

## تأثیر کادمیم و سرب بر صفات مورفوفیزیولوژیک و شاخص‌های فتوسنتزی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

بهمن فتاحی<sup>۱</sup>، کاظم ارزانی<sup>۲\*</sup>، محمد کاظم سوری<sup>۳</sup> و محسن بزرگر<sup>۲</sup>  
۱، ۲ و ۳. دانشجوی دکتری، استاد و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۶/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۱)

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کادمیم و سرب بر صفات ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و فتوسنتزی ریحان انجام شد. خاک مورد استفاده قبل از کشت، به مدت دو ماه با استفاده از محلول‌های سرب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کادمیم (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) آلوده گردید. نتایج نشان داد در تیمارهای کادمیم و سرب صفات مربوط به کیفیت و بازاریابی ریحان شامل تعداد شاخه‌های فرعی، زمان به گل رفتن گیاه و قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. با افزایش غلظت کادمیم از صفر تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، میزان کادمیم برگ ریحان از ۰/۷۱ به ۳/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و با افزایش غلظت سرب از صفر تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، میزان سرب برگ از ۰/۹۳ به ۴/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک افزایش یافت. تیمارهای کادمیم و سرب منجر به کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل (۲۲/۹۵ به ۱۳/۹۸)، مقدار کلروفیل a (۰/۷۵۵ به ۰/۳۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، مقدار کلروفیل b (۰/۳۳۰ به ۰/۱۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و میزان کاروتنوئیدها (۰/۲۲۸ به ۰/۰۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) شد. همچنین میزان عملکرد و کارایی فتوسنتز II (۰/۸۳۴ به ۰/۴۲۲) نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. با توجه به اینکه افزایش کادمیم و سرب برای سلامت انسان مضر و خطرات جدی به همراه دارد، لازم است از کشت سبزیجات در مناطق آلوده به فلزات سنگین مانند کادمیم و سرب جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: تنش، خاک آلوده، سرب، کادمیم، کاروتنوئیدها، کلروفیل، فتوسنتز II.

## Effect of cadmium and lead on morpho-physiological traits and Photosynthesis of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.)

Bahman Fattahi<sup>1</sup>, Kazem Arzani<sup>2\*</sup>, Mohammad Kazem Souri<sup>3</sup> and Mohsen Barzegar<sup>2</sup>

1, 2, 3. Ph. D. Candidate, Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University (TUM), Tehran, Iran  
(Received: Sep. 13, 2018- Accepted: Jan. 01, 2019)

### ABSTRACT

The present research was conducted in order to evaluate the effects of different amounts of cadmium (Cd) and lead (Pb) on the morpho-physiological and biochemical aspects of sweet basil. Pre-treatments of the soil with different concentrations of Cd and Pb was applied two months before starting the experiment in the greenhouse, and then seeds were sown in pots containing contaminated soil, under greenhouse conditions. The results showed that application of cadmium and lead have led to significant changes in morphological traits and reduction in physiological and quality traits including number of lateral shoots, flowering intensities and stem diameter. By increasing concentrations of Cd from 0 to 20 mg. kg<sup>-1</sup> soils, the amount of basil cadmium from 0.71 to 3.6 mg. g<sup>-1</sup>DW and with increasing concentrations of Pb from 0 to 400mg. kg<sup>-1</sup> soil, the amount of basil Pb from 0.93 to 4.95 mg. g<sup>-1</sup>DW was increased. Different levels of both heavy metals have resulted in significant reduction of SPAD value (22.95 to 13.98) as well as in the amount of chlorophyll a (0.755 to 0.333 mg. g<sup>-1</sup> FW) chlorophyll b (0.330 to 0.125 mg. g<sup>-1</sup> FW) and carotenoids (0.228 to 0.095 mg.g<sup>-1</sup> FW) and photosystem II in chloroplasts (0.834 to 0.422) decreased compared to control plants. According to the increase of Cd and Pb in the plants is harmful and associated with the serious human health, therefore preventing culturing vegetable crops in the heavy metal contaminated soils should be considered.

**Keywords:** Cadmium, carotenoids, contaminated soils, chlorophyll, lead, photosystem II, stress.

\* Corresponding author E-mail: arzani\_k@modares.ac.ir

### مقدمه

آلوده شدن محصولات کشاورزی به فلزات سنگین، نه تنها باعث کاهش تولید آن‌ها می‌شود، بلکه با ورود سالانه هزاران تن از این مواد به خاک، تهدید و خطری جدی برای سلامت انسان و محیط زیست به وجود می‌آورد (Tiller et al., 1999). امروزه تجمع عناصر سنگین در سبزی‌ها و مخاطرات آن برای مردم به یک نگرانی عمومی تبدیل شده است (Huang et al., 2006; Yu et al., 2014). یکی از معضلات مربوط به خاک‌های آلوده به عناصر سنگین این است که برخلاف آلاینده‌های آلی، عناصر سنگین تجزیه‌پذیر نمی‌باشند (Kabata-Pendias et al., 2010). منشأ فلزات سنگین آلاینده خاک لجن و رسوبات، مناطق دفن و انباشت زباله‌ها و فاضلاب‌ها و کودهای کشاورزی می‌باشد (Agrawal & Sharma, 2006).

کادمیم و سرباز خطرناک‌ترین عناصر سنگین می‌باشند که سالیانه حدود ۳۸۰۰۰ تن کادمیم و تقریباً یک میلیون تن سرب به خاک‌های زراعی جهان اضافه می‌شود (Nriagu & Pacyna, 1988). اثرات سوء کادمیم در گیاه شامل جلوگیری از رشد ریشه و اندام‌های هوایی آن، کاهش شدید عملکرد محصول، تأثیر منفی بر جذب عناصر غذایی و تعادل زیستی می‌باشد. به علاوه این فلز با تجمع در محصولات گیاهی و متعاقباً ورود به زنجیره غذایی، معضلات بسیاری را برای سلامت و بهداشت انسان ایجاد می‌کند (Majer et al., 2002). غلظت‌های بالای کادمیم ممکن است منجر به کاهش جذب عناصر غذایی و القای تنش اکسیداتیو و تغییراتی در آنزیم‌های ضد اکسایدانده مربوط به سامانه دفاعی شود (Majer et al., 2002). کادمیم در بدن انسان آسیب شدیدی به کلیه‌ها می‌رساند (Yang et al., 2004). استفاده از لجن فاضلاب، زباله‌های شهری و کودهای شیمیایی فسفردار باعث افزایش کادمیم در خاک می‌شود (Majer et al., 2002).

سرب نیز یکی دیگر از خطرناک‌ترین عناصر سنگین است که در سیستم‌های بیولوژیکی دارای کارکرد زیستی مشخصی نمی‌باشد و از پتانسیل ایجاد مسمومیت برای گیاهان و سایر موجودات برخوردار است. این فلز به دلیل پراکنش گسترده در جوامع شهری و خطر بالقوه‌ی آن برای سلامت محیط زیست،

انسان‌ها و حیوانات، منشأ نگرانی‌های عمده‌ای گردیده است. سرب، نه تنها فعالیت ریز جانداران خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه باعث بروز تغییر در شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد گیاهان و در نهایت کاهش عملکرد آنها نیز می‌گردد (Lone et al., 2008). مسمومیت با سرب نیز در بدن انسان آسیب شدید به بسیاری از اندام‌های بدن مانند کلیه‌ها، کبد، مغز و سیستم تناسلی می‌رساند و اغلب سبب سقط جنین و گاهی اوقات مرگ می‌شود (Pruvot et al., 2006).

