

ارزیابی میزان غلظت کادمیم و رشد در سه توده اسفناج (*Spinacia oleracea L.*) بومی ایران در خاک های آلوده به کادمیم

آمنه کیانی هرچگانی^۱ و سید عبدالله افتخاری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۱۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۲/۲۲	اسفناج از سبزی های تجمع دهنده کادمیم است، اما پاسخ ژنوتیپ های مختلف این گیاه به کادمیم مشخص نیست. در این آزمایش اثر غلظت های ۰، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک و زمان برداشت (بلوغ تجاری و ۱۰ روز پس از آن) بر غلظت کادمیم، برخی شاخص های رویشی و بیوشیمیایی در سه توده ای اسفناج بومی ایران (ورامین ۱، ورامین ۲ و همدان) بررسی شد. اثر تیمارهای کادمیم بر میزان کادمیم ریشه، پرولین برگ و وزن خشک اندام هوایی در سطح ۱٪ و بر غلظت کادمیم اندام هوایی در سطح ۵٪ معنی دار بود؛ اثرات متقابل تیمارهای توده اسفناج، غلظت کادمیم و زمان برداشت بر غلظت کادمیم و وزن خشک اندام نیز هوایی معنی دار بود ($p \leq 0.05$). بیشترین غلظت کادمیم، در بخش هوایی توده ورامین ۱ در برداشت دوم بود ($112/26 \text{ mg/Kg. Dw}$) و با غلظت کادمیم در بخش هوایی این توده در برداشت اول در هر دو تیمار سطح بالاتر کادمیم و با توده ورامین ۲ در تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک (به ترتیب ۹۵/۲۳، ۱۰۱/۷۶ و ۱۱۰/۰۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک) تفاوت معنی داری نداشت. ورامین ۱- بیشترین پرولین برگ را داشت (۶۶/۶۹ میلی گرم در گرم). در هر دو تیمار سطح بالاتر کادمیم، توده همدان بیشترین وزن خشک اندام هوایی در برداشت دوم را داشت (۵/۱۸ و ۳/۳۶ گرم) که با وزن خشک توده ورامین ۲- در غلظت ۳۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک در برداشت مشابه، اختلاف معنی داری نداشت. بالاترین غلظت کادمیم ریشه در توده ورامین ۲- وجود داشت ($61/73 \text{ mg/Kg. Dw}$). نتایج این پژوهش واکنش متفاوت توده های اسفناج به سطوح مختلف غلظت کادمیم را تایید نمود.
کلمات کلیدی: اسفناج، توده بومی، فلزات سنگین، کادمیم، رشد	
* عهده دار مکاتبات Email: eftekhari_9t@yahoo.com	

مقدمه

اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) متعلق به خانواده ی چغندرینان (Chenopodiaceae) است. گیاهی یک ساله و روزبند است که پس از سبز شدن، برگ‌های طوقه ای تولید می کند. اسفناج به صورت خودرو در در آسیای مرکزی می روید، و به احتمال قوی منشأ آن ایران است (۱۹). اسفناج یک منبع مناسب از ویتامین های A، K، C، E، B₂، B₆، فولات ها و عناصر معدنی نظیر منگنز، روی، مس، سلنیم، منیزیم، آهن، کلسیم و پتاسیم است؛ همچنین دارای مقادیر قابل توجهی از اسید های چرب امگا ۳، نیاسین، پروتئین و فیبرهای غذایی است (۱۴). سبزیجات به خصوص انواع سبزی های برگی غلظت دهنده های قوی عناصر سنگین اند و این مسئله نگران کننده است زیرا سبب ورود آسان این عناصر به زنجیره ی غذایی می شود؛ غلظت فلزات در گیاه به نوع گیاه، مراحل رشدی، نوع خاک، نوع فلز، ویژگی های خاک (از نظر شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) آب و هوا وابسته است (۲۲). در بین فلزات سنگین، کادمیم دارای اهمیت ویژه ای است زیرا به راحتی به وسیله سیستم گیاه جذب می شود و سمیت آن برای گیاه ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین است (۱۷). غلظت فلزات سنگین در گونه های گیاهی مختلف متفاوت است. دو لپه ای هایی مثل اسفناج یا کاهو در مقایسه باتک لپه ای هایی مثل یولاف و گندم، فلزات سنگین را بیشتر جذب می کنند (۱۲). سالاسکار و همکاران^۱ (۲۰)، گزارش کردند، که اسفناج قادر است مقادیر قابل توجهی از کادمیم را در اندام هوایی گیاه انباشت کند. اسفناج میزان کادمیم بالاتری، نسبت به تربچه، باقلا سبز و هویج انباشت می کنند؛ این گیاه از انباشتگرهای کادمیوم می باشد (۲۱). ایلداملو و همکاران^۲ (۱۱)، بیان کردند، با افزایش مقدار کادمیم در

محلول غذایی، در گیاهان کاهو و اسفناج، غلظت کادمیم در برگ‌های پیر نسبت به برگ های جوان، بیشتر بوده است. محمد و همکاران^۳ (۱۶) نیز مشاهده کردند که افزودن کادمیم به خاک چه به تنهایی و چه در ترکیب با روی، به طور معنی داری عوامل رشدی گیاه اسفناج را کاهش می دهد. این کاهش معنی دار با افزایش غلظت کادمیم بیشتر کاهش یافت. نتایج مشابهی مبنی بر کاهش فاکتورهای رشدی با افزایش غلظت کادمیم نیز به وسیله ال ناباراوی^۴ (۷) برای اسفناج گزارش شده است. امروزه به دلایل مختلف تجمع عناصر سنگین در بسیاری از اراضی کشاورزی روند روبه رشدی دارد، لذا توجه به جذب و غلظت این عناصر در محصولات کشاورزی بویژه سبزی ها برای تامین غذای سالم ضروری به نظر می رسد. هدف از پژوهش حاضر بررسی غلظت کادمیم در اندام های مختلف گیاه اسفناج و تاثیر آن بر رشد برخی توده های منتخب اسفناج بومی ایران در خاک‌های آلوده به کادمیم می باشد.

