

بررسی الگوی تجمع فلزات سنگین، ضرایب تجمع زیستی و انتقال در اندام‌های مختلف

گیاه سالیکورنیا (*Salicornia persica Akhani*)

(مطالعه موردی دشت نمک مردآباد کرج)

هما بهمدی^{۱*}، نیر اعظم خوش خلق سیما^۲، فروغ شواخی^۱، صغری معدنی^۲ و شهین زمردی^۳

۱ و ۳- به ترتیب: استادیار، و کارشناس ارشد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و

ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲- دانشیار پژوهشگاه بیوتکنولوژی ایران، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج

کشاورزی، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۸

چکیده

نظر به مضرات آلاینده‌های فلزات سنگین برای سلامت مصرف کنندگان، این تحقیق باهدف بررسی غلظت کل فلزات سنگین سرب (Pb)، جیوه (Hg)، کادمیم (Cd)، آرسنیک (As) و کروم (Cr) در اندام‌های مختلف (ریشه، ساقه، برگ و بذر) گیاه سالیکورنیا پرسیکا آخانی (*Salicornia persica Akhani*) رویش یافته در دشت نمک مردآباد کرج، مقایسه الگوی تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاه، و همچنین بررسی ضرایب تجمع زیستی و انتقال این فلزات توسط اندام‌های مختلف گیاه سالیکورنیا اجرا شد. الگوی تجمع فلزات در ریشه، در ساقه $Cr > Pb > Hg > Cd > As$ ، در برگ $Pb > Cr > As > Cd > Hg$ و در بذر $Pb > As > Cr > Cd > Hg$ تعیین شد. ضریب تجمع زیستی برای تمامی فلزات سنگین در اندام‌های مختلف سالیکورنیا در محدوده صفر تا ۰/۲۹ بود. معلوم شد سالیکورنیا پرسیکا آخانی قابلیت انباشت خوبی برای فلزات سنگین ندارد و مناسب برای گیاه پالایی به نظر نمی‌آید. غلظت تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه در اندام‌های گیاهی به‌طور معنی‌دار و قابل توجهی کمتر از غلظت آنها در آب و خاک (پروفایل ۰-۳۰ سانتی‌متر و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر) محل رویش بود است. این گونه گیاهی با دارا بودن ضریب انتقال 0.1 ± 0.05 توانایی بالایی در انتقال سرب جذب شده از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه دارد. کمترین ضریب انتقال مربوط به فلز جیوه (0.04 ± 0.038) بوده است.

واژه‌های کلیدی

آلودگی فلزی، ایمنی مواد غذایی، سرب، هالوفیت

مقدمه
پرداختن به موضوع فلزات سنگین به علت

خواص سمی، تجمع‌پذیری، و ماندگاری طولانی مدت آنها در بدن موجودات زنده، اهمیت ویژه‌ای دارد و مقصود فلزاتی هستند که چگالی آنها بالاتر از

حضور آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین یکی از نتایج توسعه صنعت و شهر نشینی است (Fakayode & Olu-Owolabi, 2003).

گیاهان هالوفیت یا شوری پسند گونه‌های هستند که می‌توانند در شرایطی زنده بمانند و رشد کنند که املاح و در نتیجه شوری خاک برای اغلب گیاهان دیگر تحمل ناپذیر است؛ این گیاهان به همین دلیل توانایی بالایی در پالایش خاک و جذب فلزات سنگین دارند (Sruthi *et al.*, 2017). از آنجا که برخی گیاهان شوری پسند مصرف غذایی برای انسان و حیوانات دارند، بررسی مقدار فلزات سنگین در آنها با اهمیت است. *سالیکورنیا* (*Salicornia spp.*) گیاهانی هستند شوری پسند از خانواده اسفناجیان که خواص تغذیه‌ای، آنتی‌اکسیدانی و سلامتی بخش متعددی برای آنها ذکر شده است (Rhee *et al.*, 2009). این گیاه به دلیل نیاز آبی کم، امکان آبیاری با آب شور دریا و اقیانوس و قابلیت رویش در مناطق شور و بیابانی، در برخی کشورها مانند آمریکا، مکزیک، عربستان و مصر به طور صنعتی کشت می‌شود (D'oca *et al.*, 2012). گونه‌های مختلف گیاه *سالیکورنیا* در بخش‌های مرکزی، جنوب، شمال، و شمال غربی ایران رشد می‌کنند. این گیاهان در برخی از مناطق ایران مانند اصفهان (اصفهان، شهرستان ورزنده، بستر رودخانه زاینده رود)، کرج (۶۰ کیلومتری غرب تهران، دشت نمک مرد آباد ۱۱۶۹ متر بالاتر از سطح دریا)، اطراف شهرستان فردوس در خراسان رضوی، مراتع نزدیک دریاچه ارومیه، خوزستان (بندر ماهشهر، منطقه ساحلی، نزدیک مجتمع پتروشیمی ماهشهر، اطراف پل سازندگی)، و هرمزگان (میان بستاک و لار، نزدیک روستای مرآدنام) یافت می‌شود (Ahmadi *et al.* 2016)

در سال‌های اخیر، اهلی کردن گیاهان شوری پسند و ورود آنها به برنامه‌های الگوی کشت در مناطق مستعد مورد توجه جدی وزارت جهاد