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی است یک-ساله از تیره نعناعیان که در زمره گیاهان دارویی و خوراکی است. این گیاه از سبزی‌های مفید و عامه‌پسند بوده که در تمام دنیا کشت می‌گردد. به علاوه از این گیاه به سبب خواص ضد میکروبی، ضد اکسایشی، ضد انگل، ضد تشنج و ضد سردرد (Gulcin et al., 2003; Suppakul et al., 2007) استفاده وسیعی در داروسازی و طب می‌شود. از این رو بررسی غلظت‌های متفاوت کادمیم و سرب بر خصوصیات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک و شاخص‌های فتوسنتزی در این گیاه حایز اهمیت می‌باشد.

تأثیر کادمیم، سرب و مس روی ریحان، نعناع و شوید نشان داد با افزایش غلظت سرب و مس انتقال کادمیم از ریشه به ساقه کاهش می‌یابد (Zheljazkov et al., 2006). در آزمایشی تأثیر آبیاری با فاضلاب شهری بر سبزی‌های برگی (ریحان، گشنیز، تره، جعفری، شوید، اسفناج، کاهو و شاهی) جنوب تهران بررسی شد و میزان عناصر سنگین (کادمیم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل) خاک و گیاه بیشتر از استانداردهای جهانی گزارش گردید (Torabian & Mahjouri, 2002). میزان کادمیم، سرب و روی در چندین سبزی برگی جمع‌آوری شده از چندین منطقه هندوستان، بالاتر از غلظت استانداردهای اروپا و WHO بود که می‌تواند برای سلامتی انسان مضر باشد (Sharma et al., 2009). در بررسی انجام شده از سبزی‌های جنوب تهران، میزان کادمیم و سرب در سبزی‌های گشنیز، تربچه و شوید بیشتر از استانداردهای جهانی بوده است (Bigdeli & Seilsepour, 2008). سطوح مختلف غلظت نیکل نیز

سرب (نیترات سرب) به صورت محلول ۲ ماه قبل از کشت گیاهان در خاک اعمال گردید (خاک هر تیمار جداگانه داخل نایلون ریخته و محلول کادمیم و سرب با توجه به نوع تیمار اضافه گردید) تا کادمیم و سرب در داخل خاک تثبیت شوند. خاک از الک ۲ میلی متری عبور داده شده و با استفاده از آب مقطر، میزان رطوبت خاک به ۶۵-۶۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد و در دمای  $24 \pm 4$  درجه سانتی گراد به مدت دو ماه در داخل نایلون سیاه نگهداری شد. سپس حدود ۱۰-۱۲ کیلوگرم از خاک به داخل گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد  $25 \times 35$  سانتی متر منتقل شد و کشت بذرها انجام گردید. در هر گلدان تعداد ۲۰ بوته نگهداری شد و گلدان‌ها از زمان کاشت تا زمان برداشت (حدود ۹۰ روز) هر دو روز یک بار با آب مقطر آبیاری شدند. در دو نوبت (در مرحله رویشی) محلول هوگلند به میزان ۲۰۰ سی سی به هر گلدان اضافه گردید.

#### تجزیه خاک و گیاه

قبل از انجام آزمایش، خاک مورد نظر تجزیه شد. بعد از اعمال تیمارهای کادمیم و سرب در پایان آزمایش نیز خاک مورد نظر برای هر تیمار جداگانه تجزیه گردید. در اواخر آزمایش هر یک از تکرارهای مربوط به تیمارها به همراه گلدان پر از خاک (گلدان کشت نشده) تجزیه خاک گردید تا جذب سرب و کادمیم در گیاهان کشت شده و کشت نشده نیز مقایسه گردد. برای اندازه گیری مقادیر کادمیم و سرب و همچنین مقدار عناصر پر مصرف و کم مصرف، خاک بعد از غربال با الک ۲ میلی متری و گیاهان بعد از خشک شدن در آن ۶۰ درجه سانتی گراد، پودر شده و در ارلن‌های ۲۵۰ میلی لیتری ریخته شد و سپس اسید نیتریک ۶۵ درصد به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها قبل از گرما دادن به مدت یک شب در اسید قرار داده شدند. هضم با ظروف در باز در دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد انجام گرفت تا زمانی که تقریباً خشک شود. سپس ۵ میلی لیتر از پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد برای تکمیل هضم به ارلن اضافه شد و مجدداً تا بخار شدن مایع حرارت دید. سپس دیواره ارلن‌ها با آب دیونیزه شسته شد و تا جوشیدن حرارت دید. محتوای ظروف بعد از خنک شدن به ظروف استاندارد

تأثیر معنی داری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک شامل مقدار کلروفیل، طول ریشه و بخش‌های هوایی گیاه، ارتفاع گیاه، سطح برگ و شاخص کلروفیل در گیاه جعفری داشت. در این غلظت آزمایش با افزایش نیکل، مقدار کمی تمامی صفات ذکر شده به طور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافتند (Khatibet *et al.*, 2008). در اندام هوایی گیاه ریحان با افزایش میزان مس و روی در خاک، میزان عناصر روی، مس، آهن، منگنز و فسفر نسبت به تیمار شاهد افزایش و میزان عنصر پتاسیم کاهش یافت (Asgari *et al.*, 2014). در آزمایشی تأثیر قارچ میکوریزا بر گیاه گشنیز تحت تنش کادمیم نشان داد گیاه تلقیح شده با قارچ میکوریزا افزایش قابل توجهی در وزن تر و خشک ساقه و ریشه داشت و شاخص تحمل گیاه گشنیز تلقیح شده با قارچ بیشتر از تیمار شاهد بود. ضمن اینکه گیاهان تیمار شده با کادمیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) وزن تر و خشک ریشه و همچنین میزان کلروفیل کل کمتری نسبت به تیمار شاهد داشتند (Gonçalves *et al.*, 2009). ارزیابی سطوح مختلف کادمیم (صفر، ۲/۵ و ۵ میلی گرم بر لیتر) و روی (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر) بر ریحان آفریقایی (*Ocimum gratissimum* L.) نشان داد با افزایش سطوح مختلف کادمیم و روی، انباشت عناصر مذکور در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود (Chaiyarat *et al.*, 2011).

