



اثر محلول پاشی پوترسین بر رشد و تحمل بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) به تنش سرب

آیدا انصاری^۱، بابک عندلیبی^{۲*}، مهدی زارعی^۳، فرید شکاری^۴

۱. دانشجوی دکتری زراعت-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان
۲. استادیار زراعت-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان
۳. دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز
۴. دانشیار زراعت-فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۳

چکیده

به منظور بررسی اثر پوترسین بر رشد و تحمل به سرب گیاه بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*)، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار (سه تکرار برای عملکرد دانه و سه تکرار برای صفات محتوی پرولین، شاخص سبزی‌نگی، سطح برگ، وزن خشک ریشه، برگ، ساقه، کپسول و اندام هوایی، طول ریشه و شاخص تحمل) در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: سرب در چهار سطح (۰، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع نیترات سرب) و پوترسین در دو سطح (۰ و ۵/۵ میلی‌مولار). نتایج نشان داد که سرب به‌ویژه غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سطح برگ، شاخص سبزی‌نگی، وزن خشک ریشه، برگ، ساقه، کپسول و کل اندام هوایی، طول ریشه، شاخص تحمل و عملکرد دانه را کاهش و محتوی پرولین را افزایش داد. محلول پاشی پوترسین باعث بهبود صفات فوق به‌ویژه تحت تنش سرب شد، به طوری که کاربرد آن عملکرد دانه و شاخص تحمل را در سطح ۹۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک به ترتیب ۶۵/۹ و ۷۴/۲ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد. پوترسین طول ریشه، شاخص سبزی‌نگی و وزن خشک برگ را در سطوح مختلف سرب افزایش داد و با توجه به همبستگی مثبت و بالا بین این صفات و شاخص تحمل، باعث افزایش شاخص تحمل در سطوح سرب نیز شد؛ بنابراین محلول پاشی پوترسین می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری مناسب برای بهبود تحمل به سرب، رشد و عملکرد دانه بالنگوی شهری تحت تنش سرب استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: پلی‌آمین، شاخص تحمل، شاخص سبزی‌نگی، عملکرد دانه، فلزات سنگین

مقدمه

محرك، مدر و خلط‌آور استفاده می‌شوند (Amanzadeh et al., 2011; Koozdar et al., 2015). این گیاه محتوای بالای روغن و اسید چرب امگا-۳ آلفا لینولنیک اسید دارد که فراتر از روغن گیاه بزرک است (Zlatanov et al., 2012) و اساس آن در مرحله گلدهی حاوی بتا-کوبین، لینالول، اسپاتولنول، بتا-کاروفیلین و گارنیول است که اجزای

بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* (M. Bieb.) (Fisch. & C.A. Mey. گیاهی علفی، یک‌ساله و متعلق به خانواده نعناعیان است که از مناطق قفقاز و خاورمیانه منشأ گرفته و در آسیا از جمله ترکیه، سوریه، عراق و ایران (البرز، گیلان، آذربایجان، کوه‌های تفرش، کوه‌های قصرشیرین، کوه-های کرمانشاه، لرستان، اصفهان، شیراز، زنجان و مازندران) پراکنش دارد و بذور آن در طب سنتی به‌عنوان داروی مقوی،