مواد و روش ها

این آزمایش در مزرعه ی پژوهشی گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز در زمستان سال ۱۳۹۱ انجام گردید. طرح آماری آن، اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور و در سه تکرار بود. فاکتور ها شامل توده های اسفناج (ورامین ۱، ورامین ۲ و همدان) (۶)، سطوح مختلف کلرید کادمیم (۰، ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم) و دو زمان برداشت (بلوغ تجاری و ۱۰ روز پس از آن) بود. هر واحد آزمایشی شامل سه گلدان و در هر بلوک ۵۴ گلدان در مزرعه قرار داشت. برای آماده سازی بستر کشت، از گلدان های پلاستیکی با ظرفیت ۳ کیلوگرم خاک، استفاده گردید. به منظور اعمال تیمارهای کادمیم در خاک، ابتدا خاک مورد نیاز از مزرعه به محل انجام

3- Mohamed *et al.*

4- El Nabarawy

1- Salaskar *et al.*2- Ilda Melo *et al.*

اندازه گیری پرولین با استفاده از روش بیترس و همکاران^۲ (۲) انجام گرفت. برای اندازه گیری کلروفیل کل از روش لیختن تالر^۳ (۱۵) استفاده شد. داده ها بوسیله نرم افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل گردید و مقایسه میانگین ها بوسیله آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. نمودارها نیز بوسیله نرم افزار Excel رسم شد.

نتایج

کادمیم ریشه:

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده میشود سطوح مختلف کادمیم، توده ها و اثر متقابل آن دو بر غلظت کادمیم ریشه، در سطح ۱ درصد معنی دار بوده است. این در حالی است که زمان های برداشت، بر همکنش زمان و سطوح کادمیمی، زمان ها و توده ها و بر همکنش زمان، سطوح کادمیم و توده های اسفناج، اثر معنی داری بر غلظت کادمیم ریشه نداشت. غلظت کادمیم ریشه در تیمار ۳۰ و ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک به ترتیب با میانگین ۷۳/۵۷ و ۷۸/۷۷ (میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک) نسبت به شاهد افزایش معنی دار داشت. (جدول ۳). توده و راسین ۲ با میانگین ۶۱/۷۳ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک بالاترین غلظت کادمیم در ریشه را داشت (جدول ۴). نتایج اثر متقابل سطوح کادمیم و توده ها نشان داد که توده و راسین ۲، در غلظت های ۳۰ و ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک دارای بیشترین غلظت کادمیم نسبت به دو رقم دیگر بوده است. (بترتیب ۸۶/۲۹ و ۸۶/۰۲ میلی گرم در کیلوگرم) (جدول ۷).

کادمیم اندام هوایی: با توجه به جدول ۱ غلظت کادمیم در اندام هوایی در غلظت های مختلف تیمار کادمیم و توده های اسفناج در سطح ۱٪ معنی دار است. همچنین تاثیر آلودگی کادمیم بر غلظت در زمان های برداشت، بر همکنش زمان های برداشت و سطوح تیماری، بر همکنش توده ها و سطوح تیماری و بر همکنش

آزمایش انتقال داده شد. E_c خاک مورد استفاده dS/m ۳، PH آن ۷/۰۶، بافت خاک لوم شنی، دارای ۸۲٪ درصد ماده آلی و ۰/۱۷ میلی گرم در کیلوگرم کادمیم بود. پس از اینکه خاک ها از الک ۲ میلی متری عبور داده شد، به ازای کلیه ی گلدان ها وزن گردید و به سه قسمت مساوی جهت اعمال تیمار کادمیم تقسیم شد. قسمت اول، خاک شاهد، قسمت دوم، تیمار ۳۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، و قسمت سوم تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک بود. نمک کلرید کادمیم به ازای وزن هر قسمت خاک و غلظت مورد نظر، با ترازوی دیجیتال وزن و پس از حل شدن در آب خالص به صورت اسپری به هر قسمت خاک افزوده شد؛ سپس خاک های آلوده به مدت یک ماه در معرض تناوب های تر و خشک شدن خوابانده شدند، تا واکنش بین آلودگی و خاک تکوین یابد و شرایط آلودگی به شرایط طبیعی نزدیکتر شود؛ پس از آن گلدان ها با خاک پر شده و در هر گلدان ۳ تا ۴ عدد بذر کشت گردید، پس از جوانه زنی در مرحله دو برگگی گیاهان یکنواخت، انتخاب و بقیه گیاهان تنک شدند و در هر گلدان یک گیاه نگه داشته شد. در طی دوره رشد عملیات آبیاری، مبارزه با علف هرز و کنترل آفات با روش های مکانیکی انجام گرفت. عملیات برداشت در دوره زمانی تعیین شده، بلوغ تجاری (۵۰ روز پس از کشت) و ۱۰ روز پس از آن (۶۰ روز پس از کاشت) انجام گردید. بدین منظور گیاهان با دقت کامل، با شستشوی خاک اطراف ریشه (برای جلوگیری از آسیب دیدن ریشه) از گلدان خارج شده و جهت ارزیابی صفات مورد نظر به آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران منتقل شدند. پس از آماده سازی نمونه های مورد آزمایش، اندازه گیری غلظت کادمیم در هر یک از اندام های گیاه، با روش هضم تر انجام گردید و به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Gbc-SAVANTAA، میزان کادمیم موجود در نمونه ها قرائت گردید (۱۰).

کیانی هرچگانی و افتخاری: ارزیابی میزان غلظت کادمیم و رشد...

جدول (۱) تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف کادمیمی بر غلظت کادمیم ریشه و اندام هوایی، پرولین، کلروفیل کل برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی در سه توده ی اسفناج بومی ایران.

