اساسی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان هستند (۷). در برخی از کشورها که مقدار زیادی لجن فاضلاب توسط جمعیت شهری تولید می‌شود، استفاده از جامد زیستی (Biosalid) در مزرعه، روشی متداول می‌باشد (۴۸). حسینی‌خانمیری و همکاران (۶) گزارش کردند به رغم جنبه‌های مفید لجن فاضلاب به عنوان کود آلی، ممکن است به دلیل وجود مقادیر نسبتاً زیاد فلزات سنگین، کاربرد آن به ویژه در مقادیر زیاد در کشاورزی مشکل‌ساز باشد و باعث انباشته شدن بیش از حد فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، مس و روی در خاک گردد. آلودگی خاک به این عناصر موجب ورود آنها به زنجیره غذایی از طریق جذب به وسیله گیاه و ایجاد سمیت می‌گردد.

فلزات سنگین آلاینده‌های اصلی یافت شده در پساب صنعتی هستند هر چند غلظت عناصر غذایی کم نیاز و فلزات سنگین در پساب نسبتاً کم باشد و در محدوده‌ی استانداردهای استفاده مجدد از پساب برای آبیاری باشد، اما این فلزات می‌توانند در خاک و گیاهان به علت استفاده پیوسته از پساب برای آبیاری تجمع پیدا کنند (۳۴). هنوز سطح گسترده‌ای از زمین‌های زراعی آلوده به فلزات سنگین، پاکسازی نشده‌اند، به عنوان مثال ۲×۱۰^{۷} هکتار از زمین‌های زراعی در چین، آلوده به فلزات سنگین هستند (۲۶).

مقدار فلزات سنگین در اندام‌های گیاه هم بستگی زیادی با مقدار قابل استفاده آن‌ها در خاک دارد و نیز اثر فلزات سنگین بر روی گیاه، به گونه گیاهی و همچنین به برهمکنش مثبت و منفی با عناصر دیگر بستگی دارد (۱۳). به طور کلی ویژگی‌های خاک از قبیل مقدار ماده آلی، نوع رس، وضعیت رداکس، مقدار کلرید، اسیدیته و شوری خاک، گونه‌های گیاهی وکودها (نیتروژنی، فسفری، پتاسیمی، روی و غیره) به عنوان فاکتور اصلی در قابلیت استفاده فلزات سنگین در خاک در نظر گرفته می‌شوند (۲۴، ۴۸ و ۴۹).

واثقی و همکاران (۴۶) بیان کردن، کاربرد لجن فاضلاب مقدار آهن، روی، مس، سرب، کادمیم و نیکل قابل استخراج با DTPA را در خاک‌ها افزایش داد. کرمی و همکاران (۱۲) گزارش کردند کاربرد تجمعی لجن فاضلاب در کلیه سطوح کودی مورد مطالعه، باعث افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) غلظت کل و قابل عصاره‌گیری با DTPA

۱ و ۲ – دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: falahati.ali@stu.sku.ac.ir)
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

Archive of SID
www.SID.ir

سرب و کادمیم خاک گردید. آنتولین و همکاران (۱۷) به این نتیجه رسیدند که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت روی، مس و کادمیم در خاک شد. کاباتا پندیاس (۲۱) گزارش کردند که غلظت کادمیم و سرب در دانه گندم تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بیش از سطوح شاهد بود. آنتولین و همکاران (۱۷) دریافتند که غلظت روی و مس در دانه جو پس از کاربرد لجن فاضلاب در خاک افزایش یافت.

در آمریکا و اروپا اسیدیته خاک به عنوان فاکتور مهم در سنجش زیان‌های فلزات سنگین در زنجیره غذایی می‌باشد و افزایش انتقال فلزات از خاک به گیاه، ناشی از کلر بالا در نظر گرفته نشده است (۴۸). با وجود این‌که pH مهم‌ترین عامل کنترل کننده غلظت کادمیم در خاک می‌باشد ولی نتایج بررسی‌های متعدد نشان داده است که نقش شوری در افزایش حلالیت کادمیم، می‌تواند مهم‌تر از pH باشد (۷). ثابت شده است که افزایش شوری، فراهمی فلزات سنگین و جذب آن‌ها توسط محصولات را افزایش می‌دهد (۳۷، ۴۵ و ۴۸). کمپلکس‌های کلرید ناشی از کلرید سدیم با کادمیم و سرب، جذب این فلزات سنگین به وسیله خاک را به طور چشمگیری کاهش و افزایش غلظت کادمیم و کلر در فاز محلول می‌تواند فراهمی کادمیم در خاک را افزایش دهد (۴۸). شوری فراهمی فلزات سنگین را در خاک‌ها افزایش می‌دهد و میزان فراهمی به نوع و مقدار کل فلزات سنگین و نوع نمکی که باعث شوری می‌شود، بستگی دارد. بنابراین هنگامی که اثر شوری بر آزادسازی فلزات سنگین در نظر گرفته می‌شود، باید همه این فاکتورها در نظر گرفته شوند (۱۴).

دو مکانیسم که نقش اصلی را در فراهمی فلزات ایفا می‌کنند عبارتند از کمپلکس آنیون مشتق شده از نمک با فلزات سنگین و رقابت کاتیون مشتق شده از نمک با گونه‌های فلزات سنگین با بار مثبت، برای جذب محل‌ها، روی فاز جامد. اثردو مکانیسم ذکر شده، با شدت مختلف اعمال شده که به فلزات مورد بررسی، نوع و مقدار الکترولیت موجود در سیستم وابسته می‌باشد (۳۸). اکوستا و همکاران (۱۴) گزارش کردند مکانیسم مهمی که فراهمی سرب و کادمیم را در خاک تنظیم می‌کند رقابت بین کمپلکس کلرید سرب یا کادمیم با کلسیم یا منیزیم برای محل‌های جذب در خاک می‌باشد. کاجکوا و کالوگراکیس (۲۲) نشان دادند که شوری خاک، تجمع سرب در ریشه را کاهش در حالی که باعث افزایش آن در برگ شد و علائم سمیت ناشی از سرب، با شوری زیاد ارتباط داشت. لای و همکاران (۲۶) بیان کردند شوری خاک، باعث افزایش جذب فلزات سنگین توسط سبزیجات شد.

لاینگ و همکاران (۲۴) با انجام مطالعات آزمایشگاهی و مزرعه‌ای نشان دادند فراهمی فلزات سنگین با افزایش شوری افزایش یافت. وگلر و همکاران (۴۸) نشان دادند که غلظت کادمیم در محلول خاک، ساقه‌های گندم و برگ‌های چغندر سویسی، با افزایش غلظت کلر در محلول خاک‌های اصلاح شده با جامد زیستی به صورت خطی افزایش یافت و فعالیت گونه $CdCl^{+}$ نسبت به Cd^{2+} آزاد در محلول، ارتباط بیشتری با جذب کادمیم به وسیله گندم و چغندر داشت. موهلینگ و لوچلای (۳۳)گزارش کردند که شوری جذب فلزات سنگین و تجمع آن توسط گندم را افزایش داد.

لجن فاضلاب حاوی مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین است. با توجه به اینکه در خاک‌های شور نواحی خشک، لجن فاضلاب به عنوان کود آلی در زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود، این مطالعه با هدف بررسی تاثیر شوری خاک و لجن فاضلاب بر فراهمی و جذب فلزات سنگین توسط گیاه جو انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. آزمایش گلدانی در قالب آزمایش فاکتوریل با دو سطح لجن فاضلاب (صفر و ۱/۵ درصد وزنی) و پنج سطح شوری عصاره اشباع خاک (شامل شاهد، ۲، ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر) به صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. خاک مورد آزمایش از دانشگاه شهرکرد در منطقه دانشکده کشاورزی با رده بندی فامیل خاک (fine, carbonatic, mesic, Typic calcixerepts) از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری جمع‌آوری و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی خصوصیات اولیه خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۹)، pH و EC با استفاده از نسبت ۲ به ۱ آب به خاک (۳۹ و ۴۳)، گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات سدیم با pH=۷ (۴۲)،کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک ۱ نرمال (۳۰) وکربن آلی خاک به روش اکسایش تر تعیین گردید (۳۶).

