نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۵۷-۱۴۲

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 1, Spring 2017, p. 142-157

اثر کادمیم و سرب بر خصوصیات کمی و درصد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

شهرام امیر مرادی[1]، پرویز رضوانی مقدم[2*]، علیرضا کوچکی[2]، شهناز دانش[3] و امیر فتوت[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۱۴

امیر مرادی، ش.، رضوانی مقدم، پ.، کوچکی، ع.ا.، و دانش، ش.، فتوت، ا. ۱۳۹۶. اثر کادمیم و سرب بر خصوصیات کمی و درصد اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۱): ۱۵۷-۱۴۲.

چکیده

یکی از پیامدهای صنعتی شدن، آلودگی محیط زیست و یکی از مهمترین آلاینده‌های محیط زیست فلزات سنگین هستند که می‌توانند باعث آلودگی خاک، آب و هوا شوند. دراین تحقیق غلظت‌های کادمیم (صفر، ۱۰،۲۰،۴۰،۶۰،۸۰،۱۰۰ پی‌پی‌ام) و سرب (۱۲۰۰،۹۰۰،۶۰۰،۳۰۰،۱۰۰و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام) بر روی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. ریزوم-های نعناع فلفلی از مزرعه جمع‌آوری و در گلدان کشت شدند و توسط محلول‌های کلرید کادمیم و سرب استفاده شد. گیاهان در اوایل گلدهی در دو چین برداشت و از نظر خصوصیات کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. درچین اول در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام کادمیم، وزن تر، وزن خشک، سطح برگ، ارتفاع گیاه و درصد اسانس برگ به ترتیب ۱۸/۱۶، ۲۵/۸۸، ۲۲/۷۹، ۱۷/۹۱و ۷/۰۸ درصد و در چین دوم این صفات به ترتیب ۱۵/۲۴، ۲۲/۹۲، ۲۰/۸۸، ۲۲/۹۲ و ۷/۰۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین در چین اول، در غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام سرب، وزن تر، وزن خشک، سطح برگ، ارتفاع گیاه و درصد اسانس برگ به ترتیب، ۲۴/۵۵، ۳۹/۰۱، ۲۱/۵۸، ۲۸/۵۵ و ۱۵/۰۵ درصد و در چین دوم این صفات به ترتیب۲۸/۹۴، ۱۷/۳۱، ۲۴/۷۲، ۲۶/۷۷ و۱۳/۳۷درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. به نظرمی‌رسد که نعناع فلفلی در شرایط آب‌های آلوده به کادمیم و یا در خاک‌های آلوده به این عناصر سنگین در غلظت‌های متوسط می‌تواند مورد کشت قرار گیرد و اثر این عناصر سنگین اثر معنی‌داری بر تولید ماده خشک و درصد اسانس نداشت.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، عناصر سنگین، گیاهان دارویی، ماده خشک

مقدمه

گیاهان دارویی در طول تاریخ همیشه با انسان قرابت خاصی داشته و آثار دارویی و موارد استفاده از آن بر هیچ کس پوشیده نیست. اگرچه علاقه و همدمی و توجه به این گیاهان مفید در سال‌های گذشته ناچیز بوده اما خوشبختانه اخیرا مورد عنایت بیشتری قرار گرفته‌اند (Samsam shariat, 1995). نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) یکی از گیاهان اسانس‌دار و معطراست که از خانواده نعناعیان[5] می‌باشد و از تلاقی بین گونه‌های *Mentha aquatic* L. و *Mentha spicata* L. به دست آمده است. در حال حاضر نعناع فلفلی برای درمان سندرم روده تحریک‌پذیر، بیماری‌های التهابی روده، التهاب کیسه صفرا، نارسایی‌های سیستم صفراوی و مشکلات کبدی استفاده می‌شود (Blumenthal, 1998). یکی از پیامدهای صنعتی شدن آلودگی محیطزیست و یکی از مهمترین آلاینده‌های محیط زیست فلزات سنگین هستند. این فلزات می‌توانند باعث آلودگی خاک، آب و هوا شده و مشکلات جدی در بیوسفر ایجاد نمایند (Emese et al., 2007 ; Street et al., 2009). فلزات سنگین تقریبا در همه جای دنیا وجود دارند، زیرا در صنعت کاربرد زیادی دارند (Chen et al., 2004 ; Wang and Wang, 2005). تجمع پیاپی

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری زراعت، استاد، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: rezvani@um.ac.ir
DOI:10.22067/jag.v9i1.51330

5- Lamiaceae

فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی از طریق آبیاری با پساب‌های آلوده نه تنها منجر به آلودگی خاک می‌شود بلکه تأثیر بر کیفیت غذا و امنیت آن می‌گذارد (Muchuweti et al., 2006). در بین فلزات سنگین سمی، کادمیم و سرب به دلیل دوام و پایداری در محیط زیست بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Pendey et al., 2007). این فلزات سنگین ممکن است در زنجیره‌های غذایی تجمع یافته و خطر سلامتی برای انسان و دام ایجاد کنند چرا که انسان و دام نسبت به گیاهان در برابر این عناصر حساس‌ترند اما گیاهان قادرند فلزات سنگین را در برخی از بافت‌های خود ذخیره سازند. (Liu et al., 2006; Parmer, et al., 2002 ; Pralta et al., 2001). اثرات سمی فلزات سنگین باعث ایجاد خسارت در DNA در بدن انسان و دام می‌شود (Baudouin, 2002). به عنوان مثال سمیت سرب در کودکان باعث خسارت بر روی سیستم عصبی شده که منجر به کاهش هوش و از دست رفتن حافظه کوتاه مدت، کاهش توان یادگیری و مشکلات قلبی می‌شود. سرب همچنین می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی نظیر کم خونی شدید، استفراغ، سردرد و دردهای شکمی گردد. کادمیم می‌تواند در کلیه‌ها تجمع یابد که باعث ایجاد نارسایی‌هایی در کلیه‌ها می‌شود (Soghoian, 2009). تأثیر فلزات بر نمو و تولید مثل گیاهان و انتخاب گیاه مناسب برای گیاه پالایی در وهله اول ازطریق بررسی و تعیین جوانه‌زنی بذور و رشد گیاهچه امکان پذیر است. با افزایش غلظت برخی فلزات سنگین، اکثر گونه-های گیاهی جوانه‌زنی ورشد گیاهچه را کاهش می‌دهند (Jun et al., 2009; Singh., et al 2004; Marques et al., 2007). کاهش زیست توده از طریق سمیت کادمیم نتیجه ممانعت مستقیم این عنصر از سنتز کلروفیل و فتوسنتز است (Padmaja, 1990). محققین گزارش نمودند که با افزایش میزان کادمیم در اسفناج عملکرد کاهش نشان نداد (Eisazadeh, et al, 2015). اسکورا وچانگ (Scora & Chang, 1997) گزارش کردند که زیست توده و ترکیبات اسانس نعناع فلفلی کاشته شده در خاک آلوده به کادمیم در غلظت‌های ۰/۱۲ تا ۶/۱ پی‌پی‌ام، تغییراتی نشان نداد اما بر اساس نظر زلجاسکو و نیلسون (Zheljazkov & Nielsen, 1996) در شرایط افزایش غلظت کادمیم، سرب، مس، منگنز و روی، عملکرد تر و عملکرد اسانس نعناع فلفلی کاهش یافت. علی رغم تفاوت نتایج ارائه شده توسط برخی محققین، اسکاورونی و همکاران (Scavroni et al., 2005) معتقدند که نعناع فلفلی می‌تواند به عنوان یک پالاینده سبز در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین کشت شود بدون اینکه این گیاه عناصر سنگین را در بافت‌های خود یا اسانس ذخیره نماید. زلجازکو و همکاران (Zheljazkov et al., 2008) نشان دادند که وزن ماده خشک نعناع فلفلی و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) ارتفاع گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) تحت تأثیر کادمیم، سرب و مس در به ترتیب در غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام قرار نگرفت. با توجه به اینکه لازمه انتخاب یک گیاه برای در معرض قرار دادن آن در شرایط آلودگی به عناصر سنگین (آب یا خاک)، آزمودن آن در وهله اول از نظر تولید، خصوصیات مورفولوژیک و خصوصیات کیفی است، این آزمایش با هدف بررسی اثر کادمیم و سرب بر تولید ماده خشک و تر، برخی از خصوصیات مورفولوژیک و درصد اسانس برگ نعناع فلفلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. ۱۳ تیمارشامل غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب و شاهد مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل غلظت‌های صفر، ۱۰،۲۰،۴۰،۶۰،۸۰،۱۰۰ پی‌پی‌ام کادمیم و ۱۰۰،۳۰۰،۶۰۰،۹۰۰،۱۲۰۰و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام سرب بودند که به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. برای تهیه غلظت‌های تیمارها از محلول‌های کلرید کادمیم و سرب مورد استفاده شد. برای کشت نعناع فلفلی از ریزومهای مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده گردید. کشت ریزومها در درون جعبه‌هایی به ابعاد ۳۵×۵۰×۳۰ سانتی‌متر انجام شد. خاک گلدان‌های آزمایشی از مزرعه تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا ریزومهایی با وزن یکسان و دارای دو جوانه در داخل گلدان‌هایی به قطر هفت سانتی‌متر کشت و سپس نشاءهای همسان که همگی در مرحله چهار برگی بودند به گلدان‌های اصلی انتقال یافتند. در هر جعبه شش نشاء و در عمق سه سانتی‌متری خاک کشت شدند. اعمال تیمارهای آزمایشی پس از انتقال نشاء به جعبه‌های اصلی انجام شد. جعبه‌های آزمایشی بر اساس میزان ظرفیت زراعی توسط محلول‌های مذکور آبیاری گردیدند به طوری که آب اضافی از گلدان‌ها خارج نشد. با این حال در زیر هر گلدان ظرفی برای کنترل خروج زه‌آب قرار داده شد که در طول دوره آزمایش زه‌آب خروجی وجود نداشت و همه مقادیر آب در داخل خاک جذب شد. پس از آبیاری اولیه توسط

