

بررسی اثرات باقی‌مانده و تجمعی لجن فاضلاب بر غلظت سرب و کروم در اندام‌های گیاهی چمن گندمی رونده (*Agropyrum repen* L.) و شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium* L.)

سپیده رحیمی آلاشتی^{۱*}، محمدعلی بهمنیار^۲ و مهدی قاجار سپانلو^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۱ - تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۳۰

چکیده

در سال‌های اخیر نگرانی آثار درازمدت فلزات سنگین به‌عنوان آلاینده‌های زیست‌محیطی، افزایش و ارزیابی تجمع عناصر سمی در خاک و گیاهان در محیط‌زیست نیز از نظر سلامت و حیات انسان و سایر موجودات بسیار مهم و ضروری است. در همین رابطه، به‌منظور بررسی آثار کاربرد لجن فاضلاب بر غلظت عناصر سنگین در اندام‌های گیاهی چمن گندمی رونده (*Agropyrum repen* L.) و شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium* L.) که معمولاً برای تغلیف دام استفاده می‌شوند، تحقیقی در قالب طرح اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۷، انجام شد. عامل اصلی لجن فاضلاب در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و عامل فرعی سال‌های مصرف لجن فاضلاب در سه سطح (۸۵، ۸۵، ۸۶، ۸۵ الی ۸۷) بوده است. نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در طول سه سال بر میزان سرب و کروم ریشه و اندام‌هوایی چمن گندمی رونده و شبدر برسیم تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین میزان سرب و کروم در ریشه و اندام‌هوایی چمن گندمی رونده و شبدر برسیم در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار جمع یافت. تیمارهای یک و دو سال کاربرد لجن فاضلاب نیز نسبت به شاهد تفاوت معنی‌دار نشان دادند. همچنین مقدار تجمع سرب و کروم در ریشه چمن گندمی رونده و شبدر برسیم بیشتر از اندام‌هوایی آنها بوده است. درضمن در تمامی سطوح کاربرد لجن فاضلاب، اثر تجمعی بیش از اثر باقی‌مانده بود.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، اثر باقی‌مانده و تجمعی، عناصر سنگین، چمن گندمی رونده و شبدر برسیم.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
* نویسنده مسئول: sepideh.rahimy@yahoo.com

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقدمه

به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، ترکیب لجن فاضلاب، نوع گیاه، سطوح لجن فاضلاب و عوامل اقلیمی است (۶، ۱۱، ۱۳، ۱۵ و ۲۴). لجن فاضلاب دارای غلظت‌های بالایی از عناصر سنگین مانند سرب و کروم است که در نتیجه فرآیندهای صنعتی با لجن فاضلاب مخلوط می‌شوند (۱۴، ۱۹ و ۲۳).

آلودگی خاک با عنصر سرب یکی از مهم‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی در بسیاری از کشورهاست که باعث بروز خطرات جدی برای انسان و محیط‌زیست و دام می‌شود (۱۹). اگر محیط دارای مقادیر زیادی از فلزات سنگین باشد، گیاهان قادرند بیش از مقادیر ذکر شده، فلزات سنگین را جذب و در بخش‌های هوایی و ریشه خود ذخیره سازند. در این راستا مصرف گیاهان علوفه‌ای آلوده توسط دام و حیوانات اهلی از دو دیدگاه قابل بررسی است: اول این‌که استفاده از علوفه‌های آلوده باعث بروز ناراحتی‌هایی در دام و حیوانات اهلی از قبیل کاهش تولید شیر و سرعت رشد، کاهش مقاومت نسبت به بیماری‌ها و عفونت‌ها و اختلال در تولیدمثل می‌شوند. دوم این‌که با مصرف فرآورده‌های آلوده دامی، مواد آلاینده وارد چرخه غذایی انسان خواهند شد. هنگامی که فلزاتی از قبیل کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) همراه با جیره غذایی به مصرف دام برسد، این فلزات به مدت‌های طولانی در کلیه و کبد حیوانات تجمع و ذخیره می‌شوند (۱). لویزا^۱ و استیک^۲ (۲۰۰۶) افزایش غلظت سرب، کروم، کادمیوم و نیکل را در جو در اثر کاربرد لجن فاضلاب گزارش کردند. نتایج حاصل از تحقیقات سینک^۳ و نارول^۴ (۱۹۸۴) نشان داد که با افزایش مقدار لجن فاضلاب مورد استفاده در یک آزمایش گلخانه‌ای، مقدار جذب کادمیوم، نیکل و سرب توسط گیاه افزایش یافته است. همچنین در این رابطه گانز^۵ و همکاران (۱۹۸۷) گزارش کردند که استفاده از لجن فاضلاب در مزرعه باعث افزایش شدید عناصر روی، کبالت، کروم و نیکل در گیاه می‌شود. برتی^۶ و جکوبس^۷ (۱۹۹۶)، لجن فاضلاب شهری حاوی فلزات سنگین شامل کادمیوم،