۵ گرم در سانتی‌متر مکعب است. می‌توان این عناصر فلزی را در دو دسته طبقه‌بندی کرد: فلزات ضروری (مانند کروم، کبالت، روی، مس، منگنز، آهن) و غیرضروری (مانند سرب، کادمیم، جیوه و آرسنیک) (Baseri *et al.*, 2017). فلزات سنگین معمولاً در خاک‌های سطحی رسوب می‌کنند، توسط خاک جذب می‌شوند و می‌توانند سبب آلودگی زمین‌های کشاورزی و عرصه منابع طبیعی و سرانجام وارد چرخه خاک-گیاه-حیوان و انسان شوند. مصرف محصولات غذایی آلوده به فلزات سمی سنگین ممکن است باعث افزایش غلظت این آلاینده‌ها به بیشتر از آستانه مجاز شود و برای گیاه، حیوان یا انسان مصرف کننده سمی و سرطان‌زا باشد (Fasihi *et al.*, 2017). دریافت مقادیر بالای سرب، کادمیم، آرسنیک، و مشتق متیل جیوه^۱ باعث اختلال در سیستم اعصاب مرکزی و بروز تغییراتی در DNA انسان می‌شود (Karri *et al.*, 2018). برخی از گونه‌های گیاهی توانایی رشد در محیط‌های حاوی مقادیر بالای آلاینده‌های فلزی را دارند. از این گیاهان برای پالایش زیستی^۲ خاک استفاده می‌شود. این دسته از گیاهان برای رشد در خاک‌های حاوی فلزات سنگین از سه راهکار استفاده می‌کنند. در گونه‌های اجتناب کننده^۳ غلظت عنصر در بخش هوایی، حتی در غلظت‌های بالای آن در خاک، در مقادیر پایینی نگه داشته می‌شود (De Vos *et al.*, 1991). در گونه‌های گیاهی شاخص یا متحمل^۴ میزان فلزات سنگین در گیاه با غلظت عناصر مذکور در خاک برابر است. سومین راهکار در گیاهان تجمع دهنده^۵ مشاهده می‌شود. این گونه‌ها قادر به تغلیظ فلز در بخش هوایی خود هستند و معمولاً غلظت فلز در بخش هوایی گیاه بیشتر از غلظت آن در خاک است (Taylor, 1987; White & Pongrac, 2017).

1- Methyl mercury (MeHg)
3- Excluder
5- Accumulator

2- Bioremediation
۳۴ 4- Indicator

سطح زمین در سه تکرار و برای هر تکرار مقدار تقریبی یک کیلوگرم نمونه برداری شد. گیاه *سالیکورنیا* در اطراف رود با تراکم بیشتر و با دور شدن از کانون شوری با تراکم کمتر رشد کرده بود. با دور شدن از محل رودخانه شور، تراکم گیاهی تغییر کرده و گیاهان همراه نیز مشاهده می شدند. نمونه گیاهی به صورت تصادفی از اطراف رود، منطقه با تراکم کمتر، و منطقه با رویش گیاهان همراه برداشت شد. بوته کامل گیاه شامل ریشه، اندام های هوایی، و بذر به طور کامل برداشت شد (Shahi et al., 2017). از هر منطقه حداقل پنج بوته انتخاب شد. گیاه در شهریور ماه به بذر نشسته بود. وزن هر بوته 10.8 ± 2.5 گرم به دست آمد. ریشه ۴۴، ساقه ۴۶، برگ ۹/۱، و بذر ۰/۹ درصد از وزن بوته را تشکیل می داد.

آماده سازی نمونه ها

بوته ها پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شدند. رطوبت نمونه های گیاهی با استفاده از 50 ± 3 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت سنجیده شد (AOAC, 2005a). نمونه ها در دمای محیط به مدت ۷ روز خشک و سپس همگن شدند. اندام های مختلف گیاه جداسازی، با آسیاب خانگی آسیاب، و پس از عبور دادن از الک با مش ۸۰ تا شروع آزمون در کیسه های پلی اتیلنی در بسته و در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سلسیوس) نگهداری شدند. نمونه های خاک نیز پس از همگن شدن به مدت یک هفته در دمای اتاق هوادهی و خشک و از الک با قطر دو میلی متر عبور داده شدند. نمونه های زیر الک برای آزمون های بعدی استفاده شدند (Voutsas et al., 1996).

کشاورزی و به طور خاص پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی قرار گرفته است و انتظار می رود در آینده نزدیک تولید و مصرف *سالیکورنیا* در کشور گسترش قابل توجهی داشته باشد. هدف از این مطالعه، بررسی غلظت فلزات سنگین سرب (Pb)، جیوه (Hg)، کادمیم (Cd)، آرسنیک (As) و کروم (Cr) در اندام های مختلف (ریشه، ساقه، برگ و بذر) گیاه *سالیکورنیا* گونه پرسیکا آخانی (*Salicornia persica Akhani*) رویش یافته در دشت نمک مردآباد کرج، مقایسه الگوی تجمع فلزات در بخش های مختلف گیاه و بررسی ضرایب انتقال و تجمع زیستی فلزات سنگین در اندام های مختلف گیاه است.

مواد و روش ها

روش تحقیق تحلیلی و توصیفی است و داده های مورد استفاده در تحلیل مبتنی بر اندازه گیری شاخص های مورد نظر در نمونه های برداشت شده است. بر اساس مطالعات قبلی، گیاه *سالیکورنیا* گونه پرسیکا آخانی (*Salicornia persica Akhani*) در شهریور ماه سال ۱۳۹۵ از کرج (۶۰ کیلومتری غرب تهران، نرسیده به اختر آباد، دشت نمک مردآباد) برداشت شد. نمونه آب از قسمت های مختلف رود شور به میزان تقریبی یک لیتر در هر بار نمونه گیری گرفته شد و تا زمان آزمون در ظرف های پلی اتیلنی در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سلسیوس) نگهداری شد. این رود در کنار جاده و محل عبور وسایل نقلیه سبک و سنگین قرار دارد و در سمت جنوب جاده معدن شن و ماسه فعال است. از خاک نیز دو پروفایل ۰-۳۰ سانتی متر و ۳۰-۶۰ سانتی متر

اندازه‌گیری خاکستر

طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) مدل ۷۹۰۰۰ ساخت شرکت Agilent کشور آمریکا، غلظت کل فلزات مورد بررسی خوانده شد (Sharma *et al.*, 2008). یادآوری می‌شود برای واسنجی دستگاه برای نمونه‌های با غلظت پی‌پی‌بی از استانداردهای ۱-۵۰ پی‌پی‌بی (ساخت شرکت مرک^۱ آلمان) و برای نمونه‌های با غلظت پی‌پی‌ام از استاندارد ۱-۵۰ پی‌پی‌ام (ساخت شرکت مرک آلمان) استفاده شد.

آماده سازی نمونه آب

برای خارج کردن رسوبات از نمونه آب، یک میلی لیتر اسید نیتریک و چند قطره اسید پرکلریک و پراکسید هیدروژن به ۲۰ میلی لیتر آب اضافه و پس از یک ساعت، نمونه با دستگاه خوانده شد.

