

تأثیر بهسازهای معدنی با پوشش کیتوسان بر جذب سرب و خصوصیات رویشی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

مریم شکوری^{۱*}، محمد باباکبری ساری^۲، سمانه عبدوسی^۳، اکبر حسنی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱)

(تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۶)

چکیده

آلودگی خاک و گیاه مشکلی جدی است که در سال‌های اخیر به دلیل پیامدهای آن بر سلامتی انسان و زیست‌بوم، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. مصرف روزانه محصولات کشاورزی مهم‌ترین مسیر رویارویی انسان با آلاینده‌ها و بیماری‌های گوناگون است. در این مطالعه، پیامد نوع و مقادیر مختلف بهسازها بر جذب سرب در نعناع فلفلی در شرایط گلخانه بررسی گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۱۰ نوع بهساز: نانوسیلیس، میکروسیلیس، فروسیلیس و فروسیلیس منیزیم‌دار (با و بدون پوشش کیتوسان)، کیتوسان و بنتونیت، در پنج مقدار (صفر، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵ و یک درصد) بود. نتایج نشان داد تمام بهسازهای مورد آزمایش، بر غلظت سرب گیاه، فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی اثر کاهشی داشتند. در بین بهسازها، میکروسیلیس بیشترین تأثیر را در کاهش سرب برگ و ریشه و فاکتور تجمع زیستی برگ و ریشه داشت. از سوی دیگر، کیتوسان در مقایسه با سایر بهسازها، بر کاهش فاکتور انتقال تأثیر بیشتری داشت. همچنین، موثرترین بهساز بر صفات رویشی، فروسیلیس پوشش‌دار شده با کیتوسان، بنتونیت، کیتوسان و میکروسیلیس بود. با توجه به نتایج به دست آمده، فروسیلیس پوشش‌دار شده با کیتوسان و میکروسیلیس نقش موثرتری در کاهش اثرات سرب بر گیاه نعناع فلفلی داشتند.

واژه‌های کلیدی: سرب، فروسیلیس، کیتوسان، میکروسیلیس، نانوسیلیس

شکوری م.، باباکبری ساری م.، عبدوسی س.، حسنی ا. ۱۴۰۰. تأثیر بهسازهای معدنی با پوشش کیتوسان بر جذب سرب و خصوصیات رویشی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۳. صفحه: ۸۹-۱۰۳.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان (مکاتبه کننده)

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

۳- محقق بخش تحقیقات آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران

* پست الکترونیک: M_shakoori@znu.ac.ir

مقدمه

فلزات سنگین، به‌ویژه سرب، از آلاینده‌های مهم زیست‌محیطی هستند که سلامت انسان، حیوانات و محیط‌زیست را به‌طور جدی تهدید می‌کنند (Abioye et al., 2013). منبع اصلی آلودگی سرب، معدن کاوی است. اما فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی نیز از منابع مهم آلودگی سربی به‌شمار می‌روند (Marchiol et al., 2004). سرب عنصری ضروری برای گیاهان و حیوانات نیست. با این وجود، می‌تواند به‌راحتی توسط گیاهان و حیوانات جذب شود (Sengar et al., 2008).

سرب همانند سایر فلزات سنگین، سبب بروز مشکلات فراوانی برای گیاه می‌شود. به‌طوری‌که غلظت زیاد آن سبب تغییرات مورفولوژیکی از قبیل کاهش زیست توده، جلوگیری از جوانه‌زنی، اقلای کلروز و نکروز برگ، تغییر رنگ و چوبی شدن ریشه (Islam et al., 2008) و نیز کاهش حجم ریشه (Menon et al., 2007) در گیاه می‌شود. سرب برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه مانند عملکرد روزنه‌ها را مختل نموده و بر محتوای نیترات، روابط آبی سلول‌ها، فتوسنتز و تنفس اثر می‌گذارد (Islam et al., 2007). بررسی خاک‌های کشاورزی حاشیه کارخانه‌های صنعتی نشان داده است که خاک این مزارع آلوده به سرب و کادمیوم هستند که بسیار نگران‌کننده است (Golchin, 2003). پاکسازی سرب از پیکره خاک بسیار دشوار است. به‌دلیل پیوندهای قوی سرب با ذرات خاک از طریق مکانیسم‌های جذب سطحی، تبادل کاتیونی، رسوب و تشکیل کمپلکس با مواد آلی، انتقال آن بیشتر در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متری سطح خاک صورت می‌گیرد (Raskin & Ensley, 2000).

از نانو جاذب‌های فلزی و غیرفلزی مختلفی از قبیل نانو لوله، نانو صفحه و نانو ذرات کربنی و نانو ذرات سیلیسی برای کاهش فراهمی عناصر سنگین استفاده شده است. همچنین، انواع مختلفی از نانو رس‌های پلیمری و بهساز شده نیز با هدف حذف عناصر سنگین به کار رفته‌اند. اکسیدهای فلزی مختلف مانند آهن، منیزیم، منگنز،

سیلیس و ترکیبات بهساز شده آن‌ها نیز برای کاهش فراهمی عناصر مورد استفاده قرار گرفته است (sability El et al., 2008). در این تحقیق‌ها، مشخص شده است که پارامترهای مختلفی مانند اندازه، شیمی سطح، ساختار بلوری، پایداری و انحلال‌پذیری و استحکام بهسازها در میزان جذب آلاینده موثرند. به‌طوری‌که اندازه کوچک، سطح ویژه بالا و فعالیت و بار سطحی، مهمترین عوامل در جذب آلاینده‌ها هستند (Diallo & Savage, 2005).

از مهم‌ترین معیارها برای انتخاب یک بهساز، قیمت مناسب، دسترسی آسان و زیست سازگار بودن جاذب‌ها می‌باشد (Diallo & Savage, 2005). در این پژوهش، با هدف انتخاب جاذب ارزان و مناسب جهت کاهش و یا تثبیت فلز سرب در خاک آلوده، جاذب‌های متفاوتی شامل نانوسیلیس، میکروسیلیس، فروسیلیس و فروسیلیس منیزیم‌دار (با و بدون پوشش کیتوسان)، کیتوسان و بنتونیت مورد آزمایش قرار گرفت. از سوی دیگر، نعنای فلفلی با نام علمی *Mentha piperita L* از خانواده *Lamiaceae* از جمله گیاهان دارویی و معطری است که اسانس آن مصارف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی فراوانی دارد. در حال حاضر، این گیاه در مناطق مختلف کشور توسط افراد و شرکت‌های مختلف کشت می‌شود (Yazdani et al., 2002). بنابراین، با توجه به اهمیت این گیاه در صنعت دارویی و بهداشتی، به عنوان گیاه مورد آزمایش انتخاب گردید.