Table(1) Analysis of variance of the effect of various Cadmium levels on the root and shoot Cadmium concentration, proline, leaf total chlorophyll, root and shoot dry weight of three Iranian domestic landraces of spinach

میانگین مربعات Means of squares							منابع تغییر
وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه	کلروفیل کل	پرولین برگ	کادمیم بخش هوایی	کادمیم ریشه	درجه آزادی	Source of variation
Shoot dry wt.	Root dry wt.	Total chlorophyll	Leaf proline	Shoot cadmium	Root cadmium	df	
1.33 ^{ns}	0.0349 ^{ns}	4.79 ^{ns}	1.0435 ^{ns}	50.59 ^{ns}	122.22 ^{ns}	2	Block بلوک
125.46**	5.86**	93.55*	4032.401**	1477.23*	15.87 ^{ns}	1	Time زمان
0.5015	0.0095	1.447	26.243	38.48	59.65	2	Error _a خطای نوع اول
20.51**	0.2612**	28.41**	10471.31**	34423.17**	24270.8**	2	Levels of Cadmium تیمار سطوح کادمیمی
6.33**	0.0405 ^{ns}	0.3181 ^{ns}	226.455**	1056.88**	608.35**	2	treatments توده
5.635**	0.0444 ^{ns}	8.065**	817.735**	353.19*	31.66 ^{ns}	2	Cadmium × time زمان × سطوح کادمیم
3.2**	0.054 ^{ns}	5.63**	23.461 ^{ns}	264.199 ^{ns}	69.7 ^{ns}	2	landrace × time زمان × توده
1.88**	0.0173 ^{ns}	1.832 ^{ns}	61.33**	318.23*	374.25**	2	Cadmium × landrace توده × سطوح کادمیم
1.027*	0.0332 ^{ns}	0.8115 ^{ns}	12.561 ^{ns}	279.3*	87.81 ^{ns}	4	cadmium × time × landrace توده × تیمار × زمان
						4	
0.36	0.016	0.81	12.77	103.8	68.3	32	Error _b خطا
23.98	24.17	12.6	10.19	16.88	15.02		cv

* معنی دار در سطح احتمال ۵٪، ** معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ns عدم وجود تفاوت معنی دار

*, **, ns significant at the 0.05, significant at the 0.01 probability, was not significant respectively

جدول (۲) مقایسه میانگین های اثرات زمان های برداشت بر غلظت کادمیم اندام هوایی و وزن خشک ریشه و اندام های هوایی و پرولین برگ و کلروفیل کل

Table(2) Means comparison of the effects of harvesting times on Cadmium concentrations of shoot and dry weight of root and shoot, leaf proline and total chlorophyll

وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه (gr)	کلروفیل کل (mg g ⁻¹)	پرولین برگ (mg g ⁻¹)	کادمیم اندام هوایی (mg kg ⁻¹)	زمان های برداشت
Shoot dry wt.	Root dry wt.	Total chlorophyll	Leaf proline	Shoot Cadmium	Harvesting times
1.007 ^b	0.209 ^b	8.48 ^a	26.43 ^b	65.59 ^a	۵۰ روز پس از کشت
					50 days after planting
4.05 ^a	0.868 ^a	5.85 ^b	43.71 ^a	55.13 ^b	۶۰ روز پس از کشت
					60 days after planting

میانگین هایی با حروف مشابه، در هر ستون اختلاف معنی دار ندارند.

Means followed by the same letters are insignificant within each column

جدول (۳) مقایسه میانگین های اثرات تیمار های کادمیمی بر غلظت کادمیم ریشه و اندام هوایی، پرولین و کلروفیل کل برگ و وزن خشک ریشه و اندام های هوایی

Table(3) Means comparison of the effects of Cadmium treatments on Cadmium concentration of shoot and root, leaf proline and total chlorophyll and shoot and dry weight

وزن خشک اندام هوایی (gr) Shoot dry wt.	وزن خشک ریشه (gr) Root dry wt.	کلروفیل کل (mg g ⁻¹) Total chlorophyll	پرولین برگ (mg g ⁻¹) Leaf proline	کادمیم اندام هوایی (mg kg ⁻¹) Shoot Cadmium	کادمیم ریشه (mg kg ⁻¹) Root Cadmium	تیمارهای کادمیمی (mg kg ⁻¹) Cadmium treatments
3.6 ^a	0.652 ^a	8.58 ^a	10.83 ^c	11.13 ^c	12.73 ^b	شاهد Control
2.51 ^b	0.551 ^b	6.73 ^b	35.31 ^b	75.24 ^b	73.57 ^a	30
1.47 ^c	0.41 ^c	6.19 ^b	59.07 ^a	94.71 ^a	78.77 ^a	60

میانگین هایی با حروف مشابه، در هر ستون اختلاف معنی دار ندارند.

Means followed by the same letters are insignificant within each column

غلظت نیز به تیمار شاهد در زمان دوم برداشت، (۱۰/۹۷ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک) تعلق داشت. مقایسه میانگین اثر متقابل توده ها و سطوح کادمیم (جدول ۷) بر غلظت کادمیم اندام هوایی نشان داد که توده ورامین ۱ در اثر کاربرد ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، با میزان ۱۰۷/۰۱۷ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم ماده خشک، بیشترین غلظت کادمیم را داشته است و توده همدان با غلظت ۷۹/۷۱ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم ماده خشک کمترین غلظت کادمیم را داشت. نتایج مقایسه میانگین اثرات ۳ جانبه تیمارهای کادمیم، زمان های برداشت و توده های اسفناج در جدول ۸ حاکی از این است که توده ورامین ۱ در زمان برداشت اول در سطح تیمار ۳۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، و زمان برداشت دوم در سطح تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، به ترتیب با میانگین ۹۵/۲۳ و ۱۱۲/۲۶ (میلی گرم کادمیم در کیلوگرم ماده خشک) بیشترین غلظت کادمیم را داشت. همچنین نتایج مذکور نشان داد که توده ورامین ۲ و همدان دارای بیشترین میانگین وزن خشک بخش هوایی در زمان دوم برداشت در تیمار شاهد (۶/۸۱ و ۶/۳۴ گرم) و کمترین مقدار مذکور در زمان برداشت اول در سطح تیمار ۶۰ میلی گرم آلودگی کادمیم بودند.

سه جانبه ی توده ها، تیمارهای کادمیمی و زمان های برداشت در سطح ۵٪ اثر معنی دار بر غلظت کادمیم در بخش هوایی اسفناج داشت. نتایج مربوط به داده های غلظت کادمیم نشان داد که در دو زمان برداشت در سطح ۵٪ کاهش معنی داری نشان داده و از میانگین ۶۵/۵۹ به ۵۵/۱۳ (میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک) رسیده است (جدول ۲). با افزایش غلظت تیمار کادمیم در خاک، غلظت این عنصر در اندام هوایی نیز به صورت معنی داری افزایش یافت. از این رو، بیشترین و کمترین غلظت کادمیم در اندام هوایی، به ترتیب در تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم با میانگین ۹۴/۷۱ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک و تیمار شاهد با میانگین غلظت ۱۱/۱۳ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک بود (جدول ۳). به علاوه در میان توده ها، توده ورامین ۱ با میانگین غلظت ۶۸/۴۱ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک، بالاترین غلظت کادمیم را در اندام های هوایی داشت، و توده همدان با ۵۳/۱۶ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک نیز کمترین میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی را نشان داد (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول ۵، بیشترین غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاهان در زمان برداشت اول و در غلظت ۶۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک با میانگین غلظت ۱۰۱/۸۹ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم ماده خشک مشاهده شد. کمترین

کیانی هر چگانی و افنخاری : ارزایی میزان غلظت کادمیم و رشد...