در سالیان اخیر آلودگی مراتع به عناصر سنگین باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی شده است. اصولاً عوامل مختلفی مانند عامل‌های فیزیولوژیک، ژنتیک، محیط زیست و غیره بر تجمع عناصر سنگین در بافت‌های مختلف بدن جانداران مرتعی مؤثرند. گیاهان علوفه‌ای به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده نیاز غذایی دام‌ها از زمان‌های قدیم مورد توجه زارعین و دامداران بوده است که در بین این گیاهان، خانواده بقولات از اهمیت بیشتری برخوردارند (۱۷). امروزه به‌دلیل افزایش رشد جمعیت و تولید هرچه بیشتر مواد زائد آلی در شهرهای بزرگ و در نهایت تولید و مصرف لجن فاضلاب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. ولی مسئله‌ای که مطرح است احتمال آلودگی آنها به عناصر سنگین مانند سرب، کروم، کادمیوم و نیکل است. وجود عناصری چون سرب و کادمیوم همراه با عناصر کم مصرف در محیط ریزوسفیر، سبب انتقال این عناصر به زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شوند که پیامدهای خطرناکی را می‌توانند به دنبال داشته باشد (۷، ۱۲). ثبات، پایداری و همچنین تجمع زیستی عناصر سنگین در بدن موجودات زنده و انتقال آن به حلقه‌های بعد زنجیره غذایی سبب شده است تا مطالعه الگوهای مختلف تجمع و پراکنش این فلزات در بافت‌های خوراکی و غیر خوراکی گیاهان مرتعی از دیدگاه‌های مختلف، به‌ویژه سلامت غذایی مصرف‌کننده حائز اهمیت باشد (۱۹). مکانیسم اثر سمی فلزات سنگین از نظر زیست‌شیمیایی ناشی از تمایل شدید کاتیون‌های این فلزات به واکنش با گوگرد است. کاتیون‌های فلزات سنگین با ملکول‌هایی که این فلزات را دربر دارند، از طریق بلع وارد بدن می‌شوند و به آسانی به گروه‌های سولفیدریل (-SH) که در بدن انسان و سایر جانداران به‌وفور وجود دارد، متصل می‌شوند، پیوند فلز گوگرد حاصل، معمولاً در آنزیم‌هایی که سرعت واکنش‌های سوخت و سازی مهم در بدن موجودات را کنترل می‌کنند، اثر می‌گذارد، بنابراین این آنزیم‌ها نمی‌توانند وظیفه عادی خود را انجام دهند و سلامتی موجودات به خطر افتاده و گاهی به مرگ منتهی می‌شود (۱۶). جذب و تجمع عناصر سنگین در گیاهان وابسته

1- Lovisa
2- Stig
3- Singh
4- Narwal
5- Ganz
6- BertiW
7- Jacobs

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۶ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۶ متر) در سال زراعی ۱۳۸۷ انجام شد. ویژگی‌های خاک منطقه و لجن فاضلاب مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

طرح آماری مورد استفاده کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی با دو عامل در سه تکرار بود. تیمار اصلی لجن فاضلاب (SS) در سه سطح صفر، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار و تیمارهای فرعی سال‌های مصرف کود (۱ الی ۳ سال) بود. بدین‌منظور، در سال ۱۳۸۵، در کرت‌هایی ۱۲×۳ متری لجن فاضلاب مصرف شد و سپس زیر کشت سویا قرار گرفت. در سال ۱۳۸۶ در سطح دو سوم کرت (۳×۸) لجن فاضلاب مصرف و در آن گیاه ذرت کشت شد. در سال ۱۳۸۷ کرت ۳×۸ به دو قسمت مساوی تقسیم و در یک قسمت تیمارهای لجن فاضلاب اعمال و در نیمی دیگر لجن فاضلاب مصرف نشد و تمام تیمارها زیر کشت ذرت قرار گرفتند (شکل ۱). پس از برداشت ذرت در سال ۱۳۸۷ برای بررسی اثرات باقی‌مانده سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۵-۱۳۸۶ و همچنین اثرات تجمعی عناصر در نتیجه کاربرد سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ در اراضی ذکر شده چمن گندمی رونده و شبدر برسیم به‌صورت مخلوط کشت شدند. قبل از آماده‌سازی زمین از خاک سطحی تیمارها نمونه‌برداری شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، میزان pH نمونه خاک و هدایت الکتریکی در گل اشباع به‌وسیله روش‌های معمول اندازه‌گیری شد. همچنین مقادیر عناصر سنگین قابل جذب خاک و لجن فاضلاب به‌روش DTPA تعیین شد (۴). مقادیر عناصر سنگین کل خاک و لجن فاضلاب پس از عصاره‌گیری با اسید کلریدریک و اسید نیتریک با دستگاه جذب اتمیک اندازه‌گیری شدند (۱۳). در مرحله حداکثر رشد رویشی از ریشه و اندام‌هوایی گیاهان مورد مطالعه نمونه‌برداری انجام شد. پس از برداشت نمونه‌های گیاهی، ضمن شستشو با آب مقطر، اندام‌هوایی و ریشه از هم تفکیک و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