ضریب تجمع زیستی^۳ (BCF)

ضریب تجمع زیستی ریشه و اندام‌های هوایی با رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شدند (Zacchini *et al.*, 2009).

$$BCF_{\text{root}} = \frac{\text{غلظت فلز در خاک}}{\text{غلظت فلز در ریشه}} \quad (۲)$$

$$BCF_{\text{shoot}} = \frac{\text{غلظت فلز در اندام‌های هوایی}}{\text{غلظت فلز در خاک}} \quad (۳)$$

که در آن،

BCF_{root} و BCF_{shoot} = به ترتیب ضریب تجمع زیستی ریشه و اندام‌های هوایی.

ضریب انتقال^۴ (TF)

ضریب انتقال فلز توسط گیاه با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Zacchini *et al.*, 2009).

$$TF = \frac{\text{غلظت فلز در اندام‌های هوایی}}{\text{غلظت فلز در اندام زیرزمینی}} \quad (۴)$$

خاکستر نمونه‌ها با استفاده از کوره الکتریکی (Chamber Furnace مدل K1251 ساخت آلمان) در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. یک گرم از نمونه خشک و پودر شده در بوتله‌ای که قبلاً به وزن ثابت رسیده به مدت ۴ تا ۵ ساعت در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس گذاشته شد تا خاکستر سفید شود (در صورت سفید نشدن خاکستر، بعد از سرد شدن بوتله، چند قطره آب مقطر یا پراکسید هیدروژن اضافه و به مدت ۲ تا ۳ ساعت دیگر تا سفید شدن نمونه در کوره گذاشته شد). درصد خاکستر با استفاده از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد (AOAC, 2005b)

$$(۱) \quad \text{درصد خاکستر} = \frac{(\text{وزن بوتله} - \text{وزن بوتله و خاکستر})}{\text{وزن نمونه}} \times 100$$

آماده‌سازی نمونه برای اندازه‌گیری فلزات سنگین

آماده‌سازی نمونه جامد (خاک و گیاه)

الف- نمونه خاک: ۰/۲ گرم از نمونه خشک شده در بشر ریخته شد و برای آماده سازی و هضم نمونه ۵ میلی لیتر اسید نیتریک و چند قطره پراکسید هیدروژن به آن اضافه گردید. بعد از گذاشتن درپوش (شیشه ساعت) نمونه روی حمام بن ماری قرار داده شد تا فرآیند هضم کامل شود.

ب- آماده سازی نمونه گیاه: مانند نمونه خاک ۰/۲ گرم از نمونه خشک شده در بشر ریخته شد و برای آماده سازی و هضم نمونه، ۵ میلی لیتر اسید نیتریک و چند قطره پراکسید هیدروژن و ۱ میلی لیتر اسید پرکلریک اضافه گردید و بعد از هضم، به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس در دستگاه

1- Inductively coupled plasma mass spectrometry
3- Bio concentration factor

2- Merck
4- Translocation factor

تجزیه و تحلیل آماری

پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و برای تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۵ استفاده شد. تفاوت میانگین غلظت هر یک از فلزات در بین بافت‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه، برگ، و بذر) و همچنین آب و خاک در پروفایل‌های مختلف با آزمون آنالیز واریانس یک طرفه بررسی شد. در صورت معنی‌داری نتیجه، از آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده و تمامی آزمون‌ها در سه تکرار اجرا شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

خاکستر

در شکل ۱، میانگین و انحراف معیار مقدار خاکستر موجود در ریشه، ساقه، برگ و بذر گیاه *سالیکورنیا* نشان داده شده است. مقدار خاکستر بیانگر مقدار عناصر معدنی و فلزات سنگین موجود در نمونه است. میزان خاکستر در ریشه، ساقه، و بذر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت ($p > 0.05$).

بیشترین میزان خاکستر ($22/87 \pm 3/35$ درصد) در برگ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر اندام‌ها دارد.

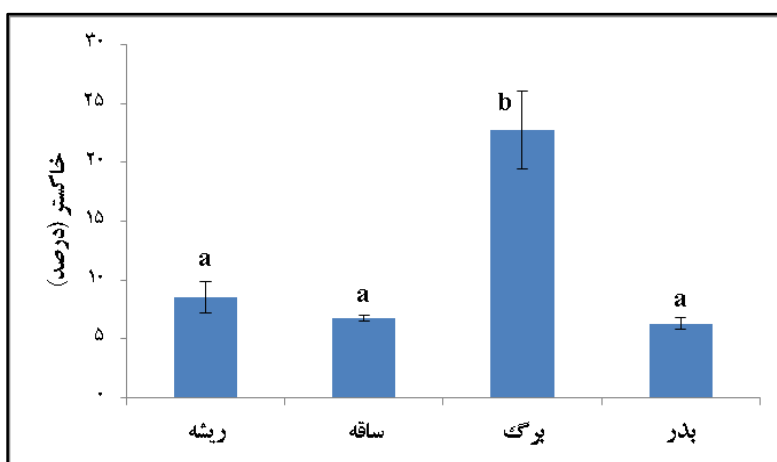
فلزات سنگین

در جدول ۱ نتیجه تجزیه واریانس اثر اندام گیاهی، آب و خاک منطقه بر غلظت فلزات سنگین در نمونه *سالیکورنیا* نشان داده شده است. اثر ضریب‌های مورد بررسی بر غلظت تمامی فلزات سنگین معنی‌دار است ($p < 0.01$).

سرب

کمترین غلظت سرب در ریشه و ساقه مشاهده شد (شکل ۲). غلظت سرب در سایر اندام‌های هوایی گیاهی (برگ و بذر) به‌طور معنی‌داری بیشتر است تا در ریشه و ساقه که می‌تواند به دلیل توانایی گیاه در جذب فلزات از خاک و انتقال آن به اندام‌های هوایی باشد (Baker & Walker, 1990).

غلظت سرب در برگ گیاه ($2/66 \pm 0/015$) قسمت در میلیون) از حد مجاز استاندارد ایران - بیشینه رواداری فلزات سنگین برای سبزی‌های برگی ($0/2$ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) بالاتر است (ISIRI, 2012).



شکل ۱- مقدار خاکستر در اندام‌های مختلف گیاه *سالیکورنیا پرسیکا* آخانی (حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد است.)