مواد و روش‌ها

روش پوشش‌دار کردن جاذب‌ها با کیتوسان

کیتوسان مورد نیاز از شرکت نانو ذره زرافشان تهیه گردید. به‌منظور تهیه محلول چهار درصد کیتوسان، ۴ گرم پودر کیتوسان در اسید استیک دو درصد با pH=3 حل گردید. محلول تهیه شده بر روی هیتر با دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس تا مرحله شفاف شدن محلول، هم‌زده شد. سپس، حدود ۶۰ گرم از هر کدام از جاذب‌ها به‌طور جداگانه به تدریج به محلول کیتوسان چهار درصد افزوده شد و حدود دو ساعت تکان داده شد. پس از اختلاط کامل

مورد نظر در اندام‌های گیاهی کم می‌باشد. انحلال‌پذیری عنصر در مایعات بافتی و متابولیسم حاکم بر گونه گیاهی از جمله عوامل اصلی در تعیین مقادیر این پارامتر هستند (Yoon *et al.*, 2006).

$$TF = \frac{\text{غلظت عنصر در اندام هوایی}}{\text{غلظت عنصر در ریشه}} \quad (1)$$

فاکتور تجمع زیستی (BCF)

یکی از فاکتورهای مهم که برای اندازه‌گیری میزان تمرکز عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، فاکتور تجمع زیستی است که از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌شود (Yoon *et al.*, 2006).

$$BCF_{\text{shoot}} = \frac{\text{غلظت عنصر در بخش هوایی}}{\text{غلظت عنصر در خاک}} \quad (2)$$

$$BCF_{\text{root}} = \frac{\text{غلظت عنصر در ریشه}}{\text{غلظت عنصر در خاک}} \quad (3)$$

گونه‌های دارای مقادیر فاکتور تجمع زیستی بالا (بیشتر از ۱) برای یک فلز خاص، می‌توانند به‌عنوان گونه انباشتگر آن عنصر، در نظر گرفته شوند (Yoon *et al.*, 2006).

میزان جذب عناصر مورد بررسی

میزان جذب عناصر با استفاده از فرمول‌های شماره (۴) و (۵) محاسبه گردید:

(۴) غلظت فلز برگ × وزن خشک برگ = مقدار جذب برگ

(۵) غلظت فلز ریشه × وزن خشک ریشه = مقدار جذب ریشه

آنالیز داده‌ها

آنالیز داده‌ها با نرم افزار SPSS انجام گرفت و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد. آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد به منظور مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

کیتوسان و جاذب‌های معدنی توسط هیتر استریز، سود ۰/۰۱ مولار به تدریج به محلول اضافه شد تا کیتوسان روی سطح ذره رسوب نماید. در نهایت، پس از شست و شوی جاذب با آب مقطر، به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و به اندازه مورد نظر پودر شد (Asere *et al.*, 2017).

خاکی با آلودگی بالای سرب (جدول ۱) از اطراف شهرک تخصصی روی واقع در شهر زنجان جمع‌آوری و به گلخانه منتقل شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل ۱۰ نوع بهساز (نانوسیلیس، میکروسیلیس، فروسیلیس و فروسیلیس منیزیم‌دار) تهیه شده از شرکت فروسیلیس ایران (با و بدون پوشش کیتوسان)، بنتونیت و کیتوسان، مقدار بهساز (صفر، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵ و یک درصد) بود.

جاذب‌های مورد نظر به خاک آلوده اضافه گردید و پس از هشت مرحله تر و خشک شدن خاک، کشت نعنای فلفلی با استفاده از ریزوم‌های یکسان انجام شد. پس از گذشت ۲ ماه و پایان دوره کشت، ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، غلظت سرب در بخش هوایی و ریشه گیاه با روش هضم خشک (Jones & Case, 1990) استخراج گردید و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian) اندازه‌گیری شد.

فاکتورهای اندازه‌گیری شده در گیاه

فاکتور انتقال (TF)

این فاکتور جهت ارزیابی توانایی گیاه در انتقال فلز از ریشه به بخش هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فاکتور با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Yoon *et al.*, 2006). گیاهان به طور معمول دارای $TF < 1$ هستند. $TF > 1$ نشان می‌دهد که گیاهان نه تنها آلاینده را تحمل می‌کنند، بلکه از یک روش سودمند برای جذب آلودگی استفاده می‌کنند (Chanu & Gupta, 2016). مقادیر کمتر از ۱ برای فاکتور انتقال نشان می‌دهد که تمایل گیاه به تجمع عنصر در ریشه نسبت به بخش هوایی بیشتر می‌باشد و تحرک عنصر

4 . Magnesium ferrosilicon
5 . Chitosan

1 . Nano silica
2 . Micro silica
3 . Ferrosilicon

جدول ۱ - برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در آزمایش
Table1. Some physico-chemical properties of the soil used in the experiment

Property	Sand	Silt	Clay	texture	OC	pH	EC	Pb	*Critical total Pb concentration in soil
Unit	%					-	ds.m ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
Value	19	33	48	Clay	1.8	7.84	1.95	277	100-400

یافت خاک به روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962)، کربن آلی (OC) به روش اکسایش تر (Walkly and Black, 1934)، هدایت الکتریکی (EC) و pH در عصاره اشباع خاک (Burt, 2004)، سرب قابل دسترس به روش DTPA (Lindsay and Norvell, 1978)

Soil texture (hydrometer method, Bouyoucos, 1962), Organic carbon (wet-oxidation, Walkly and Black, 1934), Electrical conductivity (EC) and pH in saturated paste extracts (Burt, 2004), and total Pb (DTPA, Lindsay and Norvell, 1978).
* Kabatia-Pendias and Pendias (1992)

بر کیلوگرم مشاهده گردید. همچنین، در مقادیر مختلف به کار رفته در هر یک از بهسازها، مشاهده گردید که با افزایش مقدار بهساز در خاک، غلظت سرب بخش هوایی کاهش یافت (جدول ۳). در بخش ریشه نیز با افزایش مقدار بهساز در خاک، غلظت سرب ریشه در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. کمترین میزان سرب ریشه با میانگین‌های ۱۷۱ و ۱۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب مربوط به مقدار یک درصد بهسازهای میکروسیلیس و فروسیلیس بود (جدول ۳).