مقدار قابل استفاده کادمیم، روی، مس، سرب و نیکل با استفاده از روش DTPA-TEA عصاره‌گیری (۲۹) و با روش طیف سنجی جذب اتمی تعیین شد. همچنین برای تعیین مقدار کل فلزات سنگین، خاک‌ها با اسید نیتریک ۴ مولار عصاره‌گیری (۴۱) و غلظت عناصر با روش طیف سنجی جذب اتمی اندازه‌گیری شد. لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه خانه فاضلاب شهرکرد تهیه و پس از هوا خشک کردن، آسیاب و از الک ۱ میلی متری عبور داده شد و برخی ویژگی‌های آن شامل EC،pH، غلظت کل و قابل استفاده فلزات سنگین، با روش‌های ذکر شده برای نمونه خاک اندازه‌گیری گردید.

نحوه اعمال تیمار شوری و لجن فاضلاب در خاک

جهت اعمال تیمارها، هر گلدان با ۵ کیلوگرم خاک پر شد. برای اعمال شوری، از معادله زیر استفاده شد (۵):

$$\% SSS = ۰/۰۶۴ EC \times SP/۱۰۰$$

که در آن SSS: درصد نمک در خاک، EC: قابلیت هدایت الکتریکی

Archive of SID

www.SID.ir

خاک (dS/m) وSP: درصد اشباع خاک است، درصد اولیه نمک خاک تعیین و همچنین توسط رابطه‌ی فوق، درصد نمک لازم، برای رساندن شوری خاک به سطح مورد نظر محاسبه و از مقدار نمک اولیه، کسر گردید. نتیجه بدست آمده مقدار نمکی بود که به خاک اضافه شد. مقدار نمک لازم (کلرید سدیم و کلرید کلسیم با نسبت ۱ به ۱) با حل کردن در آب مقطر، به خاک اضافه و به مدت یک ماه، رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد. سپس لجن فاضلاب به خاک اضافه شد و به طور کامل با خاک مخلوط گردید و دوباره به مدت یک ماه، رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی نگه داشته شد. سپس خاک گلدان‌ها تخلیه و پس از مخلوط کردن کامل، نمونه‌های خاک از هر گلدان برداشت و هوا خشک گردید و در نهایت خاک‌ها جهت کشت استفاده شدند. در نمونه‌های خاک، EC (۳۹)، کلرید محلول، فلزات سنگین در محلول و مقدار عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA (۲۹)، تعیین شدند. جهت کشت، تعداد ۸ بذر جو رقم لاین چهار، (مطالعات لازم بر روی این رقم در مرکز تحقیقات کشاورزی یزد صورت گرفته و به عنوان رقم مقاوم به شوری به بازار عرضه خواهد شد) داخل هر گلدان کاشته شد. طی این مدت، میزان آب لازم برای حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی به روش وزنی تعیین و به گلدان‌ها اضافه گردید. ده هفته پس از کاشت، بخش هوایی گیاهان برداشت شد. پس از شستشو با آب مقطر، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و وزن خشک اندام‌های هوایی تعیین شد. نمونه‌های گیاهی آسیاب شده و با روش خاکستر خشک عصاره‌گیری و غلظت فلزات سنگین (کادمیم، سرب، نیکل، روی و مس) عصاره‌ها با روش طیف‌سنجی جذب اتمی اندازه-گیری شد. سپس شاخص جذب فلزات سنگین و قدرت یونی با توجه به فرمول‌های زیر محاسبه شد:

غلظت فلز سنگین دراندام هوایی × عملکرد اندام هوایی = جذب فلز سنگین (میلی‌گرم درگلدان)

قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) ×۰/۰۱۳= قدرت یونی

در پایان تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و لجن*

ویژگی		واحد	خاک	لجن مورد استفاده	حد مجاز استاندارد لجن USEPA503
هدایت الکتریکی (۱:۲)		ds/m	۰/۲۶	۶/۵۳	.....
واکنش خاک (pH)		.....	۸/۲۵	۵/۸۵	.....
کربن آلی		٪	۰/۸۴	.....	.....
کربنات کلسیم معادل		٪	۲۰/۰۰	.....	.....
گنجایش تبادل کاتیونی		Cmol(+)/kg	۱۲/۷۰	.....	.....
شن		٪	۱۸/۵۰	.....	.....
سیلت		٪	۴۱/۰۰	.....	.....
رس		٪	۴۰/۵۰	.....	.....
رطوبت حد ظرفیت زراعی		٪	۳۱/۰۰	.....	.....
رطوبت اشباع		٪	۵۳/۰۰	.....	.....
قابل استفاده	کادمیم	mg/kg	۰/۱۲	۱/۰۱	.....
	سرب		۰/۸۵	۲۱/۰۳	.....
	نیکل		۰/۵۸	۳/۱۷	.....
	روی		۰/۶۵	۷۷۳/۶۰	.....
	مس		۱/۰۳	۳۷/۸۶	.....
کل	کادمیم	mg/kg	۰/۳۵	۱۶/۲۵	۳۹
	سرب		۲۲/۲۲	۸۲۲/۵۰	۳۰۰
	نیکل		۳۶/۳۷	۲۱/۶۷	۴۲۰
	روی		۵۱/۴۰	۱۵۸۳/۷۵	۲۸۰۰
	مس		۱۳/۱۲	۱۵۳/۷۵	۱۵۰۰

*- EC و pH در عصاره ۵ به ۱ (آب به لجن) تعیین گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج وبحث

نتایج تجزیه برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (قبل از اعمال تیمارها) و لجن فاضلاب در جدول ۱ آورده شده است. پیامدهای کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی بستگی زیادی به ویژگی‌های شیمیایی لجن مورد استفاده دارد. با توجه به جدول ۱، pH لجن مورد استفاده اسیدی است که عمدتا به دلیل حضور اسیدهای آلی حاصل از تخمیر مواد آلی می‌باشد. EC لجن فاضلاب ۶/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر بود که EC نسبتا بالای آن، احتمالاً به دلیل کلسیم، منیزیم، سدیم و کلر در آن می‌باشد. مقایسه مقادیر عناصر سنگین لجن فاضلاب مورد استفاده با استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (۴۴) در جدول ۱، نشان داد که غلظت کلیه عناصر سنگین بجز سرب، در محدوده استاندارد قرار دارند.