محلول‌های ذکر شده، آبیاری‌های بعدی توسط آب مقطر انجام گردید. تعیین زمان آبیاری بر اساس روش تعیین ظرفیت زراعی انجام گردید. کودهای نیتروژنه، فسفاته و پتاسه به ترتیب بـه مقـدار ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتـار داده شـد. بـرای کـوددهی، مقـادیر مـذکور براساس محاسبه سطح گلدان‌ها منظور و بـه کـار بـرده شـد. اولـین برداشت (چین اول) گیاهان مورد آزمایش ۳۰ روز پس از کشت اصلی در مرحله ۱۰ درصد گلدهی انجام شد. برداشت دوم (چـین دوم) ۴۵ روز پس از برداشت چین اول و در مرحله ۱۰ درصد گلدهی انجام شد. پس از برداشت در هر چین، تعداد برگ در بوته، سطح بـرگ، ارتفـاع ساقه اصلی بوته، تعداد گره در ساقه اصـلی، سـطح بـرگ در بوتـه و سپس وزن تر بوته‌ها توسط ترازو تعیـین گردیـد. جهـت تعیـین وزن خشک، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد خشک شدند و سپس توزین گردیدند. برای تعیین درصد اسانس با استفاده از۳۰ گرم از برگ‌های خشک شده (در شرایط سایه در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد) از دستگاه کلونجر و با کمک روش تقطیراستفاده شد. در این روش، ۳۰ گرم برگ‌هـای خشـک نعنـاع فلفلـی در ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در بالن به مدت ۱۲۰ دقیقه جوشانده شد و سپس حرارت دادن متوقف و مقدار اسانس اندازه‌گیـری شـد (Croteau et al., 2006). جهت آنالیز داده‌ها از نرم افزار MSTATC استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب بر وزن تر و خشک نعناع فلفلی در چین اول در سـطح یـک درصد، و در چین دوم به ترتیب در سطح پنج و یک درصـد معنـی‌دار بود (جداول ۱ و ۳). افزایش میزان کادمیم باعـث کـاهش وزن تـر و خشک بوته شد. در چین اول در غلظت حـداقل و حـداکثر (۱۰ و۱۰۰ پی‌پی‌ام) کادمیم، وزن ترگیاه نسبت به شـاهد، بـه ترتیـب ۱۲/۲۶ و ۱۸/۱۶ درصد کاهش نشان داد که در چین دوم در این غلظت‌هـا بـه ترتیب ۳۹/۱ و ۳۶/۴۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافـت. ایـن در حالی است که در چین اول، وزن خشک در حداکثر و حـداقل غلظـت کادمیم به ترتیب ۱۹/۲۹ و ۲۵/۸۸ درصـد و در چـین دوم، ۱۹/۹۳ و ۱۸/۲۲ درصد کاهش یافت (جداول ۲ و ۴) . بررسی غلظت‌های سرب نشان داد که در چین اول، به کاربردن بیشـترین و کمتـرین غلظـت سرب، وزن تر گیاه را به ترتیب ۱۰/۸۹ و ۲۴/۵۵ درصد و در چین دوم ۱/۴۰ و ۲۱/۵۸ درصد کاهش داد. همچنین در غلظـت ۱۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام سرب، وزن خشک گیـاه، در چـین اول بـه ترتیـب ۱۹/۲۹ و ۳۹/۰۱ و در چین دوم به ترتیب ۱۹/۰۴ و ۱۷/۳۱ درصـد نسـبت بـه شاهد کاهش یافت (جداول ۲ و۴). احمـد کامـل (Ahmad Kamel, 2008) در بررسی اثر نیترات سرب (غلظـت‌هـای ۰، ۰/۰۴۸، ۰/۴۸ ، ۴/۸ و ۴۸ میلی‌مـول بـر لیتـر) برگیـاه ماشـک (*Visia villosa* L.) گزارش نمود که وزن تر گیاه با افزایش غلظت سرب کـاهش یافـت. بررسـی قادریـان و جمـالی حاجیـانی (Ghaderian & Jamali Hajiani, 2009) بر روی *Matthiola chenopodiifolia* L. نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم در محلـول غـذایی (۰، ۲،۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید کـادمیم)، وزن خشـک بخـش هوایی کاهش معنی‌داری یافت که از این نظر تمام تیمارهای اعمـال شده دارای اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. بررسی اثرغظـت‌هـای مختلف کادمیم (۰،۳،۶،۹ و ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بر ارقام مـاش (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) نشان داد که بـا افـزایش مقـدار کادمیم، وزن تر و خشک گیاه در همه ارقام کاهش یافت، اما واکنش ارقام در کاهش وزن متفاوت بود (Ghani, 2010). بررسی زلجازکو و همکـاران (Zheljazkov et al., 2006) نشـان داد کـه اثـر کلریـد کادمیم (۰، ۲،۶ و ۱۰ پی‌پـی‌ام) و کلریـد سـرب (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) تـأثیرمعنی‌داری بـر وزن خشـک نعنـاع فلفلـی (*Mentha piperita* L.)، شـوید (*Anethum graveolens* L.) و ریحـان (*Ocimum basilicum* L.) نداشت. افـزایش غلظـت‌هـای کـادمیم (غلظت‌های ۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۱ پی‌پی‌ام) باعث کاهش وزن خشـک ریشـه و سـاقه پنبـه (*Gossypium hirsutum* L.) شـد (Aycicek et al., 2008). دراین آزمایش تـأثیر کـادمیم در غلظـت مشابه با سرب (۱۰۰ پی‌پی‌ام) کاهش بیشتری در وزن تـر و خشـک نشان داد که به دلیل اثر سمیت بیشتر این عنصر نسبت به سرب بود. حد سمیت کادمیم در گیاه پنج میلی‌گرم در کیلوگرم و برای سرب ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گـزارش شـده اسـت (Padmavathiamma & Li, 2007).

در یک تحقیق، گیاه تلاسپی (*Thlaspi caerulescens* L.) را به مدت ۱۴ روز با غلظت ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیم تیمارکردند، نتایج ،کاهش ۱۴ درصدی در وزن خشک بخش هـوایی و ۲۸ درصـدی در وزن خشک ریشه را در مقایسه با شاهد نشـان داد (Wojcik et al., 2005). در تحقیقی دیگر نشان داده شدکه وزن خشک برگ‌ها در گیاه

آرابیدوپسیس (*Arabidopsis halleril* L.) که با غلظت ۲/۵ میلی-گرم درلیتر کادمیم تیمار شده بود، به میزان ۲۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (Cosio et al., 2004). در گیاه علف شور (*Salsola kali* L.) که به عنوان گیاه مقاوم به کادمیم معرفی شده است، تیمار پنج میلی‌گرم در لیتر کادمیم باعث کاهش ۳۱ درصدی در وزن خشک بخش هوایی شده است (Rosa et al., 2004). این غلظت کادمیم وزن خشک بخش هوایی را در دو گیاه نخود(*Cicer arietinum* L.) و ذرت(*Zea mays* L.) به ترتیب به میزان ۸۱ و ۴۱ درصد کاهش داده است (Lozano-Rodriguez et al., 1997).

کاهش رشد ناشی از سمیت کادمیم، به علت کاهش فتوسنتز و تنفس (Moya et al., 1993)، کاهش متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ایجاد کلروز (Sanita di Toopi & Gobbrielli, 1999) می‌شود. وایرزبیکا (Wierzbicka, 1995) مشاهده کرد که یون‌های سرب از طریق ایجاد اختلال در بالانس آب باعث کمبود آب شدند. غلظت‌های بالای سرب(۰، ۱۰،۲۰،۳۰ و ۴۰ پی‌پی‌ام) به طور معنی‌داری اثر منفی بر وضعیت دسترسی آب داشت (Patra et al., 2004).