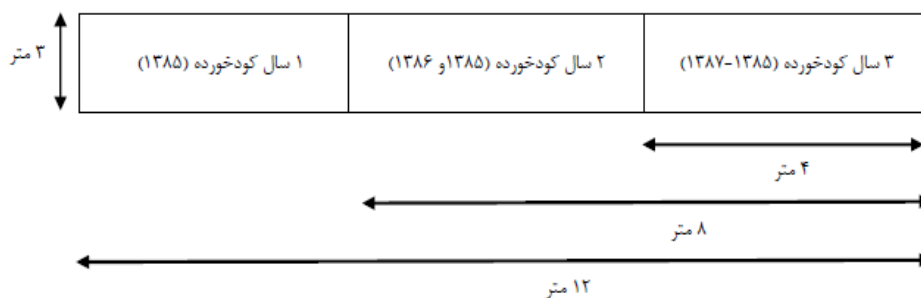
کروم، سرب، نیکل و روی با غلظت‌های زیاد را به‌مدت ۱۰ سال در سه سطح (۶۹۰، ۲۴۰ و ۸۷۰ مگاگرم در هکتار) به‌کار بردند. گیاهان مورد مطالعه، ذرت علوفه‌ای بود که با افزایش سطح لجن، مقادیر قابل جذب کادمیوم، نیکل و روی خاک افزایش یافت اما افزایش سطح لجن بر جذب سرب، کروم و مس گیاه تأثیر زیادی نداشت. وبر^۱ و اراهات (۱۹۷۹) نیز سه سال بعد از کاربرد لجن فاضلاب روی خاک‌های آهکی به تغییر مشخصی در جذب کادمیوم توسط گیاه شبدر پی بردند. در ضمن نتایج یک تحقیق دو ساله بر جذب عناصر کمیاب به وسیله توتون بیانگر این مطلب است که غلظت نیکل و کادمیوم با افزایش سطح لجن مصرفی، در برگ‌های گیاه افزایش چشمگیری داشته است (۲). النیم^۲ و همکاران (۲۰۰۴) نیز افزایش غلظت فلزات سنگین را در اثر کاربرد لجن فاضلاب در گیاه شبدر گزارش کردند. ردی^۳ و دان (۱۹۸۴) نیز در آزمایش خود بر سویا نتایج خود را این گونه گزارش کرده‌اند که؛ همگام با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی مقدار کروم، سرب و نیکل در گیاه با نسبت‌های مختلف افزایش یافته و میزان تجمع این عناصر در برگ‌ها بیش از ساقه بود. افزایش غلظت کادمیوم در شبدر در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک نیز توسط زیونگ^۴ و همکاران (۲۰۰۴) و سینک^۵ و آگراول (۲۰۰۷) گزارش شده است. با توجه به اینکه در اراضی کشاورزی کاربرد فاضلاب شهری در حال افزایش است و محصولات گیاهان روییده‌شده یا گیاهان علوفه‌ای کشت‌شده، پس از برداشت مورد تغلیف دام قرار گرفت و در نهایت در زنجیره غذایی انسان وارد می‌شوند. در این تحقیق با توجه به اهمیت چمن گندمی رونده و شبدر برسیم در تغذیه دام و همچنین افزایش کاربرد لجن فاضلاب در اراضی مرتعی به بررسی اثر لجن فاضلاب بر میزان عناصر سنگین (سرب و کروم) در اندام‌های گیاهی چمن گندمی رونده و شبدر برسیم پرداخته شده‌است.

آماري SPSS و MSTATC تجزيه و تحليل و اختلاف بين ميانگين‌ها با استفاده از آزمون دانكن در سطح ($P < 0.05$) محاسبه شد.

سپس مقادير سرب و کروم در ريشه و اندام‌هوايي گياه از خاکستر خشك به‌روش (AOAC1990) تعيين شد. در پايان، داده‌هاي حاصل با استفاده از نرم‌افزار

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی خاک و لجن فاضلاب مورد استفاده

خصوصیات	واحد	خاک	لجن فاضلاب
pH	-	۷/۷	۶/۲
هدایت الکتریکی	mmho/cm	۰/۶۹	۸/۸
کربن آلی	%	۲/۱۴	۱۴/۴
سرب (کل)	mg/kg	۳۱/۲۳	۵۶/۴۵
سرب (قابل جذب)	"	۰/۶۷	۴/۹۸
کروم (کل)	"	۲۹/۳۰	۱۶۰/۶۱
کروم (قابل جذب)	"	۰/۰۲	۰/۲۱



شکل ۱- نقشه طرح آماری؛ ابعاد کرتها و نحوه اجرای آزمایش

یافت (جدول ۳). همچنین با افزایش تعداد سال‌های کوددهی از یک به سه سال نیز میزان سرب ریشه چمن گندمی رونده با درجه اطمینان ۹۹ درصد به‌طور منظم افزایش نشان داد (جدول ۴). بررسی اثرات باقی‌مانده لجن فاضلاب بر سرب ریشه چمن‌گندمی رونده حاکی از آن است که مقادیر سرب مربوط به تیمارهای یک سال کوددهی که از سه سال پیش تاکنون لجن دریافت نکرده‌اند، همچنان بیش از مقدار سرب شاهد است.

نتایج

سرب

با بررسی جدول تجزیه واریانس، سطح کود مصرفی و سال‌های مصرف و همچنین عکس‌العمل سطح کود مصرفی در مقابل مدت مصرف آن توانست اثر معنی‌داری را بر میزان سرب ریشه چمن‌گندمی رونده و شبدر برسیم نشان دهد (جدول ۲). با افزایش مقدار لجن فاضلاب، غلظت سرب ریشه چمن‌گندمی رونده افزایش

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان سرب و کروم در ریشه و اندام‌هوايي چمن‌گندمی رونده و شبدر برسیم

اندام‌هوايي (کروم)		ریشه (کروم)		اندام‌هوايي (سرب)		ریشه (سرب)		منابع تغییرات
چمن گندمی رونده	شبدر	چمن گندمی رونده	شبدر	چمن گندمی رونده	شبدر	چمن گندمی رونده	شبدر	
**	*	**	ns	ns	**	**	**	سطوح کودی
**	**	**	**	**	**	**	**	سال‌های مصرف
**	*	**	**	*	*	**	*	اثر سال * تیمار کودی
۰/۳۴	۱/۱۳	۰/۳۵	۱/۴۰	۰/۴۸	۰/۷۲	۱/۳۷	۰/۴۲	خطای آزمایش

ns و * = به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح یک، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهند.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های غلظت سرب و کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم) در ریشه و اندام‌هوایی چمن‌گندمی رونده و شبدر برسیم در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب

