

اثر آلودگی کادمیم خاک بر شاخص‌های رشد اسفناج و تربچه

فرناز آزادی، علی کسرائیان¹ و نجفعلی کریمیان

دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران؛ Farnaz231@yahoo.com

استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران؛ Alkasra@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک دانشگاه شیراز؛ Nkarimian@yahoo.com

دریافت: 92/7/2 و پذیرش: 93/2/22

چکیده

آلودگی زمین‌های کشاورزی پیرامون شهرها و تمرکز کاشت سبزیجات در این مناطق احتمال خطر آلودگی مواد غذایی انسان به فلزهای سنگینی مانند کادمیم را به همراه دارد. با توجه به اهمیت این موضوع، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک کاملاً تصادفی با سه خاک دارای مقادیر مختلف کربنات کلسیم (13/5، 44/5 و 67/5 درصد) و پنج سطح کادمیم (0، 5، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) در سه تکرار بر روی اسفناج و تربچه در گلخانه اجرا شد. وزن تر و سطح برگ اسفناج و تربچه و وزن تر ریشه تربچه به‌عنوان شاخص‌های بازار پسندی انتخاب شد. با افزایش سطح کاربرد کادمیم غلظت کادمیم در گیاهان افزایش و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده رشد، مانند وزن تر و خشک و کلروفیل A و B کاهش یافت. کربنات کلسیم خاک اثر معنی‌داری نداشت. در تیمار 40 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک سطح و وزن تر برگ اسفناج به ترتیب 77 و 86 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. در تربچه این مقادیر به ترتیب 36 و 32 درصد بود. وزن تر ریشه تربچه کمترین کاهش را نشان داد و به مقدار 49 درصد شاهد رسید. بیشترین تجمع کادمیم در تربچه رخ داد. سطح برگ اسفناج کاهش بیشتری نشان داده و بنابراین بازار پسندی آن بیشتر کاهش یافت. به دلیل آنکه غلظت کادمیم در تربچه بیشتر از اسفناج است و نیز از آنجا که علائم سمیت کادمیم و کاهش رشد در تربچه بسیار کمتر می‌باشد، بنابراین خطر آلودگی زنجیره غذایی از طریق تربچه بیشتر از اسفناج خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: کربنات کلسیم، سبزیجات، ویژگی‌های بازار پسندی، زنجیره غذایی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، گروه مهندسی علوم خاک، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

مقدمه

تغذیه دام نیز مقدار مجاز کادمیم معادل 10 تا 20 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (WHO, 1989).

میوه‌ها و سبزیجات بدون شک دارای سهم مهمی در تأمین عناصر معدنی ضروری مورد نیاز بدن انسان هستند. امروزه رویکرد پژوهشگران علوم تغذیه به رژیم غذایی حاوی مواد فیبری و سبزیجات بیشتر از گذشته شده (یزدانپرست، 1372) و از این رو کشت سبزیجات و مصرف آن‌ها افزایش یافته است. در این میان اهمیت میزان رشد و عدم آلودگی این سبزیجات، به‌ویژه با توجه به تمرکز کشت آن‌ها در زمین‌های کشاورزی حاشیه شهرها، که احتمال استفاده از منابع فاضلابی در آن‌ها می‌رود بسیار زیاد است. خاک منبع اصلی تغذیه معدنی گیاهان است. گیاهان علاوه بر جذب عناصر غذایی، با جذب عناصر سنگین دروازه‌ای برای انتقال آلاینده‌های فلزات سنگین و به‌ویژه کادمیم به سایر جانداران می‌شوند. اگر چه ممکن است گیاهان به دلیل شرایط فیزیولوژیکی خاص خود نشانه‌ای از آلودگی به کادمیم را نشان ندهند اما این مسئله سبب پنهان شدن نقش گیاهان در انتقال عناصر سنگین و مهمتر از همه کادمیم به زنجیره غذایی می‌گردد (دبیری، 1379).

مطالعه آلودگی عناصر سنگین به‌ویژه در سبزیجات، که اصولاً به دلیل فاصله اندک محل تولید آن‌ها به بازار مصرف در حاشیه شهرها کاشت می‌شود، و نقش آن‌ها در انتقال آلودگی به رژیم غذایی برای حفظ سلامتی و بهداشت جامعه بسیار مهم است. توانایی گیاهان در جذب آلودگی عناصر سنگین به ویژه کادمیم به خصوصیات ژنتیکی آن‌ها از یک طرف و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها بستگی دارد. تغییرهایی که در رشد گیاه بر اثر کادمیم بوجود می‌آید تعیین کننده میزان بازارپسندی این گیاهان و در پی آن احتمال انتقال آلودگی به رژیم غذایی است. هرچه مقدار رشد در غلظت‌های زیاد کادمیم کمتر تحت تأثیر قرار گیرد گیاه توان بالقوه بیشتری برای انتقال کادمیم به زنجیره غذایی را دارا می‌شود (میشرا و همکاران، 2006).