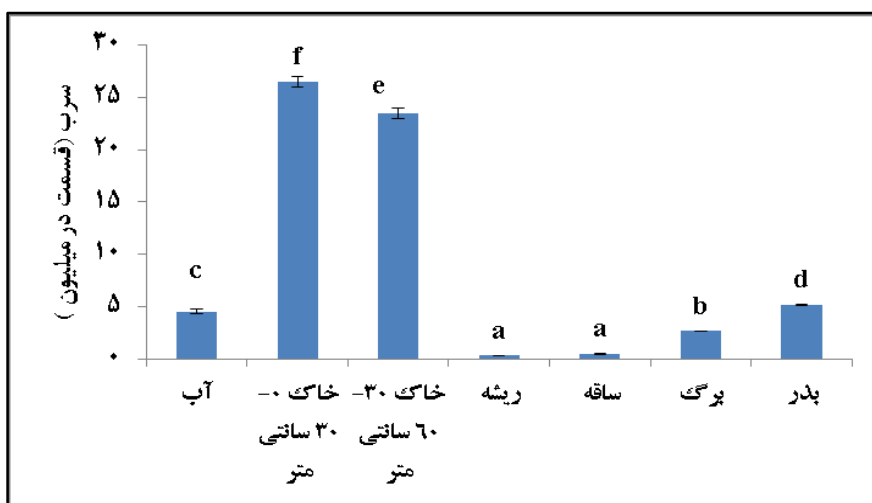
جدول ۱- تجزیه واریانس اثر اندام‌های مختلف گیاهی *سالیکورنیا*، آب و خاک منطقه بر غلظت فلزات سنگین

میانگین مربعات					درجه آزادی	
کروم	آرسنیک	کادمیم	جیوه	سرب		
۲۳۷۳/۲۴۲**	۱۶۲/۵۵۵**	۰/۴۳۶**	۰/۴۳۵**	۳۶۹/۸۳۲**	۶	بین گروه‌ها
۰/۵۴۰	۰/۱۵۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰	۰/۰۷۹	۱۴	داخل گروه‌ها
					۲۰	مجموع

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

(Bigdeli & Seilsepour, 2008). با توجه به محل رویش *سالیکورنیا* (کنار جاده ترابری همگانی و محل عبور و مرور کامیون‌ها و ماشین آلات سنگین معدن)، احتمال جذب فلزات سنگین مانند سرب از خاک و آب، از طریق هوای آلوده نیز وجود دارد (Ercilla-Montserrat *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2017). مهاجر و همکاران (Mohajer *et al.*, 2014) نزدیک بودن زمین کشاورزی مورد مطالعه به کارخانه‌هایی مثل سیمان، وجود احتمالی سرب زیاد در هوای این مناطق به دلیل وجود کارخانه‌های ذکر شده و تردد وسایل نقلیه، وجود باد غالب این منطقه، از غرب به شرق، و فرونشست این فلزات از هوا بر گیاهان را از دلایل تجمع سرب در محصولات می‌دانند. فرونشست جوی فلزات سنگین از هوا و جذب آن توسط سبزی‌های منطقه که در تحقیقی دیگر بدان اشاره شده از دلایل اصلی افزایش غلظت فلزات سنگین در سبزی‌های مورد بررسی گزارش شده است (Sharma *et al.*, 2008). در مطالعه مهاجر و همکاران (Mohajer *et al.*, 2014) نیز علت بالاتر بودن غلظت سرب در گیاه در مقایسه با تحقیق شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2008)، آلودگی بیشتر هوا و جذب اتمسفری سرب توسط محصولات گزارش شده است.

رونیاسی و پرویزی مساعد & Rouniasi (Rouniasi & Mosaed, 2016) نیز تجمع بیشتر فلزات سنگین را در برگ سبزی‌های مصرفی کرج شامل کلم، کاهو، اسفناج و پیاز گزارش کرده‌اند. سبزی‌هایی مانند جعفری در جذب فلزات سنگین مانند کادمیم، نیکل، سرب و روی قابلیت بالایی دارند (Larchevêque *et al.*, 2006). ناظمی و همکاران (Nazemi *et al.*, 2010) نیز گزارش کرده‌اند که میانگین غلظت کروم، سرب، و کادمیم سبزی‌های حومه شهر شاهرود بیش از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی است. گزارش ظفرزاده و رحیم‌زاده (Zafarzadeh & Rahimzadeh, 2015) نیز حاکی است که غلظت کادمیم و سرب نمونه‌های خیار و گوجه‌فرنگی گرگان و گنبد بیش از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی است. ولی در تحقیقی دیگر در مورد کاهو و اسفناج غلظت سرب و کادمیم کمتر از حد استاندارد بهداشت جهانی گزارش شده است (Radwan & Salama, 2006). محققان نیز در بررسی سبزی‌های شهر ری به این نتیجه رسیدند که غلظت سرب در همه محصولات مورد مطالعه بیشتر از حد مجاز توصیه شده سازمان بهداشت جهانی است و بیشترین غلظت سرب در کرفس و کمترین آن در شاهی گزارش شده است.



شکل ۲- غلظت سرب در اندام‌های مختلف گیاه *سالیکورنیا*، آب و خاک منطقه دشت نمک مردآباد (حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد است).

گونه‌ای که دارای ضریب تجمع زیستی در ریشه بزرگ‌تر از یک و ضریب انتقال کوچک‌تر از یک است، برای تثبیت گیاهی و گونه‌ای که دارای ضریب تجمع زیستی در اندام‌های هوایی بزرگ‌تر از یک است، برای برداشت گیاهی مناسب است. کادمیم و سرب از جمله فلزات سنگین هستند که عملکرد بیولوژیکی حیاتی ندارند و حتی در غلظت‌های کم برای موجودات زنده بسیار سمی هستند. حمزه نژاد و همکاران (Hamzenejad *et al.*, 2012)، گزارش کرده‌اند که *سالیکورنیا* بالاترین انباشت سرب و کادمیم را در شرایط نامطلوب خاک‌های شور و سدیمی داشته است و *سالیکورنیا* با کمترین کاهش عملکرد نسبی بردبارترین گیاه (نسبت به آتریپلکس و سلمه تره) نسبت به تنش همزمان شوری و آلودگی سربی کادمیمی شناخته شده است.

در جدول ۲، میانگین و انحراف معیار ضریب تجمع زیستی ریشه، ضریب تجمع زیستی اندام‌های هوایی و ضریب انتقال عناصر سرب، جیوه، کادمیم، آرسنیک، و کروم در *سالیکورنیا* نشان داده شده است. ضریب تجمع زیستی و ضریب انتقال، مشخص کننده توانایی گیاه برای تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی هستند و در بررسی فرآیند جذب فلزات در گیاهان، اهمیت بالایی دارند (Khodakarami *et al.*, 2016).