غلظت‌های بالای کادمیم در گیاه ممکن است به طرق مختلف در رشد گیاه تداخل ایجاد نماید. از جمله این اختلالات، کاهش فعالیت-های آنزیمی (Van Assche & Clijster, 1990)، اختلال در فتوسنتز(Vassilev and Yordanov, 1997)، بسته شدن روزنه‌ها (Barcelo & Poschenrieder, 1990) و ممانعت از جذب عناصر غذایی (Sanita di Toppi & Gabrielli, 1999) می‌باشد. کاهش رشد ریشه در نتیجه افزایش غلظت کادمیم (۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومول بر لیتر) باعث کاهش جذب عناصر و آب و کاهش تعرق باعث کاهش رشد بخش‌های هوایی گیاه می‌شود (Chen et al., 2003). سنتز پروتئین نیز تحت تأثیر کادمیم قرار می‌گیرد. میزان پروتئین ریشه در گیاهان نخود که در معرض بالاترین غلظت کادمیم قرار گرفتند ۳۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (Bavi et al., 2011). کاهش مقدار پروتئین بدلیل کاهش سنتز و یا تخریب آن به دلیل غلظت‌های بالای کادمیم می‌باشد (Blaestrasse et al., 2003). نتایج محققین نشان می‌دهد کاهش رشد بخش هوایی در نتیجه تأثیر کادمیم می‌تواند به علت کاهش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتز نوع اول که در اثر تنش عناصر سنگین القا می‌شود، ایجاد گردد (Shah et al., 2008).

ارتفاع ساقه اصلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب بر ارتفاع ساقه اصلی در چین اول و دوم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جداول ۱ و۳). افزایش میزان کادمیم باعث کاهش ارتفاع ساقه شد. در چین اول در غلظت حداقل و حداکثر(۱۰و۱۰۰ پی‌پی‌ام) کادمیم، ارتفاع ساقه نسبت به شاهد، به ترتیب ۱۰/۶۲ و ۱۷/۹۱ درصد کاهش نشان داد که در چین دوم در این غلظت‌ها به ترتیب ۱۰/۶۱ و ۱۷/۹۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت.(جداول ۲ و ۴) .

جدول۱- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کادمیم و سرب برصفات کمی و کیفی نعناع فلفلی در چین اول

Table 1-Analysis of variance (mean of squares) of impact of cadmium and lead on the qualitative and quantitative traits in the first harvest of *Mentha piperita* L.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر بوته Fresh weight of plant	وزن خشک Dry weight	ارتفاع ساقه اصلی Main stem height	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گره در ساقه اصلی Number of node per main stem	اسانس برگ Leaf essential oil
تکرار Replication	2	170.459	77.98	52.88	25025.076	2046.015	16.157	0.54
تیمار Treatment	12	48.84**	29.50**	16.958*	2768.415**	148.527**	1.448**	0.031ns
خطای آزمایشی Error	24	12.376	6.425	5.734	822.668	29.65	0.459	0.015
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.60	8.59	7.35	8.62	6.25	5.32	5.11

ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1 probability level ns، * و **: معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول۲- میانگین اثر غلظت های کادمیم و سرب برصفات کمی و کیفی نعناعع فلفلی در چین اول

Table 2-Means of cadmium and lead effects on the qualitative and quantitative traits in the first harvest of *Mentha piperita* L.

تیمارها Treatments	وزن تر بوته (گرم) Fresh weight (g)	وزن خشک (گرم) Dry weight (g)	ارتفاع ساقه اصلی(سانتی متر) Main stem height(cm)	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area(cm^2)	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گره در ساقه اصلی Number of node per main stem	اسانس برگ(درصد) Leaf essential oil (%)
شاهد Control	73.07 a*	37.78 a	37.86 a	371.1a	98.46 a	14.16 a	2.59 a
کادمیم- ۱۰ پی‌پی‌ام Cd-10 ppm	64.11 b	30.49 b	33.84 ab	368.1a	94.49 ab	13.23 ab	2.46 ab
کادمیم-۲۰ پی‌پی‌ام Cd-20 ppm	63.12 b	29.55 b	32.8 b	332.3 abcde	88.54 abcde	12.82 b	2.45 abc
کادمیم- ۴۰ پی‌پی‌ام Cd-40 ppm	62.45 b	29.25 b	32.46 b	338.9 abcde	86.55 bcde	12.69 b	2.43 abc
کادمیم- ۶۰ پی‌پی‌ام Cd-60 ppm	61.12 bc	28.62 b	31.76 b	309.6 bcde	82.58 cdef	12.41 bc	2.4 bc
کادمیم- ۸۰ پی‌پی‌ام Cd-80 ppm	60.46 bc	28.31 b	31.42 b	292.3 cde	80.59 def	12.28 bc	2.38 bc
کادمیم- ۱۰۰ پی‌پی‌ام Cd-100 ppm	59.80 bc	28.00 b	31.08 bc	286.5e	78.61 ef	12.15 bc	2.38 bc
سرب- ۱۰۰ پی‌پی‌ام Pb-100 ppm	65.11 b	30.49 b	33.84 ab	365.9 a	94.49 ab	13.23 ab	2.35 ab
سرب- ۳۰۰ پی‌پی‌ام (Pb-300 ppm)	64.46 b	30.17 b	33.49 ab	355.0 ab	92.51 abc	13.09 ab	2.3 abc
سرب- ۶۰۰ پی‌پی‌ام Pb-600 ppm	63.78 b	29.87 b	33.15 b	346.5 abc	90.52 abcd	12.95 ab	2.3 abc
سرب- ۹۰۰ پی‌پی‌ام Pb-900 ppm	63.12 b	29.55 b	32.8 b	343.9 abcd	88.53 abcde	12.82 b	2.28 abc
سرب- ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام Pb-1200 ppm	61.12 bc	28.62 b	31.76 b	322.2 abcde	82.58 cdef	12.41 bc	2.25 bc
سرب- ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام Pb-1500 ppm	55.13 c	23.04 c	27.05c	291.0 de	74.64f	11.21 c	2.2 c

*میانگین های دارای حروف مشابه در سطح پنج درصد معنی‌دار نیستند(با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن).

*Means in treatments followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

بررسی غلظت‌های سرب نشان داد که در چین اول، به کاربردن بیشترین و کمترین غلظت سرب، ارتفاع ساقه اصلی را به ترتیب ۳۳/۸۴ و ۲۸/۵۵ درصد و در چین دوم ۱۰/۶۱ و ۲۸/۵۵ درصد کاهش داد (جداول ۲ و۴). اثر سولفات مس و سولفات کادمیم (10^{-6} Cuso4

10^{-5} Cdso4 ,) بر روی باقلا (*Vicia faba* L.) باعث کاهش ارتفاع گیاه شد (Kasim, 2005). اثر کادمیم در غلظت‌های (۰، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر روی تاجریزی سیاه (*Solanum nigrum* L.) نشان داد که ارتفاع گیاه تا غلظت ۲۵ پی .پی.ام کاهش نیافت، اما در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، ارتفاع گیاه کاهش نشان داد(Sun et al.,2008). زلجازکو (Zheljazkov et al., 2006) اثر غلظت‌های کادمیم (۰،۱۰،۲۶ میلی گرم در لیتر) و غلظت‌های سرب (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ میلی گرم در لیتر) را بر خصوصیات رشد شوید و ریحان بررسی نمود. تأثیر این غلظت‌ها بر ارتفاع گیاه ریحان معنی‌دار نبود، ولی باعث کاهش ارتفاع شوید گردید. اثر غلظت‌های مختلف کلرید کادمیم (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) بر رشد گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicum sculentum* Mill.) نشان داد که در غلظت‌های بالا(۱۰۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام) ارتفاع گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت (Singh et al., 2011). افزایش غلظت کادمیم باعث کاهش طول گیاه ذرت به خصوص در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام شد (Mihalescu et al., 2010). در بررسی ذکر شده بر ذرت گزارش شد که با افزایش غلظت کادمیم، زردی در بخش‌های هوایی گیاه به خصوص برگ‌ها پدیدار شده و برگ‌ها شروع به خشک شدن نمودند. محققین در دو مطالعه کشت هیدروپونیک و کشت گلدانی بر روی گیاه وتیوار (*Vetiveria zizanioides* L.) گزارش کردند که نیترات سرب (۰، ۱۰ ، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) در کشت هیدروپونیک و در کشت گلدانی رشد بخش‌های هوایی و ریشه را کاهش داد. کاهش طول بخش‌های هوایی در کشت هیدروپونیک اختلاف معنی‌دار نشان داد، اما در کشت گلدانی درخاک اختلاف بین تیمارها معنی‌دار نبود. این گیاه به دلیل عدم کاهش معنی‌دار در تولید زیست توده، ارتفاع و نیز عدم کاهش اسانس در گیاه پالایی به عنوان یک گیاه بیش اندوز و پالایش‌گر سبز معرفی شده است (et al., Rotkittikhun 2010) . برای یک گیاه بیش اندوز، معمولا زیست توده گیاه در مرحله رسیدگی نقطه انتهایی ارزیابی می‌باشد و یکی از خصوصیات مهم این گیاهان مقاوم به سمیت عناصر سنگین، عدم کاهش معنی‌دار زیست توده و ارتفاع گیاه است (Yang et al., 2004).

