دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران
تبریز، 2 الی 14 شهریور 1390
(شیمی و آلودگی خاک و سلامت محیط زیست)

جذب و اندوزش سرب توسط برخی گیاهان شورپسند در دو خاک با ویژگی‌های متفاوت

رقیه حمزه‌نژاد تقلیدآباد، حبیب خداوردی‌لو*، شهرام منافی، سالار رضاپور

گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه.کدپستی 165-57135

*email: h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir

چکیده

آلودگی خاک به فلزات سنگین، خطراتی جدّی برای اکوسیستم‌های طبیعی و سلامت انسان و دیگر موجودات می‌آفریند. هدف از این مطالعه بررسی جذب و اندوزش سرب توسط سه گیاه آتریپلکس [*Atriplex verucifera*]، سالیکورنیا [*Salicornia europaea*]، سلمه‌تره [*Chenopodium album*] در خاک‌های آلوده به سرب بود. دو نمونه خاک، یکی شور- سدیمی (S_1) و دیگری غیرشور و غیرسدیمی(S_2) انتخاب گردید. سپس غلظت‌های مختلف سرب (0، 250، 500 و 1000 میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک) به خاک افزوده شد. بذر گیاهان در گلدان‌ها کشت گردید. پس از طی دوره رشد، عملکرد گیاهان و غلظت سرب و سدیم خاک و گیاه اندازه‌گیری شد. عملکرد نسبی سالیکورنیا در خاک S_1 و آتریپلکس و سلمه‌تره در خاک S_2 بالاترین بود. سالیکورنیا و آتریپلکس بالاترین انباشت سرب را تحت شرایط نامطلوب خاک‌های شور- سدیمی داشتند. این نتایج بیانگر این است که این گیاهان توانایی اصلاح خاک‌های آلوده به سرب را دارند. در این پژوهش سالیکورنیا با کمترین کاهش عملکرد نسبی، بردبارترین گیاه نسبت به آلودگی سربی شناخته شد.

کلمات کلیدی: پالایش‌سبز، سرب، آتریپلکس، سالیکورنیا، سلمه‌تره،

مقدمه

با گسترش سریع صنعت در دهه‌های اخیر و همچنین افزایش کشاورزی متمرکز در پاسخ به تقاضای جمعیت در حال رشد، کان‌کنی، تولید و دفع بیشتر زباله و فاضلاب، استفاده از لجن فاضلاب و پساب‌ها به عنوان منابعی جهت تغذیه و آبیاری گیاهان و غیره، منجر به ورود و انباشت فلزات سنگین سمی در خاک‌ها شده است. اغلب فلزات سنگین، بر خلاف آلاینده‌های آلی، به طریق بیولوژیکی یا شیمیایی تجزیه نمی‌شوند و لذا مدت زمان طولانی در خاک اقامت می‌یابند (Guo و همکاران، 2006). سرب یکی از آلودگی‌های پروسعت خاک در اکثر مناطق است که از راه‌هایی گوناگون، از جمله نهشته‌های اتمسفری، دود اتومبیل‌ها، کاربرد پسماندهای صنعتی و لجن فاضلاب, به خاک راه می‌یابد. بنابراین، افزایش غلظت سرب در خاک و در نتیجه تهدید زیست‌بوم و موجودات زنده به یک نگرانی جدّی تبدیل شده است (Tiller، 1989).جذب فلزات توسط گیاهان شورپسند به تحرک و زیست‌فراهمی فلزات در خاک بستگی دارد که با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها از جمله pH، شوری، پتانسیل اکسایش و کاهش، فراوانی مواد آلی و رس تعیین می‌شود (Almeida، 2004). هدف از این مطالعه بررسی جذب و اندوزش سرب توسط سه گیاه شورپسند آتریپلکس [*Atriplex verucifera*]، سالیکورنیا [*Salicornia europaea*]، سلمه‌تره [*Chenopodium album*] در خاک‌های آلوده به سرب بود.