تیمارها	سرب		کروم	
	چمن‌گندمی رونده	شبدر	چمن‌گندمی رونده	شبدر
ریشه				
شاهد	۱۱/۳ ^c	۳/۴۹ ^b	۷/۳۴ ^b	۳/۴۹ ^c
SS _{۲۰}	۱۲/۹۳ ^b	۱۲/۴۳ ^a	۹/۲۱ ^a	۷/۸۶ ^b
SS _{۴۰}	۱۳/۷۰ ^a	۱۳/۰۷ ^a	۹/۲۳ ^a	۹/۴۲ ^a
اشتباه معیار	۰/۲۲	۰/۴۰	۰/۳۹	0/20
اندام‌هوایی				
شاهد	۹/۰۸ ^b	۱۰/۲۸ ^b	۷/۹۵ ^b	۳/۷۹ ^c
SS _{۲۰}	۹/۳۵ ^b	۱۰/۹۰ ^b	۷/۹۹ ^b	۶/۷۶ ^b
SS _{۴۰}	۱۰/۹۰ ^a	۱۴/۱۸ ^a	۱۰/۱۵ ^a	۸/۵۲ ^a
اشتباه معیار	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۱۹

در هر ستون متعلق به ریشه و اندام‌هوایی اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن ندارند
 SS_{۲۰}: ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار
 SS_{۴۰}: ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار

فاضلاب روند افزایشی نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۳). مصرف دو ساله بهتر از مصرف یک‌ساله تیمار کودی ذکرشده بود و با افزایش سال‌های کودی میزان غلظت سرب در ریشه شبدر برسیم افزایش یافت (جدول ۴). بررسی آثار باقی‌مانده لجن فاضلاب بر سرب ریشه شبدر برسیم در تیمارهای یک سال کوددهی، نشان داد که تیمارهای لجن فاضلاب دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد هستند. همچنین این تیمارها با دیگر سطوح کاربرد لجن نیز تفاوت معنی‌دار داشتند.

بررسی اثرات تجمعی لجن نشان داد که با افزایش سطح کاربرد لجن از ۲۰ به ۴۰ تن در هکتار روند تغییرات سرب ریشه چمن‌گندمی رونده افزایشی است. بالاترین میزان سرب ریشه چمن‌گندمی رونده (۱۵/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) هنگامی به‌دست آمد که به‌میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به‌مدت سه سال متوالی استفاده شد، اما اختلاف معنی‌داری با مصرف سه ساله ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار از نظر آماری نداشت و نسبت به شاهد ۳۱/۹۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). میزان سرب ریشه شبدر برسیم با اضافه کردن لجن

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های غلظت سرب و کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم) در ریشه و اندام‌هوایی چمن‌گندمی رونده و شبدر برسیم در سال‌های مختلف کاربرد لجن فاضلاب

تیمارها	سرب		کروم	
	چمن‌گندمی رونده	شبدر برسیم	چمن‌گندمی رونده	شبدر برسیم
ریشه				
I	۱۱/۷۷ ^b	۶/۹۷ ^c	۷/۰۷ ^c	۶/۰۵ ^c
II	۱۲/۴۳ ^b	۹/۷۰ ^b	۸/۴۶ ^b	۶/۶۹ ^b
III	۱۳/۷۲ ^a	۱۲/۳۳ ^a	۱۰/۲۴ ^a	۷/۸۵ ^a
اشتباه معیار	۰/۲۲	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۲۰
اندام‌هوایی				
I	۸/۶۶ ^c	۱۰/۹۱ ^c	۷/۵۰ ^b	۵/۴۶ ^c
II	۹/۶۵ ^b	۱۱/۷۸ ^b	۸/۰۶ ^b	۶/۳۴ ^b
III	۱۱/۰۳ ^a	۱۲/۶۶ ^a	۱۰/۱۵ ^a	۷/۲۷ ^a
اشتباه معیار	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۱۹

در هر ستون متعلق به ریشه و اندام‌هوایی اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن ندارند

I: سال ۱۳۸۵ II: سالهای ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ III: سال ۱۳۸۷-۱۳۸۵

یافت بالاترین غلظت سرب اندام‌هوایی چمن گندمی رونده مربوط به مصرف سه ساله ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بود و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را با کلیه تیمارهای ذکرشده نشان داد که نسبت به شاهد ۱۶/۰۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵).

مقدار سرب اندام‌هوایی شبدر برسیم در گروه‌بندی دانکن، روند افزایشی نشان داد (جدول ۳). مصرف سه ساله تیمارهای کودی ذکرشده باعث افزایش میزان سرب اندام هوایی شبدر برسیم نسبت به مصرف یکساله آنها شد که از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۴). بررسی آثار باقی‌مانده لجن فاضلاب نشان داد که میزان سرب اندام‌هوایی شبدر برسیم در تیمار ۴۰ تن در هکتار که از سه سال پیش تاکنون کود دریافت نکرده بیش از تیمار شاهد است. این امر حاکی از آن است که اثر باقی‌مانده لجن در سطح بالای کاربرد آن باعث شده است که قابلیت جذب سرب در گیاه همچنان بیش از تیمار شاهد باشد. بررسی اثر تجمعی لجن نشان داد که با افزایش سطح کاربرد لجن و تعداد سال‌های کوددهی میزان سرب اندام‌هوایی شبدر برسیم افزایش یافت (جدول ۵).