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر عناصر سنگین کادمیم و سرب بر روی خصوصیات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک و شاخص‌های فتوسنتزی گیاه ریحان می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۹۵ به صورت گلدانی و در قالب طرح کاملاً تصادفی با هفت تیمار و چهار تکرار انجام گردید. تیمارهای عناصر سنگین کادمیم (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) و سرب (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) اعمال گردید. تیمارهای کادمیم (نیترات کادمیم) و

فالكون با استن ۸۰ درصد به حجم ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس در دستگاه سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفت. روماند حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل و در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کاروتنوئیدها، مقدار جذب قرائت گردید. با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a, b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645}) \text{ V} / 100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663}) \text{ V} / 100W$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A_{470} - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b}) / 227$$

V = حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از

سانتریفیوژ) بر حسب میلی‌لیتر

A = جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W = وزن تر نمونه بر حسب گرم

سنجش مؤلفه‌های مربوط به کلروفیل فلورسانس مؤلفه‌های مربوط به فلورسانس کلروفیل از برگ‌ها در شرایط سازگار با تاریکی، FM (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگار با تاریکی)، F0 (فلورسانس حداقل در شرایط سازگار شده با تاریکی) و FV/FM (حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی) توسط دستگاه فلورسانس‌متر (PSM) اندازه‌گیری شدند. به این منظور با استفاده از گیره‌های دستگاه تنش‌متر، برگ هر یک از تیماره به‌طور جداگانه به شرایط تاریکی عادت داده شد و بعد از ۲۰ دقیقه میزان F0، FV و FV/FM ثبت گردید. عملکرد کوانتومی فتوسیستم از رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$FV/FM = (FV - F0) / FM \quad (2)$$

#### شاخص کلروفیل (SPAD)

با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج<sup>۱</sup> مدل SPAD-502، شاخص کلروفیل هر یک از گیاهان ریحان

۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با آب دیونیزه شده به حجم رسانده شد و در گیاه ریحان و خاک از دستگاه جذب اتمی مدل پرکین ۴۰۰ (ICP-OES; Perkin-) Elmer استفاده شد (Sekabira *et al.*, 2011).

#### اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی

بررسی صفات ریخت‌شناسی، در زمان گلدهی (پس از حدود سه ماه از شروع کشت) گیاهان انجام شد. بیست صفت از صفات ریخت‌شناسی شامل ارتفاع گیاه، طول و عرض برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه مربوط به هر تیمار با استفاده از خط کش و کولیس و ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شدند. سطح برگ نیز با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf area matter) انجام شد.

#### سنجش محتوای نسبی آب برگ (RWC)<sup>۱</sup>

برگ‌های نابالغ چیده‌شده از گیاه پس از تعیین وزن تر، در داخل پتری‌دیش‌های محتوای آب مقطر قرار گرفتند. پتری‌دیش‌ها به مدت ۲۴ ساعت به‌منظور جذب آب و محاسبه وزن برگ‌ها در در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن نمونه‌ها در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا وزن خشک برگ‌ها محاسبه گردد و در نهایت محتوای نسبی آب در برگ‌ها از رابطه یک محاسبه گردید (Ritchie *et al.*, 1990).

$$RWC = (F_w - D_w) / (S_w - D_w) \times 100 \quad (1)$$

F<sub>w</sub>: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری (گرم)  
D<sub>w</sub>: وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون (گرم)

S<sub>w</sub>: وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر (گرم)

#### اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی

به این منظور ۰/۲۵ گرم از وزن تر برگ با استفاده از نیتروژن مایع در هاون چینی ساییده شد. بعد نمونه گیاهی ساییده شده در داخل فالكون ریخته و حجم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارها بر طول و عرض برگ، سطح برگ، طول جام گل، قطر یقه گیاه، فاصله بین دو چرخه گل آذین، وزن تر و خشک گیاه، شاخص کلروفیل، کلروفیل a و همچنین عملکرد و کارایی فتوسیستم II تفاوت معنی داری در سطح یک درصد داشتند (جدول ۲).

غلظت عناصر پر مصرف و کم مصرف، کادمیم و سرب میزان غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم و منیزیم برگ با افزایش غلظت سرب از صفر به ۴۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش یافت درحالی که میزان غلظت آهن برگ و ریشه و روی در برگها کاهش یافت (جدول ۳). همچنین با افزایش غلظت کادمیم میزان غلظت عناصر نیتروژن و پتاسیم برگ افزایش یافت. در حالی که میزان غلظت آهن برگ و ریشه و روی و منیزیم برگها کمتر شد (جدول ۳).

سنجیده شد. تعداد ۵ برگ نابالغ از هر گیاه به طور تصادفی انتخاب و شاخص کلروفیل یا مقدار عددی SPAD برگها قرائت شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

در پایان داده‌های حاصل از نتایج ریخت‌شناسی، زیستی و فتوسنتزی براساس طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید.

### نتایج و بحث

اسیدیته خاک مورد استفاده در حد خنثی و غلظت دو عنصر سنگین کادمیم و سرب در سطح پایینی بود (جدول ۱) و برای اعمال تیمارهای مورد نظر مناسب بود.

جدول ۱. تجزیه خاک در تیمار شاهد

Table 1. Results of soil analysis of control treatment

Soil	EC (ds.m <sup>-1</sup> )	pH	O.C (%)	P (mg/kg)	K (%)	N (%)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Content	3.280	7.69	0.683	7.5	199	0.072	0.49	0.97

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی ریحان

Table 2. Analysis of variance of sweet basil characteristics

Traits	Model				
	DF (Treat)	DF (Error)	Mean square	Mean error	CV (%)
Plant height	6	21	4.81 <sup>ns</sup>	3.22	6.62
Sub stems length	6	21	5.06 <sup>*</sup>	1.5	28.82
Flowering stem length	6	21	8.95 <sup>*</sup>	2.83	20.63
Internodes' length	6	21	7.37 <sup>ns</sup>	7.28	48.49
Leaf length	6	21	0.45 <sup>***</sup>	0.11	15.16
Leaf width	6	21	0.14 <sup>**</sup>	0.02	14.50
Length/width leaf Ratio	6	21	0.01 <sup>ns</sup>	0.008	4.68
Petiole length	6	21	9.08 <sup>ns</sup>	3.79	21.15
Collar diameter	6	21	0.31 <sup>**</sup>	0.79	17.06
Stem diameter	6	21	0.25 <sup>*</sup>	0.08	21.16
Corolla Length	6	21	12.24 <sup>***</sup>	1.22	12.41
Calyx Length	6	21	0.82 <sup>ns</sup>	0.52	13.13
Calyx diameter	6	21	0.23 <sup>ns</sup>	0.24	21.89
Inflorescence distance cycle	6	21	32.35 <sup>***</sup>	7.30	19.35
Root length	6	21	5.11 <sup>*</sup>	1.91	12.43
Root diameter	6	21	0.02 <sup>*</sup>	0.003	9.05
Shoot fresh weight	6	21	409.13 <sup>***</sup>	84.42	18.14
Shoot dry weight	6	21	21.53 <sup>***</sup>	3.25	17.68
Root fresh weight	6	21	14.19 <sup>***</sup>	2.79	20.39
Root dry weight	6	21	1.002 <sup>*</sup>	0.38	30.29
SPAD value	6	21	42.23 <sup>***</sup>	1.57	7.89
Leaf area Index	6	21	2468.8 <sup>***</sup>	430.29	10.87
RWC	6	21	7.32 <sup>***</sup>	0.66	0.9
Chlorophyll a	6	21	0.09 <sup>**</sup>	0.005	16.94
Chlorophyll b	6	21	0.02 <sup>ns</sup>	0.008	36.29
Carotenoids content	6	21	0.01 <sup>*</sup>	0.003	33.26
Fluorescence maximal (FM)	6	21	12.24 <sup>***</sup>	1.22	12.41
Fluorescence minimum(FO)	6	21	0.02 <sup>ns</sup>	0.01	35.91
Fluorescence variable (FV)	6	21	0.0002 <sup>ns</sup>	0.0001	14.27
FV/FM	6	21	0.07 <sup>***</sup>	0.001	7.43

\*\*\*, \*\*, ns: Significant differences at 5 and 1% of probability levels and Non-significant, respectively. \*، \*\*، ns: به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود تفاوت معنی دار.