جدول (۴) مقایسه میانگین های اثر غلظت کادمیم بر روی ریشه و اندام هوایی، پرولین برگ و وزن خشک اندام های هوایی توده های اسفناج

Table(4) Means comparison of the effect of Cadmium concentration on root and shoot, leaf proline and shoot dry weight in spinach landraces

توده های اسفناج Spinach landraces	کادمیم ریشه (mg kg ⁻¹) Root Cadmium	کادمیم اندام هوایی (mg kg ⁻¹) Shoot Cadimium	پروولین برگ (mg g ⁻¹) Leaf proline	وزن خشک اندام هوایی (gr) Shoot dry wt.
ورامین ۱ Varamine ^۱	51.48 ^b	68.41 ^a	39.16 ^a	1.91 ^c
ورامین ۲ Varmine ^۲	61.73 ^a	59.52 ^b	33.14 ^b	2.58 ^b
همدان Hamdan	51.85 ^b	53.16 ^b	32.9 ^b	3.09 ^a

میانگین هایی با حروف مشابه، در هر ستون، اختلاف معنی دار ندارند.

Means followed by the same letters are insignificant within each column

جدول (۵) مقایسه میانگین اثر برهمکنش سطوح کادمیم و زمان های برداشت بر غلظت کادمیم در اندام هوایی و پرولین و کلروفیل کل و وزن خشک اندام هوایی در اسفناج

Table (5) Mean comparison of interaction effect of Cadmium levels by harvesting times on Cadmium concentration in shoot, proline, total chlorophyll and shoot dry weight of spinach landraces

زمان برداشت Harvesting time	غلظت کادمیم (mg kg ⁻¹) Cadmium concentration	کادمیم بخش هوایی (mg kg ⁻¹) Shoot Cadmium	پروولین (mg g ⁻¹) Proline	کلروفیل کل (mg g ⁻¹) Total chlorophyll	وزن خشک بخش هوایی (gr) Shoot dry wt.
زمان اول First time	0 (شاهد) control	11.03 ^d	9.31 ^d	9.13 ^a	1.6 ^d
	30	83.6 ^b	25.8 ^c	8.503 ^{ab}	0.85 ^c
	60	101.983 ^a	44.143 ^b	7.82 ^b	0.56 ^c
زمان دوم Second time	0 (شاهد) control	10.97 ^d	12.36 ^d	8.03 ^{ab}	5.61 ^a
	30	66.88 ^c	44.78 ^b	4.96 ^c	4.16 ^b
	60	87.54 ^b	74.001 ^a	4.55 ^c	2.38 ^c

میانگین هایی با حروف مشابه، در هر ستون، در آزمون دانکن، در سطح ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

Means followed by the same letters are insignificant at the 0.05 probability within each column

پروولین برگ

نتایج حاصل از جدول ۱، نشان داد که تنش کادمیمی، در زمان های برداشت، سطوح تیمار کادمیمی، توده های اسفناج، برهمکنش زمان ها و تیمارها و برهمکنش تیمارها و توده ها، در سطح ۱ درصد، بر میزان پرولین اثر متفاوت و معنی دار داشته است. با توجه به جدول ۲، مشاهده می شود، با گذشت زمان میزان پرولین نیز افزایش یافته است، و از میزان ۲۶/۴۳ در زمان برداشت اول به ۴۳/۷۱ میلی گرم

برگرم وزن تر در برداشت دوم رسیده است؛ همچنین میزان پرولین با افزایش سطوح تیمار کادمیمی، افزایش یافت، به طوری که کمترین میزان پرولین در تیمار شاهد با میانگین ۱۰/۸۳ و بیشترین میزان در تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم با میانگین ۵۹/۰۷ میلی گرم بر گرم وزن تر، بوده است (جدول ۳). در میان توده هانیز ورامین ۱ با میانگین ۳۹/۱۶ میلی گرم در گرم بیشترین غلظت پرولین را داشته است (جدول ۴). برهمکنش زمان های برداشت و سطوح

ی ورامین ۲ با میانگین ۶/۵۱ میلی گرم بر گرم بیشترین مقدار کلروفیل کل را داشت (جدول ۶).

وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه در دو زمان برداشت و سطوح تیمار کادمیمی در سطح ۱ درصد به صورت معنی دار باهم متفاوت بودند. (جدول ۱). اما در توده ها و برهمکنش زمان برداشت و تیمارهای کادمیم، برهمکنش زمان برداشت و توده های اسفناج، توده های اسفناج و تیمارهای کادمیم و برهمکنش سه جانبه ی، زمان برداشت، توده های اسفناج و تیمارهای کادمیم اختلاف معنی داری مشاهده نشد. با توجه به جدول ۲ مشاهده می شود که بیشترین وزن خشک ریشه در زمان دوم برداشت با میانگین ۰/۸۶۸ گرم حاصل شد. نتایج جدول ۳ نیز نشان می دهد که، افزایش آلودگی کادمیمی با کاهش وزن خشک ریشه توأم است، از این رو بیشترین وزن خشک در، تیمار شاهد با میانگین وزن ۰/۶۵۲ گرم و کمترین وزن در تیمار ۶۰ میلی گرم در کیلوگرم با میانگین ۰/۴۱ گرم مشاهده شد.