مواد و روش‌ها

دو نمونه خاک سطحی (30-0 سانتیمتری) از استان آذربایجان غربی نمونه‌برداری شد. توزیع اندازه ذرات خاک با

روش هیدرومتری (Gee و Bauder، 1986)، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (Nelson و Sommers ، 1982)، pH خاک در عصاره اشباع توسط pH متر (McLean، 1982)، ظرفیت تبادلی کاتیونی (CEC) با روش باور (Rhoados، 1982)، کربن آلی با روش والکی و بلک (Nelson و Sommers، 1982) و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) با روش استات آمونیم یک نرمال در pH=7 (Lavkulich، 1981) تعیین گردید. در این مطالعه از گیاهان آتریپلکس [*Atriplex verucifera*]، سالیکورنیا [*Salicornia europaea*]، سلمه‌تره [*Chenopodium album*] که مقاوم به شرایط سدیمی و شوری می‌باشند، استفاده شد. خاک‌ها با افزودن مقادیر مناسب نمک نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$ به غلظت‌های 250، 500 و 1000 میلی‌گرم سرب در کیلوگرم خاک آلوده شدند. سپس خاک‌ها در سه تکرار در گلدان‌های 5 کیلویی ریخته شد. پس از پر کردن گلدان‌ها بذر سالیکورنیا، آتریپلکس و سلمه‌تره در گلدان‌های مورد نظر کشت گردید. غلظت سرب در گیاه با روش اکسیداسیونِ تر و غلظت کل سرب در خاک به روش اکسیداسیون با اسید نیتریک 4 مولار و اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی بدست آمد (Brooks، 1999).

شاخص عملکرد نسبی به شکل زیر محاسبه شد:

$$RY= Y_c/Y_o \times 100 \qquad [1]$$

که Y_c عملکرد ماده خشک گیاه در سطح آلودگی c و Y_o عملکرد ماده خشک گیاه در تیمار شاهد در هر خاک است.

برای ارزیابی توانایی گیاهان در پالایش سطوح مختلف آلودگی سربی و تأثیر شوری و سدیم خاک بر این توانایی، در هر سطح آلودگی خاک به سرب ضریب تغلیظ زیستی تعیین شد:

$$BCF = \text{(غلظت فلز در گیاه)} / \text{(غلظت فلز در خاک)} \qquad [2]$$

که BCF ضریب تغلیظ زیستی می‌باشد. هرچه این ضریب بیشتر از یک باشد، به معنای تجمع بیشتر آلودگی خاک توسط گیاه است. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون SNK در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول (1) رده‌بندی خاک‌ها برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (1) این دو خاک از نظر درصد سدیم تبادلی و شوری کاملاً با هم متفاوتند. به طوریکه خاک S_1، خاکی شور-سدیمی است، در حالیکه خاک S_2 غیر شور و غیر سدیمی می‌باشد. همچنین مواد آلی، CEC و pH در خاک S_2 بیشتر از خاک S_1 است، حال آنکه خاک S_1 کربنات کلسیم معادل بیشتری دارد.

جدول1- رده‌بندی و برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رده‌بندی خاک	EC (dSm^{-1})	CEC ($cmol_c kg^{-1}$)	OM (%)	CCE (%)	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	pH	ESP (%)
S1	Typic haplaquepts	18.1	20.8	1.86	37/0	32.5	37.6	29.9	7.6	42/9
S2	Typic endoaquepts	2.5	22.1	2.69	30.5	27.4	32.3	40.3	8.1	3/0

EC: **هدایت‌الکتریکی؛ CEC**: **ظرفیت‌تبادل‌کاتیونی؛ OM**: **مواد آلی؛ CCE**: **کربنات‌کلسیم‌معادل و ESP**: **درصد سدیم قابل‌تبادل**.

جدول (2) تاثیر همزمان سرب و شوری و سدیمی خاک بر شاخص ادغام‌یافته عملکرد نسبی گیاهان مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد. تولید ماده خشک آتریپلکس در خاک شور- سدیمی با سطوح غلظت صفر و 250 میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک، 2/5 برابر بیشتر از ماده خشک تولیدی در خاک غیر شور-سدیمی در همان غلظت‌ها بود. با این حال تفاوت معنی‌داری در تولید ماده خشک توسط آتریپلکس در آلودگی‌های بیشتر از 500 و 1000 میلی