مقادیر کود مصرفی تأثیر معنی‌داری را بر غلظت سرب اندام‌هوایی چمن‌گندمی رونده و شبدر برسیم نداشت، اما غلظت سرب اندام‌هوایی چمن‌گندمی رونده و شبدر برسیم نیز با مصرف سه ساله لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری را نشان داد. اثر متقابل مقادیر کود مصرفی و مدت مصرف آن نیز بر غلظت سرب اندام‌هوایی این دو گیاه از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول (۲) کاربرد لجن فاضلاب اثر معنی‌داری را بر غلظت سرب اندام‌هوایی چمن گندمی رونده نداشت، اما در گروه‌بندی دانکن، روند افزایشی در میزان سرب اندام‌هوایی این گیاه مشاهده شد (جدول ۳). ضمن آنکه با افزایش از ۱ به ۳ دفعه کوددهی افزایشی در میزان سرب اندام‌هوایی چمن گندمی رونده چشمگیر است (جدول ۴). بررسی آثار باقی‌مانده لجن بر غلظت سرب اندام هوایی چمن‌گندمی رونده در تیمارهای یک سال کوددهی نشان داد که تفاوتی بین تیمارهای لجن و شاهد وجود ندارد. بررسی آثار تجمعی لجن نشان داد که با افزایش سطح کاربرد لجن و تعداد سال‌های کوددهی میزان سرب اندام هوایی چمن‌گندمی رونده افزایش

جدول ۵- اثر متقابل تیمارهای لجن فاضلاب و سال بر میانگین غلظت‌های سرب و کروم (میلی‌گرم در کیلوگرم) در ریشه و اندام هوایی چمن‌گندمی رونده و شبدر

تیمارها	سرب		کروم	
	ریشه	اندام‌هوایی	ریشه	اندام‌هوایی
۱۳۸۵	چمن‌گندمی رونده	چمن‌گندمی رونده	شبدر برسیم	چمن‌گندمی رونده
شاهد	شبدر برسیم	شبدر برسیم	شبدر برسیم	شبدر برسیم
SS۲۰	۱۱/۳۰ ^c	۷/۰۸ ^{cd}	۱۰/۲۸ ^{de}	۶/۴۳ ^d
SS۴۰	۱۱/۴۱ ^c	۷/۶۴ ^d	۹/۵۰ ^e	۸/۱۳ ^{cd}
۱۳۸۶ و ۱۳۸۵	۱۳/۲۴ ^b	۹/۷۶ ^c	۱۲/۹۶ ^{bc}	۷/۹۵ ^{cd}
شاهد	۱۱/۱۱ ^c	۷/۰۸ ^{cd}	۱۰/۱۰ ^{de}	۷/۵۶ ^{cd}
SS۲۰	۱۲/۷۷ ^b	۹/۶۴ ^{bcd}	۱۰/۹۱ ^d	۷/۰۰ ^d
SS۴۰	۱۳/۲۴ ^b	۱۰/۴۱ ^{bc}	۱۴/۱۸ ^b	۹/۲۳ ^{bc}
۱۳۸۵-۱۳۸۷	۱۱/۵۶ ^c	۷/۰۸ ^{cd}	۱۰/۲۸ ^{de}	۷/۹۵ ^{cd}
شاهد	۱۴/۶۲ ^a	۱۰/۷۴ ^b	۱۲/۲۹ ^c	۱۰/۵۶ ^b
SS۲۰	۱۵/۲۵ ^a	۱۳/۲۵ ^a	۱۵/۴۲ ^a	۱۳/۱۱ ^a
SS۴۰	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۶۱
اشتباه معیار	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۶۱

در هر ستون اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن ندارند. SS۲۰: ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار. SS۴۰: ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار.

کروم

مصرف تأثیر معنی‌داری بر غلظت کروم اندام‌هوایی چمن گندمی رونده و شبدر برسیم داشت (جدول ۲). میزان کروم اندام‌هوایی چمن گندمی رونده با اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک نسبت به شاهد روند افزایشی نشان داده است (جدول ۳) و مصرف سه ساله تیمارهای کودی ذکر شده باعث افزایش میزان کروم اندام‌هوایی چمن گندمی رونده نسبت به مصرف یکساله آنها شد که از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۴). بررسی آثار باقی‌مانده لجن فاضلاب بر میزان کروم اندام‌هوایی چمن گندمی رونده نشان داد که تیمارهای یک سال کوددهی در هیچ یک از سطوح کاربرد لجن دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد نیستند. بررسی اثرات تجمعی لجن نشان داد که با افزایش سطح کاربرد لجن، میزان کروم اندام‌هوایی چمن گندمی رونده افزایش یافت (جدول ۵). میزان کروم اندام‌هوایی شبدر برسیم با اضافه کردن لجن فاضلاب روند افزایشی نسبت به شاهد نشان داده است (جدول ۳) و مصرف سه سال متوالی تیمارهای لجن فاضلاب باعث افزایش بیشتر غلظت کروم اندام‌هوایی شبدر برسیم نسبت به مصرف یک ساله آن شده است (جدول ۴).