نتایج و بحث غلظت سرب

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر متقابل نوع × مقدار بهساز بر غلظت سرب بخش هوایی و ریشه معنی‌دار شد ($P < 0.01$). کاربرد بهساز در خاک موجب کاهش غلظت سرب بخش هوایی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بهساز) شد (جدول ۳). کمترین میزان سرب بخش هوایی در تیمار یک درصد بهسازهای فروسیلیس و کیتوسان به ترتیب با میانگین‌های ۴۳/۹۴ و ۴۴ میلی‌گرم

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای آزمایشی بر غلظت، فاکتور انتقال و تجمع زیستی سرب در نعنای فلفلی

Table 2. Variance analysis of effects of experimental treatments on Pb concentration, bioaccumulation (BCF) and translocation factor (TF) of Peppermint (*Mentha piperita* L).

S.O.V	df	Mean squares				
		Pb Shoot	Pb root	TF	BCF Shoot	BCF Root
AMDT type	9	4391.3712**	56798.655**	0.068235**	0.003049**	0.039443**
AMDT Amount	3	28156.388**	147537.917**	0.070616**	0.019553**	0.102456**
Type × Amount	27	3578.993**	4713.5957**	0.044688**	0.002485**	0.00327**
Error	82	35.2027	110.802	0.000511	0.000024	0.000077
Cv	-	6.86	3.24	8.49	6.86	3.25

** : significant at 1% probability

AMDT: Amendment

**، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

سایر بهسازها، مقدار فاکتور انتقال تیمار شاهد در مقایسه با سطوح مختلف بهساز به کار رفته در خاک، بیشتر بود (جدول ۳). مقدار فاکتور انتقال سرب در بهساز کیتوسان در مقایسه با سایر بهسازهای به کار رفته در آزمایش، کمتر بود و این ماده میزان فاکتور انتقال سرب را در مقایسه با تیمار شاهد، بیشتر کاهش داد (جدول ۳).

فاکتور انتقال

تغییرات مربوط به مقادیر فاکتور انتقال سرب تحت تاثیر اثر متقابل نوع × مقدار بهساز معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار ۰/۵ درصد فروسیلیس منبسط‌ترین مقدار فاکتور انتقال (۱/۰۱) را داشت.

فاکتور تجمع زیستی بخش هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج بدست آمده

فاکتور تجمع زیستی

مشابه با فاکتور انتقال، اثر متقابل نوع × مقدار بهساز بر

آمد. به طوریکه مقدار فاکتور تجمع زیستی سرب ریشه در تیمارهای حاوی بهساز کمتر از مقدار این فاکتور در تیمار شاهد (بدون بهساز) بود. در بین بهسازهای به کار رفته، به ساز میکرو سیلیس با سطح یک در صد، کمترین مقدار فاکتور تجمع زیستی ریشه (میانگین ۰/۱۲) را داشت (جدول ۳).

نشان داد که با کاربرد بهسازهای مختلف در خاک، مقدار فاکتور تجمع زیستی سرب بخش هوایی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بهساز) کاهش یافت. کمترین مقدار فاکتور تجمع زیستی بخش هوایی با میانگین ۰/۰۳ به ترتیب در تیمار یک درصد بهسازهای کیتوسان، نانوسیلیس پوشش دار شده با کیتوسان، فروسیلیس و فروسیلیس منیزیم بدست آمد. در بخش ریشه نیز روند مشابهی بدست

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع و مقدار بهساز بر غلظت، فاکتور انتقال و تجمع زیستی سرب نعنای فلفلی

Table 3. Mean comparison of interaction effects of amendment type and amount on Pb concentration, bioaccumulation (BCF) and translocation factor (TF) of Peppermint (*Mentha piperita* L).

Amendment Type	Amount	--- Pb concentration (mg.kg ⁻¹)---		TF	BCF	
		shoot	Root		Shoot	Root
NS	0	332 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.483 a
	0.125	118 d	440 f	0.27 f-i	0.09 d	0.35 f
	0.25	78.94 i-m	407 g	0.19 m-q	0.06 g-i	0.32 g
	0.5	66.67 n-p	329 i-k	0.2 k-p	0.05 j-m	0.26 h-k
	1	50.94 s-v	295 no	0.17 o-p	0.04 i-o	0.23 m-o
MS	0	332 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.48 a
	0.125	70.83 l-n	335 h-k	0.21 k-n	0.05 h-k	0.27 h-k
	0.25	58.27 p-s	195 tu	0.29 e-g	0.04 k-n	0.16 tu
	0.5	51.78 r-v	184 uv	0.28 f-h	0.04 m-o	0.14 uv
	1	51.66 r-v	159 w	0.32 de	0.04 m-o	0.12 w
FS	0	332 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.48 a
	0.125	79.55 i-m	333 i-k	0.23 i-l	0.06 g-i	0.26 h-k
	0.25	69.66 m-o	292 no	0.24 i-k	0.05 h-k	0.23 m-o
	0.5	55.50 q-u	266 pq	0.2 k-n	0.04 k-n	0.21q-s
	1	43.94 v	171 vw	0.25 h-j	0.03 o	0.13 vw
FSM	0	332 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.48 a
	0.125	309 b	306 nm	1.01 a	0.24 b	0.24 i-n
	0.25	78.94 i-m	262 ih	0.3 ef	0.06 g-i	0.2 q-s
	0.5	61.66 n-r	243 hj	0.25 h-g	0.04 k-n	0.19 s
	1	46.78 uv	237 g	0.19 i-p	0.03 no	0.19 s
BT	0	332 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.48 a
	0.125	107 e	574 b	0.18 n-q	0.08 de	0.46 b
	0.25	94.94 g	461 e	0.2 k-n	0.07 ef	0.36 e
	0.5	84.55 hi	354 i	0.23 i-l	0.07 fg	0.28 h
	1	60.39 o-s	295 no	0.2 k-n	0.04 k-n	0.23 m-o
CS	0	322 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.48 a
	0.125	97.33 fg	549 c	0.17 n-q	0.07 ef	0.44 c
	0.25	80.94 i-l	500 d	0.16 pq	0.66 f-h	0.40 d