گرم سرب بر کیلوگرم خاک در بین دو خاک مشاهده نشد. همچنین تولید ماده خشک سالیکورنیا در خاک S_1 بدون آلودگی کادمیمی، 3/5 برابر و در آلودگی‌های سربی 250، 500 و 1000 میلی‌گرم بر کیلوگرم 2/5 برابر بیشتر از تیمارهای مشابه در خاک S_2 بود. ماده خشک سلمه‌تره در خاک S_2، 6 تا 8 برابر بیشتر از خاک S_1 در همه تیمارها بود. افزون بر این، نرخ کاهش ماده خشک گیاه با افزایش غلظت‌های سرب تحت تاثیر نوع خاک بود به گونه‌ای که در خاک شور- سدیمی عملکرد سلمه‌تره با افزایش غلظت سرب به شدت کاهش یافت در حالیکه در خاک S_2 کاهش عملکرد چشمگیری با افزایش غلظت سرب مشاهده نشد . ماده خشک برای سالیکورنیا در خاک S_1 و برای آتریپلکس و سلمه-تره در خاک S_2 بالا بود. این نتایج نشان داد که تاثیر آلودگی سربی بر رشد گیاه به طور گسترده به ویژگی‌های خاک و نوع گیاه بستگی دارد. در بین این گیاهان، تنها سالیکورنیا در غلظت 100 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک رشد کرد. سالیکورنیا با نرخ کاهش کم عملکرد، بردبارترین گیاه نسبت به شوری و آلودگی سربی و کادمیمی در این پژوهش بود.

جدول 2- شاخص ادغام‌یافته عملکرد نسبی $^{\$}(Y_c/Y_o)$ گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی سربی در دو خاک شور- سدیمی (S_1) و خاک غیرشور- سدیمی (S_2)

سرب افزوده شده به خاک ($mg\ kg^{-1}$)	عملکرد نسبی گیاهان(%) $^{\$}$					
	آتریپلکس		سالیکورنیا		سلمه‌تره	
	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2
0	2/26	1	3/36	1	0/16	1
250	1/61	0/98	2/60	0/56	0/12	0/99
500	1/09	0/99	2/27	0/42	0/10	0/85
1000	0/91	0/92	2/22	0/06	0/07	0/45

$^{\$}$: **نسبت درصد عملکرد ماده خشک گیاه در هر تیمار (Y_c) به ماده خشک تیمار شاهد در خاک S_2 (Y_o).**

جدول (3) مقادیر میانگین ضریب تغلیظ‌زیستی (BCF) را برای گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در سطوح مختلف آلودگی سربی در دو خاک S_1 و S_2 نشان می‌دهد. مقادیر BCF برای آتریپلکس در همه غلظت‌های سرب 0/09≤ بود در حالیکه برای خاک S_2 بین 0/14-0/09 بود که با افزایش غلظت سرب کاهش یافت. مقادیر BCF برای سالیکورنیا 0/12≤ بود و تفاوت معنی‌دار در هر دو خاک مشاهده شد که این اختلاف معنی‌دار برای خاک S_1 بیشتر از خاک S_2 بود ($p<0/05$). برای سلمه‌تره، مقادیر BCF در غلظت‌های 250 و 500 میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک، به ترتیب 0/11 و 0/13 برای خاک S_1 و 0/02 و 0/07 برای خاک S_2 بود. به طور کلی BCF هر دو فلز توسط گیاهان مورد مطالعه در تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری ($p<0/05$) با سایر تیمارها داشت. با این حال، مقدار BCF در بین غلظت‌های مختلف افزوده شده فلز به خاک تفاوت معنی‌داری ($p<0/05$) نداشتند. سلمه‌تره تمایل نسبتاً بیشتری برای انباشت سرب در خاک شور- سدیمی نشان داد. هر چند با داشتن مقادیر BCF کمتر از 0/15، هیچ کدام از گیاهان مورد مطالعه توانایی بالایی در انباشت سرب نداشتند. بیشترین غلظت سرب در ماده خشک گیاه $85/84\ mg\ kg^{-1}$ برای سلمه‌تره در خاک S_1 و $85/92\ mg\ kg^{-1}$ برای آتریپلکس در خاک S_2 بود. Sai Kachout و همکاران (2009) گزارش کردند که آتریپلکس فلزات سنگین را در ریشه انباشت کرده و مقایر اندکی از آن را به قسمت‌های بالایی گیاه انتقال می‌دهد. داده‌های بدست آمده از این آزمایش نشان داد که این گیاه در پالایش‌سبز خاک با مقادیر بالای غلظت‌های کادمیم، سرب و روی موثر است. Ozawa و همکاران (2010) بیان داشتند که سالیکورنیا توانایی اندوزش مقادیر بالایی از کادمیم نسبت به سایر بیش‌اندوزهای کادمیم دارد و سالیکورنیا را به عنوان گیاهی مناسب برای پالایش‌سبز خاک-های شور آلوده به کادمیم معرفی کردند.