از این رو، در این مطالعه با کشت اسفناج¹ و تربچه² در سه نمونه خاک مختلف و پنج سطح متفاوت کادمیم، میزان جذب به‌وسیله این دو گیاه بررسی و مقایسه شد. مقدار جذب کادمیم در این دو گیاه و تغییرهایی که در رشد این گیاهان از نظر بازار پسندی ایجاد می‌شود

فعالیت‌های صنعتی باعث افزودن مقدار زیادی ترکیب‌های سمی به محیط زیست از جمله زمین‌های کشاورزی شده است (ایوانس و فرلانگ، 2003). از سوی دیگر کاربرد فاضلاب و لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی افزایش چشمگیری داشته و این در حالی است که این منابع حاوی مقادیر زیادی آلاینده‌های آلی و غیر آلی از جمله فلزهای سنگین هستند (کاباتا- پندیاس و پندیاس، 2000). فلزهای سنگین از نظر زیستی تجزیه پذیر نیستند. تحرک زیاد برخی از این عناصر مانند کادمیم و ورود آن‌ها به گیاه و در پی آن به زنجیره غذایی انسان و دام، می‌تواند خسارت جبران ناپذیری را برای این مصرف کنندگان به‌همراه داشته باشد (گلگو و همکاران، 1996؛ الیور، 1997 و آدریانو، 1986)

در میان راه‌های متفاوت آلودگی خاک، استفاده از کودهای فسفره و همچنین منابع فاضلابی شاید مهمترین منابع آلودگی خاک‌های کشاورزی به کادمیم باشد (انصاری و ملیک، 2007؛ پال و همکاران، 2006). اگرچه گسترش استفاده از کودهای فسفره شامل تمام زمین‌های کشاورزی می‌شود اما استفاده از منابع فاضلابی بیشتر به مناطق اطراف شهرهای بزرگ محدود می‌شود. از جمله، طبق گزارش یارقلی (1386) رواناب سطحی تهران با حجم بیش از شش مترمکعب در ثانیه با دریافت آلاینده‌های مختلف به مصرف آبیاری اراضی جنوب تهران می‌رسد. مشخص است که کاربرد دراز مدت این منابع سبب آلودگی خاک‌ها و در نهایت گیاهان می‌شود (تراییان و بغوری، 1373؛ تراییان و مهجوری، 1381 و مستشاری، 1380).

تجمع کادمیم در بدن انسان عوارض متعددی را به‌ویژه در کودکان سبب می‌شود. تأثیرهای بیوشیمیایی کادمیم شامل شکسته شدن اکسیدهای فسفر، تداخل در فعالیت آنزیم‌ها و همچنین توانایی در واکنش با اسیدهای نوکلئیک و بروز سرطان می‌باشد (یارقلی، 1386). از بیماری‌های ناشی از سمیت کادمیم در بدن انسان می‌توان به کم‌خونی، فشار خون بالا، نرمی استخوان، پروتئینوری (دفع پروتئین از ادرار) و آمفیوزم (احتباس هوا در بافت ریه) اشاره کرد. این عنصر همچنین می‌تواند در لایه قشری کلبه تجمع و بیماری توبولار کلیوی را ایجاد کند (نوگاوا و همکاران، 1987).

سازمان بهداشت جهانی مقدار مجاز کادمیم در رژیم غذایی هفتگی انسان را معادل 7 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن و حداکثر مقدار مجاز در خوراک انسانی را معادل 0/1 میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام کرده است. برای

¹ *Spinacea oleracea*

² *Raphanus sativus*

می‌تواند بیانگر اهمیت و نقش این دو سبزی در انتقال کادمیم به زنجیره غذایی باشد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این آزمایش سه نمونه خاک سطحی (0-30 سانتی‌متری) با ویژگی‌های مختلف از اطراف شهر شیراز انتخاب و برخی از ویژگی‌های آن‌ها اندازه‌گیری شد. (جدول 1)

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های به کار رفته

محل نمونه برداری خاک‌های آزمایشی	نیترژن کل (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	کربنات کلسیم (%)	کربن آلی (%)	pH	EC (ds/m)	کادمیم کل (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
سیخ دارنگون (1)	0/08	25/2	46/6	28/2	13/5	0/84	7/74	0/7	8/5	26/8	374
سیخ دارنگون (2)	0/1	45/2	36/6	18/2	44/5	0/95	7/61	0/87	8/5	30/8	302
زمین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد شیراز (3)	0/07	31/2	42/6	26/2	67/5	0/69	7/58	1/14	6	6/2	260

* میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، در سطح 5 درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

تعداد 10 عدد بذر اسفناج رقم Viroflay و 8 عدد بذر تربچه رقم Cherry belle در هر گلدان کاشته شد. پس از جوانه‌زنی و استقرار گیاهان، تعداد آن‌ها در هر گلدان به 5 عدد، که به طور یکنواخت در سطح گلدان قرار گرفته بودند، کاهش داده شد و رطوبت گلدان‌ها در طول دوره رشد، به روش وزنی، در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. پس از به پایان رسیدن رشد تربچه و اسفناج، سطح برگ آن‌ها اندازه‌گیری و سپس کل بخش هوایی و زمینی هر دو گیاه برداشت شد. سپس گیاهان از محل طوقه قطع و پس از شستشو با آب مقطر و خشک کردن، وزن تر بخش هوایی و زمینی با ترازو اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در آون در دمای 65 درجه سلسیوس خشک شدند. پس از اندازه‌گیری وزن خشک، توسط آسیاب برقی پودر و به روش هضم تر (مخلوط اسیدها) هضم شده، و در انتها عناصر غذایی و کادمیم به وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل AII200 - Aurora Instruments) اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده با روش‌های تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن توسط نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

غلظت کادمیم در اندام هوایی اسفناج و تربچه و ریشه تربچه

نوع خاک تأثیر معنی‌داری بر جذب و غلظت کادمیم در بخش‌های هوایی اسفناج و تربچه و بخش زمینی تربچه نداشت (شکل 1). مستقل از نوع خاک، با افزایش