وزن خشک اندام هوایی

میزان وزن خشک اندام هوایی، در زمان های برداشت، سطوح تیمار کادمیمی، توده ها، و نیز اثر متقابل زمان و تیمارها، اثر برهمکنش زمان و توده ها و برهمکنش توده ها و سطوح تیماری، در سطح ۱ درصد، معنی دار بود (جدول ۱). به علاوه، برهمکنش سه جانبه ی زمان، توده و تیمارهای کادمیمی نیز در سطح ۵ درصد، بر وزن خشک اندام هوایی، اثر معنی دار داشت. نتایج جدول ۲ نشان می دهد که وزن خشک اندام هوایی در زمان دوم برداشت، با میانگین ۴/۰۵ گرم بر زمان اول برتری داشت. همچنین وزن خشک اندام هوایی، تحت تاثیر تنش آلودگی کادمیمی، قرار گرفت به گونه ای که با افزایش سطوح تیماری، وزن خشک گیاهان کاهش یافت. نتایج مقایسه های میانگین اثرات ساده، بیشترین وزن خشک را در تیمار شاهد با میانگین ۳/۶ گرم، و کمترین را با میانگین ۱/۴۷ گرم در تیمار ۶۰ میلی گرم گزارش کرد (جدول ۳).

تیماری در جدول ۵ نشانگر، افزایش میزان پرولین، در زمان دوم برداشت، در کلیه ی تیمارها است. بیشترین میزان پرولین در تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک با میزان ۷۴/۰۰۱ و کمترین میزان در تیمار شاهد ۹/۳۱ میلی گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. همان طور که در جدول ۷ (برهمکنش توده ها و سطوح تیماری) مشاهده می شود، افزایش سطوح تیمار کادمیم، منجر به افزایش میزان پرولین در تمام توده ها شده است. توده ی ورامین ۱، در تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک، بیشترین میزان پرولین را در برگ ها داشته است (۶۶/۶۹ میلی گرم بر گرم). کمترین میزان پرولین نیز به توده ی همدان، در تیمار شاهد تعلق داشت (۸/۹ میلی گرم بر گرم).

کلروفیل کل

نتایج جدول ۱، حاکی از وجود اثرات متفاوت و معنی دار زمان های برداشت در سطح ۵ درصد، و سطوح تیمارهای کادمیمی و برهمکنش زمان های برداشت و تیمارهای کادمیم و برهمکنش زمان های برداشت و توده های اسفناج در سطح ۱ درصد، بر میزان کلروفیل کل در گیاه است. با گذشت زمان، میزان کلروفیل کل کاهش یافته و از میانگین ۸/۴۸ میلی گرم بر گرم وزن تر در زمان برداشت اول به ۵/۸۵ میلی گرم بر گرم در زمان برداشت دوم رسیده است (جدول ۲). افزایش سطوح تیمار کادمیم، اثر منفی بر میزان کلروفیل کل در توده ها داشت، به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار شاهد و کمترین آن به تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در کیلوگرم خاک تعلق داشت و بترتیب ۸/۵۸ و ۶/۱۹ میلی گرم در کیلوگرم بود (جدول ۳). برهمکنش زمان های برداشت و سطوح تیماری در جدول ۵ نشانگر کاهش میزان کلروفیل کل در زمان دوم برداشت در کلیه تیمارها است. بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد در زمان اول برداشت (۹/۱۳ میلی گرم بر گرم) و کمترین میزان آن در تیمار ۶۰ میلی گرم کادمیم در زمان دوم برداشت بود (۴/۵۵ میلی گرم بر گرم). توده های مورد آزمایش در زمان برداشت اول از نظر میزان کلروفیل کل اختلاف معنی داری نداشتند؛ اما در زمان برداشت دوم توده

کیانی هرچگانی و افتخاری: ارزیابی میزان غلظت کادمیم و رشد...

جدول (۶) مقایسه میانگین اثر بر همکنش توده‌ها و زمان‌های برداشت بر وزن خشک اندام هوایی و کلروفیل کل در اسفناج
Table(6) Mean comparison of interaction effect of landraces by harvesting times on shoot dry weight and total chlorophyll in spinach

زمان برداشت			زمان برداشت اول			
دوم Second harvesting time			First harvesting time			
همدان Hamdan	ورامین-۲ Varmine ₂	ورامین-۱ Varamine ₁	همدان Hamdan	ورامین-۲ Varmine ₂	ورامین-۱ Varamine ₁	
4.96 ^a	4.23 ^b	2.96 ^c	1.22 ^d	0.93 ^d	0.857 ^d	وزن خشک هوایی (gr) Shoot dry wt.
5.87 ^{bc}	6.51 ^b	5.16 ^c	8.61 ^a	7.98 ^a	8.86 ^a	کلروفیل کل (mg g ⁻¹) Total chlorophyll

میانگین‌هایی با حروف مشابه، اختلاف معنی دار ندارند.

Means followed by the same letters are insignificant within each column

جدول (۷) مقایسه میانگین‌های بر همکنش توده‌ها و سطوح تیمار کادمیمی بر غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه، پرولین برگ و وزن خشک اندام هوایی در اسفناج
Table(7) Means comparison of interaction effect of landraces by Cadmium treated levels on Codmium concentration of root and shoot, leaf proline, and shoot dry weight of spinach

وزن خشک اندام هوایی (gr) Shoot dry wt.	پرولین برگ (mg g ⁻¹) Leaf proline	کادمیم اندام هوایی (mg kg ⁻¹) Shoot Cadmium	کادمیم ریشه (mg kg ⁻¹) Root Cadmium	توده‌های اسفناج Spinach landraces	سطوح کادمیم (mg kg ⁻¹) Cadmium levels
2.47 ^c	13.03 ^e	12.1 ^e	13.7 ^d	ورامین ۱ Varamine ₁	
4.26 ^a	11.55 ^e	11.53 ^e	12.89 ^d	ورامین ۲ Varmine ₂	شاهد(0)
4.08 ^a	8.9 ^e	9.78 ^e	11.6 ^d	همدان Hamdan	Control
1.83 ^{cd}	38.7 ^c	86.133 ^{bc}	72.022 ^{bc}	ورامین ۱ Varamine ₁	
2.44 ^c	32.024 ^d	69.61 ^d	86.290 ^a	ورامین ۲ Varmine ₂	30
3.26 ^b	35.15 ^{cd}	69.98 ^d	62.407 ^c	همدان Hamdan	
1.42 ^{de}	66.69 ^a	107.017 ^a	68.73 ^c	ورامین ۱ Varamine ₁	
1.05 ^e	55.86 ^b	97.423 ^{ab}	86.022 ^a	ورامین ۲ Varmine ₂	60
1.94 ^{cd}	54.65 ^b	79.71 ^{cd}	81.57 ^{ab}	همدان Hamdan	

میانگین‌هایی با حروف مشابه، اختلاف معنی دار ندارند.