نوکلئیک و دیگر درشت مولکول‌ها در پایداری ساختمان کروماتین، تنظیم کانال‌های یونی و حذف رادیکال آزاد اثر می‌گذارند (Hasanuzzaman et al., 2019) و تخریب کلروفیل را با کاهش فعالیت آنزیم کلروفیلز و جلوگیری از سنتز اتیلن به تأخیر می‌اندازند (Yousefi et al., 2019). از آنجاکه زمین‌های اطراف شهرک صنعتی روی زنجان یکی از مناطق آلوده به سرب در زنجان هستند که مساحتی حدود ۷۰۰۰ هکتار دارند و مناطق کشاورزی، صنعتی، اراضی مرتعی و مخلوط مرتع و کشت دیم را شامل می‌شوند (Safari et al., 2016)، لذا با توجه به آلودگی خاک‌های کشاورزی نزدیک مناطق صنعتی به فلزات سنگین و نیاز کشور به گیاهان دارویی، می‌توان با تقویت راهکارهای تحمل به فلزات سنگین نقش مهمی را در تولید این گیاهان ایفا نمود. از این رو این تحقیق برای بررسی تأثیر محلول‌پاشی پوترسین بر رشد و تحمل بالنگوی شهری به تنش سرب اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اسفندماه سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی در شش تکرار (سه تکرار برای عملکرد دانه و سه تکرار برای دیگر صفات) اجرا شد. تیمار سرب شامل چهار مقدار صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک بود که به ترتیب به مقدار صفر، ۴۷۹/۵۵، ۹۵۹/۱ و ۱۴۳۸/۶۵ میلی‌گرم نیترات سرب (مرک) بر کیلوگرم خاک، به خاک اضافه شدند (Sá et al., 2014; Kunwar et al., 2015; Karimi et al., 2017). تیمار پوترسین (سیگما) شامل دو سطح ۰ و ۰/۵ میلی‌مولار بود. گیاهان از زمان کشت تا گلدهی (۴۳ روز) و تا رسیدگی بذر (۹۰ روز) تحت تیمار سرب بودند. نور گلخانه توسط نور خورشید و تهویه با باز کردن پنجره‌ها فراهم شد و میانگین رطوبت نسبی ۶۵ درصد و میانگین دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۳۴ و ۱۷ درجه سانتی‌گراد بود. در هر گلدان ۵ کیلوگرمی (قطر بالای ۲۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی-متر)، ۳۰ بذر بالنگوی شهری کشت شد و بعد از تنک در مرحله ۴ برگ، ۴ بوته یکسان در گلدان‌های مربوط به عملکرد دانه و ۶ بوته یکسان در گلدان‌های مربوط به دیگر صفات نگه داشته شدند. خاک آزمایشی حاوی نسبت ۶ به ۳ از خاک سرند شده (تهیه‌شده از مزرعه دانشکده کشاورزی

Amanzadeh et al.,) می‌باشند (2011).

گیاهان دارویی بومی ایران از جمله بالنگوی شهری، نقش مهمی در درمان و پیشگیری از بیماری‌ها دارند و نظر به اینکه در دو دهه اخیر آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین در حال افزایش است و در بسیاری از مناطق زراعی ایران، حضور فلزات سنگین به‌ویژه سرب همواره با مراحل رشد گیاه همراه است، بنابراین توجه به تأثیر آلاینده‌های فلزات سنگین بر قابلیت تولید این گیاهان حائز اهمیت است. سرب فلزی سنگین با عدد اتمی ۸۲، جرم اتمی ۲۰۷/۲، پایدار، چکش‌خور، سنگین و غیرخورنده است که موجب آلودگی محیط‌زیست شده (Kong and Glick, 2017) و باعث ایجاد علائم سمیت در گیاه مانند محدود شدن رشد ریشه و اندام هوایی و سیاه شدن سیستم ریشه می‌شود (Stancheva et al., 2010; Taie et al., 2019) و با آسیب به کلروپلاست و جلوگیری از فعالیت فتوسنتز I و II رشد و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد (Kumar and Prasad, 2015). سرب در گیاهان باعث تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال مثل رادیکال اکسیژن، رادیکال هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن شده که این حالت منجر به تنش اکسیداتیو، پراکسیداسیون لیپید، آسیب به غشای سلولی و تغییرات در عملکرد بیوشیمیایی و متابولیسی سلول‌ها، کاهش مقادیر فتوسنتز به علت مهار زنجیره انتقال الکترون و در نهایت کاهش رشد گیاهان می‌شود (Kumar and Prasad, 2015; Taie et al., 2019).

کاربرد پلی‌آمین‌ها همچون پوترسین یکی از راهکارهای نوین به‌منظور کاهش اثرات مضر تنش‌های محیطی از جمله فلزات سنگین است (Rady et al., 2016; Hasanuzzaman et al., 2019). پلی‌آمین‌ها ترکیبات آلی نیتروژن‌دار و پلی‌کاتیون‌های با وزن مولکولی کوچک هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاه، نقش حفاظتی در برابر آسیب غشا و پراکسیداسیون لیپیدها دارند و در تنظیم فرآیندهای مهم سلول از جمله همانندسازی DNA، ترجمه، تقسیم سلولی، فعالیت آنزیم‌ها، تمایز آوندی، رویان‌زایی، ریخت‌زایی، گلدهی، رسیدن میوه، رشد ریشه و تأخیر پیری نقش دارند (Hasanuzzaman et al., 2019). در شرایط تنش سرب، پوترسین کلروفیل و وزن خشک اندام هوایی خردل هندی را افزایش داد (Lakra et al., 2016) و در گندم باعث افزایش سطح برگ و عملکرد دانه شد (Taie et al., 2019). پلی‌آمین‌ها با اتصال به غشاها، اسیدهای