این مطالعه در سه تکرار با دو گیاه تربچه و اسفناج و در سه خاک با ویژگی‌های مختلف، از جمله مقادیر متفاوتی از کربنات کلسیم معادل (13/5، 44/5 و 67/5 درصد)، و در پنج سطح کادمیم (صفر، 5، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات کادمیم) به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در گلخانه پیاده شد. برای این منظور 4 کیلوگرم خاک الک شده در کیسه‌های کشت ریخته شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، فسفر به مقدار 20 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به صورت آمونیوم فسفات و به صورت محلول؛ و روی به شکل سولفات روی به مقدار 0/4 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به صورت محلول، به خاک 3 اضافه گردید؛ نیترژن نیز به هر سه خاک (خاک 1، 2 و 3) به صورت اوره، برای اسفناج در دو نوبت، نوبت اول سه هفته بعد از کشت و نوبت دوم شش هفته بعد از کشت، جمعاً به مقدار 200 میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک و برای تربچه، سه هفته بعد از کشت و در یک نوبت به میزان 200 میلی‌گرم در کیلوگرم به گلدان‌ها افزوده شد. همچنین جهت بررسی اثر کاربرد کادمیم بر رشد و ترکیب شیمیایی اسفناج و تربچه، از 5 سطح کادمیم (صفر، 5، 10، 20 و 40 میلی‌گرم کادمیم از سولفات کادمیم در کیلوگرم خاک) استفاده گردید. نمونه‌های خاک پس از اعمال تیمارها به خوبی مخلوط شده و به گلدان‌های 4 کیلوگرمی منتقل گردیدند.

هوایی و آن هم در تربچه اندازه‌گیری شد و ریشه تربچه کمترین سهم را داشت.

تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر برخی ویژگی‌های رشد تربچه و اسفناج

آلودگی کادمیم خاک سبب کاهش سطح برگ، وزن تر، وزن خشک و همچنین مقدار کلروفیل A و B در هر دو گیاه اسفناج و تربچه و در هر دو بخش هوایی و زمینی گیاهان شد که این می‌تواند ناشی از تأثیر سمیت کادمیم بر آن‌ها باشد (جدول‌های 2 و 3).

بطور کلی، با افزایش غلظت کادمیم در خاک سطح برگ در هر دو گیاه اسفناج و تربچه بطور متوسط 59 درصد کاهش یافت. اگرچه مقدار میانگین سطح برگ در هر دو گیاه از نظر آماری یکسان بود اما با توجه به سطح وسیع‌تر برگ‌های اسفناج نسبت به تربچه، کاهش سطح برگ در این گیاه بیشتر از تربچه بود و به ترتیب 77 و 36 درصد برای اسفناج و تربچه اندازه‌گیری شد. این می‌تواند نشان دهنده تأثیرپذیری بیشتر اسفناج نسبت به آلودگی کادمیم در خاک باشد. این موضوع در وزن تر و وزن خشک بخش هوایی و زمینی هر دو گیاه و به‌ویژه اسفناج نیز مشاهده شد. بطور کلی با افزایش سطح کادمیم خاک وزن تر و وزن خشک گیاهان به ترتیب 55 و 58 درصد کاهش یافت اما کاهش وزن‌تر در گیاه اسفناج در هر دو بخش زمینی و هوایی آن نسبت به تربچه بیشتر بود و بخش زمینی تربچه کمترین تأثیر را از سمیت کادمیم پذیرفت که این می‌تواند به دلیل تأثیرهای متفاوت سمیت کادمیم بر گیاهان مختلف باشد، به‌ویژه آن‌که بافت تربچه نسبت به بافت ریشه اسفناج و همچنین بخش‌های هوایی هر دو گیاه متفاوت است.

با افزایش سطح کادمیم خاک مقدار میانگین کلروفیل A و B در هر دو به‌طور متوسط به ترتیب 31 و 25 درصد کاهش یافت. بیشترین مقدار کاهش مربوط به گیاه تربچه به مقدار 32 و 62 درصد به ترتیب برای کلروفیل A و B بود.

سطح کادمیم غلظت این عنصر در بخش‌های هوایی گیاه اسفناج و تربچه و همچنین بخش زمینی تربچه افزایش معنی‌داری یافت. این در حالی است که غلظت کادمیم در هر دو گیاه و در هر بخش مورد مطالعه در تیمار شاهد به دلیل وجود کادمیم در زمینه خاک بیشتر از صفر اندازه‌گیری شد (شکل 2). در تیمار 40 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک مقدار جذب کادمیم 187/25 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی اندازه‌گیری شد که چندین برابر غلظت کادمیم در تیمار شاهد است. بیشترین مقدار تجمع کادمیم در بین بخش‌های اندازه‌گیری شده در برگ تربچه و کمترین مقدار در ریشه این گیاه به ترتیب برابر با 159/18 و 63/25 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم ماده خشک اندازه‌گیری شد.