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کادمیم و سرب برصفات کمی و کیفی نعناع فلفلی در چین دوم

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of impact of cadmium and lead on the qualitative and quantitative traits in the second harvest of *Mentha piperita* L.

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر بوته Fresh weight of plant	وزن خشک Dry weight	ارتفاع ساقه اصلی Main stem height	سطح برگ Leaf area	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گره در ساقه اصلی Number of node per main stem	اسانس برگ Leaf essential oil
تکرار Replication	2	121.70	17.55	83.28	5260.67	328.615	5.94	0.063
تیمار Treatment	12	28.49*	8.72**	27.24*	640.53ns	41.07*	1.26**	0.01**
خطای آزمایشی Error	24	12.68	2.69	10.75	366.00	18.21	0.42	0.004
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	9.58	9.58	8.79	10.75	10.05	8.81	6.28	5.04

ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1 probability level ns، * و **: معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

زیست توده گیاهی در چنین گیاهانی تا غلظت‌های بحرانی عناصر سنگین کاهش معنی‌داری نشان نمی‌دهد و فقط وقتی غلظت عناصر بیش از حد بحرانی افزایش می‌یابد رشد گیاه دچار اختلال شده و کاهش نشان می‌دهد. علائم این اختلال و کاهش رشد به صورت زردی، کاهش ارتفاع گیاه و کاهش زیست توده بخش هوایی قابل مشاهده است (Wei and Zhou, 2004). در این آزمایش بر روی نعناع فلفلی در چین اول تأثیر غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام برروی ارتفاع گیاه کاهش معنی‌داری نداشت (جدول۲).

همچنین تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۱۰۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام سرب از نظر ارتفاع گیاه وجود نداشت و با افزایش غلظت سرب از ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام به ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام ارتفاع گیاه کاهش معنی‌داری نشان داد. در چین دوم آزمایش، اگرچه کاهش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد در غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب مشاهده شد اما اختلاف هیچ کدام از غلظت‌های کادمیم و نیز غلظت‌های سرب با یکدیگر معنی‌دار نبود(جدول۴).

جدول ٤- میانگین اثر کادمیم و سرب برصفات کمی و کیفی نعناع فلفلی در چین دوم

Table 4- Means of cadmium and lead effects on the qualitative and quantitative traits in the second harvest of *Mentha piperita* L.

تیمارها	وزن تر بوته (گرم) Fresh weight of plant (g)	وزن خشک (گرم) Dry weight (g)	ارتفاع ساقه اصلی(سانتی متر) Main stem height(cm)	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (cm^2)	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	تعداد گره در ساقه اصلی Number of node per main stem	اسانس برگ(درصد) Leaf essential oil (%)
شاهد Control	43.02 a	23.64 a	39.78 a	231.3 a	231.3 a	57.33 a	1.27 ab
کادمیم- ۱۰ پی‌پی‌ام Cd-10 ppm	39.1 a	19.93 b	31.76 b	194.1 b	194.1 b	49.75 abc	1.29 a
کادمیم-۲۰ پی‌پی‌ام Cd-20 ppm	37.83 a	19.11 b	30.30 b	190.4 b	190.4 b	48.83 bc	1.20 ab
کادمیم- ۴۰ پی‌پی‌ام Cd-40 ppm	37.55 a	18.59 b	29.74 b	199.2 ab	199.2 ab	51.01 ab	1.21 ab
کادمیم- ۶۰ پی‌پی‌ام Cd-60 ppm	36.37 a	18.18 b	28.88 b	181.7 b	181.7 b	46.63 bc	1.18 ab
کادمیم- ۸۰ پی‌پی‌ام Cd-80 ppm	36.3 a	18.01 b	28.60 b	177.4 b	177.4 b	45.6 bc	1.16 b
کادمیم- ۱۰۰ پی‌پی‌ام Cd-100 ppm	36.46 a	18.22 b	28.5 b	183.0 b	183.0 b	46.96 bc	1.18 ab
سرب- ۱۰۰ پی‌پی‌ام Pb-100 ppm	38.65 a	19.04 b	31.00 b	199.6 ab	199.6 ab	51.23 ab	1.25 ab
سرب- ۳۰۰ پی‌پی‌ام (Pb-300 ppm)	38.62 a	18.72 b	30.67 b	191.8 b	191.8 b	49.06 bc	1.22 ab
سرب- ۶۰۰ پی‌پی‌ام Pb-600 ppm	37.68 a	18.00 b	30.78 b	186.7 b	186.7 b	48.10 bc	1.24 ab
سرب- ۹۰۰ پی‌پی‌ام Pb-900 ppm	36.12 a	17.24 b	30.10 b	186.6 b	186.6 b	47.82 bc	1.23 ab
سرب- ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام Pb-1200 ppm	36.72 a	16.95 b	28.96 b	179.2 b	179.2 b	45.98 bc	1.22 ab
سرب- ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام Pb-1500 ppm	28.94 b	17.31 b	27.75 b	174.1 b	174.1 b	41.47 c	1.06 c

*میانگین های دارای حروف مشابه در سطح پنج درصد معنی‌دار نیستند(با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن).

*Means in treatments followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

شانکر و همکاران (Shanker et al., 2005) اظهار داشتند عناصر سنگین که به بخش هوایی گیاه انتقال داده می شوند، به علت اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می دهند. کاهش رشد ممکن است به طور کلی به علت از دست رفتن اتساع سلولی و نیز کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طویل شدن سلول‌ها باشد. همچنین کادمیم در سلول‌ها از طریق تأثیر بر دیواره‌های سلولی و تیغه میانی و افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی باعث مهار گسترش سلولی می‌شود (Hassan et al., 2006).

سطح برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب بر سطح برگ در بوته در چین اول در سطح پنج درصد معنی‌داربود و در چین دوم معنی‌دار نبود(جداول ۱ و ۳). افزایش میزان کادمیم باعث کاهش سطح برگ شد. در چین اول در غلظت حداقل و حداکثر(۱۰و۱۰۰ پی‌پی‌ام) کادمیم، سطح برگ در بوته نسبت به شاهد، به ترتیب ۰/۸ و۲۲/۷۹ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲) . بررسی غلظت‌های سرب نشان داد که در چین اول، به کاربردن بیشترین و کمترین غلظت سرب، سطح برگ در بوته را به ترتیب ۱/۴ و ۲۱/۵۸ درصد و در چین دوم ۱۳/۷۰ و ۲۴/۷۲ درصد کاهش داد (جداول ۲ و ۴). اثرکلریدکادمیم (۰، 10^{-4}،10^{-2}، 10^{-5} و 10^{-8} مول بر لیتر) بر گیاه *Phaseolus mungo* L. باعث کاهش سطح برگ شد (Siddhu & khan, 2012). در آزمایش مذکور افزایش غلظت‌های بالاتر از10^{-2} کادمیم باعث پیچیدگی برگ‌ها شد و تمایل گیاه به ریزش برگ‌ها افزایش یافت، لذا کاهش سطح برگ مشاهده شد. غلظت‌های بالای کادمیم در خاک (۱۰۰ و ۵۰۰ میکروگرم در کیلوگرم خاک) باعث کاهش سطح برگ گوجه فرنگی به طور معنی‌دارشد (Singh et al., 2011).

کاهش سطح برگ به دلیل کاهش سرعت توسعه برگ[1] و پیری برگ‌ها بود (Singh et al., 2011). اثر غلظت‌های مختلف نیترات سرب (۰،۱۵۰،۴۵۰،۹۰۰ میلی گرم درکیلوگرم خاک) بر گوجه فرنگی حاکی از کاهش سطح برگ نسبت به شاهد بود (Zhao et al., 2011). اثرغلظت‌های مختلف سرب (۴، ۶، ۸ گرم در کیلوگرم خاک) و کادمیم (۲/۱،۲،۵/۵ و ۳ گرم در کیلوگرم خاک) بر روی ماش (*Phaseolus vulgaris* L.) برکاهش سطح برگ نسبت به شاهد، به ترتیب کاهشی معادل ۱۶/۸۷، ۵۶/۲۷، ۶۸/۶۲ و۷۹/۷۸ درصد برای سرب و کاهشی معادل ۲۲/۹۶، ۶۳/۴۷ و ۸۴/۹۱ درصد برای کادمیم نشان داد (Bhardwaj et al, 2009). مطالعات بر روی سویا (*Glycine max* L.) نشان داد که سمیت سرب باعث القاء تغییرات هیستولوژیک در برگ‌ها شده که برگ‌ها نازکتر شده، آوندهای چوب و آبکشی در دستجات آوندی کوچک شده وقطر آوندهای چوبی کاهش می‌یابد(Elzbieta & Miroslawa, 2005). بارسلو و همکاران (Barcelo et al., 1988a) نشان داد که بین اثر کادمیم وسطح ویژه برگ رابطه منفی وجود داشت. آن‌ها گزارش نمودند که کاهش پتانسیل آماس سلولی و خاصیت کشسانی دیواره سلولی منجر به تشکیل سلول‌های کوچکتر و فضاهای بین سلولی کمتردر گیاهان تیمارشده با کادمیم شد. پتانسیل آماس کم‌تر به علت بهم خوردن بالانس آب در گیاه رخ می‌دهد. اثرات کادمیم به خوبی بر کاهش جذب وانتقال آب و کاهش تعرق شناخته شده است (Vassilev et al., 1997). کاهش جذب آب در گیاهان تیمار شده توسط کادمیم به خوبی از طریق کاهش رشد ریشه‌ها قابل توجیه است. لاموراکس و چانی (Lamoreaux & Chaney, 1977)، بارسلو و همکاران (Bacelo et al., 1988b)، مارچیول و همکاران (Marchiol et al., 1996) گزارش کردند که هدایت هیدرولیکی آب از ریشه به آوندهای چوبی بسته به مقدار تنش کادمیم و خصوصیات گیاهان لوبیا ،سویا و افرا (*Acer pseudoplatanus* L.) دو تا چهار برابر کاهش یافت.