لازم به ذکر است که در کلیه سطوح شوری، اعمال تیمار لجن فاضلاب بر روی خاک‌ها باعث افزایش کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی گردید و نتایج برای تمام سطوح شوری مشابه بود. به طوری که مقدار کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های تیمار شده به ۱/۱۲ درصد و ۱۷/۱۱ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم افزایش یافت. اعمال تیمار شوری و لجن فاضلاب تاثیری بر روی کربنات کلسیم خاک نداشت. بعد از اعمال تیمار شوری و لجن فاضلاب، رطوبت اشباع و ظرفیت زراعی نیز اندازه‌گیری شد و در کلیه سطوح شوری و لجن فاضلاب تغییری مشاهده نشد. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار pH و EC در جدول ۲ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۲، کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب و شوری بر مقدار pH و EC اثرمعنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. اثر متقابل سطوح مختلف لجن فاضلاب و شوری تاثیر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار pH داشت و بر EC اثر معنی‌داری نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌های مقدار pH و EC تحت تاثیر شوری و لجن فاضلاب در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار pH و EC*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		pH	EC
لجن فاضلاب	۱	۰/۴۲۲ **	۰/۴۶۶ **
شوری	۴	۰/۱۷۲ **	۸/۷۸ **
لجن فاضلاب× شوری	۴	۰/۰۱۳ **	۰/۰۰۴ n.s
خطا	۲۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۳
%cv	—	۰/۴۴	۳/۴۱

** – معنی‌دار در سطح ۱٪ وns غیر معنی‌دار

نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر اثر معنی‌دار تیمار شوری، بر مقدار pH و EC بود (جدول ۳، $p<0/05$). با افزایش سطوح شوری، مقدار pH کاهش و مقدار EC افزایش یافت. علت کاهش pH می‌تواند افزایش قدرت یونی و به دنبال آن افزایش فعالیت یون هیدروژن در نتیجه کاهش ضریب فعالیت آن یون باشد. مکانیسم عمل کاهش pH با افزایش شوری، به این صورت می‌باشد که در اثر افزایش شوری خاک، کاتیون‌های موجود در محلول خاک به شدت افزایش یافته، بنابراین H^+ که بر روی سطوح کلوییدی قرار گرفته با این کاتیون‌ها جایگزین گردیده و به همین علت pH محلول خاک و pH خاک کاهش می‌یابد (۸). علت افزایش EC با افزایش سطوح شوری می‌تواند به دلیل افزایش نمک‌های افزوده شده به خاک باشد. در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، مقدار pH کاهش و مقدار EC افزایش یافت. علت کاهش pH در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، می‌تواند به دلیل حضور اسیدهای آلی حاصل از تخمیر مواد آلی باشد (۱۰ و ۱۲). همچنین به نظر می‌رسد علت افزایش EC در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب به دلیل EC نسبتاً بالای لجن باشد. EC نسبتاً زیاد لجن به دلیل غلظت بالای عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم و کلر در آن می‌باشد (۶).

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار محلول فلزات سنگین و کلرید محلول در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مقدار pH و EC تحت تأثیر شوری و لجن فاضلاب *

سطوح لجن فاضلاب		سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر)					میانگین
	(گرم بر کیلو گرم خاک)	شاهد	۲	٤	۸	۱۲	
pH	۰	۸/۲۴^{a}	۷/۹۶^{b}	۷/۹۲^{b}	۷/۸۰^{d}	۷/۷۲^{e}	۷/۹۳ ^{a}
	۱۵	۷/۸۶^{c}	۷/۷۸^{d}	۷/۶۹^{ef}	۷/۶۵^{f}	۷/۴۷^{g}	۷/۶۹ ^{b}
	میانگین	۸/۰۵^{a}	۷/۸۷^{b}	۷/۸۰^{c}	۷/۷۳^{d}	۷/۶۰^{e}	
EC	۰	۰/۲۶^{i}	۰/۵۳^{h}	۱/۰۵^{f}	۲/۱۵^{d}	۳/۱۶^{b}	۱/۴۳^{b}
	۱۵	۰/۵۰^{h}	۰/۸۰^{g}	۱/۲۹^{e}	۲/۳۸^{c}	۳/۴۳^{a}	۱/۶۸^{a}
	میانگین	۰/۳۸^{e}	۰/۶۷^{d}	۱/۱۷^{c}	۲/۲۷^{b}	۳/۲۹^{a}	

*– در هر ردیف و ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.
مقدار pH و EC در عصاره (۱:۲آب به خاک) اندازه‌گیری شد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر مقدار محلول فلزات سنگین و کلرید محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم)*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کادمیم	سرب	روی	مس	کلرید
لجن فاضلاب	۱	۰/۰۰۰۰۱۱ *	۰/۰۲۱ **	۰/۰۰۰۴ **	۰/۰۱۱ **	۱۲۹۲۷/۶**
شوری	۴	۰/۰۰۰۰۳۲ **	۰/۰۰۴ **	۰/۰۳۱ **	۰/۰۰۱۲ **	۸۵۵۶۱/۵**
لجن فاضلاب× شوری	۴	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۲ **	۰/۰۰۰۰۰۰۸ ns	۰/۰۰۰۴ **	۲۳۷۲/۹**
خطا	۲۰	۰/۰۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۴۷۹/۵
%cv	—	۲/۷	۱/۶۱	۱/۰۷	۱/۵۵	۴/۸۴

** و *- به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ وns غیر معنی‌دار

با توجه به نتایج جدول ۴، کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب و شوری بر مقدار محلول فلزات سنگین(سرب، روی و مس)، و کلرید محلول اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت. اثر شوری بر کادمیم محلول، در سطح احتمال ۱درصد و اثر لجن فاضلاب، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سطوح مختلف لجن فاضلاب و شوری تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱درصد بر مقدار محلول سرب و مس و کلرید محلول داشت. نتایج مقایسه میانگین‌های مقدار محلول فلزات سنگین و کلرید محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم) تحت تاثیر شوری و لجن فاضلاب در جدول ۵ آورده شده است.

نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر اثر معنی‌دار تیمار شوری، بر روی فلزات سنگین محلول (کادمیم، سرب، روی و مس) بود (جدول ۵، $p<0/05$). با افزایش سطوح شوری، مقدار محلول فلزات سنگین (کادمیم، سرب، روی و مس) افزایش یافت. بر اساس نتایج جدول ۵، با افزایش سطوح شوری، مقدار کلرید محلول خاک به طور معنی‌دار ($p<0/05$) افزایش یافت. علت افزایش کلر محلول خاک، افزودن املاح محلول (کلرید سدیم و کلرید کلسیم) به خاک می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر قابلیت استفاده فلزات سنگین در جدول ۶ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۶، کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب و شوری و همچنین اثر متقابل سطوح مختلف لجن فاضلاب و شوری اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱درصد بر قابلیت استفاده فلزات سنگین (کادمیم، سرب، نیکل، روی و مس) داشت. نتایج مقایسه میانگین‌های بر مقدار قابل استفاده فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) تحت تاثیر شوری و لجن فاضلاب در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های مقدار محلول فلزات سنگین و کلرید محلول (میلی‌گرم بر کیلوگرم) تحت تاثیر شوری و لجن فاضلاب *

سطوح لجن فاضلاب (گرم بر کیلو گرم خاک)		سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر)					میانگین
		شاهد	۲	٤	۸	۱۲	
کادمیم	۰	۰/۰۵۳ e	۰/۰۵۶ bcde	۰/۰۵۶ bcd	۰/۰۵۶ bcde	۰/۰۵۸ b	۰/۰۵۶ b
	۱۵	۰/۰۵۴ de	۰/۰۵۵ cde	۰/۰۵۷ bcd	۰/۰۵۸ bc	۰/۰۶۱ a	۰/۰۵۷ a
	میانگین	۰/۰۵۴ c	۰/۰۵۶ b	۰/۰۵۷ b	۰/۰۵۷ b	۰/۰۶۰ a	
سرب	۰	۰/۰۷۴ i	۰/۰۸۲ h	۰/۰۸۶ g	۰/۰۹۰ f	۰/۰۹۳ e	۰/۰۸۵ b
	۱۵	۰/۰۷۳ i	۰/۱۲۶ d	۰/۱۳۴ c	۰/۱۵۳ b	۰/۲۰۰ a	۰/۱۳۸ a
	میانگین	۰/۰۷۴ e	۰/۱۰۴ d	۰/۱۱۰ c	۰/۱۲۰ b	۰/۱۴۷ a	
روی	۰	۰/۰۲۳ h	۰/۰۲۹ g	۰/۰۳۸ f	۰/۱۴۶ d	۰/۱۷۳ b	۰/۰۸۲ b
	۱۵	۰/۰۲۹ g	۰/۰۳۶ f	۰/۰۴۴ e	۰/۱۵۳ c	۰/۱۷۹ a	۰/۰۸۸ a
	میانگین	۰/۰۲۶ e	۰/۰۳۳ d	۰/۰۴۱ c	۰/۱۵۰ b	۰/۱۷۶ a	
مس	۰	۰/۰۰۱ j	۰/۰۰۶ i	۰/۰۰۹ h	۰/۰۳۰ g	۰/۰۳۴ f	۰/۰۱۶ b
	۱۵	۰/۰۴۰ e	۰/۰۴۷ d	۰/۰۵۰ c	۰/۰۶۰ b	۰/۰۷۵ a	۰/۰۵۵ a
	میانگین	۰/۰۲۱ e	۰/۰۲۷ d	۰/۰۳۰ c	۰/۰۴۵ b	۰/۰۵۵ a	
کلرید	۰	۴۷/۳۳۰ h	۱۸۹/۳۳۰ g	۳۱۳/۵۸۰ f	۶۴۹/۶۷ d	۹۵۸/۳۳ b	۴۳۱/۶۴ b
	۱۵	۵۹/۱۷۰ h	۱۸۳/۴۲۰ g	۴۰۸/۲۵۰ e	۷۰۹/۶۷ c	۱۰۰۵/۳۳ a	۴۷۳/۱۶ a
	میانگین	۵۳/۲۵۰ e	۱۸۶/۳۸۰ d	۳۶۰/۹۲۰ c	۶۷۹/۶۷ b	۹۸۱/۸۳ a	