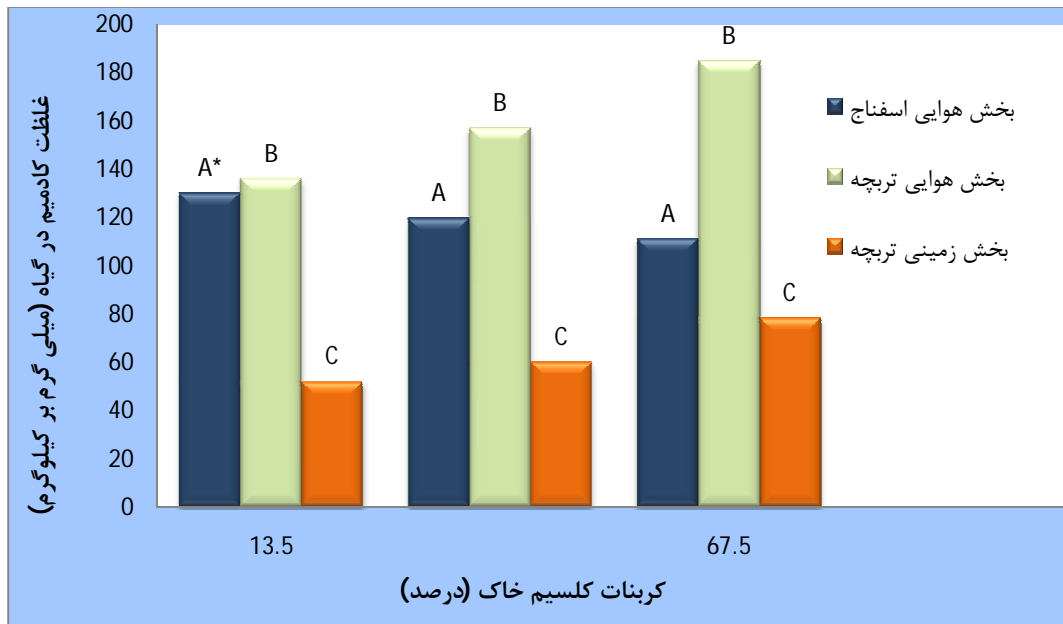
به رغم همبستگی مثبت بین افزایش غلظت کادمیم در خاک و غلظت این عنصر در گیاه، مقدار جذب در غلظت‌های کم بسیار بیشتر بود، به‌طوری‌که با افزایش غلظت کادمیم در خاک از شدت جذب کاسته شد که این می‌تواند به دلیل اثر منفی این عنصر بر فیزیولوژی گیاه در غلظت‌های بالا باشد.

غلظت کادمیم در بخش‌های هوایی و زمینی به یک شکل نبوده و حتی بین بخش‌های هوایی دو گیاه اسفناج و تربچه از این لحاظ نیز تفاوت وجود دارد که این مسئله می‌تواند به دلیل تفاوت ژنتیکی گیاهان باشد. در مقایسه بین بخش هوایی و زمینی بطور کلی، بخش هوایی بیشترین مقدار تجمع کادمیم را داشت و در این بین حداکثر میانگین تجمع کادمیم در برگ‌های تربچه به مقدار 159/18 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و این مقدار در بخش هوایی اسفناج و بخش زمینی تربچه به ترتیب 120/13 و 63/25 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک اندازه‌گیری شد. با افزایش غلظت کادمیم در خاک شدت تجمع کادمیم در بخش‌های اندازه‌گیری شده نیز متفاوت بود به‌طوری‌که بیشترین مقدار در بخش

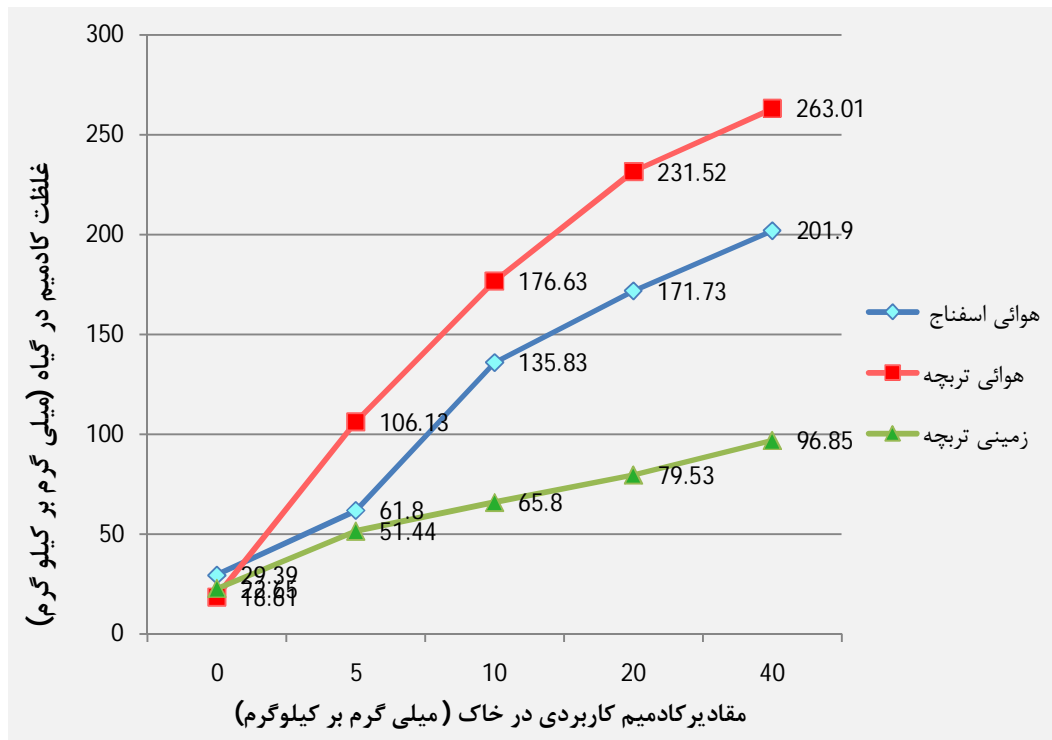
جدول 2- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر برخی ویژگی‌های رشدی اسفناج

کلروفیل		سطح برگ	وزن خشک		وزن تر		سطوح کادمیم
(میکروگرم بر گرم)		(سانتی‌متر مربع در گلدان)	(گرم در گلدان)		(گرم در گلدان)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)
B	A		بخش زمینی	بخش هوایی	بخش زمینی	بخش هوایی	
1/86	0/63	17/18	0/18	2/13	0/89	15/54	0
1/77	0/59	14/71	0/14	1/62	0/74	11/81	5
1/69	0/54	10/32	0/08	1/00	0/47	7/62	10
1/57	0/50	7/06	0/06	0/72	0/34	4/93	20
1/42	0/43	3/92	0/05	0/45	0/23	2/19	40
1/66a	0/54a	10/64a	0/1d	1/18b	0/53d	8/42c	میانگین

میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند در سطح 5 درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل 1- تأثیر میزان کربنات کلسیم خاک بر غلظت کادمیم در بخش هوایی اسفناج و تریچه و بخش زمینی تریچه (میلی گرم بر کیلوگرم)



شکل 2- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر غلظت این عنصر در بخش هوایی اسفناج و تریچه و بخش زمینی تریچه (میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک گیاهی)

جدول 3- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر برخی ویژگی‌های رشدی تربچه

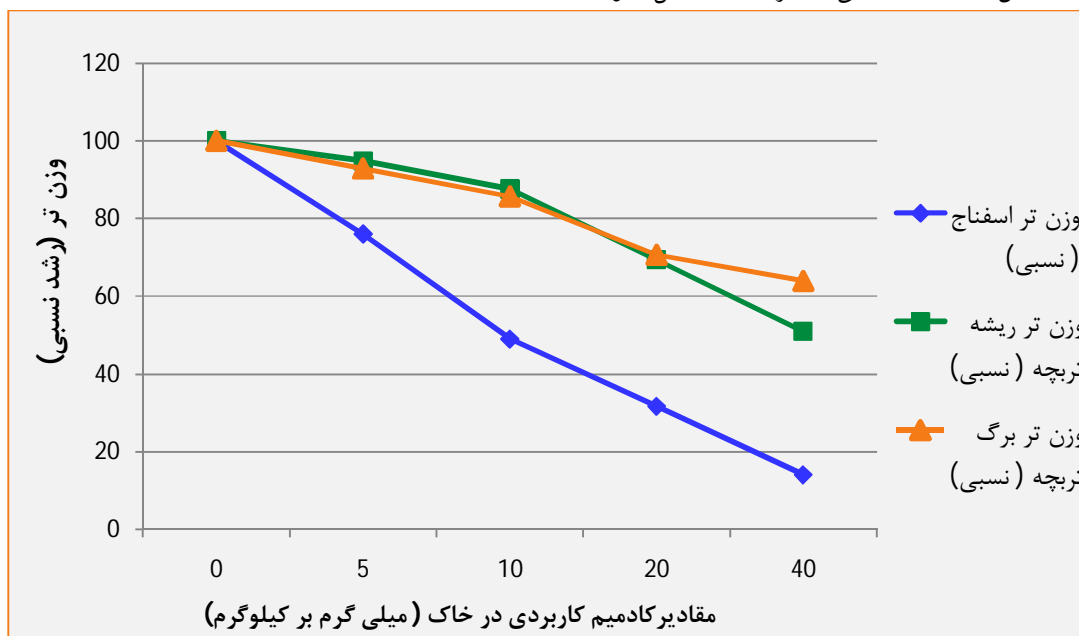
کلروفیل		سطح برگ (سانتی‌متر مربع در گلدان)	وزن خشک (گرم در گلدان)		وزن تر (گرم در گلدان)		سطوح کادمیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
B	A		بخش زمینی	بخش هوایی	بخش زمینی	بخش هوایی	
1/81	0/59	13/04	2/06	1/27	31/11	11/16	0
1/66	0/53	12/11	1/82	1/15	29/50	10/30	5
1/52	0/48	11/18	1/56	1/07	27/25	9/74	10
1/44	0/44	9/21	1/28	0/94	21/59	8/90	20
1/31	0/40	8/34	1/01	0/82	15/89	7/58	40
1/55b	0/49b	10/ 77a	1/55a	1/05c	25/ 07a	9/54b	میانگین

میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند در سطح 5 درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

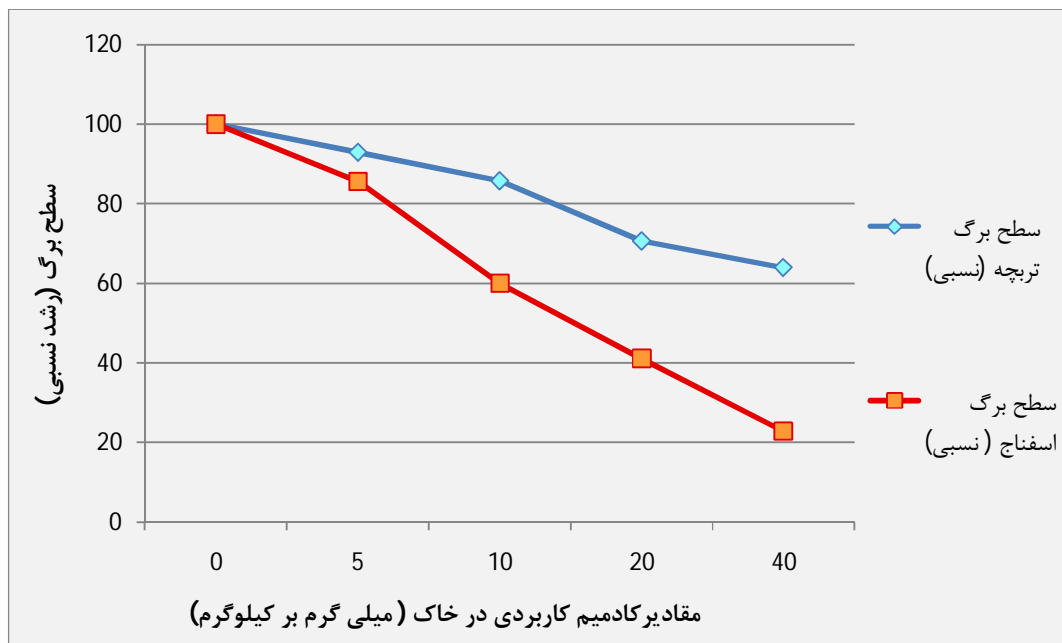
کادمیم در مواد غذایی است. افزایش غلظت این عنصر در هر دو گیاه سبب کاهش رشد کلی بخش‌های خوراکی آن-ها شد (جدول‌های 2 و 3؛ شکل‌های 3 و 4). به‌طوری‌که سطح برگ اسفناج به‌عنوان شاخصی برای بازار پسندی این سبزی با افزایش غلظت کادمیم به شدت کاهش یافت.