برای جذب می‌باشد (McKenna *et al.*, 1993). در آزمایشی دیگر افزایش در غلظت کادمیم باعث کاهش غلظت روی در دو گیاه گوجه‌فرنگی و ذرت شد که احتمالاً به دلیل شباهت شیمیایی بین دو عنصر کادمیم و روی و همچنین خاصیت آنتاگونیستی آنها در گیاه می‌باشد (Root *et al.*, 1975). با افزایش غلظت کادمیم و سرب در تیمارها، مقدار کادمیم و سرب در برگ و ریشه افزایش و در خاک نیز به دلیل جذب توسط گیاه ریحان کاهش یافت (شکل A-1 و B-1).

میزان استاندارد WHO عناصر سبزی‌ها برای فلز آهن ۴۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، فلز روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (Joint & Additives, 1985). میزان آهن در تیمار شاهد کمتر از حد استاندارد بود و در تیمارهای کادمیم بالاتر و در تیمارهای سرب، به جز در تیمار ۴۰۰، در بقیه تیمارهای سرب بیشتر از مقدار استاندارد بود. مقدار روی نیز در همه تیمارها کمتر از حد مجاز بود (جدول ۳). اثر آنتاگونیستی عناصر روی و کادمیم، در کاهو و اسفناج به علت رقابت این دو فلز

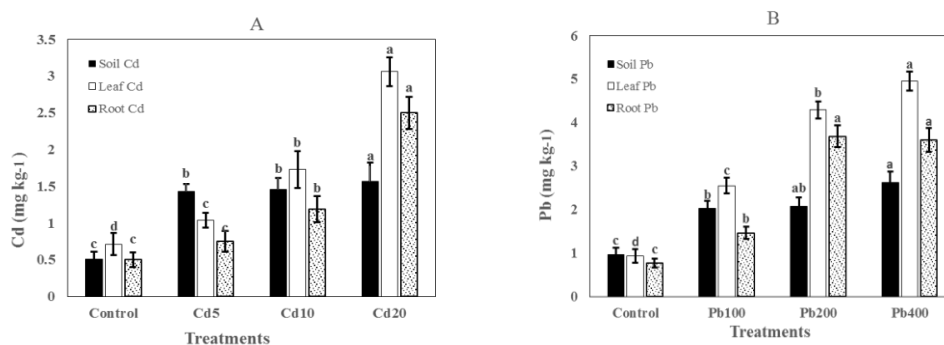
جدول ۳. مقایسه میانگین عناصر جذب شده ریحان و خاک در غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب (mg/kg)

Treatments	Control	Cd 5	Cd 10	Cd 20	Pb 100	Pb 200	Pb 400
Leaf N (%)	3.73 <sup>c</sup>	3.67 <sup>c</sup>	3.83 <sup>b</sup>	3.96 <sup>a</sup>	4.19 <sup>b</sup>	4.39 <sup>a</sup>	4.47 <sup>a</sup>
Leaf K (%)	1.75 <sup>c</sup>	1.85 <sup>b</sup>	1.95 <sup>a</sup>	2.03 <sup>a</sup>	1.09 <sup>d</sup>	2.20 <sup>b</sup>	2.33 <sup>a</sup>
Leaf Mg (%)	0.8 <sup>b</sup>	1.88 <sup>a</sup>	1.87 <sup>a</sup>	1.04 <sup>b</sup>	1.13 <sup>a</sup>	1.24 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>
Leaf Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	371.71 <sup>b</sup>	448.11 <sup>a</sup>	460.68 <sup>a</sup>	471.51 <sup>a</sup>	490.24 <sup>a</sup>	489.42 <sup>a</sup>	353.73 <sup>b</sup>
Leaf Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	43.88 <sup>a</sup>	42.57 <sup>ab</sup>	39.92 <sup>b</sup>	40.07 <sup>b</sup>	31.10 <sup>b</sup>	28.03 <sup>c</sup>	27.09 <sup>c</sup>
Root Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	50.58 <sup>c</sup>	61.64 <sup>b</sup>	61.51 <sup>a</sup>	61.16 <sup>a</sup>	72.16 <sup>a</sup>	58.66 <sup>b</sup>	47.38 <sup>a</sup>

در هر ردیف میانگین‌هایی که حروف یکسانی دارند، در سطح ۱ درصد تفاوت معنی داری ندارند.

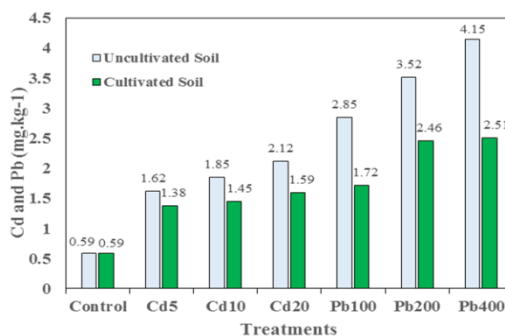
In each row means with the same letters are not significant at probability 1% level.

Cd 5 (Cadmium 5), Cd 10 (Cadmium 10), Cd 20 (Cadmium 20), Pb100 (Lead 100), Pb200 (Lead 200), Pb100 (Lead 400) All units, mg. kg<sup>-1</sup> soil.



شکل ۱. میزان کادمیم و سرب خاک، برگ و ریشه ریحان در تیمارهای کادمیم (A) و سرب (B)

Figure 1. The amount of Cd and Pb of soil, leaf and root of sweet basil in Cd and Pb treatments (mg/kg). Cd 5 (Cadmium 5), Cd 10 (Cadmium 10), Cd 20 (Cadmium 20), Pb100 (Lead 100), Pb200 (Lead 200), Pb100 (Lead 400). All units, mg. kg<sup>-1</sup> soil.



شکل ۲. آنالیز کادمیم و سرب در خاک‌های کشت شده و کشت نشده با ریحان در پایان آزمایش

Figure 2. Analyses of Cd and Pb in cultivated and uncultivated soil with sweet basil at the end of the experiment Cd 5 (Cadmium 5), Cd 10 (Cadmium 10), Cd 20 (Cadmium 20), Pb100 (Lead 100), Pb200 (Lead 200), Pb100 (Lead 400). All units, mg. kg<sup>-1</sup> soil.

نتایج مشابه در گیاه گشنیز با افزایش غلظت کادمیم به دست آمد (Gonçalves *et al.*, 2009). قطر ساقه و ریشه نیز در غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب دارای بیشترین مقدار نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۴). با توجه به این که تُرد بودن سبزی‌های برگ‌ی مانند ریحان یکی از مؤلفه‌های مهم کیفی می‌باشد، لذا کاربرد و وجود عناصر سنگین می‌تواند منجر به کاهش این خصوصیت در ریحان گردد و نمونه شاهد با قطر ساقه کمتر، شاخه فرعی کمتر و بیشترین مقدار سطح برگ در بوته را دارا بود. لذا استفاده از آبیاری با فاضلاب شهری و کشت در خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب می‌تواند از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناسی نیز باعث کاهش کیفیت سبزی‌ها شود. با افزایش غلظت لجن فاضلاب از صفر به ۱۲ کیلوگرم در هر متر مربع، کاهش در رشد ریشه و افزایش در وزن خشک گیاه و تعداد و سطح برگ در گیاه برنج مشاهده گردید که لجن فاضلاب می‌تواند تأثیر متفاوتی در صفات ریخت‌شناسی گیاه داشته باشد (Singh & Agrawal, 2010).