*- در هر ردیف و ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر قابلیت استفاده فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم)*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کادمیم	سرب	نیکل	روی	مس
لجن فاضلاب	۱	۰/۰۰۳۷ **	۴/۲۴ **	۰/۰۲۱۸ **	۸۱۱/۲ **	۱/۷۹ **
شوری	۴	۰/۰۰۲ **	۰/۹۵ **	۰/۰۵۲ **	۱/۷۶ **	۰/۱۴۲ **
لجن فاضلاب× شوری	۴	۰/۰۰۰۲ **	۰/۰۳۲ **	۰/۰۰۲۲ **	۱/۱۲ **	۰/۰۱۹ **
خطا	۲۰	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۵
%cv	—	۱/۰۴	۱/۴۷	۱/۲	۰/۷۷	۰/۵۱۷

**- معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) بیانگر اثر معنی‌دار تیمار شوری، بر قابلیت استفاده کادمیم بود ($p<0/05$). که با افزایش سطوح شوری، کادمیم قابل استفاده افزایش یافت. می‌توان نتیجه گرفت که تمایل زیاد کادمیم به تشکیل کمپلکس با کلر و همچنین بالا رفتن حلالیت فاز جامد کنترل کننده این عنصر به دلیل افزایش قدرت یونی باعث زیاد شدن قابلیت استفاده کادمیم در خاک شد. خوش‌گفتارمنش و همکاران (۷) افزایش در مقدار کادمیم قابل استفاده و انباشته شدن آن در گیاه گندم را به دلیل تشکیل کمپلکس کلرید با کادمیم در محلول خاک و کاهش جذب این کمپلکس بر روی ذرات خاک گزارش کردند. خوشگفتارمنش و همکاران (۷) نشان دادند با افزایش غلظت کلرید سدیم آب آبیاری، غلظت کادمیم در محلول خاک، به طور معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش یافت.در حالی که تیمار ۱۲۰ مولار نیترات سدیم، تأثیری بر غلظت کادمیم محلول خاک نداشت.

مقدار قابل استفاده کادمیم در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$) داشت (جدول ۷). می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی قابلیت استفاده این عنصر سمی در خاک را افزایش می‌دهد. نیل و اسپوزیتو (۳۵) گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب باعث کاهش جذب کادمیم توسط سطوح خاک می‌شود. رحیمی آلاشتی و همکاران (۹) گزارش کردند که غلظت کروم، کادمیم، سرب و نیکل در علوفه در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک در مقایسه با گیاهانی که در خاک شاهد رشد کردند، افزایش یافت.

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد با افزایش شوری، سرب قابل استفاده به طور معنی‌داری($p<0/05$) افزایش یافت (جدول ۷). که می‌تواند به علت تمایل زیاد سرب به تشکیل کمپلکس با کلرید و همچنین افزایش قدرت یونی باشد.

جدول۷-مقایسه میانگین‌های مقدار قابل استفاده فلزات سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم) تحت تأثیر شوری و لجن فاضلاب*

	سطوح لجن فاضلاب (گرم بر کیلو گرم خاک)	سطوح شوری (دسی زیمنس بر متر)					میانگین
		شاهد	۲	٤	۸	۱۲	
کادمیم	۰	۰/۱۲۰ j	۰/۱۳۰ i	۰/۱۴۱ h	۰/۱۵۴ f	۰/۱۸۰ b	۰/۱۴۵ b
	۱۵	۰/۱۴۹ g	۰/۱۶۱ e	۰/۱۶۷ d	۰/۱۷۵ c	۰/۱۸۵ a	۰/۱۶۷ a
	میانگین	۰/۱۳۵ e	۰/۱۴۶ d	۰/۱۵۴ c	۰/۱۶۵ b	۰/۱۸۳ a	
سرب	۰	۰/۸۵۰ j	۱/۰۶۰ i	۱/۴۶۰ h	۱/۶۸۰ f	۱/۹۰۰ e	۱/۳۹۰ b
	۱۵	۱/۶۳۰ g	۲/۰۳۰ d	۲/۱۶۰ c	۲/۲۶۰ b	۲/۶۴۰ a	۲/۱۴۰ a
	میانگین	۱/۲۴۰ e	۱/۵۵۰ d	۱/۸۱۰ c	۱/۹۷۰ b	۲/۲۷۰ a	
نیکل	۰	۰/۵۹۰ g	۰/۶۳۰ f	۰/۶۵۰ e	۰/۶۷۰ ed	۰/۷۹۰ b	۰/۶۷۰ b
	۱۵	۰/۶۲۰ f	۰/۶۷۰ ed	۰/۶۹۰ cd	۰/۷۱۰ c	۰/۹۱۰ a	۰/۷۱۹ a
	میانگین	۰/۶۱۰ d	۰/۶۵۰ c	۰/۶۷۰ b	۰/۶۹۰ b	۰/۸۵۰ a	
روی	۰	۰/۶۴۰ h	۰/۶۸۰ gh	۰/۷۶۰ g	۰/۸۵۰ f	۰/۹۰۰ f	۰/۷۷۰ b
	۱۵	۹/۹۶۰ e	۱۰/۶۵۰ d	۱۱/۰۱۰ c	۱۱/۷۲۰ b	۱۲/۴۹۰ a	۱۱/۱۷۰ a
	میانگین	۵/۳۰۰ e	۵/۶۷۰ d	۵/۸۹۰ c	۶/۲۹۰ b	۶/۶۹۰ a	
مس	۰	۱/۰۴۰ j	۱/۰۹۰ i	۱/۱۷۰ h	۱/۲۱۰ g	۱/۲۸۰ f	۱/۱۶۰ b
	۱۵	۱/۳۹۰ e	۱/۴۹۰ d	۱/۶۸۰ c	۱/۷۹۰ b	۱/۹۰۰ a	۱/۶۵۰ a
	میانگین	۱/۲۲۰ e	۱/۲۹۰ d	۱/۴۳۰ c	۱/۵۰۰ b	۱/۵۹۰ a	

*- در هر ردیف و ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

کاجکوا و کالوگراکیس (۲۲) به نتایج مشابهی در رابطه با افـزایش قابلیت استفاده این عنصر دست یافتند. همچنین بیدول و گـوری (۱۸) نشان دادندکه افزایش شوری باعث افزایش غلظت کمپلکس سرب بـا کلرید شد و در نتیجه تجمع سرب در خاک کاهش یافت. بـین خـاک های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به تیمار نشـده از نظـر سـرب قابل دسترس اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) مشاهده شد (جـدول ۵). بنابراین استفاده از لجن فاضلاب در مزرعه قابلیت استفاده سرب را در خاک افزایش می‌دهد. منبـع مهـم سـرب در خـاک‌هـایی کـه لجـن فاضلاب دریافت کردند کمپلکس‌های پایدار مواد آلی با سرب می‌باشد (۲۳). عطایی (۱۰) در مطالعه خود افزایش مقدار قابل استفاده سرب را گزارش کرد.