	0.5	53.61 r-v	340 h-j	0.15 q	0.04 o	0.27 h-j
	1	44 v	261 gr	0.16 pq	0.03 o	0.21 q-s
NS + CS	0	332 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.48 a
	0.125	110 de	302 no	0.37 c	0.08 de	0.24 i-n
	0.25	71.83 j-n	269 pq	0.26 f-j	0.06 g-j	0.21 p-r
	0.5	66.39 n-p	252 q-s	0.26 g-j	0.05 j-m	0.2 rs
	1	47 t-v	203 t	0.23 i-m	0.03 no	0.16 t
MS + CS	0	332 a	602 a	0.55 b	0.26 a	0.48 a
	0.125	136 c	414 g	0.32 de	0.1 c	0.33 g
	0.25	114 de	336 h-k	0.34 cd	0.09 d	0.26 h-k
	0.5	81.39 i-k	271 pq	0.3 e-g	0.06 f-h	0.21 qr
	1	57.27 p-t	246 rs	0.23 i-m	0.04 i-o	0.19 s
FS + CS	0	332 a	602a	0.55b	0.26a	0.48a
	0.125	92.33 gh	345hi	0.26f-i	0.07ef	0.27hi
	0.25	82 ij	322j-l	0.25h-j	0.06f-h	0.25j-l
	0.5	64.22 n-q	282op	0.22j-m	0.05i-l	0.22o-q
	1	55.33 q-u	262qr	0.2k-n	0.04i-o	0.21q-s
FSM + CS	0	332a	602a	0.55b	0.26a	0.48a
	0.125	104ef	446ef	0.23i-l	0.08e	0.35ef
	0.25	77.83i-m	327i-k	0.24i-k	0.06g-j	0.26i-l
	0.5	71.33k-n	317k-m	0.22j-m	0.05h-k	0.25k-m
	1	62.05n-r	290no	0.21k-n	0.05j-m	0.23n-p

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند ($P < 0.05$).

The same letters in each column are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test

Abbreviation: NS (Nano Silicon), MS (Micro Silicon), FS (Ferro silicon), FSM (Ferro silicon magnesium), BT (Bentonite), CS (Chitosan).

داد که بیشترین تعداد برگ (۲۹۸ عدد برگ) و ارتفاع (۱۹ سانتی‌متر) به ترتیب مربوط به بهساز فروسیلیس پوشش‌دار شده با کیتوسان و فروسیلیس بود (شکل‌های ۱ و ۲). بیشترین میانگین وزن تر بخش‌هوایی و ریشه با میانگین های ۲۶/۸۸ و ۲۵/۳۹ گرم در گلدان مربوط به بهسازهای فروسیلیس پوشش‌دار شده با کیتوسان و بنتونیت بود. بیشترین وزن خشک بخش‌هوایی و ریشه با میانگین های ۴/۷۱ و ۳/۵ گرم در گلدان به بهسازهای کیتوسان و میکروسیلیس تعلق داشت (شکل‌های ۳ و ۴).

بر اساس نتایج به دست آمده، به‌ساز میکروسیلیس باعث کاهش بیشتر غلظت سرب بخش‌هوایی و ریشه شد و از این نظر این به‌ساز نسبت به سایر بهسازها مناسب‌تر بود. محققان نشان دادند سرب توسط کانی میکروسیلیس که دارای بار سطحی منفی است جذب شد (Zhang *et al.*, 2012).

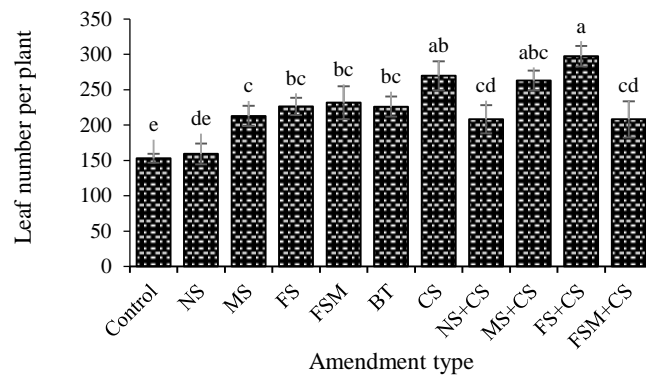
مشخصات رویشی نعنای فلفلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر نوع بهساز بر صفات مورد مطالعه معنادار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان

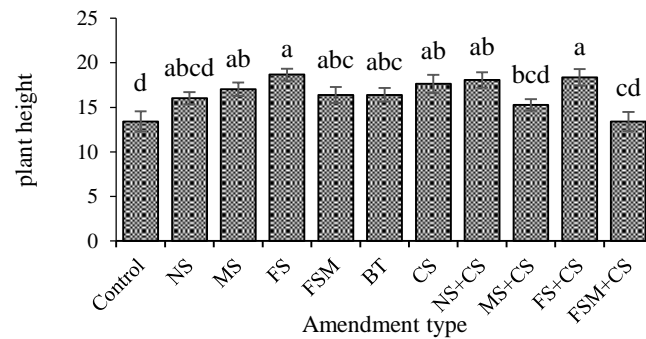
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات رویشی و غلظت سرب نعنای فلفلی

Table 4. Results of variance analysis of the effects of experimental treatments on growth characteristics and Pb uptake of Peppermint (*Mentha piperita* L).

S.O.V	df	Mean squares							
		Number of leaves	Height	Wet weight		Dry weight		Pb uptake	
				Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
AMDT Type	9	14404.934**	20.264*	202.714**	184.346*	6.548**	2.82**	42271.76*	368647.7**
AMDT Amount	4	36616.76**	75.319**	915.028**	92.676 ^{ns}	16.202**	7.943**	741959.61**	354397.1**
Type × Amount	36	4314.953 ^{ns}	10.46 ^{ns}	54.433*	49.706 ^{ns}	1.785*	0.71 ^{ns}	50705.45**	79554.9 ^{ns}
Error	100	2984.5	10.101	30.975	82.66	1.076	0.78	18509.1	88116
Cv	-	0.32	0.22	0.49	0.47	0.47	0.46	0.68	0.43

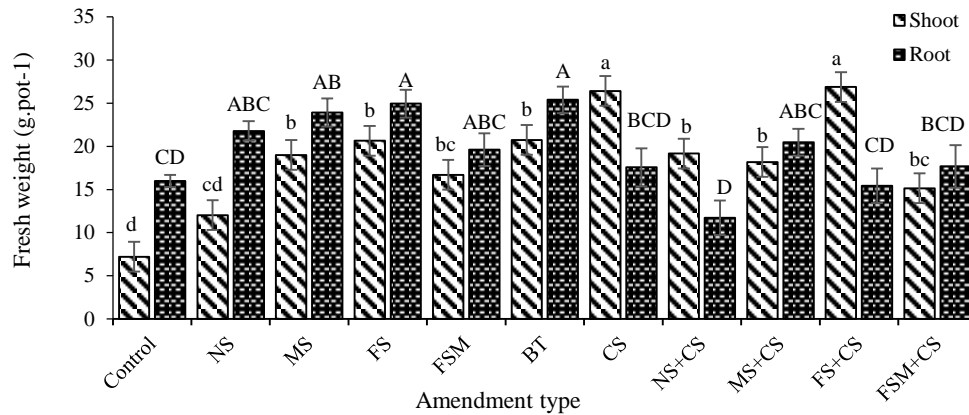
، *، ^{ns}، به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی دار، *، ^{ns}، significant at one, five percent, and non-significant amount s, respectively AMDT: Amendment

شکل ۱- اثر نوع بهساز بر تعداد برگ در بوته نعنای فلفلی

Figure 1. Effect of amendment type on leaf number per plant of Peppermint (*Mentha piperita* L.).