#### اثر کادمیم و سرب بر شاخص کلروفیل

با افزایش غلظت کادمیم از سطح صفر تا سطح ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک شاخص کلروفیل برگ‌ها در ریحان کاهش یافت. به طوری که شاخص کلروفیل در تیمار شاهد ۲۲/۹۵ بود که با افزایش غلظت کادمیم از صفر تا ۲۰ میلی‌گرم مقدار عددی این شاخص به ترتیب ۱۵/۱۲، ۱۵/۲۱ و ۱۵/۳۵ بود. تیمار سرب نیز باعث کاهش شاخص کلروفیل گردید. با افزایش غلظت سرب در خاک غلظت کلروفیل نسبت به شاهد کاهش یافت، به طوری که در غلظت‌های صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مقدار عددی شاخص کلروفیل ۲۲/۹۵، ۱۶/۲۵، ۱۳/۹۹ و ۱۳/۳۸ بود (جدول ۴).

با توجه به این که مراحل اولیه بیوسنتز کلروفیل که سنتز ۵- آمینو لووینیک اسید (ALA) و فعالیت آنزیم ۵- آمینو لووینیک اسید دهیدراتاز (ALAD) که تبدیل ALA به پروفوبیلینوژن را انجام می‌دهد، از حساس‌ترین مراحل بیوسنتز کلروفیل نسبت به فلزات سنگین محسوب می‌شود، بنابراین عناصر سنگین با ممانعت از فعالیت آنزیم (ALAD) منجر به کاهش تجمع

در اواخر آزمایش هر یک از تکرارهای مربوط به تیمارها به همراه گلدان پر از خاک (گلدان کشت نشده) تجزیه خاک گردید تا جذب سرب و کادمیم در گیاهان کشت‌شده و کشت‌نشده نیز مقایسه گردد (شکل ۲). در شکل ۲ آنالیز میزان کادمیم و سرب خاک‌های کشت‌نشده نشان می‌دهد که با افزایش غلظت کادمیم از صفر تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان کادمیم موجود نیز بیشتر می‌شود (۰/۵۹ تا ۲/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و با افزایش میزان سرب تا ۴۰۰ میلی‌گرم میزان کادمیم از ۰/۵۹ تا ۴/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش می‌یابد. در پایان آزمایش تجزیه کادمیم و سرب در تیمارهای کادمیم و سرب نیز انجام گردید و میزان کادمیم و سرب نسبت به خاک‌های کشت‌نشده کاهش یافت که نشان‌دهنده جذب عناصر مذکور توسط گیاه می‌باشد (شکل ۲).

#### اثر کادمیم و سرب بر صفات ریخت‌شناسی

تجزیه واریانس مربوط به صفات مورفوفیزیولوژیک در جدول ۱ نشان داده شده است که اکثر صفات ریخت‌شناسی در سطح احتمال یک و پنج درصد تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده اعمال تنش است. نتایج مربوط به صفات ریخت‌شناسی نشان داد با افزایش غلظت کادمیم و سرب تفاوت زیادی در ارتفاع گیاهان مشاهده نمی‌شود، ولی در مورد گلدهی گیاهان، تیمار کادمیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب ۷، ۱۲ و ۲۰ روز و همچنین تیمار سرب ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ به ترتیب ۵، ۱۱ و ۲۲ روز زودتر از تیمار شاهد به گل رفت. طول شاخه‌های فرعی در تیمار شاهد دارای کمترین مقدار بود که به منظور استفاده ریحان به عنوان گیاه سبزی می‌تواند حایز اهمیت باشد. سطح برگ در تیمار شاهد بیشتر از سایر تیمارهای کادمیم و سرب بود و با افزایش غلظت کادمیم تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم میزان سطح برگ کاهش یافت، ولی با افزایش میزان سرب تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تفاوت معنی‌داری در کاهش سطح برگ وجود نداشت.

وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه در گیاه ریحان با افزایش غلظت کادمیم و سرب کاهش یافت که

در گیاه می‌گردد ( Barceló & Poschenrieder, 1990). تجمع پرولین در اثر تنش‌های محیطی دلیل مناسبی برای کاهش در RWC و به‌وجود آوردن خشکی فیزیولوژیکی در گیاه می‌باشد ( Ali *et al.*, 2007; Hussain *et al.*, 2012).

#### اثر تنش کادمیم و سرب بر رنگدانه‌های فتوسنتزی

نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کادمیم و سرب میزان کلروفیل a, b و میزان کاروتنوئیدها کاهش می‌یابد. میزان کلروفیل a در تیمار شاهد ۰/۷۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ازای وزن تر بود که این میزان در تیمار کادمیم ۲۰، برابر با ۰/۳۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و در تیمار سرب ۴۰۰ میزان کلروفیل a به ۰/۳۵۷ رسید. میزان کلروفیل b در تیمار شاهد ۰/۳۳۳ و بیشترین مقدار میزان کلروفیل b در تیمار کادمیم ۵، ۰/۳۳۲ بود و کمترین مقدار کلروفیل b نیز در تیمار کادمیم ۱۲۵، ۰/۲۰ بود (جدول ۴). میزان کاروتنوئیدها در تیمار شاهد ۰/۲۲۸ و کمترین مقدار مربوط به تیمار کادمیم ۲۰، ۰/۱۱۳ و بیشترین مقدار کاروتنوئید در تیمارهای سرب ۱۰۰، ۰/۲۲۶ بود (جدول ۴).

کلروفیل در سطح برگ می‌شود ( Ouzounidou *et al.*, 1995; Vara Prasad & de Oliveira Freitas, 2003). ایجاد اختلال در مراحل بیوسنتز کلروفیل به وسیله عناصر سنگین از دلایل مهم کاهش شاخص کلروفیل در گیاهان می‌باشد ( Manios *et al.*, 2003; Ouzounidou *et al.*, 1995).

#### اثر تنش کادمیم و سرب بر درصد محتوای نسبی آب در برگ‌ها

نتایج نشان داد محتوای نسبی آب برگ‌ها در تیمار شاهد دارای بیشترین مقدار بود، درحالی که افزایش سطوح مختلف سرب و کادمیم منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ‌ها گردید به طوری که در تیمار کادمیم ۲۰ (۸۹/۴۷ درصد) و در تیمار سرب ۴۰۰ (۸۸/۲۷ درصد) بود (جدول ۴).