براساس نتایج جدول ۵ اثـر شـوری بـر قابلیـت اسـتفاده نیکـل، معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) و سطح شوری ۱۲ بر قابلیت استفاده نیکل تـاثیر بیشتری داشت. گواوارا و همکاران (۲۰) نتایج مشابهی در ایـن رابطـه به دست آوردند. وراسلایک و همکاران (۴۷) گزارش کردند شوری بـر سمیت جیوه، کادمیوم، مـس، روی، نیکـل و سـرب تـاثیر دارد. نتـایج جدول ۵ نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب، در خـاک‌هـای تیمـار شده نسبت به شاهد بر قابلیت استفاده نیکل اثر معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) داشت. بنابراین با کاربرد لجن فاضلاب در مزرعـه، قابلیـت دسترسـی نیکل در خاک افزایش می‌یابد. آدمـز و سـاندرس (۱۵) دریافتنـد کـه نیکل در حضور مواد آلی قابلیت کـلات شـدن دارد و در ایـن شـرایط مقدار قابل جذب آن می‌تواند افزایش یابد و سمی شود. عطـایی (۱۰) نیز به نتایج مشابهی در این مورد دست یافت.

با افزایش سطوح شوری، روی قابل اسـتفاده افـزایش معنـی‌داری ($p<۰/۰۵$) داشت. آبیاری با آب شور بر جذب عناصر روی و کادمیم و انتقال‌شان به برگ گونه گیاهی *leucaenaleucocephala* معنی‌دار بود (۳۲). اکوستا و همکاران (۱۴) نتـایج مشـابهی در ایـن زمینـه بدست آوردنـد. در مـورد مقـدار قابـل اسـتفاده روی (جـدول ۷) بـین خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به شاهد اختلاف معنـی‌داری ($p<۰/۰۵$) وجود داشـت. بنـابراین اسـتفاده لجـن فاضـلاب در زمین‌های کشاورزی قابلیت استفاده این فلز در خاک را افزایش مـی‌دهد. کرمی و همکاران (۱۱) نتایج مشابهی را گزارش کردند. لینـدزی (۲۸) نشان داد که با کاربرد لجن فاضلاب در خاک، روی قابل جـذب خاک‌ها افزایش یافت.

با افزایش سطوح شوری، قابلیت استفاده مس بـه صـورت معنـی داری ($p<۰/۰۵$) افزایش یافت (جدول ۷). وراسلایک و همکاران (۴۷) به نتایج مشابهی دست یافتند. اکوستا و همکاران (۱۴) گزارش کردنـد شوری ناشی از کلرید کلسیم و کلرید سدیم،قابلیت استفاده مـس را در خاک افزایش داد. قابلیت استفاده مس، اختلاف معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بین خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به شـاهد نشـان داد (جدول ۷). در نتیجه قابلیت استفاده مس در زمین‌های کشاورزی کـه از لجن فاضلاب جهت تامین کود آلی استفاده می‌شود افـزایش مـی‌یابد. کرمی و همکـاران (۱۱) گـزارش کردنـد کـاربرد تجمعـی لجـن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) مقدار کل و قابل استفاده روی و مس خاک شد. آندرسون (۱۶) نشان داد که غلظت مس قابـل عصاره‌گیری با DTPA با مقادیر کـاربرد لجـن فاضـلاب در مزرعـه مورد آزمایش به طور خطی افزایش یافـت. افـزایش شـوری فراهمـی فلزات سنگین را افزایش و افزایش فراهمی فلزات سنگین به نوع فلز، مقدار کل فلز و نوع نمک ایجاد کننده شوری بستگی دارد (۱۴). نتایج مطالعات هم‌بستگی بین قدرت یونی و شکل محلول و قابـل اسـتفاده فلزات سنگین در جدول ۸ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۸، اگـر چـه شـکل محلـول تمـام فلـزات سنگین با قدرت یونی هم‌بستگی معنـی‌دار داشـت ولـی شـکل قابـل استفاده روی و مس هم‌بستگی معنـی‌داری بـا قـدرت یـونی نداشـت. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر شاخص‌های گیـاهی در جـدول ۹ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب و شوری و همچنین اثر متقابل سـطوح مختلـف لجـن فاضلاب و شوری اثر معنی‌داری (بجز اثر متقابـل لجـن و شـوری بـر غلظت روی) در سطح احتمال ۱٪ بر شاخص‌های گیاهی داشت. نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های گیاهی در جدول ۱۰ ارائه شده است.

نتایج جدول ۱۰ نشـان داد کـه عملکـرد خشـک گیـاه در سـطح شوری ۱۲ با بقیه سطوح تفاوت معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). هر چند در بقیه سطوح تغییری در عملکرد گیاه مشاهده نشد ولی در این سطح شوری، عملکرد به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین قدرت یونی و شکل قابل استفاده و محلول فلزات سنگین*

	محلول				قابل استفاده				
	مس	روی	سرب	کادمیم	مس	روی	نیکل	سرب	کادمیم
قدرت یونی	۰/۶۴ *	۰/۹۶ **	۰/۶۴ *	۰/۸۸ **	۰/۵۶ ns	۰/۲۰ ns	۰/۹۰ **	۰/۷۳ *	۰/۸۵ **

** و *- به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر شاخص‌های گیاهی*

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		عملکرد خشک (گرم در گلدان)	غلظت (میلی گرم بر کیلوگرم)			جذب (میلی‌گرم در گلدان)			
			کادمیم	سرب	روی	مس	کادمیم	سرب	روی	مس
لجن فاضلاب	۱	۷۶/۷۷ **	۱/۴۵ **	۱۱۸۵/۷ **	۴۰۳۱ **	۳۴/۷۸ **	۰/۰۰۰۳ **	۰/۷۱ **	۰/۷۴۸ **	۰/۰۲۲ **
شوری	۴	۱۱/۷۰ **	۱/۱۷ **	۱۴۸/۹ **	۱۱/۴۵ **	۵۳/۴۲ **	۰/۰۰۰۰۷ **	۰/۰۳۳ **	۰/۰۱۲ **	۰/۰۰۰۱۳ **
لجن فاضلاب×شوری	۴	۱/۹۱ **	۰/۰۷۲ **	۴/۵۵ **	۰/۴ ns	۱/۴۶ **	۰/۰۰۰۰۲ **	۰/۰۱۲ **	۰/۰۰۸ **	۰/۰۰۰۰۵ **
خطا	۲۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۸۷	۰/۳۱	۰/۰۸۵	۰/۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۸
%cv	—	۱/۰۲	۹/۰۷	۰/۴۸	۱/۶۶	۲/۴۶	۸/۹	۱/۲۸	۱/۹	۲/۶

** – معنی دار در سطح ۱٪ وns غیر معنی دار

این نتیجه می‌تواند بدین دلیل باشد که در شوری زیاد، فراهمی عناصر غذایی در محلول خاک به واسطه غلظت زیاد یون‌های کلر و سدیم و بعضاً کلسیم کاهش یافته و منجر به اختلال در تغذیه و بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی گیاه می‌گردد (۱).

افزایش میزان فلزات سنگین خاک، منجر به افزایش غلظت آن‌ها، در بافت‌های مختلف گیاهی می‌گردد و از آن جا که فلزات سنگین برای گیاهان سمی نیستند بنابراین می‌توانند بدون نشان دادن آثار مسمومیت، درگیاه تجمع یابند (۱۳). بیشتر فلزات سنگین که در بدن انسان حضور دارد از طریق رژیم غذایی و نوشیدن آب آلوده وارد شده است (۲۵).