همان‌طور که مشاهده می‌شود در بین فلزات سنگین مورد مطالعه، گیاه *سالیکورنیا* توانایی بالایی در انتقال سرب جذب شده از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه دارد. خداکرمی و همکاران (Khodakarami *et al.*, 2016) برای درخت افاقیا نتایج مشابه به دست آورده‌اند. بر اساس یافته‌های ذکچینی و همکاران (Zacchini *et al.*, 2009)

جدول ۲- ضریب تجمع زیستی ریشه، ضریب تجمع زیستی اندام‌های هوایی و ضریب انتقال فلزات سنگین در *سالیکورنیا*

نوع عنصر	خاک ۰-۳۰ سانتی‌متر		خاک ۳۰-۶۰ سانتی‌متر		ضریب انتقال TF
	BCF* ریشه	BCF اندام‌های هوایی	BCF ریشه	BCF اندام‌های هوایی	
سرب	۰/۰۱±۰/۰۰۱	۰/۰۶±۰/۰۰۱	۰/۰۱±۰/۰۰۱	۰/۰۷±۰/۰۰۱	۵/۰۱±۰/۲۸۷
جیوه	۰/۲۹±۰/۰۳۰	۰/۱۱±۰/۰۰۱	۰/۲۹±۰/۰۳۱	۰/۱۱±۰/۰۰۱	۰/۳۸±۰/۰۴۰
کادمیم	۰/۱۵±۰/۰۰۷	۰/۱۷±۰/۰۳۰	۰/۱۵±۰/۰۰۷	۰/۱۷±۰/۰۳۰	۱/۱۷±۰/۱۵۷
آرسنیک	۰/۰۰±۰/۰۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰۲	۰/۰۱±۰/۰۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰۳	۲/۳۶±۰/۵۲۰
کروم	۰/۰۱±۰/۰۰۱	۰/۰۲±۰/۰۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰۱	۰/۰۲±۰/۰۰۱	۱/۷۱±۰/۱۳۲

* BCF مخفف ضریب تجمع زیستی است

جیوه

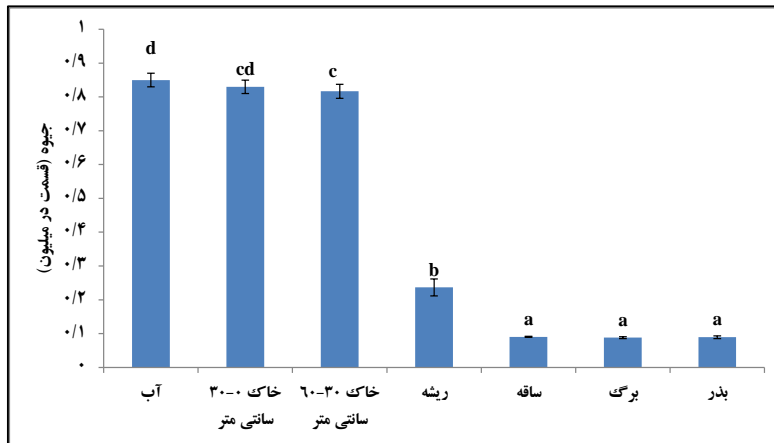
در شکل ۳، غلظت جیوه در اندام‌های مختلف گیاهی، آب، و خاک منطقه نشان داده شده است. غلظت جیوه در آب و خاک منطقه به‌طور معنی‌داری بیشتر از غلظت آن در اندام‌های گیاهی است. غلظت جیوه در ساقه، برگ، و بذر گیاه تفاوت معنی‌داری ندارد و از غلظت جیوه در ریشه کمتر است. این امر می‌تواند به دلیل مکانیسم دفاعی گیاه برای بقا در شرایط حضور فلزات سنگین در محیط باشد. گیاه فلز را از آب و خاک جذب اما در ناحیه ریشه آن را تثبیت^۱ می‌کند و به قسمت‌های بالاتر انتقال نمی‌دهد (Dahmani- Muller et al., 2000).

کادمیم

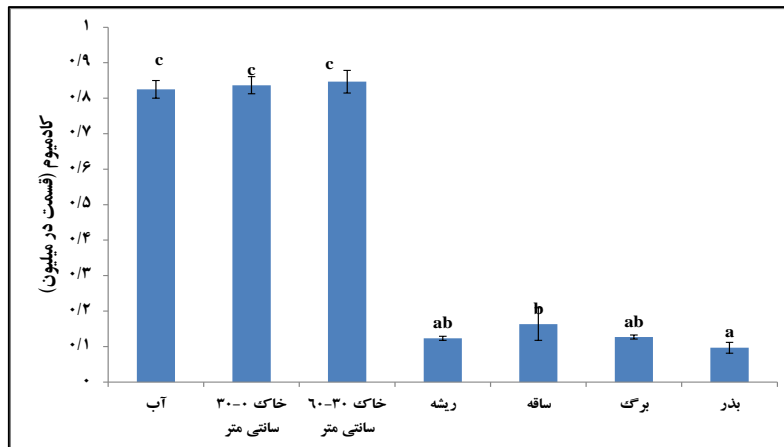
غلظت کادمیم در اندام‌های گیاهی به‌طور معنی‌دار و قابل توجهی (حدود یک هفتم برابر) کمتر از غلظت کادمیم در آب و خاک منطقه است (شکل ۴) ولی در تمامی اندام‌های مورد بررسی، غلظت کادمیم با حد مجاز استاندارد ایران بیشینه رواداری فلزات سنگین برای سبزی‌های برگی (۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) تفاوت معنی‌داری ندارد (ISIRI, 2012).