Means followed by the same letters are insignificant within each column

بحث

نتایج آزمایش حاضر نشان داد در زمان برداشت اول (۵۰ روز پس از کاشت) غلظت کادمیم در بخش هوایی اسفناج به طور معنی داری بیشتر از زمان دوم (۶۰ روز پس از کاشت) بود (جدول ۲). با توجه به این که در هر دو زمان برداشت، گیاهان اسفناج در مرحله رشد رویشی بودند، احتمالاً پایین بودن میزان کادمیم در مرحله دوم برداشت، به دلیل تسریع در افزایش بیوماس گیاه و همزمان کاهش روند غلظت کادمیم در اندام هوایی ورق‌ریق شدن آن بوده است که منجر به کاهش میزان کادمیم در ماده خشک گردیده است؛ زیرا بیوماس تولیدی گیاه در زمان برداشت دوم به صورت معنی داری افزایش یافته بود. این موضوع با فرضیه جذب ثابت ارائه شده توسط چنی و رایان (۵) همخوانی دارد که مطرح کردند که جذب فلزات سنگین توسط گیاه به عنوان تابعی خطی از شدت افزایش فلز در خاک صورت می‌گیرد و پس از رسیدن جذب فلز به یک حد بیشینه، مقدار جذب ثابت می‌ماند و این اثر می‌تواند تابع وضعیت فیزیولوژیکی گیاه باشد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم در خاک، میزان کادمیم در اندام هوایی و یا ریشه اسفناج افزایش یافت (جدول ۳). اثر افزایش غلظت کادمیم در محیط رشد بر افزایش غلظت کادمیم در گیاه با یافته‌های قادریان و جمالی حاجیانی (۹) نیز مورد تایید قرار می‌گیرد؛ آن‌ها گزارش دادند که با افزایش غلظت کادمیم در محلول غذایی، میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت کلرید کادمیم از ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، میزان غلظت کادمیم در اندام هوایی نسبت به ریشه از ۱/۰۲ برابر به ۱/۲ برابر افزایش یافت. این موضوع احتمالاً نشان دهنده اثر سمیت کادمیم بر ریشه و همزمان کاهش آهنگ رشد در ریشه و اندام هوایی می‌باشد. بهمینار (۳) نیز گزارش داد که پس از آبیاری گیاهان اسفناج با فاضلاب، میزان غلظت کادمیم، نیکل و سرب در اندام‌های هوایی بیشتر از ریشه بود.

از میان توده‌های اسفناج نیز، توده‌ی همدان، با میانگین ۳/۰۹ گرم، بالاترین وزن خشک را داشت (جدول ۴). با توجه به جدول ۵، در هر دو زمان برداشت، با افزایش سطوح تیمار کادمیمی، وزن خشک اندام هوایی کاهش داشت. بیشترین وزن خشک به تیمار شاهد در زمان دوم برداشت با میزان ۵/۶۱ گرم، و کمترین آن با میزان ۰/۵۶ گرم، به تیمار ۶۰ میلی‌گرم در زمان اول تعلق داشت. جدول ۶ اثرات برهمکنش توده‌ها و زمان‌های برداشت نشان می‌دهد که در زمان برداشت دوم، گیاهان وزن خشک بیشتری دارند و بیشترین وزن خشک به میزان ۴/۹۶ گرم، در زمان دوم برداشت متعلق به توده‌ی همدان است. بعد از آن به ترتیب، توده‌های ورامین ۲ و ورامین ۱، در زمان دوم برداشت بیشترین وزن را داشتند. کمترین وزن نیز در زمان برداشت اول در ورامین ۱ با میانگین ۰/۸۵ گرم مشاهده شد؛ در این زمان وزن خشک توده‌ها، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بررسی اثرات متقابل توده‌ها و تیمارهای کادمیمی بر وزن خشک بخش هوایی نشان داد، در تمام توده‌ها، افزایش سطوح آلودگی کادمیمی، با کاهش وزن خشک اندام هوایی توأم است؛ در تمام توده‌ها تیمار شاهد بیشترین و تیمار ۶۰ میلی‌گرم کمترین وزن خشک را داشت. در بین کل توده‌ها، بیشترین وزن خشک، به توده‌های ورامین ۲ (۴/۲۶ گرم) و همدان (۴/۰۸ گرم) در تیمار شاهد و کمترین میزان به ورامین ۲ (۱/۰۵ گرم) در تیمار ۶۰ میلی‌گرم کادمیم تعلق داشت. جدول ۸ اثرات برهمکنش، توده‌ها، تیمارها و زمان‌های برداشت نشان می‌دهد، توده‌ها در کلیه‌ی سطوح تیماری در زمان برداشت دوم، وزن خشک بیشتری داشتند.

کمترین وزن خشک به توده‌های ورامین ۲ و همدان با میانگین ۰/۵۱۶ گرم در زمان برداشت اول و تیمار کادمیمی ۶۰ میلی‌گرم تعلق داشت. بیشترین وزن خشک نیز به تیمارهای شاهد این دو توده در برداشت دوم تعلق گرفت که به ترتیب ۶/۸۱ و ۶/۳۴ گرم بود.

جدول (۸) مقایسه میانگین، اثر متقابل کادمیم، زمان برداشت و توده ها بر غلظت کادمیم در اندام هوایی و وزن خشک اسفناج

Table (8) Means comparison of interaction effect of Cadmium, harvesting time and landraces on Cadmium concentration in shoot and dry weight of spinach .

همدان Hamdan	ورامین ۲ Varamine ۲						ورامین ۱ Varamine ۱			توده landrace	
	60	30	شاهد Control	60	30	شاهد Control	60	30	شاهد Control	سطوح کادمیم (mg kg ⁻¹) Cadmium levels	
0.516 ^h	1.33 ^{fg}	1.82 ^f	0.516 ^h	0.57 ^{gh}	1.72 ^{fg}	0.65 ^{gh}	0.66 ^{gh}	1.26 ^{fg}	زمان برداشت اول First Harvesting time	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry wt.	
3.36 ^{cd}	5.18 ^b	6.346 ^a	1.58 ^{fg}	4.31 ^{bc}	6.81 ^a	2.20 ^{ef}	3.006 ^{de}	3.69 ^{cd}	زمان برداشت دوم second harvesting time	(gr)	
93.83 ^{bcd}	73.6 ^{efg}	11.13 ^h	110.08 ^{ab}	81.96 ^{def}	11.63 ^h	101.76 ^{abc}	95.23 ^{abcd}	11.13 ^h	زمان برداشت اول First harvesting time	کادمیم اندام هوایی Shoot Cadmium	
65.6 ^{gf}	66.36 ^{fg}	8.43 ^h	84.76 ^{cde}	57.26 ^g	11.43 ^h	112.26 ^a	77.033 ^{def}	13.06 ^h	زمان برداشت دوم Second harvesting time	(mg kg ⁻¹)	

میانگین هایی با حروف مشابه، اختلاف معنی دار ندارند.