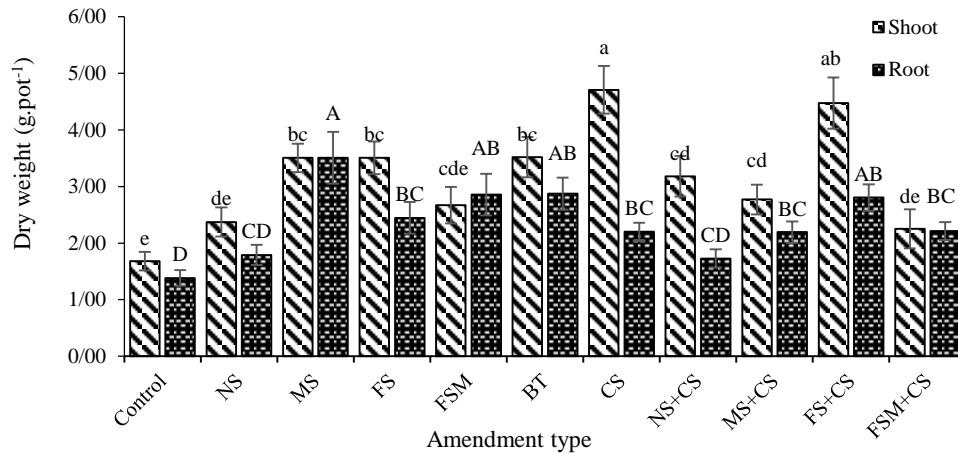
شکل ۲- اثر نوع بهساز بر ارتفاع بوته نعنای فلفلی

Figure 2. Effect of amendment type on plant height of Peppermint (*Mentha piperita* L.).



شکل ۳- اثر نوع بهساز بر وزن تر بخش هوایی و ریشه نعناع فلفلی

Figure 3. Effect of the amendment type on shoot and root fresh weight of Peppermint (*Mentha piperita* L.)
Abbreviation: NS (Nano Silicon), MS (Micro Silicon), FS (Ferro silicon), FSM (Ferro silicon magnesium), BT (Bentonite), CS (Chitosan).

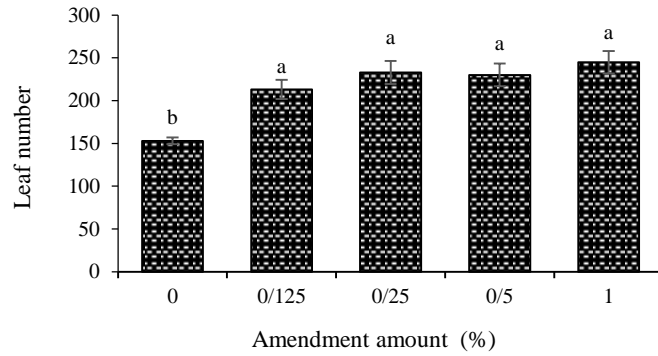


شکل ۴- اثر نوع بهساز بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه نعناع فلفلی

Figure 4. Effect of amendment type on shoot and root dry weight of Peppermint (*Mentha piperita* L.)
Abbreviation: NS (Nano Silicon), MS (Micro Silicon), FS (Ferro silicon),
FSM (Ferro silicon magnesium), BT (Bentonite), CS (Chitosan) (Bentonite), CS (Chitosan).

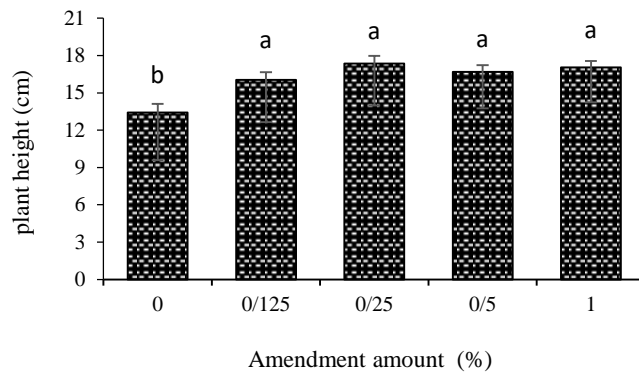
مربوط بود (شکلهای ۵ و ۶). بیشترین مقدار وزن تر بخش هوایی و ریشه مربوط به سطوح ۰/۲۵ و یک درصد با میانگین های ۲۰/۴۵ و ۲۰/۳۶ گرم در گلدان و کمترین میزان با میانگین ۷/۲ و ۱۵/۹۸ گرم در گلدان مربوط به مقدار صفر بود (شکل ۷). بیشترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه به ترتیب با میانگین های ۳/۵۲ و ۲/۶۴ گرم در گلدان به سطوح یک درصد تعلق داشت (شکل ۸).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که مقدار بهسازها بر صفات مورد مطالعه به استثنای وزن تر ریشه (که در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود)، تاثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشت. مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح مختلف بهسازها نشان داد که بیشترین تعداد برگ در گلدان و ارتفاع بوته گیاه نعناع به ترتیب با میانگین های ۲۴۴ و ۱۷/۴۵ سانتی متر به سطوح یک و ۰/۲۵ درصد بهسازها و کمترین مقدار به مقدار صفر



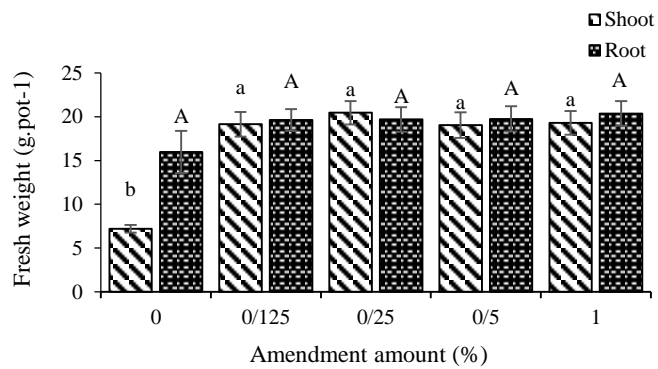
شکل ۵- اثر مقدار بهساز بر تعداد برگ نعناع فلفلی

Figure 5. Effect of amendment amount on leaf number of Peppermint (*Mentha piperita* L.)