با این همه، کادمیم به دلیل آنکه به‌صورت تجمعی در بدن باقی می‌ماند، لازم است با مدیریت

مناسب در محصولات کشاورزی کاهش پیدا کند. بیشترین غلظت کادمیم را مهاجر و همکاران (Mohajer et al., 2014) در کاهو و گیویان راد و همکاران (Givianrad et al., 2011) در تره گزارش کرده‌اند. نتایج تحقیقات یارقلی (Yargholi, 2009) در بررسی تأثیر غلظت کادمیم خاک بر جذب و تجمع آن در گونه‌های جالیزی نشان می‌دهد که میزان تجمع کادمیم تابع غلظت آن در خاک است و در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه از الگوی متفاوتی پیروی می‌کند. یارقلی و همکاران (Yargholi et al., 2010) در تحقیق خود خاطر نشان کرده‌اند که میزان تجمع کادمیم به ترتیب در غده تربچه و چغندر قند بیشتر از سایر گونه‌هاست و پس از آن هویج و سیب‌زمینی قرار دارد. عین‌اللهی پیر (Eynollahi Pir, 2012) تجمع کادمیم در برگ‌های درخت حرا (*Avicennia marina*) در خلیج گواتر دریای عمان را گزارش کرده است و علت انتقال بیشتر فلز کادمیم به برگ گیاه را ناشی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و دفاعی گیاه و به‌عنوان راهکاری برای دفع فلزات غیرضروری از طریق انتقال آنها به برگ و سپس خروج از گیاه از طریق افتادن برگ نسبت داده است.



شکل ۳- غلظت جیوه در اندام‌های گیاه *سالیکورنیا*، آب، و خاک منطقه دشت نمک مرد آباد (حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد است.)



شکل ۴- غلظت کادمیم در اندام‌های مختلف گیاهی، آب و خاک منطقه دشت نمک مرد آباد (حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد است.)

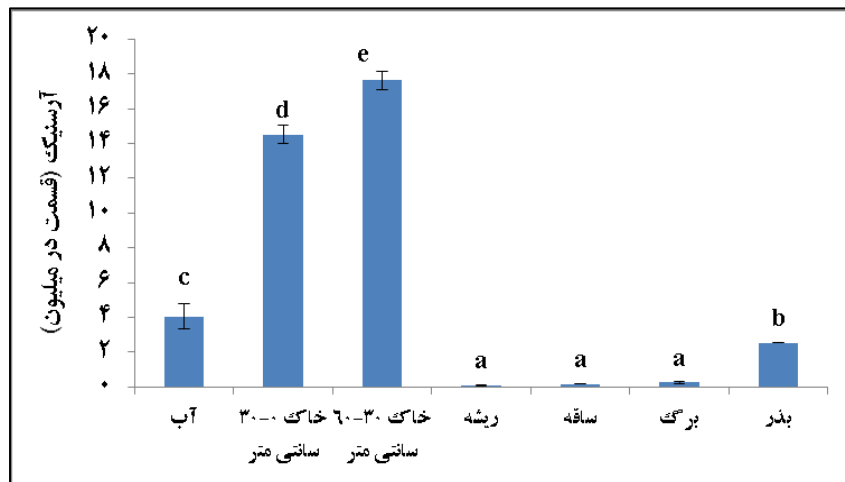
مختلف گیاهی، آب، و خاک منطقه نشان داده شده است. نحوه جذب و توزیع آرسنیک در گیاه تفاوت قابل توجهی با نحوه جذب و توزیع دیگر عناصر گفته شده دارد.

بیشترین میزان آرسنیک کل در خاک‌های عمیق (۳۰-۶۰ سانتی‌متر) به میزان $17/63 \pm 0/50$ قسمت در میلیون و پس از آن در خاک سطحی‌تر عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) به میزان $14/53 \pm 0/55$ قسمت در میلیون سنجیده شد.

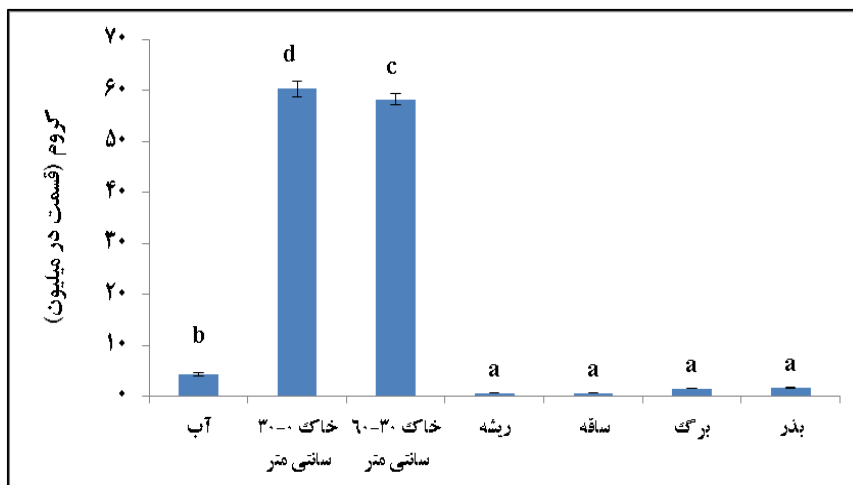
پدرو و همکاران (Pedro *et al.*, 2013) گزارش کرده‌اند که بیشینه تجمع کادمیم در ریشه گیاه *Salicornia ramosissima* است و با افزایش شوری خاک و افزایش غلظت کادمیم در خاک، کاهش می‌یابد و این‌گونه *سالیکورنیا* پتانسیل پالایش کادمیم را در شوری نزدیک به صفر نشان داده توانایی تجمع کادمیم و تثبیت آن قابل توجه بوده است.

آرسنیک

در شکل ۵ غلظت آرسنیک کل در اندام‌های



شکل ۵- غلظت آرسنیک در اندام‌های مختلف گیاهی، آب، و خاک منطقه دشت نمک مرد آباد (حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد است.)



شکل ۶- غلظت کروم در اندام‌های مختلف گیاهی، آب و خاک منطقه دشت نمک مرد آباد (حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در آزمون دانکن سطح احتمال ۵ درصد است.)

سایر اندام‌ها و در دانه بسیار کمتر از برگ و ساقه است (Yargholi, 2016).

کروم

غلظت کروم در تمامی اندام‌های سالیکورنیا مشابه و به‌طور معنی‌داری کمتر از غلظت این عنصر در آب و خاک منطقه است ($p < 0.05$).