بین شاخص‌های گیاهی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری ($p<0/05$) مشاهده شد. کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد، غلظت و مقدار جذب فلزات سنگین شد. بوستانی و رونقی (۴) در مطالعات خود بیان کردند که افزودن سطوح مختلف لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه اسفناج شد که دلیل اصلی افزایش عملکرد اسفناج با کاربرد لجن فاضلاب را وجود مقادیر نسبتاً زیاد مواد آلی و عناصر غذایی ضروری در لجن فاضلاب بیان کردند. کرمی و همکاران (۱۲) با مطالعه اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر کادمیم و سرب در گیاه گندم طی نتایج تجزیه گیاه نشان دادند که لجن فاضلاب اثر معنی‌داری بر غلظت کادمیم ریشه و ساقه و سرب دانه داشت. بوستانی و رونقی (۴) گزارش کردند در اثر کاربرد ۸۰ گرم در کیلوگرم لجن فاضلاب، غلظت روی در اسفناج در بافت‌های خاک مورد مطالعه (لوم رسی، لوم شنی و شنی) به ترتیب معادل۹۹، ۶۸ و۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. افیونی و همکاران (۲) گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت قابل عصاره‌گیری مس، روی و سرب به وسیله EDTA (اتیلن دی آمین ترا استیک اسید) درخاک و افزایش جذب این فلزات درگیاه شد. عطایی (۱۰) بیان کرد که کاربرد نسبت‌های مختلف لجن فاضلاب، اثر معنی‌داری بر جذب کادمیم، سرب، روی و مس اندام هوایی گیاه ذرت داشت.

نمک‌های کلریدی اساساً کلرید سدیم، غلظت فلزات سنگین را در محصولات کشاورزی افزایش داد (۲۷، ۳۱ و ۴۰). با توجه به نتایج جدول ۱۰، با افزایش سطوح شوری غلظت کادمیم و سرب در گیاه به طور معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش یافت. ولی در مورد دو عنصر روی و مس افزایش شوری تا سطح ۱۲ دسی زیمنس بر متر، تاثیر معنی-داری بر غلظت و مقدار جذب شده نداشت. در سطح شوری ۱۲، غلظت و جذب روی و مس بیشترین مقدار بود و با بقیه سطوح شوری تفاوت معنی‌داری داشت که به علت افزایش غلظت عنصر به دلیل کاهش عملکرد گیاه می‌باشد. یوسمن و همکاران (۴۵) گزارش کردند که شوری بر جذب روی و مس تاثیری نداشت ولی فراهمی کادمیم و سرب در گندم را افزایش داد که به علت افزایش غلظت کل کادمیم و سرب در محلول خاک و تمایل بیشتر این دو عنصر به تشکیل کمپلکس با کلر بود. افزایش شوری بر جذب کادمیم و سرب تاثیر معنی‌داری ($p<0/05$) داشت (جدول ۱۰). ولی بر جذب روی و مس اثر نداشت (بجز سطح ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر).

شوری خاک دسترسی زیستی کادمیم را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین افزایش می‌دهد و روی جذب و تجمع کادمیم به وسیله گیاهان تاثیر می‌گذارد (۲۵). خوشگفتارمنش و همکاران (۷) نشان دادند افزایش غلظت کلرید سدیم، باعث افزایش معنی‌دار ($p<0/05$) غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی گیاه گندم، متناسب با سطح شوری کلرید سدیم گردید و افزایش غلظت کادمیم گیاه در تیمار ۱۲۰مولار نیترات سدیم معنی‌دار ($p<0/05$) نبود. وگلر و همکاران (۴۸) به نتایج مشابهی در رابطه با افزایش غلظت کادمیم در محلول خاک، ساقه‌های گندم و برگ‌های چغندر سویسی، و جذب آن با افزایش غلظت کلر در محلول خاک‌های اصلاح شده با جامد زیستی دست یافتند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰- میانگین شاخص‌های گیاهی در تیمارهای مختلف*

			سطوح لجن فاضلاب (گرم بر کیلو گرم خاک)	سطوح شوری (دسی زیمنس بر متر)					میانگین
				شاهد	۲	٤	۸	۱۲	
عملکرد خشک (گرم در گلدان)			۰	۷/۷۷۰ b	۷/۷۷۰ b	۷/۸۱۰ b	۷/۸۱۰ b	۵/۹۳۰ d	۷/۴۲۰ b
			۱۵	۱۱/۴۷۰ a	۱۱/۴۹۰ a	۱۱/۵۲۰ a	۱۱/۴۸۰ a	۷/۱۱۰ c	۱۰/۶۲۰ a
			میانگین	۹/۶۲۰ a	۹/۹۳۰ a	۹/۶۷۰ a	۹/۶۴۰ a	۶/۵۲۰ b	
غلظت (میلی گرم بر کیلوگرم)	کادمیم		۰	۰/۲۷۰ g	۰/۴۷۰ ef	۰/۵۷۰ e	۰/۸۷۰ d	۱/۲۳۰ c	۰/۶۸۰ b
			۱۵	۰/۳۷۰ gf	۰/۸۷۰ d	۱/۲۰۰ c	۱/۵۰۰ b	۱/۶۷۰ a	۱/۱۲۰ a
			میانگین	۰/۳۲۰ e	۰/۶۷۰ d	۰/۸۸۰ c	۱/۱۸۰ b	۱/۴۵۰ a	
	سرب		۰	۴۷/۰۳۰ i	۵۱/۸۰۰ h	۵۴/۲۳۰ g	۵۸/۵۰۰ f	۶۱/۹۰۰ e	۵۴/۷۰۰ b
			۱۵	۶۱/۹۰۰ e	۶۴/۱۷۰ d	۶۷/۸۰۰ c	۷۰/۱۷۰ b	۷۲/۲۳۰ a	۶۷/۳۰۰ a
			میانگین	۵۴/۵۰۰ e	۵۸/۰۰ d	۶۱/۰۲۰ c	۶۴/۳۰۰ b	۶۷/۰۵۰ a	
	روی		۰	۲۱/۱۵۰ d	۲۱/۲۳۰ d	۲۱/۴۰۰ d	۲۱/۳۳۰ d	۲۴/۸۷۰ c	۲۲/۰۰ b
			۱۵	۴۴/۹۰۰ b	۴۴/۴۰۰ b	۴۴/۸۷۰ b	۴۴/۵۰۰ b	۴۷/۲۳۰ a	۴۵/۱۸۰ a
			میانگین	۳۳/۰۳۰ b	۳۲/۸۲۰ b	۳۳/۱۳۰ b	۳۲/۹۲۰ b	۳۶/۰۵۰ a	
	مس		۰	۹/۸۰۰ d	۹/۸۰۰ d	۹/۵۳۰ d	۹/۵۰۰ d	۱۵/۳۰۰ b	۱۰/۷۸۰ b
			۱۵	۱۱/۳۳۰ c	۱۱/۰۷۰ c	۱۱/۶۰۰ c	۱۱/۶۰۰ c	۱۹/۱۰۰ a	۱۲/۹۴۰ a
			میانگین	۱۰/۵۷۰ b	۱۰/۴۳۰ b	۱۰/۵۷۰ b	۱۰/۵۶۰ b	۱۷/۲۰۰ a	
جذب (میلی‌گرم در گلدان)	کادمیم		۰	۰/۰۰۲ g	۰/۰۰۴ f	۰/۰۰۴ f	۰/۰۰۷ e	۰/۰۰۷ e	۰/۰۰۵ b
			۱۵	۰/۰۰۴ f	۰/۰۱۰ d	۰/۰۱۴ b	۰/۰۱۷ a	۰/۰۱۲ c	۰/۰۱۱ a
			میانگین	۰/۰۰۳ d	۰/۰۰۷ c	۰/۰۰۹ b	۰/۰۱۲ a	۰/۰۱۰ b	
	سرب		۰	۰/۳۷۰ b	۰/۴۰۰ b	۰/۴۲۰ b	۰/۴۶۰ b	۰/۳۷۰ d	۰/۴۰۰ b
			۱۵	۰/۷۱۰ d	۰/۷۴۰ c	۰/۷۸۰ b	۰/۸۱۰ a	۰/۵۱۰ e	۰/۷۱۰ a
			میانگین	۰/۵۴۰ d	۰/۵۷۰ c	۰/۶۰۰ b	۰/۶۳۰ a	۰/۴۴۰ e	
	روی		۰	۰/۱۶۴ c	۰/۱۶۵ c	۰/۱۶۷ c	۰/۱۶۷ c	۰/۱۴۷ d	۰/۱۶۲ b
			۱۵	۰/۵۱۵ a	۰/۵۱۰ a	۰/۵۱۷ a	۰/۵۱۱ a	۰/۳۳۶ b	۰/۴۷۷ a
			میانگین	۰/۳۳۹ a	۰/۳۳۸ a	۰/۳۴۲ a	۰/۳۳۸ a	۰/۲۴۲ b	
	مس		۰	۰/۰۷۶ e	۰/۰۷۶ e	۰/۰۷۵ e	۰/۰۷۴ e	۰/۰۹۱ d	۰/۰۷۸ b
			۱۵	۰/۱۳۰ bc	۰/۱۲۷ c	۰/۱۳۴ ab	۰/۱۳۳ ab	۰/۱۳۶ a	۰/۱۳۲ a
			میانگین	۰/۱۰۳ b	۰/۱۰۲ b	۰/۱۰۴ b	۰/۱۰۴ b	۰/۱۱۳ a	