Means followed by the same letters are insignificant within each column

کننده حساسیت این توده نسبت به کادمیم بر اساس نسبت کادمیم ریشه به اندام هوایی می باشد. وجود مقادیر بالاتر از حد مجاز کادمیم در ریشه و اندام هوایی در گیاهان سه توده اسفناج در تیمار شاهد، نشان می دهد که لازم است میزان غلظت کادمیم در توده های اسفناج ایران و هم چنین واکنش این توده ها نسبت به افزایش کادمیم در محیط رشد، مورد بررسی بیشتر قرار گیرد؛ زیرا بر اساس نتایج مطالعات ستو و همکاران (۲۱)، سالاسکار و همکاران (۲۰) و خداوردیلو و همکاران (۱۳) پیشنهاد مطرح کرده گیاه اسفناج قادر به تجمع مقادیر زیادی کادمیم در اندام های رویشی می باشد.

نتایج جدول ۳ نشان داد که افزایش کلرید کادمیم در خاک به طور معنی داری موجب کاهش کلروفیل اسفناج شد. اثر کادمیم بر کاهش کلروفیل احتمالا ناشی از محدودیت در سنتز کلروفیل و یا اثر کادمیم در ایجاد تنش اکسیداتیو در کلروپلاست و تخریب کلروفیل ناشی از تولید رادیکال های آزاد اکسیژن می باشد (۱۶). اثر افزایش کادمیم خاک بر افزایش پرولین برگ در گیاه اسفناج (جدول ۳) با نتایج مطالعات قبلی در مورد اثر کادمیم بر افزایش پرولین مشابهت دارد (۱ و ۲۴). احتمالا افزایش پرولین برگ با بروز تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال های آزاد اکسیژن ناشی از افزایش غلظت کادمیم در گیاه اسفناج ارتباط دارد؛ زیرا پیشنهاد گردیده است که غلظت پرولین در کاهش خسارت های تنش اکسیداتیو در گیاهان نقش دارد (۴). پرولین علاوه بر این که به عنوان یک کلات کننده فلزات سنگین است، می تواند در پاکسازی رادیکال های هیدروکسیل و اکسیژن های فعال مشارکت نماید و در نتیجه در محافظت سلول ها در برابر آسیب های ناشی از اکسیژن های فعال موثر باشد (۱).

کاهش معنی دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه اسفناج در اثر افزایش غلظت کادمیم در خاک احتمالا به دلیل افزایش معنی دار غلظت این عنصر در اندام هوایی و تاثیر منفی و معنی دار آن بر مقدار کلروفیل درون برگ

خداوردیلو و همکاران (۱۳) نیز گزارش داده اند که میزان غلظت کادمیم در برگ بیشتر از بخش های دیگر گیاهان می باشد. با توجه به این که نتایج آزمایش حاضر نیز نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در غلظت کادمیم در هر یک از اندام هوایی و ریشه در توده های اسفناج ورامین ۱-، ورامین ۲- و همدان بود (جدول ۴)، به نظر می رسد امکان گزینش توده اسفناج با توانایی تجمع کمتر کادمیم وجود دارد. توده های ورامین ۲- و ورامین ۱- به طور معنی داری دارای به ترتیب بیشترین غلظت کادمیم ریشه و کادمیم اندام هوایی بودند (به ترتیب ۶۱/۷۳ و ۶۸/۴۱ میلی گرم در کیلوگرم)؛ ولی با توجه به این که نسبت غلظت کادمیم در ریشه به شاخساره در توده ورامین ۱- پایین تر از این نسبت در توده های ورامین ۲- و همدان بود (۰/۷۵ برابر در مقایسه با ۱/۰۴ و ۰/۹۷ برابر) می توان بیان کرد که احتمالا توده ورامین ۱- توانایی کمتری برای غلظت دادن کادمیم در ریشه و جلوگیری از انتقال آن به بخش هوایی دارد. تاکنون در مورد مقایسه غلظت کادمیم در اندام هوایی و یا ریشه توده های اسفناج بومی ایران و یا نسبت کادمیم ریشه به بخش هوایی سایر گیاهان، تحقیقات کمتری انجام گرفته است؛ ولی با توجه به این که در مطالعات مربوط به تنش شوری، پیشنهاد گردیده است که گونه های متحمل به شوری انتقال سدیم از ریشه به شاخساره را از طریق غلظت یون سدیم در ریشه محدود می سازند (۲۳). گیاهان دارای نسبت بیشتر سدیم یا کلر در ریشه نسبت به اندام هوایی، به دلیل جلوگیری از ارسال سدیم و کلر به بخش هوایی و کاهش اثرات زیان آور سدیم و کلر در برگ، قدرت تحمل بیشتری نسبت به تنش شوری دارند و می توان پیشنهاد نمود که توده ورامین ۱- به دلیل عدم توانایی در انباشت کادمیم در ریشه و در نتیجه افزایش غلظت آن در اندام هوایی، بیشتر در معرض آسیب های کادمیم اندام هوایی قرار گرفته است. پایین بودن وزن خشک بخش هوایی در توده ورامین ۱- نسبت به توده های ورامین ۲- و همدان (جدول ۴) یکی از دلایل اثبات

تحت تاثیر تیمار کادمیم قرار گرفت و کادمیم موجب گردید تا ابتدا کاهش جذب این عناصر و سپس افزایش جذب انجام شود. ارتباط بین جذب کادمیم و جذب عناصر کم مصرف مانند آهن و روی احتمالا ناشی از وجود ناقل های مشترک در غشا سلول برای انتقال کادمیم و برخی عناصر مانند روی و آهن می باشد (۸) و به همین دلیل پیشنهاد می گردد در مطالعات بعدی اثر کادمیم بر جذب سایر عناصر کم مصرف مانند آهن و روی نیز مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به دخالت عناصر آهن، مس و روی در فعالیت های آنزیمی مهم در بخش هایی مانند فتوسنتز، سنتز کلروفیل و پاکسازی رادیکال های آزاد از طریق آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، بررسی اثر کادمیم بر جذب عناصر کم مصرف می تواند در روشن ساختن مکانیسم های تاثیر کادمیم بر فتوسنتز و تنش اکسیداتیو در گیاه اسفناج مهم باشد.