اثر آلودگی کادمیم در کاهش بازار پسندی اسفناج و تربچه

با افزایش غلظت کادمیم در خاک غلظت این عنصر در برگ اسفناج و ریشه و برگ تربچه به‌عنوان بخش اصلی خوراکی این دو گیاه افزایش یافت به‌طوری‌که غلظت این عنصر در حداکثر آلودگی خاک به‌طور متوسط به حدود 201 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم ماده خشک برگ اسفناج و 96/85 و 263/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک به ترتیب در ریشه و برگ تربچه رسید که این غلظت‌ها همگی بیشتر از حد قابل قبول



شکل 3- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر وزن تر بخش هوایی اسفناج و بخش‌های هوایی و زمینی تربچه (رشد نسبی)



شکل 4- تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر سطح برگ اسفناج و تربچه (رشد نسبی)

شود. اما به رغم تجمع بیشتر کادمیم در برگ تربچه تأثیر این عنصر بر سطح برگ و وزن تر این گیاه در مقایسه با برگ اسفناج کمتر بود.

بحث

اهمیت سبزیجات در سبد غذایی انسان بر کسی پوشیده نیست اما آلودگی به ویژه آلودگی فلزهای سنگین در آن‌ها از لحاظ سلامتی انسان بسیار مهم است. تأثیر آلودگی کادمیم بر بخش‌های خوراکی این سبزی‌ها به صورت افزایش غلظت این عنصر (دهیری و همکاران، 2007؛ هودجی و همکاران، 1382؛ و نی و همکاران، 2002) و تغییر در برخی از شاخص‌های رشد از جمله کاهش سطح برگ، کاهش وزن تر و خشک برگ اسفناج و تربچه و کاهش وزن تر و خشک ریشه تربچه ظاهر شد. محققان مختلف با مطالعه اثر کادمیم بر شاخص‌های گوناگونی مانند سطح برگ و وزن تر و خشک گیاهان بیان داشتند که افزایش غلظت کادمیم سبب کاهش وزن تر و خشک و سطح برگ شده است (ساندالیو و همکاران، 2001؛ و آزودو و همکاران، 2005). رجائی (1385) تأثیرهای مشاهده شده از افزودن کادمیم به خاک را ناشی از سمیت این عنصر بیان کرد. محققان دیگر کاهش سطح برگ و کلروز را از علائم دیگر سمیت کادمیم دانستند. برای مثال آزودو و همکاران (2005) کاهش تعداد و اندازه برگ‌ها در گیاه آفتاب گردان و همچنین کلروز و نکروز ایجاد شده در برگ این گیاه را ناشی از اثر سمیت کادمیم دانستند. ژنگ و همکاران (2000) گزارش کردند

افزایش غلظت کادمیم در برگ‌های اسفناج همراه با کاهش بعضی از شاخص‌های رشد بود به طوری که وزن تر و سطح برگ که از عوامل بازار پسندی این سبزی به حساب می‌آید در تیمار 40 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک به ترتیب 86 و 77 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. چنین روندی در برگ تربچه و ریشه آن نیز مشاهده شد به طوری که در تیمار 40 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک سطح و وزن تر برگ تربچه به ترتیب 36 و 32 درصد و وزن تر ریشه تربچه در همین تیمار 49 درصد کاهش داشت. بنابراین به رغم تجمع بیشتر کادمیم در برگ تربچه نسبت به ریشه تربچه و برگ اسفناج، کاهش سطح برگ و وزن تر در اسفناج بیشتر مشاهده شد و برگ و ریشه تربچه در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

در مقادیر کمتر کادمیم نیز تغییر شاخص‌های رشد به همین منوال بود. به طوری که با افزایش 5 میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک درصد تغییر در وزن تر برگ اسفناج و تربچه نسبت به شاهد به ترتیب 24 و 7 درصد و در سطح برگ اسفناج و تربچه به ترتیب 14 و 7 درصد کاهش اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر، در این تیمار درصد تغییر در وزن تر ریشه تربچه تنها 5 درصد بود.

بنابراین برگ اسفناج در مقایسه با ریشه تربچه به عنوان بخش‌های اصلی خوراکی این گیاه، در هر تیمار آلودگی، مقدار بیشتری کادمیم جذب کرده و به دلیل اثر سمی کادمیم، سطح برگ و وزن تر آن به شدت کاهش پیدا کرد که می‌تواند سبب کاهش شدید بازار پسندی اسفناج

که افزودن کادمیم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و بخش هوایی، طول ریشه، ارتفاع بخش هوایی و تعداد پنجه‌های گندم شده است. ساین و همکاران (1988) به تأثیر کادمیم به کاهش وزن تر و خشک کاهو اشاره کردند. ساندالیو و همکاران (2001) در مطالعه اثر کادمیم بر نخود، به کاهش سطح برگ به دلیل سمیت این عنصر در این گیاه اشاره کردند. کورسان و همکاران (2001) با اشاره به کاهش وزن خشک بخش هوایی و زمینی نخود بیان داشتند که بیشترین کاهش در بالاترین غلظت کادمیم رخ داده است.