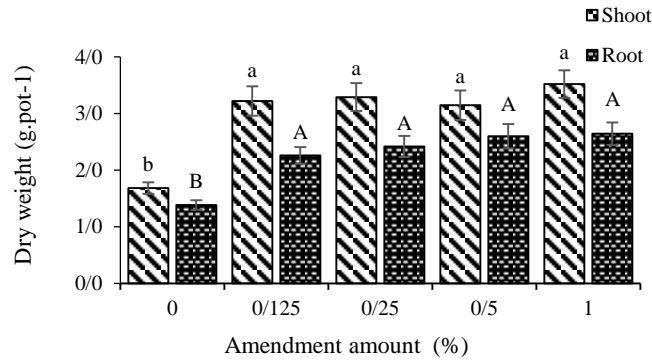
شکل ۶- اثر مقدار بهساز بر ارتفاع نعناع فلفلی

Figure 6. Effect of amendment amount on plant height of Peppermint (*Mentha piperita* L.)



شکل ۷- اثر مقدار بهساز بر وزن تر بخش هوایی و ریشه نعناع فلفلی

Figure 7. Effect of amendment amount on shoot and root fresh weight of Peppermint (*Mentha piperita* L.)



شکل ۸- اثر مقدار بهساز بر وزن خشک بخش‌های هوایی و ریشه نعنای فلفلی

Figure 8. Effect of amendment amount on shoot and root dry weight of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

بیشترین وزن تر و خشک بخش‌های هوایی به ترتیب در مقدار ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد با میانگین‌های ۳۰/۸ و ۵/۳ گرم در گلدان تیمار کیتوسان مشاهده گردید. بیشترین مقدار وزن تر ریشه با میانگین ۲۹/۸۱ گرم در گلدان در مقدار ۱ در صد تیمار نانو سیلیس و بیشترین وزن خشک ریشه با میانگین ۴/۲۸ گرم در گلدان در مقدار ۱ درصد تیمار میکروسیلیس مشاهده گردید (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل نوع و مقدار بهساز بر وزن تر و خشک بخش‌های هوایی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و بر سایر صفات مورد مطالعه اثر معنی‌داری نداشت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵)، بیشترین تعداد برگ و ارتفاع بوته در مقدار ۰/۲۵ درصد به ترتیب با میانگین ۳۳۲ عدد، و ۲۰/۴۱ سانتی متر مربوط به تیمار فروسیلیس پوشش‌دار شده با کیتوسان بود.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع و سطوح بهساز بر خصوصیات رویشی نعنای فلفلی

Table 5. Mean comparison of interaction effects of amendment type and amount on growth characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.).

Amendment Type	Amount	Number of leaves	Height (cm)	Wet weight (g)		Dry weight (g)	
				Shoot	Root	Shoot	Root
NS	0	153f-h	13.41c-e	2.7h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	132gh	13.91a-e	8.05gh	15.76a-c	1.63kl	1.75d-f
	0.25	108h	15.33a-e	10.54f-h	14.76a-c	1.78g-l	1.19f
	0.5	196c-h	15.33a-e	14.44e-h	26.75a-c	2.76e-l	2.33b-f
	1	199 c-h	19.5a-d	15.06e-h	29.81ab	3.31a-l	1.87d-f
MS	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	179d-h	13.66b-e	17.7c-h	17.05a-c	3.24a-l	1.87d-f
	0.25	236a-g	17.91a-e	17.57c-h	31.57ab	3.25a-l	3.85a-c
	0.5	230 a-g	18.16a-e	21.05a-f	23.04a-c	3.83a-j	4.28a
	1	205 c-h	18.41a-e	19.63b-f	24.03a-c	3.69a-k	4.02ab
FS	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	191c-h	18.58a-e	20.28a-f	29.84ab	3.56a-k	2.34b-f
	0.25	235a-g	19.58a-d	22.48a-e	26.21a-c	4.35a-i	3.15a-e
	0.5	222b-g	20.08ab	22.36a-e	22.63a-c	3.22a-l	2.61a-f
	1	256a-g	16.41a-e	17.45c-h	21.06a-c	2.88e-l	2.4b-f

FSM	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	269a-d	19.33a-d	21.45a-f	21.66a-c	3.48a-l	3.09a-e
	0.25	209c-h	15.41a-e	16.43d-h	16.06a-c	2.49h-l	2d-f
	0.5	175d-h	14.75a-e	10.66f-h	16.95a-c	1.74g-l	2.62a-f
	1	272a-d	16.08a-e	18.21b-h	23.76a-c	2.95d-l	3.47a-d
BT	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	194c-h	13.91a-e	16.38d-h	23.84a-c	2.57g-l	2.86a-f
	0.25	252a-f	17.83a-e	23.27a-e	23.1a-c	3.55a-l	2.99a-f
	0.5	208c-h	16.16a-e	19.43b-f	26.75a-c	3.16b-l	2.98a-f
	1	248a-f	17.66a-e	23.88a-e	24.85a-c	4.77a-f	2.83a-f
CS	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	206c-h	14.91a-e	18.7b-g	15.34a-c	3.26a-l	1.63ef
	0.25	265a-e	19.75a-c	30.8a	19.49a-c	5.18ab	2.18c-f
	0.5	325ab	16.66a-e	29.4ab	20.05a-c	5.3a	2.42b-f
	1	281a-d	19.16a-d	26.75a-d	15.37a-c	5.09a-c	2.27b-f
NS + CS	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	240a-g	19.5a-d	27.63a-d	11.96bc	4.65a-g	2.18c-f
	0.25	184d-h	19.5a-d	20.05a-f	12.57bc	3.1b-l	1.85d-f
	0.5	180d-h	17.5a-e	14.36e-h	9.54c	2.29i-l	1.37ef
	1	227a-g	15.75a-e	14.63e-h	12.79-c	2.67f-l	1.93d-f
MS + CS	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	197c-h	13.58b-e	14.1e-h	19.1a-c	2.24j-l	1.82d-f
	0.25	284a-d	14.58a-e	16.69c-h	19.22a-c	2.3i-l	2d-f
	0.5	296a-c	15.5a-e	19.24-f	20.84a-c	3.1b-l	2.42b-f
	1	274a-d	17.41a-e	22.68a-e	22.73a-c	3.43a-l	2.52b-f
FS + CS	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	260a-f	16a-e	26.95a-d	15.85a-c	4.52a-h	2.47b-f
	0.25	332a	20.41a	27.45a-d	14.87a-c	4.82a-e	2.78a-f
	0.5	267a-d	19.25a-d	25.3a-e	15.25a-c	3.55a-k	2.93a-f
	1	329ab	17.75a-e	27.8a-c	15.75a-c	5a-d	3.02a-e
FSM + CS	0	153f-h	13.41c-e	7.2h	15.98a-c	1.68kl	1.38ef
	0.125	259a-f	17.08a-e	20.16a-f	22.68a-c	3.03c-l	2.56a-f
	0.25	221b-g	13.16de	19.22b-f	18.94a-c	2.05g-l	2.17c-f
	0.5	198c-h	13.58b-e	14.19e-h	15.66a-c	2.5h-l	2.02d-f
	1	154e-h	12.41e	6.96h	13.47a-c	1.43l	2.09c-f