بارسلو و همکاران (Barcelo et al., 1988b) اعتقاد داشتند که دلیل کاهش حرکت آب در لوبیا، کاهش شعاع آوندی و تعداد دستجات آوندی بود که در اثر القاء کادمیم و ممانعت از تقسیم، طویل شدن و تمایز سلول‌های کامبیوم ایجاد شده بود. این محققین فرض نمودند که این اختلالات ناشی از برهم خوردن تعادل هورمونی در گیاه است اما تاکنون مشاهده ای این فرضیه را پشتیبانی نکرده است. دلیل دیگر برای کاهش حرکت آب، تخریب ساختار مجاری آوندی به دلیل تجمع فنول‌های نامحلول (Fuhrer,1982) و شبه لیگنینی و ترسیب اکسالات کلسیم است (Van Balen et al., 1980). به دنبال اختلالات مذکور، محتوای آب نسبی گیاه در نتیجه کاهش پتاسیل آب کاهش می‌یابد لذا اجزای فشار پتانسیل تورژسانس برگ در گیاهان تیمار شده با کادمیم کاهش نشان می‌دهد. کاهش پتاسیل تورژسانس ممکن است به دلیل فقدان تنظیم اسمزی مناسب نیز باشد چرا که این یک مکانیسم مناسب برای حفظ ثبات بالانس آب در گیاه است (Yancey et al., 1982). بارسلو و همکاران (Barcelo et al., 1986) بیان نمودند که نقطه افت آماس سلولی در برگ‌های تیمار شده با کادمیم به حد بالاتری از محتوای آب نسبی برگ‌ها نسبت به گیاهان شاهد رسید. آن‌ها این پدیده را از طریق کاهش انعطاف‌پذیری سلولی دانستند. آن‌ها دلیل این پدیده را کاهش انعطاف پذیری فنول‌ها و رسوب سلولز در دیواره سلولی و جایگزین شدن کادمیم به جای کلسیم در لایه لاملای میانی در دیواره سلولی بیان کردند. وازکوئز (Vazquez, 1989)، کاهش انعطاف پذیری را به علت کاهش سنتز

1-Leaf area extension

اجزای دیواره سلولی به علت کاهش وظیفه کارکردی اجسام گلژی در سلول دانست. به نظر می‌رسد یکی از دلایل اینکه در چین دوم این آزمایش اثر کادمیم و سرب بر سطح برگ معنی‌دار نبود افزایش مقاومت گیاه در برابر این عناصر سنگین بود. در چین دوم نسبت به چین اول سیستم ریشه نعناع فلفلی گسترش بیشتری یافته و زمان بیشتری برای سازگاری تطابق گیاه با حضور عناصر سنگین وجود دارد. لازم به ذکر است که در مدت زمان بیشتر(چین دوم) گیاه با گسترش سیستم توسعه ریشه می‌تواند با تجمع بیشتر عناصر در بافت ریشه و عدم انتقال کادمیم و سرب به اندام‌های هوایی در افزایش مقاومت گیاه نقش داشته باشد. همچنین برخی از گیاهان با افزایش سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌توانند مانع از بروز رادیکال‌های آزاد در گیاه شوند که این رادیکال‌ها قادر به ایجاد اختلال در عملکرد آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، هورمون‌ها و سایر ترکیبات مفید گیاه هستند. براساس گزارش استانچوا و همکاران (Stancheva et al., 2010)، چرخه آسکوربات-گلوتاتیون نقش بسیار حیاتی در حذف گونه‌های اکسیژن آزاد (ROS[۲]) در گیاه ذکر کردند. آن‌ها بیان نمودند که افزایش کادمیم و سرب باعث کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) به ترتیب به میزان ۱۵ و ۱۰ درصد شد و دلیل اینکه وزن خشک گیاه کاهش زیادی نداشت به دلیل افزایش گایاکول پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز بیان نمودند، لذا به نظر می‌رسد احتمالا به این دلیل در چین دوم، سطح برگ کاهش معنی‌داری نداشت. دراین آزمایش تأثیر کادمیم در غلظت مشابه با سرب (۱۰۰ پی‌پی‌ام) کاهش بیشتری درسطح برگ نشان داد زیرا آستانه سمیت کادمیم در گیاه (پنج میلی‌گرم در کیلوگرم) کمتراز سرب (۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) گزارش شده است (Padmavathiamma & Li, 2007) لذا در غلظت‌های برابر اثرات سمیت کادمیم بیشتر از سرب بروز می‌نماید.

تعداد برگ در بوته و تعداد گره در ساقه اصلی

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده معنی‌داری ($P\leq0.01$) اثر غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب بر تعداد برگ در بوته و تعداد گره در ساقه اصلی در چین اول بود. در چین دوم نیز اثر تیمارهای آزمایشی بر تعداد برگ در بوته ($P\leq0.05$) و تعداد گره در ساقه اصلی ($P\leq0.01$) معنی‌دار بود (جداول ۱ و ۳). افزایش میزان کادمیم باعث کاهش تعداد برگ در بوته شد. در چین اول در غلظت حداقل و حداکثر(۱۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) کادمیم، تعداد برگ در بوته نسبت به شاهد، به ترتیب ۴/۰۳ و۲۰/۱۶ درصد و در چین دوم به ترتیب ۱۳/۲۲ و ۱۸/۰۸ درصدکاهش نشان داد (جداول ۲ و ۴). بررسی غلظت‌های سرب نشان داد که در چین اول، به کاربردن بیشترین و کمترین غلظت سرب، تعداد برگ در بوته را به ترتیب ۴/۰۳ و ۲۴/۱۹ درصد و در چین دوم ۱۰/۶۴ و ۲۷/۶۶ درصد کاهش داد (جداول ۲ و ۴). همچنین در چین اول در غلظت ۱۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام کادمیم، تعداد گره در ساقه اصلی به ترتیب ۶/۵۶ و ۱۴/۱۶ درصد و در چین دوم، به ترتیب ۱۳/۵۴ و ۱۹/۴۵ درصد کاهش یافت. این در حالی است که در چین اول اثر غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام سرب باعث کاهش تعداد گره در ساقه اصلی به میزان ۶/۵۶ و ۲۰/۸۳ درصد و در چین دوم، ۱۲/۴۷ و ۲۰/۹۳ درصد شد. اثر غلظت‌های مختلف سرب (۰،۵،۱۰،۱۵،۲۰ و ۲۵ میکرومول برمول) بر گیاه تسپسیا (*Thespesia populnea* L.) باعث کاهش تعداد برگ شد (Kabir et al., 2010). اثر کادمیم در غلظت‌های مختلف (۰/۱، ۰، ۱،۵ و ۱۰ میکرومول بر مول) بر گیاه گوجه فرنگی در غلظت ۰/۱ میکرومول بر مول با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت، اما از بالاتر ازغلظت ۰/۱ میکرومول بر مول باعث کاهش تعداد برگ شد. به عنوان مثال، ۳۰ روز پس از کشت در غلظت ۱۰ میکرومول بر مول باعث کاهش تعداد برگ به میزان ۳۱/۵ درصد نسبت به شاهد شد (Jing et al., 2005). با افزایش غلظت‌های مختلف کادمیم (10^{-10}،10^{-8}، 10^{-5} ، و 10^{-2} مول) تعداد برگ‌ها و سطح برگ در گیاه لوبیا کاهش یافت (Siddhu & Khan, 2012). عناصر سنگین از جمله کادمیم و سرب که توسط گیاه جذب شده و به بخش هوایی گیاه انتقال داده می شوند، به علت اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهند (Shanker et al., 2005). کاهش رشد ممکن است به طور کلی به علت از دست رفتن اتساع سلولی و نیز کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طویل شدن سلول‌ها باشد. همچنین کادمیم در سلو ها از طریق تأثیر بر دیوار های سلولی و تیغه میانی و افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی باعث مهار گسترش سلولی می‌شود (Hassan et al., 2006). این عوامل در کاهش تعداد گره‌های ساقه اصلی می‌توانند موثر باشند. الجمال و حامد (El-Gamal & Hammad, 2003) بیان نمودند که افزایش غلظت کادمیم باعث کاهش ارتفاع گیاه گوجه فرنگی، تعداد برگ‌ها، و وزن خشک بوته

۲-Reactive oxygen spicies

شد. دلیل این امر کاهش جذب آب، کاهش ساخت رنگدانه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌ها و قندهای محلول گزارش شد. افزایش غلظت کادمیم در سویا اثر منفی بر ویژگی‌های رشدی داشت. حداکثر کاهش تعداد برگ در بوته در غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام نسبت به تیمار شاهد ۴۴/۴ درصد بود (Abdo et al., 2012). فودا و ارفا (Fouda & Arafa, 2002) نیز بر روی سویا گزارش نمودند که تیمار غلظت‌های بالای کادمیم باعث کاهش ارتفاع گیاه ، تعداد برگ‌ها و سطح برگ شد. سرب نیز باعث ایجاد تنش آب شده و از این طریق باعث کاهش سطح برگ، فتوسنتز، وزن خشک گیاه و ارتفاع گیاه می‌گردد و بر روی کاهش تعداد گره‌ها نیز مؤثر است (Azmat et al., 2006).