کادمیم با کاهش انتقال مواد از ریشه به شاخساره، کاهش قابلیت تراوایی ریشه، کاهش اندازه و تعداد آوندهای چوبی، افزایش لیگنینی‌شدن ریشه، جلوگیری از ساخت ریشه‌های مویین، آسیب به نوک ریشه‌های اصلی موجب اختلال در جذب آب و به هم ریختن تعادل آب

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیکی ریحان تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب

Table 4. Means comparisons of morpho-physiological traits of sweet basil under Cd and Pb concentrations (mg/kg)

R	Characteristics	Unit	Control	Cd 5	Cd 10	Cd 20	Pb 100	Pb 200	Pb 400
1	Plant Height	cm	27.07 <sup>ab</sup>	25.98 <sup>b</sup>	27.20 <sup>ab</sup>	28.41 <sup>ab</sup>	26.18 <sup>ab</sup>	28.75 <sup>a</sup>	26.27 <sup>ab</sup>
2	Sub Stems Length	cm	2.14 <sup>c</sup>	3.84 <sup>bc</sup>	5 <sup>ab</sup>	4.18 <sup>ab</sup>	4.48 <sup>ab</sup>	4.27 <sup>ab</sup>	5.79 <sup>a</sup>
3	Flowering Stem Length	cm	4.98 <sup>b</sup>	9.60 <sup>a</sup>	8.73 <sup>a</sup>	8.93 <sup>a</sup>	8.65 <sup>a</sup>	8.33 <sup>a</sup>	7.92 <sup>a</sup>
4	Internodes' Length	cm	5.93 <sup>ab</sup>	3.82 <sup>b</sup>	4.21 <sup>ab</sup>	5.59 <sup>ab</sup>	7.90 <sup>a</sup>	5.24 <sup>ab</sup>	6.24 <sup>ab</sup>
5	Leaf Length	cm	2.35 <sup>ab</sup>	1.73 <sup>c</sup>	1.84 <sup>c</sup>	2.50 <sup>ab</sup>	2.01 <sup>bc</sup>	2.43 <sup>ab</sup>	2.55 <sup>a</sup>
6	Leaf Width	cm	1.30 <sup>a</sup>	0.88 <sup>b</sup>	0.95 <sup>b</sup>	1.29 <sup>a</sup>	1.00 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	1.30 <sup>a</sup>
7	Length/ Width Leaf Ratio	-	1.80 <sup>b</sup>	1.98 <sup>a</sup>	1.94 <sup>a</sup>	1.94 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	1.93 <sup>ab</sup>	1.96 <sup>a</sup>
8	Petiole Length	mm	9.64 <sup>ab</sup>	7.34 <sup>b</sup>	7.49 <sup>b</sup>	10.98 <sup>a</sup>	8.28 <sup>ab</sup>	9.56 <sup>ab</sup>	10.91 <sup>a</sup>
9	Collar Diameter	mm	1.21 <sup>c</sup>	1.37 <sup>bc</sup>	1.58 <sup>abc</sup>	1.97 <sup>a</sup>	1.77 <sup>ab</sup>	1.79 <sup>a</sup>	1.89 <sup>a</sup>
10	Stem Diameter	mm	0.91 <sup>c</sup>	1.09 <sup>c</sup>	1.38 <sup>ab</sup>	1.54 <sup>a</sup>	1.47 <sup>ab</sup>	1.42 <sup>ab</sup>	1.61 <sup>a</sup>
11	Corolla Length	mm	6.94 <sup>c</sup>	8.79 <sup>b</sup>	8.67 <sup>bc</sup>	11.60 <sup>a</sup>	8.64 <sup>bc</sup>	11.14 <sup>a</sup>	11.17 <sup>a</sup>
12	Calyx Length	mm	4.84 <sup>b</sup>	5.66 <sup>ab</sup>	5.80 <sup>ab</sup>	6.06 <sup>a</sup>	5.95 <sup>a</sup>	6.00 <sup>a</sup>	5.21 <sup>a</sup>
13	Calyx Diameter	mm	1.87 <sup>b</sup>	2.08 <sup>ab</sup>	2.38 <sup>ab</sup>	2.28 <sup>ab</sup>	2.61 <sup>a</sup>	2.15 <sup>ab</sup>	2.36 <sup>ab</sup>
14	Inflorescence Distance	mm	9.50 <sup>c</sup>	10.74 <sup>bc</sup>	15.38 <sup>a</sup>	16.92 <sup>a</sup>	15.02 <sup>a</sup>	16.46 <sup>a</sup>	13.73 <sup>ab</sup>
15	Root Length	cm	10.09 <sup>b</sup>	10.79 <sup>b</sup>	10.17 <sup>b</sup>	11.42 <sup>ab</sup>	10.55 <sup>ab</sup>	11.44 <sup>ab</sup>	13.37 <sup>a</sup>
16	Root Diameter	mm	0.53 <sup>c</sup>	0.54 <sup>bc</sup>	0.58 <sup>bc</sup>	0.62 <sup>b</sup>	0.60 <sup>b</sup>	0.60 <sup>bc</sup>	0.75 <sup>a</sup>
17	Shoot Fresh Weight	gr	72.75 <sup>a</sup>	51.37 <sup>b</sup>	44.00 <sup>b</sup>	43.25 <sup>b</sup>	48.00 <sup>b</sup>	47.62 <sup>b</sup>	47.55 <sup>b</sup>
18	Dry Weight Shoot	gr	15.2 <sup>a</sup>	9.50 <sup>bc</sup>	7.90 <sup>c</sup>	10.77 <sup>b</sup>	8.92 <sup>bc</sup>	10.35 <sup>bc</sup>	9.07 <sup>bc</sup>
19	Root Fresh Weight	gr	11.12 <sup>a</sup>	10.12 <sup>ab</sup>	7.72 <sup>bcd</sup>	7.05 <sup>cd</sup>	8.22 <sup>bc</sup>	7.62 <sup>cd</sup>	5.52 <sup>d</sup>
20	Root Dry Weight	gr	3.02 <sup>a</sup>	2.25 <sup>ab</sup>	2.05 <sup>b</sup>	1.97 <sup>b</sup>	1.90 <sup>b</sup>	1.80 <sup>b</sup>	1.40 <sup>b</sup>
21	SPAD Value	-	22.95 <sup>a</sup>	15.12 <sup>bc</sup>	15.21 <sup>bc</sup>	14.35 <sup>c</sup>	16.25 <sup>b</sup>	13.99 <sup>c</sup>	13.38 <sup>c</sup>
22	Leaf Area Index	cm <sup>2</sup>	211.25 <sup>a</sup>	198.0 <sup>b</sup>	191.25 <sup>b</sup>	195.50 <sup>b</sup>	203.75 <sup>b</sup>	202.5 <sup>b</sup>	201 <sup>b</sup>
23	RWC	%	92.72 <sup>a</sup>	90.17 <sup>b</sup>	90.10 <sup>b</sup>	89.47 <sup>bc</sup>	89.85 <sup>b</sup>	89.65 <sup>b</sup>	88.27 <sup>c</sup>
24	Chlorophyll a	mg g <sup>-1</sup>	0.755 <sup>a</sup>	0.518 <sup>b</sup>	0.328 <sup>d</sup>	0.333 <sup>d</sup>	0.450 <sup>bc</sup>	0.388 <sup>cd</sup>	0.357 <sup>cd</sup>
25	Chlorophyll b	mg g <sup>-1</sup>	0.330 <sup>a</sup>	0.332 <sup>a</sup>	0.214 <sup>ab</sup>	0.125 <sup>b</sup>	0.266 <sup>a</sup>	0.248 <sup>ab</sup>	0.260 <sup>ab</sup>
26	Carotenoids Content	mg g <sup>-1</sup>	0.228 <sup>a</sup>	0.193 <sup>ab</sup>	0.153 <sup>abc</sup>	0.113 <sup>bc</sup>	0.226 <sup>a</sup>	0.16 <sup>abc</sup>	0.095 <sup>c</sup>
27	FM	-	0.122 <sup>d</sup>	0.155 <sup>bcd</sup>	0.190 <sup>ab</sup>	0.197 <sup>a</sup>	0.170 <sup>abc</sup>	0.145 <sup>bc</sup>	0.161 <sup>abc</sup>
28	FO	-	0.022 <sup>b</sup>	0.022 <sup>b</sup>	0.100 <sup>ab</sup>	0.112 <sup>ab</sup>	0.257 <sup>a</sup>	0.065 <sup>ab</sup>	0.075 <sup>ab</sup>
29	FV	-	0.102 <sup>a</sup>	0.082 <sup>b</sup>	0.090 <sup>ab</sup>	0.082 <sup>ab</sup>	0.092 <sup>ab</sup>	0.077 <sup>b</sup>	0.082 <sup>b</sup>
30	FV/FM	-	0.834 <sup>a</sup>	0.541 <sup>b</sup>	0.472 <sup>cd</sup>	0.422 <sup>d</sup>	0.545 <sup>b</sup>	0.537 <sup>b</sup>	0.511 <sup>bc</sup>

در هر ردیف میانگین‌هایی که حروف یکسانی دارند، در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

In each row means with the same letters are not significant at 1% probability level.