حاصل از کاغذ شطرنجی نیز به آن اضافه شد و در نهایت با میانگین گیری بر اساس سانتی متر مربع بر گیاه گزارش شد. سپس نمونه‌ها به منظور خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و در نهایت وزن خشک برگ، ساقه، کپسول و کل اندام هوایی با استفاده از ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه گیری شد. ریشه‌های مربوط به این ۶ بوته از گلدان خارج و بعد از شستشو با آب، طول آن‌ها با استفاده از خط کش اندازه گرفته شد و سپس برای اندازه گیری وزن خشک آن‌ها، در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. در انتهای فصل رشد و بعد از رسیدگی کامل بوته‌ها، هر ۴ بوته از هر گلدان برداشت شده و پس از جدا کردن بذور آن‌ها، عملکرد دانه اندازه گیری و با واحد گرم بر گیاه گزارش شد. شاخص تحمل به صورت درصد وزن خشک گیاه رشد یافته در تنش سرب به وزن خشک گیاه شاهد محاسبه شد (Çelebi et al., 2017). داده‌ها با نرم افزار آماری SAS (9.1) تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین آن‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

سطح برگ و شاخص سبزی‌نگی

اثر اصلی سرب و پوترسین بر سطح برگ و شاخص سبزی‌نگی معنی دار بود و اثر متقابل آن‌ها فقط شاخص سبزی‌نگی را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). غلظت‌های سرب ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی گرم، سطح برگ را به ترتیب ۱۲/۷، ۳۱ و ۴۱/۷ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند و بیشترین کاهش در سطح ۹۰۰ میلی گرم حاصل شد (شکل ۱a). محلول پاشی پوترسین سطح برگ بالنگوی شهری را ۲۹/۳ درصد نسبت به عدم کاربرد پوترسین افزایش داد (شکل ۱b). معنی دار شدن اثر متقابل بر شاخص سبزی‌نگی بیانگر واکنش متفاوت کاربرد پوترسین در سطوح مختلف سرب بود، به طوری که کاربرد ۰/۵ میلی مولار پوترسین در سطوح سرب صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی گرم باعث افزایش شاخص سبزی‌نگی (به ترتیب ۱/۸، ۱۲، ۲۲/۱ و ۲۵/۶ درصد) نسبت به عدم کاربرد پوترسین شد و ۹۰۰ میلی گرم سرب باعث بیشترین کاهش شاخص سبزی‌نگی نسبت سطح سرب صفر شد (جدول ۲).

دانشگاه زنجان) به ماسه بود. خاک آزمایشی دارای بافت لومی رسی سیلتی، واکنش ۷/۸۷، قابلیت هدایت الکتریکی ۱/۶۳ dSm^{-1} ، ماده آلی ۰/۳۹٪، فسفر قابل جذب ۴/۱ mgkg^{-1} ، پتاسیم قابل جذب ۱۹۳/۵ mgkg^{-1} ، ازت کل ۰/۰۵ mgkg^{-1} و مقدار سرب قابل جذب (استخراجی با DTPA) ۰/۷۳ mgkg^{-1} بود. مقدار سرب خاک آزمایشی در ابتدای آزمایش اندازه گیری و به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. برای اعمال سطوح سرب، نیترات سرب برای اختلاط کامل سرب با خاک مربوطه مخلوط شد (Jeliazkova and Craker, 2003; Sa et al., 2014; Karimi et al., 2017; Lou et al., 2017). خاک گلدان‌ها قبل از کشت، به مدت ۴۲ روز (Liao et al., 2005) برای ایجاد تعادل در خاک، انکوباسیون شدند و بعد از این مدت، بذور ضد عفونی شده با هیپوکلریت سدیم به مدت ۳۰ ثانیه، کشت شدند. محلول پاشی پوترسین قبل از شروع گلدهی (با مشاهده اولین جوانه گل) طی ۲ مرحله (نصف غلظت در مرحله ۱۰ برگی و نصف دیگر نیز ۷ روز بعد به منظور جلوگیری از اثر انباشت پوترسین) انجام شد (Parmoon et al., 2019). اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فواصل یک روز در میان انجام شدند. بعد از هر بار آبیاری، به منظور ثابت نگه داشتن غلظت سرب در گلدان، آب جمع شده در زیرگلدانی از طریق زهکش، مجدداً به گلدان برگردانده شد. کوددهی با کود کامل (کود پودری گرین دراپ NPK 20-20-20) با غلظت ۲ در هزار (۵۰ میلی لیتر به هر گلدان) در دو مرحله (مرحله سبز شدن و ۸ برگی) انجام شد.