بررسی اثر باقی‌مانده لجن فاضلاب بر میزان کروم اندام‌هوایی شبدر برسیم نشان داد که تیمار یک سال کوددهی دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد است. بررسی اثر تجمعی لجن فاضلاب نشان داد که تیمارهایی که ۲ و ۳ سال لجن فاضلاب دریافت داشتند دارای اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد هستند (جدول ۵). بالاترین میزان کروم اندام‌هوایی شبدر برسیم (۱۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) زمانی به دست آمد که از ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به مدت سه سال متوالی استفاده شد اما با سایر تیمارهای کودی در یک گروه قرار نگرفت و نسبت به شاهد بیش از ۱۰۰ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵)

بحث و نتیجه‌گیری

با افزایش سطح کوددهی، غلظت سرب و کروم در ریشه و اندام‌هوایی چمن‌گندمی رونده و شبدر برسیم افزایش یافت. در این رابطه سخار^۱ و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند؛ غلظت کروم، کادمیوم، سرب و نیکل در

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که سطوح کود مصرفی بر غلظت کروم ریشه چمن گندمی رونده معنی‌دار نشد اما بر میزان کروم ریشه شبدر برسیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین استفاده از آن به مدت سه سال متوالی و اثر متقابل سطح کود مصرفی در سال‌های مصرف آن تأثیر معنی‌داری را بر کروم ریشه این دو گیاه داشت (جدول ۲). غلظت کروم ریشه چمن گندمی رونده بر اساس آزمون دانکن به دو گروه معنی‌دار تقسیم شد و روند افزایشی نشان داد (جدول ۳). همچنین مصرف سه ساله لجن فاضلاب منجر به افزایش میزان کروم ریشه چمن گندمی رونده نسبت به مصرف یک ساله آنها شد (جدول ۴).

بررسی آثار باقی‌مانده لجن فاضلاب بر غلظت کروم ریشه چمن‌گندمی رونده حاکی از آن است که تفاوتی بین تیمارهای لجن و شاهد وجود ندارد. بررسی اثرات تجمعی نشان داد که با افزایش سطح و سال کوددهی به طور کلی روند تغییرات کروم ریشه بید افزایشی است (جدول ۵). در ضمن با توجه به جدول (۳)، مقدار کروم ریشه شبدر برسیم به‌طور معنی‌دار متناسب با افزایش مقدار لجن فاضلاب افزایش نشان داد ضمن آنکه در تیمار مصرف سه سال آنها بیشتر از مصرف یک ساله آن بود (جدول ۴). بررسی آثار باقی‌مانده لجن بر غلظت کروم ریشه شبدر برسیم نشان داد که تیمارهای یکسال کوددهی، با وجود گذشت ۳ سال از آخرین کوددهی، همگی دارای میزان جذب کروم بیش از شاهد بودند و بررسی اثرات تجمعی لجن نشان داد که با افزایش سطح لجن فاضلاب از ۲۰ به ۴۰ تن در هکتار روند تغییرات کروم ریشه شبدر برسیم افزایشی است و بالاترین میزان کروم ریشه شبدر برسیم (۱۰/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) متعلق به کاربرد سه سال متوالی از ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بود و همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود تفاوت معنی‌داری را با دیگر تیمارهای کود نشان می‌دهد که در مقایسه با شاهد بیش از ۳ برابر افزایش یافته است.

با استناد به جدول تجزیه واریانس اثر سطح کود و کاربرد چند ساله آن و اثر متقابل بین سطح کود و سال

اشاره کرده‌اند. با توجه به تغییر غلظت سرب و کروم در گیاهان ذکرشده از سالی به سال دیگر به نظر می‌رسد عوامل دیگری علاوه بر مقدار فلز در لجن و پدیده "کهنه شدن" جذب فلز توسط گیاه را کنترل می‌کنند. به‌عنوان مثال شرایط اقلیمی با تأثیر بر عمق ریشه‌دوانی گیاه، پتانسیل جذب فلزات را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۸). نتایج برخی از تحقیقات نشان داده است که میزان جذب فلز توسط گیاه در سال‌های مرطوب بیشتر از سال‌های خشک است (۸). البته باید در نظر داشت که pH و غلظت کل فلز در خاک بخش زیادی از تغییرات سالانه جذب فلزات توسط گیاه را توجیح می‌کند که pH خاک، خود در طی معدنی‌شدن مواد آلی تغییر می‌کند (۱۸). همچنین وی^{۱۱} و لیو^{۱۲} (۲۰۰۵) نیز در یک آزمایش سه ساله، افزایش تجمع فلزات سنگین، در اندام‌های گیاهی جو را در اثر کاربرد لجن فاضلاب مشاهده کردند. فلز سرب به دو روش وارد بدن موجودات می‌شود و در آنها مسمومیت ایجاد می‌کند؛ (۱) از طریق ورود به زنجیره غذایی از راه تغذیه از عناصر این زنجیره و (۲) از طریق تنفس هوای آلوده به سرب است (۲۰). در این رابطه سارکار^{۱۳} (۲۰۰۲) گزارش کرد بین عناصر سنگین، فلز و سرب به دلیل نیمه‌عمر طولانی در بدن انسان و حیوانات و سمی بودن زیاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. از طرفی تجمع فلزات سنگین مانند: سرب و کروم در بدن موجودات زنده مانند پستانداران باعث بیماری‌های خطرناکی می‌شود، از طرفی خاصیت سمی و تجمع فلزات سنگین در گیاهان و جانوران و ورود آنها به زنجیره غذایی خطرات ناشی از آنها را دو چندان ساخته و تأثیرات اکولوژیکی زیادی را به‌وجود می‌آورد (۲۱). همچنین، وقتی غلظت فلزات سنگین به میزانی باشد که بر فعالیت، رشد یا تولیدمثل گیاهان اثر بگذارد، می‌تواند رقابت بین گونه‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهد و آن را به نفع گونه‌های مقاوم نسبت به آلودگی (اغلب گونه‌های علفی و خانواده شبدرد) تغییر دهد. اگرچه ثابت شده است که فلزات سنگین می‌توانند رقابت بین گیاهان را تغییر دهند، ولی چگونگی تغییر این روابط در جمعیت طبیعی، به درستی مشخص نشده است (۲). وبر و