بیشترین مقدار جذب کادمیم به ترتیب در برگ تربچه، برگ اسفناج و ریشه تربچه اندازه‌گیری شد اما میزان تأثیرگذاری آلودگی کادمیم بر وزن تر برگ اسفناج و برگ و ریشه تربچه با غلظت این عنصر در این اندام‌ها هماهنگی نداشت به طوری که به رغم غلظت زیاد کادمیم در برگ تربچه، کاهش وزن تر و سطح برگ اسفناج بیشتر از تربچه بود. این تفاوت احتمالاً به دلیل تفاوت در ویژگی‌های فیزیولوژیک این دو گیاه می‌باشد. اما با توجه به اولویت ریشه تربچه به عنوان بخش خوراکی، مشاهده شد که در حداکثر غلظت کادمیم در خاک وزن تر ریشه‌ای این گیاه تنها به مقدار 50 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت.

شکل ظاهری سبزیجات سهم عمده‌ای در بازار پسندی آن‌ها دارد. هرچه سبزیجات شاداب‌تر و سبزتر باشند امکان خرید آن‌ها در بازار بیشتر است بنابراین چنانچه آلودگی‌های خاک سبب از بین رفتن این ویژگی در گیاه شود خود به خود این سبزیجات از بازار مصرف خارج شده و انتقال آلودگی توسط آن‌ها منتفی می‌شود. در اسفناج وزن تر و سطح برگ و در تربچه وزن تر ریشه و همچنین وزن تر و سطح برگ آن از شاخص‌های مهمی است که می‌تواند به نوعی بیانگر بازار پسندی این سبزیجات باشد. بنابراین در این سبزیجات علاوه بر غلظت کادمیم باید به شاخص‌های بازار پسندی آن‌ها نیز اشاره شود تا احتمال انتقال آلودگی به رژیم غذایی انسان مورد ارزیابی دقیق‌تری قرار گیرد. کاهش شدید سطح برگ گیاه اسفناج و از آنجا که برگ این گیاه به عنوان بخش خوراکی شناخته می‌شود می‌تواند بر بازار پسندی این گیاه تأثیر بگذارد تا حدی که کشاورزان از برداشت گیاهانی که در خاک‌های به شدت آلوده کشت شده‌اند به دلیل اندازه کوچک و محصول اندک آن‌ها صرف نظر کنند. اما در نظر عموم ریشه تربچه کوچک‌تر برای مصرف تازه آن مطلوب‌تر به نظر می‌رسد و با توجه به کاهش

اندک وزن تر ریشه تربچه حتی در تیمار خاک‌های شدیداً آلوده بنابراین شدت بازار پسندی در این گیاه نه تنها کاهش پیدا نمی‌کند بلکه ممکن است گیاهان کشت شده در خاک‌های آلوده به کادمیم به دلیل اندازه کوچک‌تر آن‌ها از اقبال بیشتری برخوردار باشند. بنابراین به نظر می‌رسد که گیاه تربچه بتواند پتانسیل بیشتری در عرضه این عنصر خطرناک در آلودگی متوسط و شدید به رژیم غذایی داشته باشد و این موضوع زمانی خطرناک‌تر می‌شود که علاوه بر ریشه تربچه از برگ آن که بیشترین تجمع کادمیم را در خود دارد نیز استفاده شود. چنگ و هانگ (2006) در مطالعه مراحل رشد تربچه در خاک‌های آلوده به کادمیم به این نکته اشاره نمودند که در مراحل اولیه رشد که هنوز ریشه‌ها توسعه نیافته‌اند تأثیر سوء کادمیم مشاهده نشد و با توسعه ریشه‌ها تأثیر سوء کادمیم بروز کرد به طوری که میانگین وزن ریشه 50 درصد کاهش یافت.

اگرچه در سطح متوسط و شدید آلودگی در خاک، کاهش در سطح برگ اسفناج به شدت بیشتری نسبت به بخش‌های خوراکی تربچه اندازه‌گیری شد و نیز از بازار پسندی آن کاسته گردید، اما در آلودگی‌های کمتر خاک تغییر شاخص رشد احتمالاً چندان زیاد نبوده تا که از بازار پسندی این سبزی بکاهد. بنابراین برای حفظ سلامت و بهداشت جامعه لازم است سبزیجات از نظر مقدار آلودگی فلزهای سنگین مورد پیمایش قرار گیرند و از کاشت آن‌ها در مناطق آلوده یا آبیاری با آب‌های آلوده جلوگیری به عمل آید و این به خصوص برای سبزیجاتی که به دلیل عادت تغذیه مردم مصرف بیشتری دارند از اهمیت بیشتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

دو گیاه اسفناج و تربچه در خاک‌های آلوده به کادمیم رشد کرده اما رشد این گیاهان تحت تأثیر مقدار کادمیم خاک قرار گرفت. با افزایش سطوح کادمیم کاربردی خاک غلظت این عنصر در تمام بخش‌های تربچه و بخش هوایی اسفناج افزایش یافت اما این افزایش در بخش هوایی تربچه از شدت بیشتری برخوردار بوده در حالی که مقدار جذب در بخش هوایی اسفناج، شدتی متوسط داشت و در بخش زمینی تربچه کمترین مقدار جذب مشاهده شد. از سوی دیگر ویژگی‌های رشدی اسفناج بسیار بیشتر از تربچه کاهش یافت. این می‌تواند نشان دهنده تأثیرپذیری بیشتر اسفناج نسبت به آلودگی کادمیم در خاک باشد.