*- در هر ردیف و ستون میانگین‌های دارای حروف یکسان از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

کاجکوا و کالوگرالیکس (۲۲) گزارش کردند سمیت ناشی از سرب در برگ، با شوری زیاد ارتباط داشت. امینی و همکاران (۳) نشان دادند که غلظت نیکل در اندام هوایی گونه های گیاهی با شوری و قابلیت جذب نیکل در خاک همبستگی مثبت داشت. موهلینگ و لوچلای (۳۳) به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که شوری ناشی از کلرید سدیم و کلرید کلسیم فراهمی فلزات سنگین (کادمیم، سرب، نیکل، روی و مس)را به دلیل تشکیل کمپلکس محلول این فلزات با کلرید در خاک افزایش داد. همچنین افزایش فراهمی فلزات سنگین مطالعه شده بر اثر شوری ایجاد شده توسط کلرید سدیم و کلرید کلسیم، می‌تواند به دلیل افزایش قدرت یونی بر اثر شوری و در نتیجه افزایش حلالیت فازهای جامد کنترل کننده فعالیت فلزات سنگین در خاک‌ها باشد. طبق نتایج به دست آمده، کمترین و بیشترین قابلیت استفاده این عناصر به ترتیب در سطوح شوری ۱ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین، می‌توان نتیجه گرفت علت تفاوت در مقدار قابل استفاده این فلزات در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب نسبت به خاک های تیمار نشده به دلیل وجود مقادیر نسبتاً زیاد این عناصر در لجن فاضلاب و همچنین pH اسیدی آن باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که در سطح شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد گیاه جو را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش عملکرد، غلظت و مقدار جذب فلزات سنگین در گیاه شد. با

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش سطوح شوری غلظت کادمیم و سرب در گیاه به طور معنی-داری ($p<0/05$) افزایش یافت. ولی در مورد دو عنصر روی و مس افزایش شوری تاثیر معنی‌داری بر غلظت و مقدار جذب شده نداشت. افزایش شوری بر جذب کادمیم و سرب تاثیر معنی‌داری ($p<0/05$) داشت. ولی بر جذب روی و مس اثر نداشت (بجز سطح ۱۲ دسی-زیمنس بر متر).

منابع

۱- احمدی م.، آستارایی ع.ر.، کشاورز پ. و نصیری محلاتی م. ۱۳۸۵. تاثیر شوری آب آبیاری و کود روی بر عملکرد و ترکیب شیمیایی گندم.مجله بیابان ۱:۱۴۱-۱۲۹.

۲- افیونی م.، رضایی نژاد ی. و خیامباشی ب. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی۱:۲۹-۱۹.

۳- امینی ف ل.، میرغفاری ن. وعشقی ملایری ب. ۱۳۹۰.بررسی غلظت نیکل در خاک و تعدادی از گونه های گیاهی طبیعی اطراف معدن سرب و روی آهنگران در استان همدان. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست۱:۲۰-۱۱.

۴- بوستانی ح. و رونقی ع. ۱۳۹۰. مقایسه اثر کاربرد لجن فاضلاب و کود شیمیایی بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه اسفناج(*Spinosa olerace* L.) درسه بافت یک خاک آهکی. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای۶:۷۳-۶۵.

۵- بوهن ه.، مک‌نیل ب و اوکانر ج. ۱۳۸۶. شیمی خاک. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۲۴۰.

۶- حسینی‌خانمیری ن.، هاشمی‌مجد ک.، اصغری ش.، اوستان ش و کیوان بهجو ف. ۱۳۹۰. اثرلجن بیولوژیک مجتمع پتروشیمی تبریز بر غلظت برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه جو بهاره در شرایط گلخانه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۸: ۹۲-۸۳.

۷- خوشگفتارمنش ا. ح.، شریعتمداری ح. و کریمیان ن. ۱۳۸۲. اثرهای شوری آب آبیاری و کاربرد روی بر حلالیت کادمیم خاک و غلظت آن در گندم. هشتمین کنکره علوم خاک ایران .۱۲-۹ شهریور. دانشگاه گیلان ۵۹۹-۵۹۶.

۸- دهقانی ا.، فتوت ا.، حق‌نیا غ و کشاورز پ. ۱۳۸۶. تاثیر شوری و کود گاوی بر غلظت و توزیع گونه‌های روی در محلول خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۱:۶۰-۵۳.

۹- رحیمی‌آلاشتی س.، بهمنیار م ع و قاجار سپانلو م.۱۳۹۰. بررسی اثرات باقی مانده و تجمعی لجن فاضلاب بر غلظت سرب و کروم در اندام های گیاهی چمن گندمی رونده (*Agropyrum repens L.*) و شبدر برسیم (*LTrifolum alexandrium*.). مجله علمی پژوهشی مرتع ۵:۸۰-۶۹.

۱۰- عطائی م. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر لجن فاضلاب شهری بر برخی خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد.

۱۱- کرمی م.، افیونی م.، رضایی نژاد ی.و خوشگفتارمنش ا.۱۳۸۷. آثارتجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت روی و مس در خاک و گیاه گندم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۶:۶۵۳-۶۳۹.

۱۲- کرمی م.،رضایی نژاد ی.، افیونی م و شریعتمداری ح. ۱۳۸۷. آثار تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سرب و کادمیم در خاک و گیاه گندم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱:۹۴-۷۹.

۱۳- ملکوتی م. وطهرانی م. ۱۳۸۴. نقش ریز مغذیها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی.چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران. صفحات ۲۲۴ تا ۲۲۲.

14- Acosta J.A., Jansen B., Kalbitz K., Faz A., and Martinez S. 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils.Chemosphere, 85: 1318-1324.

15- Adams T.M., and Sanders J.R. 1984. The effect of pH on release to solution of zinc copper and Nickel from metal loaded sewage sludge. Environmental Pollution, 8:85-99.

16- Anderson M.A. 1997. Long-Term Copper Availability and Adsorption in a Sludge- Amanded Davidson Clay Loam. PhD. Dissertation. Virginia polytechnic Institute and state University. Blacksburg, VA.