علوفه در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک در مقایسه با گیاهانی که در خاک شاهد رشد یافته‌اند، افزایش یافته است. همچنین جذب ناچیز سرب توسط علوفه در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب توسط مادیوا^۱ و همکاران (۲۰۰۲) گزارش شد. همچنین گانز^۲ و همکاران (۱۹۸۷) نیز گزارش کردند که استفاده از لجن فاضلاب در مزرعه موجب افزایش شدید عناصر کروم و نیکل در گیاه یونجه می‌شود. از طرفی، النیم^۳ و همکاران (۲۰۰۴) افزایش غلظت فلزات سنگین را در اثر کاربرد لجن فاضلاب در شبدرد برسیم گزارش کردند. لویزا^۴ و استیک^۵ (۲۰۰۶) افزایش غلظت سرب، کروم، کادمیوم و نیکل را در جو در اثر کاربرد لجن فاضلاب گزارش کردند. زوبیلاگ^۶ و لاوداو^۷ نیز (۲۰۰۲) مشاهده کردند با کاربرد لجن فاضلاب مقدار عناصر سنگین در برگ شبدرد و یونجه و سبزیجات افزایش می‌یابد و پیشنهاد کردند که در دوره‌های کوتاه‌مدت از لجن فاضلاب برای سبزیجات استفاده شود. در همین رابطه ویلکینسون^۸ و همکاران (۲۰۰۱) افزایش معنی‌دار میزان کادمیوم در علوفه را در اثر افزودن لجن فاضلاب به خاک گزارش کردند. برتی^۹ و جکوبس^{۱۰} (۱۹۹۶)، لجن فاضلاب شهری حاوی فلزات سنگین شامل: کادمیوم، کروم، سرب، نیکل و روی با غلظت‌های زیاد را به‌مدت ۱۰ سال در سه سطح (۲۴۰، ۶۹۰ و ۸۷۰ مگاگرم در هکتار) به‌کار بردند. گیاهان مورد مطالعه، ذرت علوفه‌ای بودند که با افزایش سطح لجن، مقادیر قابل جذب کادمیوم، نیکل و روی خاک افزایش یافت. با افزایش تعداد سال‌های کوددهی از ۱ تا ۳ سال، جذب سرب کروم به‌وسیله ریشه و اندام‌هوایی چمن گندمی رونده و شبدرد برسیم افزایش یافته است. در تعداد زیادی از تحقیقات انجام گرفته در رابطه با آثار کاربرد بلندمدت لجن فاضلاب بر جذب فلزات، به تغییرات سالانه تا ۳ برابر جذب این عناصر توسط گیاه

2- Madyiwa

3- Ganze

4- El-Naim

5- Lovisa

6- Stig

7- Zubillaga

8- Lavado

9- Wilkinson

10- BertiW

11- Jacobs

1- Wei

2- Liu

3- Sarkar

مجاز سرب در گیاه و تعلیف دام به ترتیب ۲۰۰-۱۵۰ و ۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم است. همچنین در مورد کروم نیز حد مجاز در گیاه و تعلیف دام به ترتیب ۱۰-۵ و ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم است.

به طور کلی می توان گفت در هر سه سطح کوددهی مقدار سرب و کروم در هر دو گیاه ذکر شده کمتر از حد سمیت و حد مجاز تعلیف دام بود، بنابراین با توجه به پژوهش انجام شده می توان از دو علوفه مورد مطالعه برای تعلیف دام استفاده کرد، زیرا میزان تجمع فلزات سنگین موجود در اندام های گیاهی چمن گندمی رونده و شبدر برسیم کمتر از حد سمیت برای تعلیف دام بود. از کاربرد مستمر لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی باید خودداری کرد، زیرا استفاده درازمدت از لجن فاضلاب موجب جذب بیشتر این عناصر توسط گیاه و در نتیجه ورود این فلزات سمی به زنجیره غذایی دام و انسان شود.

ارهاط (۱۹۷۹) نیز سه سال بعد از کاربرد لجن فاضلاب روی خاک های آهکی به تغییر مشخصی در جذب کادمیوم توسط گیاه شبدر پی بردند. همچنین سارکار (۲۰۰۲) گزارش کرد تغذیه دامها با علوفه های آلوده به فلزات سنگین موجب افزایش غلظت این فلزات در فرآورده های دامی می شود و این در حالی است که، مصرف فرآورده های آلوده به این فلزات منجر به عوارض مختلفی از جمله کاهش حافظه و یادگیری، افزایش فعالیت های آلرژیک و فشار خون، افسردگی، تحریک پذیری و بیماری های سیستم عصبی و سیستم ایمنی می شوند. این عناصر ضمن ایجاد عوارض در طیور و اثرات مسمومیت سازی و در نتیجه کاهش رشد، کاهش تولید و کاهش بازدهی به علت تجمع در بافت های بدن به خصوص کبد از نظر بهداشت انسان ها و دامها نیز حائز اهمیت است (۲۱). همچنین طبق نتایج (۱۲) مقدار