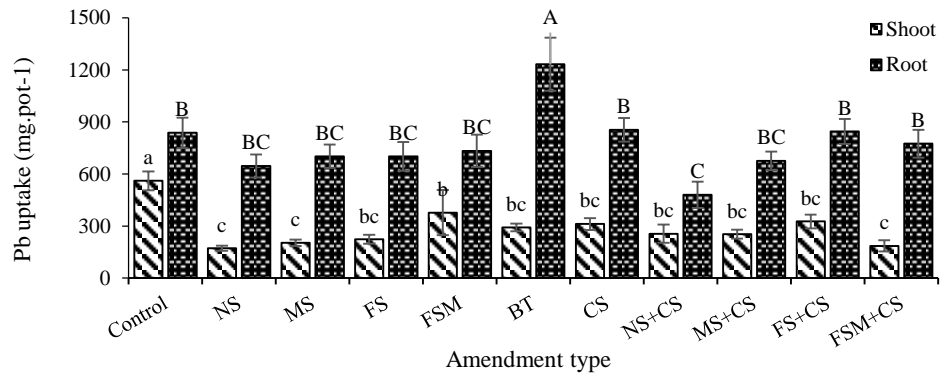
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند ($P < 0.05$).

The same letters in each column are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test. Abbreviation: NS (Nano Silicon), MS (Micro Silicon), FS (Ferro silicon), FSM (Ferro silicon magnesium), BT (Bentonite), CS (Chitosan).

شده با کیتوسان به دست آمد (شکل ۹). کمترین مقدار جذب سرب در برگ و ریشه به تیمار یک درصد با میانگین‌های ۱۸۳، ۶۲۷ میلی گرم بر گلدان و بیشترین مقدار جذب سرب برگ و ریشه مربوط به تیمار صفر و ۱۲۵/۰ به ترتیب با میانگین‌های ۵۶۰ و ۹۱۲ میلی گرم بر گلدان بود (شکل ۱۰).

میزان جذب سرب توسط گیاه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر نوع و مقدار بهساز بر مقدار جذب سرب بخش‌های هوایی و ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کمترین مقدار جذب سرب بخش‌های هوایی و ریشه به ترتیب با میانگین‌های ۱۷۲ و ۴۸۱ میلی گرم در کیلوگرم در بهسازهای نانوسیلیس و نانوسیلیس پوشش دار



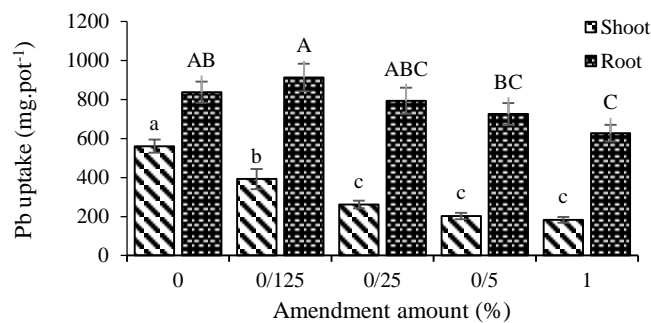
شکل ۹- اثر نوع بهساز بر میزان جذب سرب بخش‌های هوایی و ریشه نعناع فلفلی

Figure 9. Effect of amendment type on shoot and root uptake of Pb in the Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Abbreviation: NS (Nano Silicon), MS (Micro Silicon), FS (Ferro silicon), FSM (Ferro silicon magnesium), BT (Bentonite), CS (Chitosan).

پوشش‌دار شده با کیتوسان در مقدار ۱ درصد با میانگین ۹۰ گرم در گلدان کمترین میزان جذب سرب برگ را داشت. نانو سیلیس پوشش‌دار شده با کیتوسان با میانگین ۳۴۷ گرم در گلدان کمترین میزان جذب سرب ریشه را داشت (جدول ۶).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل نوع و مقدار بهساز بر میزان جذب سرب بخش‌های هوایی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثر معنی‌داری بر میزان جذب سرب ریشه نداشت. مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع و مقدار بهساز نشان داد که فروسیلیس‌منیزیم



شکل ۱۰- اثر مقدار بهساز بر جذب سرب بخش‌های هوایی و ریشه نعناع فلفلی

Figure 10. Effect of amendment amount on shoot and root uptake of Pb in the Peppermint (*Mentha piperita* L.)

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع و مقدار بهساز بر میزان جذب سرب بخش هوایی و ریشه نعنای فلفلی

Table 6. Mean comparison for interaction effects of amendment type and amount for shoot and root uptake of Pb in the Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Amendment		Pb uptake		Amendment		Pb uptake	
Type	Amount	Shoot	Root	Type	Amount	Shoot	Root
NS	0	560b	837b-e	CS	0	560b	837b-e
	0.125	192d-g	777c-e		0.125	323b-g	900b-e
	0.25	143d-g	486de		0.25	417b-d	1096b-d
	0.5	185d-g	769c-e		0.5	282c-g	823b-e
	1	168d-g	554c-e		1	222d-g	598c-e
MS	0	560b	837b-e	NS + CS	0	560b	837b-e
	0.125	234d-g	628c-e		0.125	519bc	682c-e
	0.25	192d-g	752c-e		0.25	224d-g	499de
	0.5	198d-g	785c-e		0.5	151d-g	347e
	1	190d-g	642c-e		1	129e-g	395e
FS	0	560b	837b-e	MS + CS	0	560b	837b-e
	0.125	284c-g	782c-e		0.125	309b-g	757c-e
	0.25	301b-g	916b-e		0.25	262c-g	673c-e
	0.5	182d-g	695c-e		0.5	248d-g	654c-e
	1	125fg	409e		1	195d-g	620c-e
FSM	0	560b	837b-e	FS + CS	0	560b	837b-e
	0.125	1070a	945b-e		0.125	405b-e	862b-e
	0.25	194d-g	523de		0.25	392b-f	893b-e
	0.5	106g	645c-e		0.5	231d-g	830b-e
	1	138e-g	820b-e		1	277c-g	796b-e
BT	0	560b	837b-e	FSM + CS	0	560b	837b-e
	0.125	273c-g	1652a		0.125	313b-g	1140bc
	0.25	335b-g	1389ab		0.25	160d-g	708c-e
	0.5	267c-g	1055b-d		0.5	178d-g	645c-e
	1	293b-g	836b-e		1	90g	606c-e

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند ($P < 0.05$).