هرچه مقدار رشد در غلظت‌های زیاد کادمیم کمتر تحت تأثیر قرار گیرد گیاه توان بالقوه بیشتری برای انتقال کادمیم به زنجیره غذایی را دارا می‌شود. به دلیل آنکه

قرار می‌گیرد، بیشترین غلظت کادمیم در مجموع در این گیاه اندازه‌گیری شد. بنابراین خطر آلودگی زنجیره غذایی از طریق تربچه بیشتر از اسفناج خواهد بود.

غلظت کادمیم در تربچه بیشتر از اسفناج است و نیز از آنجا که علائم سمیت کادمیم و کاهش رشد در تربچه بسیار کمتر می‌باشد و نیز از آنجا که تربچه هم بخش هوایی و هم زمینی آن قابل برداشت است و مورد استفاده

فهرست منابع:

1. ترابیان، ع.، و بغوری، ا. 1373. بررسی آلودگی‌های ناشی از کاربرد پساب‌های شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران. م. محیط شناسی، 18، 33-45.
2. ترابیان، ع.، و مهجوری، م. 1381. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزی‌های برگی جنوب تهران. م. علوم، خاک و آب، 16 (2)، 39-52.
3. دبیری، م. 1379. آلودگی محیط زیست هوا- آب - خاک - صوت. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
4. رجائی، م. 1385. تأثیر زمان، سطوح و منابع کادمیم و نیکل بر شکل‌های شیمیایی، رشد و جذب این دو عنصر توسط اسفناج. رساله دکتری، بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
5. مستشاری، م. 1380. بررسی شدت و گسترش آلودگی خاک‌ها به عناصر سنگین و تعیین مقدار آن‌ها در گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در قزوین. مجموعه مقالات هفتمین کنگره علوم خاک، شهرکرد، 152-165.
6. هودجی، م. عابدی، م. ج. افیونی، م. و موسوی، س. ف. 1382. تأثیر مصرف لجن فاضلاب و کادمیم در شاهی، کاهو و اسفناج. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، ج 9، ش 2، ص 57-72.
7. یارقلی، ب. 1386. بررسی تغییرات کمی - کیفی فاضلاب فیروزآباد جهت استفاده در کشاورزی، گزارش نهایی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
8. یزدانپرست، ع. 1372. مواد معدنی، میوه‌ها و سبزی‌ها. مجله دامدار، باغدار. شماره اختصاصی باغبانی. صفحه 43-41.
9. Adriano, D.C. 1986. Trace Elements in the terrestrial environment. Springer, New York, NY. p.533.
10. Alloway, B.J. 1995. Cadmium. In: Alloway, B.J. (Ed.), Heavy Metals in Soils. Blakie Academic and Professional, an Imprint of Chapman and Hall. Glasgow, UK, pp. 122-151.
11. Ansari, M.I., and A. Malik. 2007. Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. Bioresource Technol. 98:3149-3153.
12. Azevedo, H., C. Gomes, L. Pinto, J. Fernandes, S. Loureiro, and C. Santos. 2005. Cadmium effects on sunflower growth and photosynthesis. J. Plant Nutr. 28:2211-2220.
13. Cavallaro, N., and M.B. McBride. 1978. Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:550-555.
14. Cheng, S.F., and C.Y. Huang. 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetables and accumulation of cadmium in the edible root. Int. J. Applied Sci. Eng. 43:243-252.
15. Dehiri, G.S., M.S. Brar, and S.S. Malhi. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two cadmium contaminated soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170:495-499.
16. Evans, G.M., and J.C. Furlong. 2003. Environmental Biotechnology: Theory and Applications. John Wiley and Sons, West Sussex, UK.
17. Gallego, S.M., M.P. Benavides, and M.L. Tomaro. 1996. Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves: Evidence for involvement of oxidative stress. Plant. Sci. 121:151-159.

18. Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 2000. Trace elements in the soil and plants. 2nd ed., CRC Press. Boca Raton, FL.
19. Keversan, S., N. Petrovic, M. Popovic, and J. Kandrak. 2001. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum. *J. Plant Nutr.* 24(10):1633-1644.
20. Mishra, S., S. Srivastava, and P.D. Tripathi. 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Baccopa monnieri L.* *Plant Physiol. Biochem.* 44:25-37.
21. Ni, W.Z., X.E. Yang, and X.X. Long. 2002. Differences of cadmium absorption and accumulation in selected vegetable crops. *J. Environ. Sci.* 14:399-405.
22. Nogava, K., R. Honda, T. Kido, I. Tsuritani, and Y. Yamada. 1987. Limits to protect people eating cadmium in rice, based on epideminological studies. *Trace Subs. Environ. Health.* 12:431-439.
23. Oliver, M.A. 1997. Soil and human health: A review. *Eur. J. Soil Sci.* 48:573-592.
24. Pal, M., E. Horvath, T. Janda, E. Paldi, and G. Szalai. 2006. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169:239-246.
25. Sandalio, L. M., H. C. Dalurzo, M. Gomez, M. C. Romero-Puertas, and L. A. Del Rio. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *J. Exp. Bot.* 52(364):2115-2126.
26. Singh, J.P., B. Singh, and S.P.S. Karwasra. 1988. Yield and uptake response of lettuce to cadmium as influenced by nitrogen application. *Nutr. Cycling Agroecosystems.* 18:49-56.
27. WHO. 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture, World Health Organization (Technical Report Series No.776), Geneva, Switzerland.
28. Zhang, G., M. Fukami, and H. Sekimoto. 2000. Genotype different of cadmium on growth and nutrient composition in wheat. *J. Plant Nutr.* 23(9):1337-1350.