منابع

1. Aatash nama, K., A. Golchin & M Ismaili, 2007. Accumulation of some heavy metals in three forage crop alfalfa, green pea and sainfoin. Conference on Soil, Environment and Sustainable Development (In Persian)
2. Adamu, C.A., P.F. Beu, C. Mulchi & R. Channey, 1989. Residual metal concentrations in tobacco a decade following farmland application of municipal sludge. *Environmental Pollution*. 56(2): 113- 126.
3. AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1990. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists. 15. Arlington, VA.
4. Baker, D.E & M.C Amacher, 1982, Nickel, copper, zinc and cadmium. In *Methods of soil analysis*, eds . A. L. Page, R. H. Miller & D. R. Keeney, American Society of Agronomy; Madison, Wisconsin, 323-336pp.
5. Berti, W.R. & L.W. Jacobs, 1996. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. *J. of Environmental Quality*. 25 (5): 1025-1032.
6. Bhogal, A., F.A. Nicholson & B.J. Chambers, 2003. Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptake. *Environmental Pollution*. 121 (3): 413-423.
7. Brown, R.E. 1975. Signification of trace metals and nitrates in sludge soil, *J. WPCE*, 47(12): 2863-2875.
8. Brown, S., R.L. Chaney, J.S. Angle and J.A. Ryan. 1998. Organic carbon and the phytoavailability of cadmium to lettuce in long term biosolids amended soils. *Journal of Environmental Quality*. 27: 1071-1078.
9. El-Naim, M.A., M. El-Housseini & M.H. Naeem, 2004. Safety use of sewage sludge as soil conditioner. *J. of environmental science and health*. 39(2): 435-444.
10. Ganze, C.W., J.S. Wahlstron & D.R. Turner, 1987. Fate of heavy metals in sludge disposal and land spread operation- a case history. *J. of Technology*. 19(18): 19-26.
11. Garrido, S., G.M. DelCampo, M. V. Esteller, R. Vaca & J. Lugo, 2005. Heavy metals in soil treated with sewage sludge composting, their effect on yield an uptake of broad bean seeds (*Vicia faba* L.). *Water Air Soil Pollution*. 166 (4):303-319.
12. Kabata-pendias, A., 2001. Trace elements in soils and plants. Third Edition, 413p.
13. Lindsay, W. L. & W.A. Norvell, 1978. Development of a DTPA test for Zinc, Iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American J.*, 42: 421- 428.
14. Lovisa, .S. & L. Stig. 2006. Effects of sewage sludge on pH and plant availability of metals in oxidizing sulphide mine tailings. *Science of the Total Environment*, 358 (1): 21- 35.
15. Madyiwa, S, M. Chimbari, J. Nyamangara & C. Bangira, 2002. Cumulative effects of sewage sludge and effluent mixture application on soil properties of a sandy soil under a mixture of star and kikuyu grasses in Zimbabwe. *Phys. Chem. Earth*, 27: 747-753.
16. Matheichal, J.T., Q. Yu, & J. Feltham, 1997. "Cu (II) Binding by E. Radiate Biomaterial. *Environmental Technology*. 18 (1), 25-34.
17. Mc Grath, S., L. Postma, R.J. McCormack & C. Dowdall, 2000. Analysis of Irish sewage sludge: suitability of sludge for use in agriculture. *Irish J. of Agricultural and Food Research*. 39 (1): 73-78.
18. McBride, M.B. 2003. Toxic metals in sewage sludge- amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? *Advances in Environmental Research*. 8 (1): 5-19.
19. Pourang, N & H. Dennis., 2005. Distribution of trace element in tissues of two shrimp species from the Persian Gulf and roles of metallothionein in their redistribution. *Environment International*, 31 (3): 325-341.
20. Reddy, M.R. & S.J. Dunn. 1984. Accumulation of heavy metals by soybean from sludge amended soil. *Environmental Pollution*. 7 (4): 281-295.
21. Sarkar, B, 2002. Heavy metals in environment. Marcel Dekker, New York. 349p.
22. Sekhar, K.C ., K.R. Supriya , C. T. Kamala, N.S. Chary, T.N. Rao & Y. Anjaneyulu, 2002. Speciation, accumulation of heavy metals in vegetation grown on sludge amended soils and their transfer to human food chain a case study. *Toxicological and Environ Chemistry*. 82 (1): 33-43.

23. Singh R.P, & M. Agrawal, 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety* ,73 (4): 632-641.
24. Singh, B.R. & R.P. Narwal, 1984. plant availability of heavy metals uptake. *Journal of Environmental Quality*. 13: 342-348.
25. Singh, R.P & M .Agrawal, 2007 .Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgarism plants. *Chemosphere*. 67 (11): 2229-2240.
26. Webber, L.R. & E.G. Erhardt, 1979. “Cadmium concentration and distribution in corn grown on a calcareous soil for 3 years after three annual sludge applications”. *Journal of environmental science and health*. 14 (1): 459-474.
27. Wei, Y., & Y. Liu, 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. *Chemosphere*, 59 (9): 1257-1265.
28. Wilkinson, J.M., J. Hill & C. T. Livesey, 2001. Accumulation of potentially toxic elements in the body tissues of sheep grazed on grassland given repeated applications of sewage sludge. *J. of Animal Science*. 72 (1): 179-190.
29. Xiong, X., G. Allinson, F. Stagnitti, P .Li, X. Wang, W. Liu, M. Allinson, N. Turoczy & J. Peterson, 2004. Cadmium contamination of soils of the Shenyang Zhangshi irrigation area, China: an historical perspective. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 73 (2): 270–275.
30. Zubillaga, M.S & R.S. Lavado, 2002. Heavy metal content in lettuce plants grown in biosolids compost. *Compost Science and Utilization*. 10 (4): 363-367.