جدول 3- مقادیر میانگین ± انحراف معیار ضریب تغلیظ‌زیستی(BCF) سرب خاک توسط گیاهان آتریپلکس، سالیکورنیا و سلمه‌تره در دو خاک شور- سدیمی (S_1) و خاک غیرشور- سدیمی (S_2)

غلظت سرب کل افزوده شده به خاک($mg\ kg^{-1}$)	BCF (-)$^{\$}$					
	آتریپلکس		سالیکورنیا		سلمه‌تره	
	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2	خاک S_1	خاک S_2
250	0/05 ± 0/01 [a]	0/14 ± 0/03 [a]	0/09 ± 0/01 [a]	0/11 ± 0/02 [a]	0/11 ± 0/12 [a]	0/02 ± 0/01 [a]
500	0/09 ± 0/05 [a]	0/11 ± 0/01 [b]	0/12 ± 0/01 [a]	0/06 ± 0/01 [b]	0/13 ± 0/06 [a]	0/07 ± 0/01 [b]
1000	0/07 ± 0/01 [a]	0/07 ± 0/01 [b]	0/08 ± 0/01 [a]	0/ 08 ± 0/01 [b]	0/08 ± 0/04 [a]	0/07 ± 0/03 [b]

$^{\$}$: نسبت سرب کل در ماده خشک گیاه (C_p) در هر تیمار (Y_c) به غلظت کل سرب در خاک (C_s)

***در هر ستون، اعداد با حروف متفاوت تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد دارند.**

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که سالیکورنیا سالیکورنیا و آتریپلکس بالاترین انباشت سرب را تحت شرایط نامطلوب در خاک‌های شور- سدیمی داشتند. این نتایج بیانگر این است که این گیاهان توانایی اصلاح خاک‌های آلوده به سرب را دارند. در این پژوهش سالیکورنیا بردبارترین گیاه نسبت به شوری و آلودگی سربی شناخته شد و می‌توان از این گیاه برای پالایش همزمان سرب و آلودگی شوری و سدیمی، حتی در غلظت‌های بالای سرب استفاده کرد.

منابع

Almeida CM, Mucha AP and Vasconcelos MT, 2004. Influence of the sea rush Juncus maritimus on metal concentration and speciation in estuarine sediment colonized by the plant. Environ. Sci. Technolgy 38: 3112-3118.

Brooks RR, 1999. Phytochemistry of hyperaccumulators. In: Plants that hyperaccumulate heavy metals. University Press, Cambridge Pp: 261-289.

Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle-size analysis. In: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis, part 1. SSSA Pp: 383-411.

Guo G.L., Zhou Q.X., Koval P.V., Belogolova G.A. 2006. Speciation distribution of Pb, Cu and in contaminated phaiozem in north-east China using single and sequential extraction procedures. Aust J. Soil Res, 44: 135-142.

Lavkulich LM, 1981. Methods Manual, Pedology Laboratory. Department of Soil Science, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada.

McLean EO, 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L. (ed): Methods of soil analysis. Part2. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin USA Pp: 199-224.

Nelson RE, and Sommers, L. E. 1982. Total carbon. Organic carbon and organic matter. In A. L. Page et al. (ed) Methods of soil analysis. Part2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Pp: 539-579.

Ozawa T, Miura M, Fukuda M and Kakuta S, 2010. Cadmium Tolerance and Accumulation in a Halophyte *Salicornia europaea* as a New Candidate for Phytoremediation of Saline Soils. Science. Rep. Grad. School. Life. & Environmental Science 60: 1-8.

Rhoados JD, 1982. Cation exchange capacity. In A. L. Page et al. (ed) Methods of soil analysis. Part2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Pp: 149-158.

Sai Kachout S, Leclerc JC, Ben Mansoura AM, Rejeb N and Ouerghi Z, 2009. Effects of Heavy Metals on Growth and Bioaccumulation of the Annual Halophytes Atriplex Hortensis and A. Rosea. Journal Applied. Science Research 5(7): 746-756.

Tiller KG, 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. Adv. Soil Science 9: 113-142.