درصد اسانس برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب بر درصد اسانس برگ در چین اول معنی‌دار نبود اما در چین دوم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جداول ۱ و ۳). افزایش میزان کادمیم باعث کاهش درصد اسانس برگ شد. در چین اول در غلظت حداقل و حداکثر (۱۰و۱۰۰ پی‌پی‌ام) کادمیم، درصد اسانس برگ نسبت به شاهد، به ترتیب ۵/۰۲ و ۸/۱۱ درصد کاهش نشان داد که در چین دوم در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام ۱/۵۵ درصد افزایش ودر غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام کادمیم ۷/۰۸ درصد نسبت به شاهد کاهش داشت.(جداول ۲ و ۴) . بررسی غلظت‌های سرب نشان داد که در چین اول، به کاربردن بیشترین و کمترین غلظت سرب، درصد اسانس برگ را به ترتیب ۹/۲۶ و ۱۵/۰۵ درصد و در چین دوم ۱/۵۷ و ۱۳/۳۷ درصد کاهش داد (جداول ۲ و ۴). زلجازکو و همکاران Zheljazkov (et al., 2006) گزارش نمودند که تیمارهای کادمیم (۲،۶،۱۰ میلی گرم در لیتر) و سرب (۵۰،۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر روی درصد اسانس نعناع فلفلی تأثیر معنی‌داری نداشت اما باعث کاهش معنی‌دار درصد اسانس ریحان و شوید شد. تریلینی و همکاران (Tirillini et al., 2006) گزارش کردند که میزان هایپریسین دراسانس گل راعی (*Hypericum perforatum* L.) تحت تأثیر مقادیر افزوده شده عنصر کرم به محیط کشت قرار نگرفت. در یک آزمایش، استفاده از کمپوست حاوی مس (۳۱۱ میلی‌گرم در کیلوگرم)، سرب (۲۲۳ میلی-گرم در کیلوگرم)، مولیبدن (۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) و روی (۷۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) باعث کاهش درصد اسانس گیاه ریحان شد، اما اسانس این گیاه فاقد عناصر سنگین بود (Zheljazkov Philip, 2003). زلجازکو و نیلسن (Zheljazkov & Nielsen, 1993) گزارش کردند که مقدار اسانس در علوفه تر گیاه اسطوخودوس (*Lavandula vera* D. C.) تحت تأثیر مقادیر عناصر سنگین قرار نگرفت. اسانس نعناع فلفلی که از برگ‌ها و بخش‌های هوایی گیاه استخراج می‌شود تاحدودی می‌تواند در ارتباط با تولید ماده خشک توسط برگ‌ها و ساقه‌ها داشته باشد (Czepak, 1998). براساس نظر سپاک (Czepak, 1997) عملکرد بیشتر اسانس تابع عملکرد بیشتر ماده خشک گیاه می‌باشد.اگرچه اسکورا و چانگ (Scora & Chang, 1997) تفاوت معنی‌داری در عملکرد اسانس نعناع‌های کشت شده در ضایعات آلوده به عناصر سنگین مشاهده نکردند. تاپالوف و زلجازکو (Topalov & Zheljazkov, 1991) گزارش نمودند که عملکرد اسانس نعناع فلفلی کشت شده در کمپوست‌های آلوده به عناصر سنگین کاهش یافت. از طرفی ترپنوئیدهای سنتز شده در غده‌های اپیدرمی گیاه نعناع فلفلی مصرف کننده کربنی می‌باشند که از طریق فتوسنتز تامین می‌شود (Croteau & Johnson, 1984). در نتیجه سنتز اسانس درغده‌های اپیدرمی تابع تامین مداوم کربن فتوسنتزی است و اختلال در تغذیه کربن توسط عناصر سنگین می‌تواند باعث کاهش مقدار اسانس شود (Srivastava et al., 1994).

نتیجه‌گیری

افزایش غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب باعث کاهش وزن تر و خشک نعناع فلفلی در چین‌های اول و دوم نسبت به شاهد شد، اما بر اساس مقایسات میانگین‌ها به روش دانکن اختلافات معنی‌دارند. در چین اول بررسی مقایسه میانگین‌های وزن تر نشان داد که اختلافات بین غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام کادمیم معنی‌دار نبود اما این گروه تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند. همچنین اختلاف غلظت‌های ۱۰۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰ ، ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام سرب با یکدیگر معنی‌دار نبود اما اختلاف این گروه تیماری با غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام معنی‌دارشد. در چین دوم اختلافات غلظت‌های کادمیم با یکدیگر و با شاهد معنی‌دار نبود و اختلاف غلظت‌های سرب به جز حداکثر غلظت معنی‌دار نبود، اما اختلاف همه غلظت‌ها با حداکثر غلظت سرب معنی‌دارشد. در چین اول از نظر وزن خشک، اختلاف غلظت های کادمیم با یکدیگر معنی‌دار نشد، اما این گروه تیماری با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. در چین دوم نیز همین روند مشاهده شد. همچنین در چین دوم، غلظت‌های مختلف سرب اختلاف

معنی‌داری نداشتند. ارتفاع ساقه اصلی نیز در چین اول نسبت به چین دوم بیشتر کاهش یافت. تأثیر تیمارهای آزمایشی در چین اول بر روی سطح برگ معنی‌دار و با افزایش غلظت‌های کادمیم و سرب سطح برگ کاهش معنی‌داری داشت، اما در چین دوم اثر تیمارهای عناصر سنگین بر سطح برگ معنی‌دار نشد. تعداد برگ در بوته در چین اول کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد اما در چین دوم اختلافات بین تیمارهای آزمایشی معنی‌داری کمتری داشت. با افزایش غلظت کادمیم و سرب تعداد گره در ساقه اصلی در چین اول کاهش بیشتری نسبت به چین دوم نشان دادند. افزایش غلظت کادمیم باعث کاهش درصد اسانس در چین اول و دوم نسبت به شاهد شد. کاهش درصد اسانس در چین اول در حداکثر غلظت کادمیم (۱۰۰ پی‌پی‌ام) نسبت به چین دوم بیشتر بود اما این کاهش برای حداکثر غلظت سرب (۱۵۰۰ پی‌پی‌ام) در چین دوم بیشتراز چین اول بود. تأثیر کادمیم در غلظت‌های مشابه (۱۰۰ پی‌پی‌ام) با سرب در کاهش فاکتورهای مورد بررسی در چین اول برای کلیه صفات به جز درصد اسانس و در چین دوم برای کلیه صفات بیشتر بود چرا که کادمیم در غلظت‌های پایین تر سمیت بیشتری برای گیاهان نسبت به سرب دارد. با توجه به اینکه نعناع فلفلی در غلظت‌های مورد بررسی از نظر وزن تر، وزن خشک و درصد اسانس کاهشی غیرمعنی‌دار داشت، به نظر می‌رسد این گیاه می‌تواند از پتانسیل تولید خوبی در شرایط استفاده از آب‌های آلوده و یا کشت در خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب داشته باشد. با افزودن این مطلب که غلظت‌های بسیار بالا نظیر غلظت ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام سرب و یا بیشتر از ۱۰۰ پی‌پی‌ام باید مورد بررسی و مطالعه بیشتری قرار گیرد.

منابع

Abdo, F.A., Nassar, D.M.A., Gomaa, E.F., and Nassar, R.M.A. 2012. Minimizing the harmful effects of cadmium on vegetative growth, leaf anatomy, yield and physiological characteristics of soybean plant [*Glycine max* (L.) Merrill] by foliar spray with active yeast extract or with garlic cloves extract. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 8(1): 24-35.

Ahmad Kamel, H. 2008. Lead accumulation and its effect on photosynthesis and free amino acids in *Vicia faba* grown hydroponically. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2(3): 438-446.