The same letters in each column are not significantly different at $P < 0.05$ according to Duncan's multiple range test

Abbreviation: NS (Nano Silicon), MS (Micro Silicon), FS (Ferro silicon), FSM (Ferro silicon magnesium), BT (Bentonite), CS (Chitosan).

توجه به نتایج این پژوهش، فرو سیلیس پوشش‌دار شده با کیتوسان، میکروسیلیس، نانوسیلیس و کیتوسان پارامترهای بیشتری را تحت تاثیر قرار دادند و احتمالاً نسبت به سایر بهسازها در جذب سرب از خاک مناسب‌تر

نتیجه‌گیری کلی

تأثیرات بهسازهای مختلف بر غلظت سرب بخش هوایی و ریشه گیاه، فاکتورهای انتقال، تجمع زیستی، برخی صفات رویشی و میزان جذب سرب، متفاوت بود. اما به‌طور کلی، با

باشند. با در نظر گرفتن قیمت تمام شده و در دسترس بودن بهسازها، فرو سیلیس پوشش دار شده با کیتوسان و میکرو سیلیس تولید شده شرکت فرو سیلیس ایران، برای تثبیت سرب خاک‌های اطراف کارخانجات صنعتی پیشنهاد می‌شود.

References

- Abioye O.P., Ijah U.J.J. and Aransiola S.A. 2013. Remediation mechanisms of tropical plants for lead-contaminated environment. In *Plant-Based Remediation Processes* (pp. 59-77). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Asere T.G., Mincke S., De Clercq J., Verbeken K., Tessema D.A., Fufa F., Stevens C.V. and Du Laing G. 2017. Removal of arsenic (V) from aqueous solutions using chitosan–red scoria and chitosan–pumice blends. *International journal of environmental research and public health*, 14(8), p.895.
- Bouyoucos G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.
- Burt R. 2004. Soil survey laboratory methods manual, soil survey investigations, report No. 42, Version 4.0, USDA, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE, USA.
- Chanu L.B. and Gupta A. 2016. Phytoremediation of lead using *Ipomoea aquatica* Forsk. in hydroponic solution. *Chemosphere*, 156:407-411.
- Diallo M.S. and Savage N. 2005. Nanoparticles and water quality. *Journal of Nanoparticle Research*, 325–330.
- El Saliby I.J., Shon H., Kandasamy J. and Vigneswaran S. 2008. Nanotechnology for wastewater treatment: in brief. *Encyclopedia of Life Support System (EOLSS)*, 7.
- Golchin A. 2003. Industrial activities and heavy metal contamination of agricultural soils. In: proceeding of the 8th Soil Science Congress of Iran, 2: 776-779. (In Persian)
- Islam E., Yang X., Li T., Liu D., Jin X. and Meng F. 2007. Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of hazardous materials*, 147(3):806-816.
- Islam E., Liu D., Li T., Yang X., Jin X., Mahmood Q., Tian S. and Li J. 2008. Effect of Pb toxicity on leaf growth, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1-3):914-926.
- Jones Jr, J.B. and Case V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. *Soil testing and plant analysis*, 3:389-427.
- Lindsay WL and Norvell WA. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America*. Pages 421-428.
- Marchiol L., Assolari S., Sacco P. and Zerbi G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environmental Pollution*, 132(1):21-27.
- Menon M., Hermle S., Günthardt-Goerg M.S. and Schulin R. 2007. Effects of heavy metal soil pollution and acid rain on growth and water use efficiency of a young model forest ecosystem. *Plant and Soil*, 297(1-2):171-183.
- Raskin I. and Ensley B.D. 2000. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. John Wiley and Sons. 304p.
- Sengar R.S., Gautam M., Sengar R.S., Garg S.K., Sengar K. and Chaudhary R. 2008. Lead stress effects on physiobiochemical activities of higher plants. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 196:73-93.
- Walkly A., and Black I. A. 1934. Examination of the degtjareff method determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 29-38.
- Yazdani D., Jamshidi A. and Mojab F. 2002. Comparing the essential amount and the menthol in peppermint planted in different regions of the country [J]. *Quart J Iran Aromat Herbs*, 1(3):73-78.
- Yoon J., Cao X., Zhou Q. and Ma L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the total environment*, 368(2-3):456-464.
- Zhang D., Ma Y., Feng H. and Hao Y. 2012. Adsorption of Cr (VI) from aqueous solution using carbon-microsilica composite adsorbent. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 57(1):964-968.

Effect of Some Chitosan-Coated Mineral Amendments on Lead Uptake and Growth Characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Maryam shakoori^{1*}, Mohammad Babaakbari sari², Samaneh Abdoosi³, Akbar Hassani²

(Received: June 2020 Accepted: December 2020)

Abstract

Soil and plant pollution is a serious problem that has received more attention in recent years due to its impact on human and ecosystem health. Daily consumption of agricultural products is the most important route for human exposure to various pollutants and diseases. In this study, the effect of different types and levels of amendments on the absorption of lead in peppermint plant in greenhouse conditions was investigated. The experiment was performed as a factorial in a completely randomized design. Experimental treatments included 10 types of amendments: nanosilica, microsilica, ferrosilica, magnesium ferrosilicon (with and without chitosan coating), chitosan and bentonite, at five levels (zero, 0.125, 0.25, 5, 1%). The results showed that all the amendments tested had a decreasing effect on the concentration of plant Pb, transfer factors and biological aggregation. Among the amendments, microsilica modifier had the greatest effect on reducing leaf and root Pb and bioaccumulation factor. On the other hand, chitosan had a greater impact on reducing the translocation factor than other amendments. Also the most effective amendments on vegetative traits were ferrosilicon amendments coated with chitosan, bentonite, chitosan, and microsilica. According to the results, ferrosilica with chitosan coating and microsilica had more effective role in reducing the destructive effects of lead on peppermint.

Keywords: Chitosan, Ferrosilica, Lead, Microsilica, Nanosilica

Shakoori M., Babaakbari sari M., Abdoosi S. and Hassani, A. 2021. Effect of some chitosan-coated mineral amendments on lead uptake and growth characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Applied Soil Research*, 9(3): 89-103.

1.M.Sc. graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

2.Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

3. Researcher of Water and Soil Research, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Varamin, Iran

* Corresponding Author Email: M_shakoori@znu.ac.ir