بیشترین غلظت کروم در خاک‌های سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) و به میزان $1/53 \pm 60/33$ قسمت در میلیون مشاهده شده است (شکل ۶). از این رو به

غلظت آرسنیک کل در ریشه، ساقه و برگ در حد ۰/۱ تا ۰/۲۵ قسمت در میلیون بود. بین اندام‌های گیاهی، بیشترین میزان تجمع آرسنیک کل ($2/54 \pm 0/01$ قسمت در میلیون) در بذر گیاه مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اندام‌های سالیکورنیا است ($p < 0.05$). مقدار تجمع فلزات سنگین، بسته به نوع فلز، و شرایط خاک و گیاه، متفاوت است ولی به‌طور کلی میزان تجمع آنها در اندام‌های هوایی به ویژه برگ و ساقه بیشتر از

نمی‌رسد و در صورتی که هدف تحقیق بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک منطقه باشد بهتر است از گونه‌ای دیگر یا از گیاهان بیش تجمع دهنده یا حساس‌تر دیگری برای این منظور استفاده شود. می‌توان همچنین نتیجه گرفت *سالیکورنیا* پرسیکا *آخانی* قابلیت انباشت خوبی برای فلزات سنگین ندارد و گونه‌ای مناسب برای پالایش خاک نیست. در بین فلزات سنگین مورد مطالعه، گیاه *سالیکورنیا* با دارا بودن ضریب انتقال $5/01 \pm 0/287$ توانایی بالایی در انتقال سرب جذب شده از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه دارد. کمترین ضریب انتقال $(0/38 \pm 0/040)$ در فلز جیوه دیده شده است. در گیاه *سالیکورنیا*، به جز سرب، غلظت دیگر فلزات مورد بررسی در این تحقیق در محدوده استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۹۶۸ برای سبزی‌های برگی قرار دارد.

رغم حضور مقادیر زیاد کروم در خاک و آب، گیاه *سالیکورنیا* رویش یافته در این منطقه در وضعیت مطلوبی قرار دارد.

نتیجه‌گیری

غلظت تمامی فلزات سنگین مورد مطالعه در اندام‌های گیاهی به‌طور معنی‌دار و قابل توجهی کمتر از غلظت آنها در آب و خاک محل رویش بود. در گیاهان هر چه ضریب تجمع زیستی در اندامی بالاتر و ترجیحاً بالاتر از یک باشد، آن اندام می‌تواند شاخص زیستی^۱ مناسبی برای آن فلز در امور تحقیقاتی باشد. از آنجا که ضریب زیستی تمامی فلزات سنگین در اندام‌های مختلف *سالیکورنیا* حد ۰/۱ تا ۰/۲ است (جدول ۲) این گونه *سالیکورنیا* شاخص زیستی مناسبی برای بررسی وضعیت فلزات سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه به نظر

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی و در قالب بخشی از پروژه ملی مصوب مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی اجرا شده است.

مراجع

- Ahmadi, H., Noroozy, J., Farhoodi, M., Rahimi, MR. and Rahmatzadeh, B. 2016. Extraction and physicochemical properties of salicornia (*Salicornia persica Akhani* sub sp. *rudshurensis Akhani*) oil. Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology. 11(1): 67-74.
- AOAC. 2005a. Method 923.03. In: Official Methods of Analysis, 18th Edition, AOAC International Publisher, Gaithersburg.
- AOAC. 2005b. Method 934.01. In: Official Methods of Analysis, 18th Edition, AOAC International Publisher, Gaithersburg.
- Baker, A.J. and Walker, P.L. 1990. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects. 2, 155-165.
- Baseri, E., Alimohammadi, M., Nabizadeh Nodehi, R., Nazmara, Sh., Jahed Khaniki, Gh. and Mahmoodi, B. 2017. Estimation of weekly human intake of heavy metals (lead, cadmium, chromium, copper, iron, tin, zinc, and nickel) through cheese consumption in Iran. Journal of Health. 8(2): 160-169. (in Persian)
- Bigdeli, M. and Seilsepour, M. 2008. Investigation of metals accumulation in some vegetables irrigated with waste water in Shahre Rey-Iran and toxicological implications. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 4(1): 86-92.

- Dahmani-Muller, H., Van Oort, F., Gelie, B. and Balabane, M. 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environmental Pollution*. 109(2): 231-238.
- De Vos, C.H.R., Schat, H., De Waal, M.A.M., Vooijs, R. and Ernst, W.H.O. 1991. Increased resistance to copper induced damage of the root cell plasmalemma in copper tolerant silene cucubalus. *Physiologia Plantarum*. 82(4): 523-528.
- D'oca, M.G., Morón-Villarreyes, J.A., Lemões, J.S. and Costa, C.S. 2012. Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 84(3): 865-870.
- Ercilla-Montserrat, M., Muñoz, P., Montero, J.I., Gabarrell, X. and Rieradevall, J. 2018. A study on air quality and heavy metals content of urban food produced in a Mediterranean city (Barcelona). *Journal of Cleaner Production*. 195, 385-395.
- Eynollahi Pir, F. 2012. Investigation on the accumulation of heavy metals Cd, Cu, Ni and Zn in sediments and tissues of *Avicennia marina* herb tree in Govatr gulfe. *Oman Sea Journal of Oceanography*. 3(11): 73-82. (in Persian).
- Fakayode, S.O. and Olu-Owolabi, B.I. 2003. Heavy metal contamination of roadside topsoil in Osogbo, Nigeria: Its relationship to traffic density and proximity to highways. *Environmental Geology* 44(2): 150-157.
- Fasihi, H., Hamidi, M. and Ostadfarag, S. 2017. Investigation of heavy metals and hydrocarbons contamination in Baghershahr, Tehran, Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 6(12): 125-140. (in Persian)
- Givianrad, M.H., Sadeghi, T., Larijani, K. and Hosseini, S.E. 2011. Determination of cadmium and lead in lettuce, mint and leek cultivated in different sites of Southern Tehran. *Journal of Food Technology and Nutrition*. 8(2): 38-43 (in Persian).
- Hamzenejad Taghliadab, R., Khodaverdiloo, H., Rezapour, S. and Manafi, SH. 2012. Evaluating of efficiency of three halophyte plants for reduction of soil exchangeable sodium (ESP) and cadmium (Cd) and lead (Pb) contamination. *JWSS -Isfahan University of Technology*. 16(60): 131-143. (in Persian).
- Huang, Y., Guifen, C.H.E.N., Huang, Y., Yongxian, L.I.U., Liping, P.A.N. and Xiong, L. 2017. Relation between atmospheric deposition and accumulation of heavy metals in rice in Mining areas of Guangxi. *Agricultural Science and Technology*. 18 (8): 1497-1499.
- ISIRI. Food and feed –maximum limit of heavy metals. ISIRI 12968. 2012. First edition. Institute of Standards and Industrial Research of Iran.
- Karri, V., Kumar, V., Ramos, D., Oliveira, E. and Schuhmacher, M. 2018. Comparative in vitro toxicity evaluation of heavy metals (lead, cadmium, arsenic, and methylmercury) on HT-22 hippocampal cell line. *Biological Trace Element Research*. 184(1): 226-239.
- Khodakarami, Y., Shirvani, A., Matini Zadeh, M. and Khan Hasani, M. 2016. Comparison of the abilities of lead concentration by three species of *Robinia-pseoudoacacia*, *Fraxinus rotundifolia* and *capressus arizonica* in different soil tissues. The 2nd International Conference of IALE-Iran. 26-27 Oct. 2016. Isfahan University of Technology (in Persian).
- Larchevêque, M., Ballini, C., Korboulewsky, N. and Montes, N. 2006. The use of compost in afforestation of Mediterranean areas effects on soil properties and young tree seedlings. *Science of the Total Environment*. 369(1-3): 220-230.
- Mohajer, R., Salehi, M.H. and Mohammadi, J. 2014. Lead and cadmium concentration in agricultural crops (lettuce, cabbage, beetroot, and onion) of Isfahan province, Iran. *Journal of Health and Environment*. 7(1): 1-10. (in Persian).
- Nazemi, S., Asgari, A.R. and Raei, M. 2010. Survey the amount of heavy metals in cultural vegetables in suburbs of Shahroud-Iran. *Journal Health Environment*. 3(2): 195-202. (in Persian).
- Pedro, C.A., Santos, M.S., Ferreira, S.M. and Gonçalves, S.C. 2013. The influence of cadmium contamination and salinity on the survival, growth and phytoremediation capacity of the saltmarsh plant *Salicornia ramosissima*. *Marine Environmental Research*. 92, 197-205.