17- Antolin M.C., Pascual I., Garcia C., Polo A., and Sanchez-Diaz M. 2005. Grow, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. Field crops Research,94:224-237.

18- Bidwell J.R., and Gorrie R.J. 2005. The influence of salinity on metal uptake and effects in the midge *Chironomus maddeni*., Environmental Pollution, 139:20-213.

19- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 404-407. InKlute A. (ed), Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

20- Guevara-Riba A., Sahuquillo A., Rubio R., and Rauret G. 2005. Effect of chloride on heavy metal mobility of

Archive of SID

www.SID.ir

harbour sediments. Analytical and Bioanalytical Chemistry 382:353–359.
21- Kabata- pendias A., and Pendias H. 2000. Trace element in soils and plants.3rd ed.CRC Press. Boca Raton.New York.
22- Kadukova J., and Kalogerakis N. 2007. Lead accumulation from non-saline and saline environment by *Tamarix smyrnensis* Bunge, European Journal of Soil Biology, 43:216-223.
23- Khoshgoftarmanesh A.H., and Kalbasi M. 2002. Effect of municipal waste leachate on soil properties and growth and yield of rice,Communications in Soil Science and Plant Analysis. 33:2011-2020.
24- Laing Du.G., Vos De.R., Vandecasteele B., Lesage E., Tack F.M.G., and Verloo M.G. 2008. Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. Estuarine Coastal and Shelf Science 77:589-602.
25- Lefevre I., Marchal G., Pierre M., Correal E., and Lutts S. 2009. Chlorid Salinity reduces cadmium accumulation by the Mediterranean halophyte species *atriplex halimus*. Environmental and Experimental Botany 65:142152.
26- Li Q., Cai S., Mo C., Chu B., Peng L., and Yang F.2010. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. Ecotoxicology an Environmental Safety 73: 84-88.
27- Li Y.M., Chaney R.L., and Schneiter A.A. 1994. Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. Plant and Soil, 167:275–280.
28- Lindsy W.L. 1992. Chemical equilibria in soils. John Wiley & sons, New York.
29- LindsyW.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, 42:421-428.
30- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474 In Sparks D.L. (ed), Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison.
31- McLaughlin M.J., Tille K.G., Beech T., and Smart M.K. 1994. Soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers. Journal of Environtal Quality, 23:1013–1018.
32- Mohamed Helal H., Aibec U., and Ghada J.1999.Growth and uptake of Cd and Zn by *Leucaena Leucocephala* in reclaimed soil as affected by NaCl salinity. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 162:589-892.
33- Muhling K.H., and Lauchli A. 2003. Interaction of NaCl and Cd stress on compartmentation pattern of cations, antioxydant enzymes and protein in leaves of two wheat genotypes differing in salt tolerance. Plant and Soil 253, 219–231.
34- Munir J., Rusan M., Hinnawi S. and Rousan L. 2007. Long-term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Journal of Desalination 215:143-152.
35- Neal R.H., and Sposito G.1986. Effect of soluble organic matter and sewage sludge amendments on cadmium sorption by soils at low cadmium concentrations.Soil Science Society of America Journal, 142:164-172.
36- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organicmatter. In:D.L. Sparks(ed.), Methods of soil analysis, part 3: chemical methods. Soil Science Society of America Journal. Madison Wisconsin, 961–1011.
37- Norvell W.A., Wu J., Hopkins D.G., and Welch R.M. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. Soil Science Society of America Journal, 64:2162-2168.
38- Palman M.A.A., van der Weijde C.H, and Loch J.P.G. 1994. Sorption of cadmium on suspended matter under estuarine condition: competition and complexation with major seawater ions, Water, Air and Soil Pollution, 73:49-60.
39- Rhodes J. 1996. Salinity : electrical conductivity and total dissolved salids. In: D .l. Sparks (Ed.), Methods of soil Analysis. Part 3: Chemial Properties. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, p:417-435.
40- Smolders E., and Mclaughlin M.J. 1996. Effect of Cl on Cd uptake by Swiss chard in nutrient solution. Plant and Soil, 179:57-64.
41- Sposito G.L, Lund J., and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46:260-265.
42- Sumner M.E., and Miller W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In:D. L.Sparks(Ed.),Methods of soil analysis, part 3: chemical methods. Soil Science Society of America. Springer-verlag,New York. Madison Wisconsin, 1201–1231.
43- Thomas G.w., 1996. Soil pH and soil acidity. In: D. L. Sparks (Ed.), Methods of soil Analysis. Part 3:Chemical Properties. Soil Science Society of America and America Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, PP:475-483.
44- USEPA. 1995. Land application of sewage sludge and domesic septage. Section 503. EPA/625/R-95/001 USEPA. Washington, DC. pp. 290.
45- Usman A.R.A, Kuzyakov Y., and Stahrk L.a. 2005. Effect of immobilizing substances and salinity on heavy metals availability to wheat grown on sewage sludge-contaminated soil. Soil and Sediment Contamination, 14:329-344.
46- Vaseghi S., Afyuni M., Shariatmadari H., and Mobli M.2003. Effects of sewage sludge and soil pH on

Archive of SID

www.SID.ir

micronutrient and heavy metal availability. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources.7 (3):95-106.

47- Verslycke T., Vangheluwe M., Heijerick D., Schamphelaere K.D., Van Sprang P.,and Janssen C.R. 2003.The toxicity of metal mixtures to the estuarine mysid Neomysis integer (Crustacea:Mysidacea) under changing salinity. Aquatic Toxicology, 64:307-315.

48- Weggler-Beaton K., McLaughlin M.J., and Graham R.D. 2000. Salinity inceases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. Australian Journal of Soil Research 38:37-45.

49- Zhong-qiu Z., Yong –Quan Z., and Yun-long C. 2004. Effect of zinc on cadmium uptake by spring wheat (*Triticum aestivum,L.*)L: long–time hydroponic study and short–time Cd tracing study. Journal of Zhejiang University Science, 6A (7):643-648.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.5, Nov.-Dec. 2013, p. 985-997

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۲، ص. ۹۹۷-۹۸۵

Effect of Salinity and Sewage Sludge on Heavy Metal Availability And Uptake by Barley Plant

A. Falahati Marvast[1*]- A. Hosseinpur[2]- S.H. Tabatabaei[3]

Received: 26-02-2013
Accepted:13-10-2013

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of soil salinity on the availability and uptake of cadmium(Cd), lead(Pb), nickel(Ni), zinc(Zn) and copper(Cu) in a soil treated with municipal sewage sludge (MSS). Soil was salinized (2, 4, 8 and 12 dSm^{-1} soil paste extract) with NaCl + $CaCl_2$ (1:1ratio), and incubated at soil field capacity (FC) for 1 month. The soil was treated with a 1.5 percent of MSS and incubated again at FC for 1 month. Before planting,soluble and DTPA-TEA extractable of heavy metals and soluble Chloride(Cl^-) were determined. Then barley seeds were planted and, plants were harvested 10 weeks after germination. The plant indices (dry weight, heavy metal concentration and heavy metal uptake) were measured. The results showed that all salinity levels significantly increased soluble and availability of Cd, Pb, Ni, Zn and Cu. Soil salinity had a significant effect on concentrations and absorption of Cd and Pb in plant ($P<0.05$), but on the Zn and Cu concentrations and absorption had no significant effect. The results showed that MSS application, increased soluble and availability of heavy metals in soil and chloride ion has effective role in their mobility in soil. It concludes that the results can be used for the evaluation of heavy metal mobility in salty soils in which treated with sewage sludge.

Keywords:Uptake, Clay soil, Heavy metals, Salinity, Sewage sludge

Archive of SID

1,2- M.Sc. Student and Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran
(*-Corresponding Author Email: falahati.ali@stu.sku.ac.ir)
3- Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran

www.SID.ir