Aycicek, M., Ince M., and Yaman, M. 2008. Effects of cadmium on the germination, early seedling growth and metal content of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). International Journal of Science and Technology 3(1):1-11.

Azmat, R., Saba, Haider, Hajra, N., and Farha, A. 2009. A viable alternative mechanism in adapting the plants to heavy metal environment. Pakistan Journal of Botany 41(6): 2729-2738.

Barcelo, J., Pochenrieder, Ch., Andreu, I. 1986. Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. Journal of Plant Physiology125: 17–25.

Barcelo, J., Vazquez, M., and Poschenrieder, C. 1988a. Structural and ultrastructural disorders in cadmium-treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). New Phytology 108: 37–49.

Barcelo, J., and Poschenrieder, C.1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. Journal of Plant Nutrition 13: 1-37.

Barcelo, J., Vazquez, M., and Poschenrieder, C. 1988b. Cadmium-indused structural and ultrastuctural changes in the vascural system of bush bean stems. Botanica Acta 101:254–261.

Baudouin, C., Charveron, M., Tarrouse, R., and Gall, Y. 2002 Environmental pollutants and skin cancer. Cell Biological Toxicolog 18:341-348.

Bavi, Kh., Kholdebarin, B., and Moradshahi, A. 2011. Effect of cadmium on growth, protein content and peroxidase activity in pea plants. Pakistan Journal of Botany 43(3): 1467-1470.

Bhardwaj, P., Ashish, K., and Prasadi, P. 2009. Effect of enhanced lead and cadmium in soil on physiological and biochemical attributes of *Phaseolus vulgaris* L. Nature and Science 7(8): 63-70.

Blumenthal, M. 1998. The complete German Commission Emonographs: therapeutic guide to herbal medicines. Austin: American Botanical Council. 459.

Chen, Y.X., He, Y.F., Luo, Y.M., Yu, Y.L., Lin, Q., and Wong, M.H. 2003. Physiological mechanism of plant roots exposed to cadmium. Chemosphere 50: 789-793.

Chen, Y., Wang, C., and Wang, Z. 2005. Residues and source identification of persistent organic pollutants in farmland soils irrigated by effluents from biological treatment plants. Environment International 31: 778–783.

Croteau, R., and Johnson, M.A. 1984. Biosynthesis of terpenoids in glandular trichomes. Chemistry of Plant Trichomes. pp. 133-185.

Croteau, R., Burbott, A.J., and Lommis, W.D. 2006. Biosynthesis of mono and sesquiterpenes in peppermint. Phytochemistry 71: 2937-2948.

Czepak, M.P. 1998. Produção de óleo bruto e mentol cristalizável em oito freqüências de colheita da menta (*Mentha arvensis* L.). Sciences, Botucatu pp.53-80.

Eisazadeh, S., Asadi, S., and Homaii M. 2015. Phytoremediation and optimum time estimation of polluted soil by cadmium and lead with (*Spinacia oleracea* L.). Journal of Agroecology 6(4): 916-926. (In Persian with English Summary)

El-Gamal, M., and Salwa, A.R.H. 2003. Counteracting the deleterious effects of lead and cadmium on tomato plants by using yeast, garlic and eucalyptus extracts. Minufiya Journal. Agricultural Research 28(3): 737-755.

Elzbieta, W.C., and Chwil, M. 2005. Lead-induced histological and ultra structural changes in the leaves of soyben (*Glycine max* (L) Meee.). Soil Science, Plant Nutrition 51: 203-212.

Emese, S., Rita, A., Katalin, G., and Gabriella, M.G. 2009. Change of bioaccumulation of toxic metals in vegetables. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 285-293.

Fouda, R.A., and Arafa, A.A. 2002. Alleviation of cadmium toxicity on soybean, *Glycine max* (L.) Merr. By inoculation with *Bradyrhizobium* and vesicular-arbuscular mycorrhizae or kinetin. Journal of Agricultural. Science Mansoura University 27(11): 7385-7403.

Fuhrer, J. 1982. Ethylene biosynthesis and cadmium toxicity in leaf tissue of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Physiology 70: 162–167.

Ghaderian, S.M., and Jamali Hajiani, N. 2010. Tolerance, uptake and accumulation of cadmium in Matthiola chenopodiifolia Fisch & C.A. Mey (Brassicaceae). Journal of Plant Biology 6: 87-98.

Ghani, A. 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. World Applied Sciences (Special Issue of Biotechnology and Genetic Engineering) 8: 26-29.

Hassan, M.J., Zhu, Z., Ahmad, B., and Mahmood, F. 2006. Influence of cadmium toxicity on rice genotypes as affected by zinc, sulfur and nitrogen fertilizers. Caspin Journal of Environmental Science 4(1): 1-8.

Jing, D., Fei-bo, W.U., and Guo-ping, Z. 2005. Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings. Journal of Zhejiang University Sinece 6(10): 974-980.

Jun, R., Ling, T., and Guanghua, Z. 2009. Effects of chromium on seed gemination, root elongation and coleoptile growth in six pulses. International. Journal of Environmental Science andTechnology 6: 571-578.

Kabir, M., Iqbal, M.Z., Shafiq, M., and Farooqi, Z.R. 2010. Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L. Plant, Soil and Environment 56(4): 194–199.

Kasim, W.A. 2005. The correlation between physiological and structural alterations induced by copper and cadmium stress in broad beans (*Vicia faba* L.). Egyptian Journal of Biology 7: 20-32.

Lamoreaux, R., and Chaney, W. 1977. Growth and water movement in silver maple seedlings affected by cadmium. Journal of Environmental Quality 6(2): 201–204.

Lozano-Rodriguez, E., Hernandez, L.E., Bonay, P., and Carpena-Ruiz, R.O. 1997. Distribution of cadmium in shoot and root tissues of maize and pea plants: physiological disturbances. Journal of Experimental Botany 48(306): 123-128.

Liu, W.X., Li, H.H., Li, S.R., and Wang, Y.W. 2006. Heavy metal accumulation of edible vegetables cultivated in agricultural soil in the suburb of Zhengzhou city, People's Republic of China. Bulltain of Environment and Contamination Toxicology 76: 163–170

Marchiol, L., Leita, L., Martin, M., Peterssotti, A., and Zerbi, G. 1996. Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium. Journal of Environmental. Quality 25: 562–566.

Marques, P.G.C., Rangel, O.S.S., and Castro, M.L. 2007. Effect of arsenic, lead and znic on seed germination and plant growth in black nightshade (*Solanum nigrum* L.) vs. clover (*Trifolium incarnatum* L.). Fresenius Eviromental Bulltain 16: 896-903.

Mihalescu, LA., Mare-Rosca, O.E., Marian, M., and Bildar, C.F. 2010. Research on the growth intensity of the *zea mays* L. plantlets aerial parts under cadmium treatment. Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie 147-151.

Moya, J.L., Ros, R., and Picazo, I. 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and

carbohydrate distribution in rice plants. Photosynthetic Research 36: 75-80, 1993.

Muchuweti, M., Birkett, J.W., Chinyanga, E., Zvauya, R., Scrimshaw, M.D., and Lester, J.N. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixture of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. Agriculture, Ecosystems and Environment 112: 41–48.

Padmaja, K., Parsad D.K., and Parsad, A.R. 1990. Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. seedlings by cadmium acetate. Photosynthetica 24: 399–404.

Padmavathiamma, P.K., and Li, L.Y. 2007. Phytoremediation technology: Hyper-accumulation metals in plants. Water Air and Soil Pollution 184:105–126.

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., and Sharma, A. 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. Environmental and Experimental Botany 52: 199-223.

Rosa, G., Peralta-Videa, J.R., Montes, M., Parsons, J.G., Cano-Aguilera, I., and Gardea-Torresdey, J.L. 2004. Cadmium uptake and translocation in tumbleweed (*Salsola kali*), a potential Cd-hyperaccumulator desert plant species: ICP/OES and XAS studies. Chemosphere 55: 1159-1168.

Rotkittikhun, P., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., and Baker, A.J.M. 2010. Tolerance and accumulation of lead in Vetiveria zizanioides and its effect on oil production. Journal of Environmental Biology 31: 329-334.

Samsam Shariat, H. 1995. Medical Plant Propagaton. Mani Publication, Tehran, Iran 419 pp. (In Persian)

Sanita di Toppi, L., and Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. Environmental and Experimental Botany 41: 105-130.

Scavroni, J., Sivia Fernandes Boaro, C., Ortiz Mayo Marques, M., and Cesar Ferreira, L. 2005. Yield and composition of the essential oil of *Mentha piperita* L. (Lamiaceae) grown with biosolid. Brazilian Journal of Plant Physiology 17(4): 345-352.

Scora, R.W., and Chang, A.C. 1997. Essential oil quality and heavy metal concentrations of peppermint grown on a municipal sludge-amended soil. Journal of Environtalal Quality 26(4): 975-979.

Sengar, R.S., Gautam, M., Garg, S.K., Chaudhary, R., and Sengar, K. 2008. Effect of lead on seed germination, seedling growth, chlorophyll content and nitrate reductase activity in mung bean (*Vigna radiate* L.). Research Journal of Phytochemistry 2: 61-68.