Cd 5 (Cadmium 5), Cd 10 (Cadmium 10), Cd 20 (Cadmium 20), Pb100 (Lead 100), Pb200 (Lead 200), Pb400 (Lead 400). All units, mg. kg<sup>-1</sup> soil.



کمترین فلورسانس (FO) است. به تدریج، با افزایش درجه احیاشدن، فلورسانس افزایش می‌یابد. این فرآیند تا احیای کامل ادامه یافته و مراکز احیای فتوسیستم II به تدریج بسته می‌شود و انتقال الکترون به فتوسیستم I صورت نمی‌گیرد. در این حالت، فلورسانس کلروفیلی افزایش می‌یابد و مرکز فتوسیستم دارای بیشترین فلورسانس (Fm) است (Lu *et al.*, 2002). با استفاده از دستگاه تنش‌سنج مقادیر FO (فلورسانس حداقل در شرایط سازگاری با تاریکی)، FM (فلورسانس حداکثر در شرایط سازگاری با تاریکی) و FV (فلورسانس متغیر) نیز محاسبه گردید. هر چقدر مقادیر FM کمتر باشد، مرکز فتوسیستم II مقدار بیشتری از الکترون‌ها را به فتوسیستم I انتقال داده و فلورسانس یا مقدار نور بازتاب‌شده کمتر خواهد بود و در نتیجه کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II افزایش می‌یابد (Lu *et al.*, 2002).

در تیمار شاهد مقدار عددی مربوط به FM ۰/۱۲۲ بود که کمترین مقدار را داشت و بیشترین مقادیر مربوط به FM در تیمارهای کادمیم سرب ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، به دست آمد (۰/۱۹۷). FO در تیمار شاهد ۰/۰۲۲ و بیشترین مقدار ۰/۲۵۷ مربوط به تیمار سرب ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، بود (جدول ۴). با افزایش شدت تنش میزان FO افزایش یافت که بیانگر تخریب مرکز فتوسیستم II می‌باشد (Liang *et al.*, 1997). همچنین فلورسانس اولیه (FO) توسط تنش‌های محیطی دچار تغییراتی می‌شوند که علت آن دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II می‌باشد (Behera *et al.*, 2002). گیاهان شاهد بیشترین مقدار FV (۰/۱۰۲) را دارا بودند و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار سرب ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، ۰/۰۷۷ بود (جدول ۴). تنش‌های محیطی مقدار فلورسانس متغیر (FV) به علت ممانعت از اکسایش نوری فتوسیستم II کاهش می‌دهند. از آنجایی که فلورسانس متغیر (FV) نشانگر احیای کامل پذیرنده الکترون (Q) می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت که تنش عناصر سنگین کادمیم و سرب در انتقال الکترون به فتوسیستم I اختلال ایجاد می‌کند (Dib *et al.*, 1994; Ommen *et al.*, 1999).

کاروتنوئیدها در سمیت‌زدایی کلروفیل‌ها نقش دارند و باعث کاهش اثر سمی رادیکال‌های آزاد می‌شود. همچنین در گیاه لوبیا تنش سرب باعث کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها می‌شود (Almeida *et al.*, 2007). تمایل عنصر سرب به گروه‌های N و S باعث کاهش فعالیت فرودوکسین، کاهش فعالیت دلتا آمینولولینیک اسید دهیدراتاز به دلیل پیوند به گروه‌های SH این آنزیم و مهار سنتز کلروفیل، مهار کاتالیز آنزیمی چرخه کالوین و افزایش در فعالیت کلروفیلاز می‌شود (Han *et al.*, 2008).

#### اثر کادمیم و سرب روی کلروفیل فلورسانس (فتوسیستم II)

نتایج نشان داد عملکرد فتوسیستم II کلروفیل تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کادمیم و سرب تفاوت معنی‌داری نشان دادند، به طوری که با افزایش غلظت کادمیم و سرب، عملکرد و کارایی فتوسیستم II کاهش یافت.

شاخص FV/FM کارایی و عملکرد فتوسیستم II را نشان می‌دهد که اگر مقدار عددی FV/FM بالاتر از ۰/۸ باشد گیاه در حالت طبیعی بوده و کمتر از این مقدار نشان‌دهنده آن است که گیاه دچار تنش شده است (Lu *et al.*, 2002). نسبت FV/FM نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم II می‌باشد و با عملکرد کوانتوم فتوسنتز خالص همبستگی دارد که می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه شرایط لازم برای انتقال الکترون از فتوسیستم II بهتر باشد، عملکرد کوانتوم فتوسنتز خالص بالا خواهد رفت (Lu *et al.*, 2002). مقدار فلورسانس کلروفیل سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I را نشان می‌دهد. وقتی مولکول‌های کوپینون (اولین گیرنده الکترون در فتوسیستم II) در وضعیت اکسید شده هستند (وضعیتی که مرکز واکنش فتوسیستم ۲ فعال بوده و پذیرنده‌های الکترون که انرژی را به پلاستوکوپینون و از پلاستوکوپینون به فتوسیستم یک انتقال داده و صرف تولید ATP و NADH می‌کنند)، در آن حالت سیستم دارای

### نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد عناصر سنگین سرب و کادمیم بسیاری از خصوصیات ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و شاخص‌های فتوسنتزی گیاه ریحان را تحت تأثیر قرار داد و به نظر می‌رسد که ریحان از گیاهان حساس به این عناصر سنگین باشد. با توجه به این که تُرد بودن و همچنین وجود شاخه‌های فرعی کمتر سبزی‌های برگ‌مانند ریحان از فاکتورهای مهم کیفیت می‌باشد، لذا کشت ریحان در خاک‌های غیرآلوده، باعث افزایش کیفیت محصول خواهد شد. غلظت‌های بیشتر سرب و کادمیم اثر منفی بیشتری بر بسیاری از ویژگی‌های مورد مطالعه در این پژوهش داشتند، چنانچه با تأثیر منفی بر میزان کلروفیل‌ها و

کاروتنوئیدها و همچنین عملکرد فتوسیستم II، میزان عملکرد را کاهش داد و علاوه بر آن باعث شد که مقدار کادمیم و سرب در گیاه بیشتر شود. با توجه به اینکه افزایش کادمیم و سرب برای سلامت انسان مضر و خطرات جدی به همراه دارد، لازم است از کشت سبزیجات در مناطق آلوده به فلزات سنگین مانند کادمیم و سرب جلوگیری شود.