- Radwan, M.A. and Salama, A.K. 2006. Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. *Food and Chemical Toxicology*. 44(8): 1273-1278.
- Rhee, M.H., Park, H.J. and Cho, J.Y. 2009. *Salicornia herbacea*: Botanical, chemical and pharmacological review of halophyte marsh plant. *Journal of Medicinal Plants Research*. 3(8): 548-555.
- Rouniasi, N. and Parvizi Mosaed, H. 2016. Investigating the amount of heavy metals in different parts of some consumable vegetables in Karaj city of Iran. *Journal of Health and Environment*. 9(2): 171-184. (in Persian).
- Shahi, M., Saghari, M., Zandi Esfahan, E. and Jaimand, K. 2017. Qualitative and quantitative study on the seed oil of *Salicornia herbacea* L. and *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk. As a source of edible oil. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 33(2): 233-243.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F.M. 2008. Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: A case study in Varanasi. *Environmental Pollution*. 154 (2): 254-263.
- Sruthi, P., Shackira, A.M. and Puthur, J.T. 2017. Heavy metal detoxification mechanisms in halophytes: An overview. *Wetlands Ecology and Management*. 25(2): 129-148.
- Taylor, G.J. 1987. Exclusion of metals from the symplasm: a possible mechanism of metal tolerance in higher plants. *Journal of Plant Nutrition*. 10(9-16): 1213-1222.
- Voutsas, D., Grimanis, A. and Samara, C. 1996. Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter. *Environmental Pollution*. 94(3): 325-335.
- White, P.J. and Pongrac, P. 2017. 12 Heavy-metal Toxicity in Plants. *Plant Stress Physiology*. 2(5):301-332.
- Yargholi, B. 2009. Investigation of cadmium uptake from root zone and its accumulation within different organs of vegetables and summer crops. No.89/1238. (in Persian)
- Yargholi, B. 2016. Investigation of Cd uptake and transfer in different parts of wheat, spinach, cucumber and carrot crops. *Journal of Water and Wastewater*. 26-6: 107-114. (in Persian).
- Yargholi, B., Azimi, A. A., Baghvand, A., Abbasi, F., Liaghat, A.M., and Asadelahfardi, Gh.R. 2010. Investigation of cd adsorption and accumulation from contaminated soil in different parts of root crops. *Journal of Water and Wastewater*. 20-4 (72): 60-70. (In Persian).
- Zacchini, M., Pietrini, F., Mugnozza, G.S., Iori, V., Pietrosanti, L. and Massacci, A. 2009. Metal tolerance, accumulation and translocation in poplar and willow clones treated with cadmium in hydroponics. *Water, Air, and Soil Pollution*. 197(1-4): 23-34.
- Zafarzadeh, A. and Rahimzadeh, H. 2015. Concentration of cadmium, lead, zinc and copper in the cucumber and tomato in Northern Iran. *Journal of Gorgan University of Medical Science*. 17(1): 77-83.

Investigating the Accumulation Pattern of Heavy Metals, Bioconcentration and Translocation Factors in different Parts of *Salicornia* spp. (Case Study in Rud Shur Mardadabad Karaj)

H. Behmadi*, N. A. Khosh Kholgh Sima, F. Shavakhi, S. Madani and SH. Zomorodi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: hbehmadi@ut.ac.ir

Received: 17 May 2018, Accepted: 9 September 2018

Abstract

This study was conducted to find out the concentration of lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), arsenic (As) and chromium (Cr) in different parts of *Salicornia persica Akhani* plants (roots, stems, leaves and seeds), grown in the Rud Shur Mardadabad, and to compare the pattern of accumulation of these heavy metals, and to understand the translocation and bio concentration factors of heavy metals in different parts of the plants. The patterns of accumulation of metals were Cr>Pb>Hg>Cd>As for roots, Cr>Pb>Cd>As>Hg for stems, Pb>Cr>As>Cd>Hg for leaves and Pb>As>Cr>Cd>Hg for seeds. The concentrations of all heavy metals studied in different parts of this plant were significantly less than these of water and soil profiles (0-30 & 30-60 cm. depth). It was considered that the concentration of the elements in above ground parts of plants, even at their high concentrations in the soil, were kept at low levels. The bioconcentration index of all heavy metals in various parts of *Salicornia* plants ranged from 0.1 to 0.29. It was found that this species of *Salicornia* had no significant accumulation capacity for heavy metals and did not appear to be a suitable species for phytoremediation. The *Salicornia* plant with a translocation index of 1.02 ± 0.287 showed a high ability to transfer lead from the root to above ground parts. The lowest translocation factor was related to mercury metal (0.38 ± 0.040).

Keywords: Food safety, Halophyte, Lead, Metal Contaminants