Shah, F.R., Ahmad, N., Masood, K.R., and Zahid, D.M. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (Dalbergia sissoo ROXB.) seedlings. Pakistan. Journal of Botany 40(4): 1341-1348.

Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., and Avudainayagam, S. 2005. Chromium toxicity in plants. Environment International 31: 63-68.

Siddhu, G., and Ali Khan, M.A. 2012. Effects of cadmium on growth and metabolism of Phaseolus mungo. Journal of Environmental Biology 33: 173-179.

Singh, S., and Singh, A., and Bahadur, R. 2011. Effect of cadmium on germination and seedling growth of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill). Plant Archives 11(2): 859-862.

Singh, K.P., Mohan, D., Sinha, S., and Dalwani, R. 2004. Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. Chemosphere 55: 227–255.

Soghoian, S., and Sinert, R. 2009. Toxicity, heavy metals. http://emedicine.medscape.com/article/814960-overview [accessed January 2009].

Srivastava, N.K., and Luthra, R. 1994. Relationship between photosynthetic carbon metabolism and essential oil biogenesis in peppermint under Mnstress. Journal of Experimental Botany 45: 1127-1132.

Sun, Y., Zhou, Q., and Diao, C. 2008. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. Bioresource Technology 99: 1103–1110.

Stancheva, L., Geneva, M., Hristozkova, M., Markovska, and Salamon, I. 2010. Antioxidant capacity of sage grown on heavy metal-polluted soil. Russian Journal of Plant Physiology 57: 799-805.

Street, R.A., Kulkarni, M.G., Stirk, W.A., Southway C., and Staden, J. 2007. Toxicity of metal elements on germination and seedling growth of widely used medicinal plants belonging to Hyacinthaceae Bull. Environmental Contamination Toxicology 79: 371-376.

Tirillini, B., Ricci, A., Pintore, G., Chessa, M., and Sighinolfi, S. 2006. Induction of Hypericins in *Hypericum perforatum* in Response to Chromium. Fitoterapia 77: 164-70.

Topalov, V., and Zhelyazkov, V. 1991. Effect of harvesting on the yield of fresh material, essential oil, and planting material from *Mentha piperita* L. and *Mentha arvensis* L. Herba Hung 50: 60-67.

Van Balen, E., Geijn, V.D., and Desmet, G. 1980. Autoradiographic evidence for the incorporation of cadmium into calcium oxalate crystals. Z. Pflanzenphysiol 97: 123–133.

Vassilev, A., Yordanov, I., and Tsonev, T. 1997. Effects of Cd^{2+} on the physiological state and photosynthetic activity of young barley plants. Photosynthetica 34(2): 293–302.

Vassilev, A., and Yordanov, I. 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium –treated plants: A Review: Bulg. Journal of Plant Physiology 23(3-4): 114-133.

Vazquez, M., Poschenrieder, C., and Barcelo, J. 1989. Pulvinus structure and leaf abscission in cadmium-treated bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). Canadian Journal of Botany 67: 2756–2764.

Wei, S.H., and Zhou, Q.X. 2004. Discussion on basic principles and strengthening measures for phytoremediation of soils contaminated by heavy metals. Chinese Journal of Ecology 23: 65–72 (in Chinese).

Wierzbicka, M. 1995. How lead loses its toxicity to plant. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 64: 81-90.

Wojcik, M., Vangronsveld, J., and Tukiendorf, A. 2005. Cadmium tolerance in *Thlaspi caerulescens*: Growth parameters, metal accumulation and phytochelatin synthesis in response to cadmium. Environmental and Experimental Botany 53: 151-161.

Yancey, P., Clark, M., Hand, S., Bowlus, R., and Somero, G. 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte systems. Science 217: 1212–1222.

Yang, X.E., Long, X.X., Ye, H.B., He, Z.L., Calvert, D.V., and Stoffella, P.J. 2004. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Znhyperaccumulating plant species (*Sedum alfrdii* Hance). Plant and Soil 259: 181–189.

Zhao, S., Ye, X., and Zheng, J. 2011. Lead-induced changes in plant morphology, cell ultrastructure, growth and yields of tomato. African Journal of Biotechnology 10(50): 10116-10124.

Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., and Xing, B. 2006. Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil Environmental and Experimental Botany 58: 9–16.

Zheljazkov, V.D., and Nielsen, N.E. 1993. Studies on the effect of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn and Fe) upon the growth, productivity and quality of lavander (*Lavandula vera* D.C.) Production. A Paper Presented at the 24th International Symposium on Essential Oils. Berlin Journal of Essential Oil Research.

Zheljazkov, V.D., and Nielson, N.E. 1996. Effect of heavy metals on peppermint and cornmint. Plant and Soil 178: 59–66.

Zheljazkov, V.D., and Warman, P.R. 2003. Source-Separated Municipal Solid Waste Compost Application to Swiss Chard and Basil. Heavy Metals in the Environment. Technical Report.

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 1, Spring 2017, p. 142-157

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۵۷-۱۴۲

Effect of Cadmium and Lead on Quantitative and Essential Oil Traits of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

S. Amirmoradi[3], P. Rezvani Moghaddam[2*], A. Koocheki[2], S. Danesh[3] and A. Fotovat[4]
Submitted: 05-05-2012
Accepted: 04-09-2012

Amirmoradi, S., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Danesh, S., and Fotovat, A. 2017. Effect of cadmium and lead on quantitative and essential oil traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Agroecology 9(1): 142-157.

Introduction

Industrialization has been the cause of environmental pollution and one of significant pollutant is that of heavy metals. These hazardous elements can cause to water and soil pollution. These metals can accumulate in the food chain and create damages for human and livestock. Researchers revealed that increasing Cd, Pb, Cu, Mn and Zn concentrations caused to decreasing of shoot fresh weight and essential oil yield. Scavroni et al (2005) indicated that peppermint was able to accumulate the heavy metals in shoot tissues but did not enter into essential oil. Therefore study the effect of heavy metals on morphological and quantitative traits of medicinal plants is essential.

Materials and methods

The experiment was done in the research greenhouse of the Agricultural Faculty of Ferdowsi University of Mashhad in 2011.The treatments were arranged basis on a randomized block design with three replications. Treatments were included T1:0, T2:10 ppm cd , T3:20 ppm cd,T4:40 ppm cd,T5:60 ppm cd,T6:80 ppm cd cd,T7:100 ppm cd,T8:100ppm pb, T9:300 ppm pb, T10: 600 ppm pb, T11: 900 ppm pb, T12: 1200 ppm pb and T13: 1500 ppm pb. Peppermint was cultivated with uniform weight rhizomes harvested from the research farm of Ferdowsi University of Mashhad. Every rhizome had two buds and six rhizomes were planted in pots of dimensions 30×50×35 cm. Treatments were irrigated with $cdcl_2$ and $pbcl_2$ with the administered doses and control was irrigated with distilled water. Plants were harvested two times at the first stages of flowering. The essential oil percentage was measured with 30 grams of dried leaves by Clevenger device.

Results and discussion

Increasing cadmium and lead concentrations caused a decline of fresh and dry weight, main stem height, leaf area per plant, leaf number per plant, number of nodes per plant and essential oil percentage compared to the control. At the first harvest, increasing doses of Cd caused a decrease of fresh weight. This decline was 18.16% at 100 ppm Cd and was 24.55% at 1500 ppm Pb compared to the control. At the second harvest, fresh weight declined by 15.24% and 32.72% compared to the control at 100 ppm cadmium and 1500 ppm lead, respectively. At the highest concentrations of Cd and Pb, dry weight of peppermint was dropped 22.92% and 25.88% at the first harvest. For the second harvest, decreased dry weights were 39.01% and 26.77% compared to the control, respectively. Stancheva et al (2010) revealed that increasing cadmium and lead concentrations caused to the shoot and root weights of sage (*Salvia officinalis* L.) declined by 15 and 10%, respectively. They mentioned the glutathione-ascorbate cycle plays a vital role in neutralizing the destructive effects of ROS in sage. In this cycle, guaiacol peroxidase, ascorbate peroxidase and catalase enzymes increase and lead to diminish the ROS activity. In the same doses of cadmium and lead (100 ppm), cadmium had a more reductive effects than lead for all traits except for essential oil at the first harvest. This event is due to more toxicity of cadmium compared to lead. The toxicity threshold of cadmium and lead was reported 5 and 30 mg kg^{-1}. Tirillini et al., (2006) reported that hypericin content in essential oil of *hypericum perforatum* L. was not affected by chrome stress.

3, 2, 3 and 4- PhD in Crop Ecology, Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Department of Engineering and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: rezvani@um.ac.ir)

Conclusion

Essential oil, fresh and dry weight of peppermint did not show any significant change when the concentrations of cd and pb were maximum, so it seems that peppermint can be cultivated in polluted water or soil with cadmium and lead.

Keywords: Dry matter, Heavy metal, Leaf area, Medicinal plant