### سپاسگزاری

از ارائه خدمات گلخانه‌ای و آزمایشگاهی، آزمایشگاه پومولوژی (میوه‌کاری) گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و حمایت‌های مالی دانشگاه تربیت مدرس، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### REFERENCES

1. Agrawal, V. & Sharma, K. (2006). Phytotoxic effects of Cu, Zn, Cd and Pb on *in vitro* regeneration and concomitant protein changes in *Holarrhena antidyenterica*. *Biologia Plantarum*, 50, 307-310.
2. Ali, B., Rani, I., Hayat, S. & Ahmad, A. (2007). Effect of 4-Cl-indole-3-acetic acid on the seed germination of *Cicer arietinum* exposed to cadmium. *Acta Botanica Croatica*, 66, 57-65.
3. Almeida, A.A., Valle, R.R., Mielke, M.S. & Gomes, F.P. (2007). Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 83-98.
4. Arnon, A. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
5. Asgari lajayer, H., Hadian, J., Motesarezadeh, B. & GHorbanpour, M. (2014). Assessing different levels of zinc and copper impacts on micro-and macro elements accumulation and translocation in various parts of *Ocimum basilicum* L. plant. *South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 5, 105-123.
6. Barceló, J. & Poschenrieder, C. (1990). Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *Journal of Plant Nutrition*, 13, 1-37.
7. Behera, R.K., Mishra, P.C. & Choudhury, N.K. (2002). High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. *Journal of Plant Physiology*, 159, 967-973.
8. Bigdeli, M. & Seilsepour, M. (2008). Investigation of metals accumulation in some vegetables irrigated with waste water in Shahre Rey-Iran and toxicological implications. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 4(1), 86-92.
9. Chaiyarat, R., Suebsima, R., Putwattana, N., Kruatrachue, M. & Pokethitoyook, P. (2011). Effects of soil amendments on growth and metal uptake by *Ocimum gratissimum* grown in Cd/Zn-contaminated soil. *Water, Air & Soil Pollution*, 214, 383-392.
10. Dib, T.A., Monneveux, P., Acevedo, E. & Nachit, M. (1994). Evaluation of proline analysis and chlorophyll fluorescence quenching measurements as drought tolerance indicators in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Euphytica*, 79, 65-73.
11. Gonçaves, J.F., Antes, F.G., Maldaner, J., Pereira, L.B., Tabaldi, L.A., Rauber, R., Rossato, L.V., Bisognin, D.A., Dressler, V.L. & de Moraes Flores, E.M. (2009). Cadmium and mineral nutrient accumulation in potato plantlets grown under cadmium stress in two different experimental culture conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47, 814-821.
12. Gulcin, I., Elmastas, M. & Aboul-Enein, H.Y. (2007). Determination of antioxidant and radical scavenging activity of Basil (*Ocimum basilicum* L. Family Lamiaceae) assayed by different methodologies. *Phytotherapy Research*, 21, 354-361.
13. Han, Y. L., Huang, S. Z., Gu, J. G., Qiu, S. & Chen, J. M. (2008). Tolerance and accumulation of lead by species of *Iris* L. *Ecotoxicology*, 17, 853-859.
14. Huang, Z., Pan, X.-D., Wu, P.-G., Han, J.-L. & Chen, Q. (2014). Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*, 36, 248-252.

15. Hussain, I., Iqbal, M., Qurat-ul-Ain, S., Rasheed, R., Mahmood, S., Perveen, A. & Wahid, A. (2012). Cadmium dose and exposure-time dependent alterations in growth and physiology of maize (*Zea mays*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 959-964.
16. Joint, F. & Additives, W.E.C.O.F. (1985). FAO/WHO food additives data system: evaluations by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 1956-1984.
17. Khatib, M., Rashed, M.M.H., Ganjali, A. & Lahouti, M. (2008). The effects of different nickel concentrations on some morpho-physiological characteristics of parsley (*Petroselinum crispum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 2008, 6 (2), 295-302. (In Farsi)
18. Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace elements in Soils and Plants*. CRC Press. P.403.
19. Liang, J., Zhang, J. & Wong, M. (1997). Can stomatal closure caused by xylem ABA explain the inhibition of leaf photosynthesis under soil drying?. *Photosynthesis Research*, 51, 149-159.
20. Lone, M.I., He, Zl., Stoffella, P.J. & Yang, Xe. (2008). Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9, 210-220.
21. Lu, C., Qiu, N., Lu, Q., Wang, B. & Kuang, T. (2002). Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown outdoors?. *Plant Science*, 163, 1063-1068.
22. Majer, B.J., Tschierko, D., Paschke, A., Wennrich, R., Kundi, M., Kandeler, E. & Knasmüller, S. (2002). Effects of heavy metal contamination of soils on micronucleus induction in *Tradescantia* and on microbial enzyme activities: a comparative investigation. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 515, 111-124.
23. Manios, T., Stentiford, E.I. & Millner, P.A. (2003). The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferous water. *Ecological Engineering*, 20, 65-74.
24. McKenna, I.M., Chaney, R.L. & Williams, F.M. (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, 113-120.
25. Nriagu, J.O. & Pacyna, J.M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333, 134-139.
26. Ommen, O., Donnelly, A., Vanhoutvin, S., Van Oijen, M. & Manderscheid, R. (1999). Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO<sub>2</sub> concentrations and other environmental stresses within the 'ESPACE-wheat' project. *European Journal of Agronomy*, 10, 197-203.
27. Ouzounidou, G., Čiamporová, M., Moustakas, M. & Karataglis, S. (1995). Responses of maize (*Zea mays* L.) plants to copper stress-I. growth, mineral content and ultrastructure of roots. *Environmental and Experimental Botany*, 35, 167-176.
28. Pruvot, C., Douay, F., Hervé, F. & Waterlot, C. (2006). Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas. *Journal of Soils and Sediments*, 6(4), 215-220.
29. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
30. Root, R.A., Miller, R.J. & Koeppe, D. (1975). Uptake of cadmium-its toxicity, and effect on the iron ratio in hydroponically grown corn. *Journal of Environmental Quality*, 4, 473-476.
31. Sharma, R.K., Agrawal, M. & Marshall, F.M. (2009). Heavy metals in vegetables collected from production and market sites of a tropical urban area of India. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 583-591.
32. Sekabira, K., Oryemndash, H., Mutumba, G., Kakudidi, E. & Basamba, T. (2011). Heavy metal phytoremediation by *Commelina benghalensis* (L) and *Cynodon dactylon* (L) growing in urban stream sediments. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(8), 133-142.
33. Singh, R. & Agrawal, M. (2010). Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, 632-641.
34. Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K. & Bigger, S.W. (2003). Antimicrobial properties of basil and its possible application in food packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3197-3207.
35. Tiller, K., McLaughlin, M.J. & Roberts, A. (1999). Environmental impacts of heavy metals in agro ecosystems and amelioration strategies in Oceania. *Soils and Groundwater Pollution and Remediation: Asia, Africa, and Oceania*, 1, 1-41.
36. Torabian, A. & Mahjouri, M. (2002). Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with wastewater in south Tehran. *Journal of Environmental Studies*, 16(2), 52-61. (In Farsi).
37. Vara Prasad, M.N. & de Oliveira Freitas, H.M. (2003). Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, 285-321.
38. Yu, L., WANG, Yb., Xin, G., SU, Yb. & Gang, W. (2006). Risk assessment of heavy metals in soils and vegetables around non-ferrous metals mining and smelting sites, Baiyin, China. *Journal of Environmental Sciences*, 18, 1124-1134.
39. Zheljzakov, V.D., Craker, L.E. & 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.