می باشد. این مسئله می تواند منجر به کاهش فتوسنتز و تولید کربوهیدرات ها گردد. افزایش غلظت کادمیم در ریشه و اندام هوایی در اثر کاربرد مقادیر بیشتر کادمیم باعث ایجاد مسمومیت و تنش در گیاه گردیده منجر به افزایش معنی دار سنتز پرولین برای مقابله با این تنش ها شده است. مسمومیت و تنش های یادشده می تواند علت دیگر کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی باشد. نورانی آزاد و کفیل زاده (۱۸) نیز گزارش دادند که کاهش رشد ریشه و برگ، کاهش سطح برگ و تولید ماده خشک از علائم مهم سمیت کادمیم در گیاهان می باشد؛ همچنین افزایش غلظت کادمیم در خاک می تواند منجر به رقابت با دیگر عناصر ضروری گردیده و از جذب آنها توسط ریشه جلوگیری نماید. سالاسکار و همکاران (۲۰) نیز گزارش دادند که دریافت عناصر مس، آهن، منگنز و روی در گیاه اسفناج

منابع

1. Alia, K. and Saradhi, P.P. 1991. Proline accumulation under heavy metal stress. *Plant Physiology*, 138: 554-558
2. Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
3. Bahmanyar, M. A. 1996. Affect of wastewater consumption as irrigation water in Agronomy crops on rate of some heavy metals in soil and plants. *Journal of Ecology*, 44: 19-26.
4. Chekah, S. 2000. Evaluation of phenology and effect of adjusted of normal and light irrigation systems on cover crop of Frankenia plant. MS. Thesis. Shahid Chamran University.
5. Chaney, R.L. and Ryan, J.A. 1993. Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW – compost : Research results on phytoavailability, bioavailability , fate , etc . pp 451 – 506 . In : H . A .J . Hoitink and H.M.Keener (Eds), science and Engineering of composing : Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects . Renaissance pud ., Worthington, ohio.
6. Eftakhari, S. A. Hassandokht, M. Fatahi, M. M. Kashi, A. 1999. Genetic diversity of Iranian domestic landraces Spinach. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 41 (1): 83-93

7. El Nabarawy, K.A., 2002. Effect of cadmium (Cd) accumulation on spinach plant. *Journal of Plant Physiology*, 17: 21–34.
8. Fatohi Ghazvini, R., Hiadri. M. Hashampour, A. 2000. Physiology and molecular biology stress tolerance in plants. P.360.
9. Ghadrian, M. and Jemali Hagiani, N. 1999. Resistance assessment, absorption and accumulation of Cadmium in plant. *Journal of Plant Ecology*, 6: 87-98
10. Gupta, P. K. 2000. soil, plant, water and fertilizer analysis Agrobios, new Dehli, India, pp438.
11. Ilda, M. M., Rufus, L. Ch., and Frederik, M. W. 1993. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. *Environmental Pollution*, 79(2):113-120.
12. Kafi, M. Barzoui, A. Salehi, M. Kamani, A. Masoumi, A. and nabati, J. 1998. Environmental physiological stresses in plants. Mashahed Jahad collegiate publishers. 1st Edition. Pp. 345-371
13. Khodaverdiloo, H., Ghorbani Dashtaki, Sh. and Rezapour, S. 2011. Lead and cadmium accumulation potential and toxicity threshold determined for land cress (*Barbarea verna*) and spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Plant Production*, 5 (3): 1735-6814.
14. Lawal, A.O., Myina, O.M., and Abdullahi, Y. 2011. Effect of cadmium, lead and nickel salt solution on the germination and early growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 6: 33-38.
15. Lichtentaler, H.K. 1987. Chlorophyll and Carotenoids: pigments of Photosynthetic biomembranes In packer, L., Douce, e.d.s. *Method in enzymology*. Plant cell membrane, New York: Academic press, pp:350-382.
16. Mohamed, A. A., Ismail, A. Z., and Emad, E. Sh. A. 2011. Accumulation of heavy metal in crop plants from Gaza Strip, Palestine and study of the physiological parameters of spinach plants. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 10:21-27.
17. Naji, H. and Kilchine, A. 1999. Assessment of various cadmium and sulfur levels on yield and Cadmium concentration and some low consumption in leaf and root corn (*Zea mays*) under greenhouse conditions. *Journal of Sciences and Greenhouse Cultivation Cechniques*, 4: 23-32.
18. Nourani Azad, H. and Kafil zadeh, F. 2012. Effect of cadmium toxicity on growth, photosynthetic of soluble sugars of colored pigments and some enzymes in safflower. *Iranian Journal of Biology*.
19. Pievast, Gh. 1995. Growing vegetables. Danash Pazir publishers, fourth Edition, P. 142

20. Salaskar, D., Shirivastava, M., and Kale, Sh.P. 2011. Bioremediation potential of spinach (*Spinacia oleracea* L.) for decontamination of cadmium in soil. *Current Science*, 101: 1359.
21. Sato, A., Takeda, H., Oyanagi, w., Nishihara, E., and Murakami, M. 2010. Reduction of cadmium uptake in spinach (*Spinacia oleracea* L.) by soil amendment with animal waste compost. *Journal of Hazardous Materials*, 181: 298-304.
22. Singh, S., Zacharias, M., Kalpana, S., and Mishra, S. 2012. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 4(4): 75- 81.
23. Walker., R. R., E. Torokfalvy and M. H. Behboudian. 1987. Uptake and distribution of chloride, Sodium and potassium ions and growth of salt-treated pistachio plants. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38: 383-394.
24. Yilmaz, D.D. and Parlak, K.U. 2011. Changes in proline accumulation and antioxiadaative enzyme activities in *Groenlandia densa* under cadmium stress. *Ecological Indicators*, 11: 417-423.