گیاهان ۵۶ روزه (در مرحله گلدهی) جهت اندازه گیری صفات استفاده شدند. شاخص سبزی‌نگی در مرحله گلدهی با دستگاه کلروفیل سنج (دستگاه SPAD, CCM-200) اندازه گیری شد. میزان پرولین برگ در مرحله گلدهی، با ۰/۴ گرم نمونه برگی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (PerkinElmer, Lambda 25, USA) در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری شد (Bates et al., 1973). ابتدا سطح برگ نمونه گیری شده برای پرولین سریعاً روی کاغذ شطرنجی کشیده شد و فوراً با قرار گیری در یخچال یونولیتی به یخچال ۲۰- درجه سانتی گراد جهت اندازه گیری پرولین منتقل شد. سپس ۶ بوته از هر گلدان برداشت شده و کل برگ‌های آن‌ها جدا و سطح آن‌ها با دستگاه اندازه گیری سطح برگ (Delta T Device LTD, England) اندازه گرفته شد و سطح برگ

جدول ۱. تجزیه واریانس تنش سرب و محلول‌پاشی پوترسین بر سطح برگ، شاخص سبزی‌نگی، محتوی پرولین، وزن خشک برگ، کپسول، ساقه، کل اندام هوایی، طول و وزن خشک ریشه، عملکرد دانه و شاخص تحمل بالنگوی شهری

Table 1. Analysis of variance for Pb stress and putrescine spraying on leaf area, greenness index, proline content, leaf, capsule, and stem dry weight, total shoot dry weight, root length and dry weight, grain yield and tolerance index of *Lallemantia iberica*

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	شاخص		وزن خشک	وزن خشک
			سطح برگ Leaf Area	سبزی‌نگی Greenness Index	برگ Leaf Dry Weight	ساقه Stem Dry Weight
Block	بلوک	2	94.93 ^{ns}	19.14*	5.29**	0.000489**
Pb	سرب	3	295.5*	124.6**	8.78**	0.00366**
Putrescine (Pu)	پوترسین	1	345.5*	160.6**	8.61**	0.00386**
Pb × Pu	سرب × پوترسین	3	17.62 ^{ns}	15.5*	1.11*	0.00021*
Error	خطا	14	63.14	4.52	0.3172	0.0000575
C.V %	ضریب تغییرات		26.8	5.4	13.9	8.2

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	وزن خشک	وزن خشک کل	طول ریشه	وزن خشک	عملکرد دانه	شاخص
			کپسول Capsule Dry Weight	اندام هوایی Total Shoot Dry Weight	ریشه Root Length	ریشه Root Dry Weight	Grain Yield	تحمل Tolerance Index
Block	بلوک	2	0.00425**	0.01258**	0.0867 ^{ns}	0.0000055 ^{ns}	0.002357**	68.719 ^{ns}
Pb	سرب	3	0.00599**	0.04152**	51.978**	0.001987*	0.016648**	2716.2**
Putrescine (Pu)	پوترسین	1	0.01311**	0.06358**	54.602**	0.002155*	0.01979**	4105.8**
Pb × Pu	سرب × پوترسین	3	0.000613*	0.002837*	3.122*	0.0007414 ^{ns}	0.001433**	186.8**
Error	خطا	14	0.000183	0.000593	0.9138	0.00040403	0.0001003	26.873
%C.V	ضریب تغییرات		11.6	8.3	5.2	19.2	6.4	6.9

^{ns}، * و **؛ به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **; non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

عاملی مانند سرب که باعث کاهش رشد ریشه و کاهش جذب آب شود سطح برگ گیاه، رشد و عملکرد را کاهش می‌دهد. سرب به‌وسیله اتصال به گروه‌های سولفیدریل آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز کلروفیل همچون گاما-آمینولولینیک اسید دهیدروژناز و پروتوکلروفیل ردوکتاز، مانع فعالیت این آنزیم‌ها شده و نیز با افزایش فعالیت کلروفیل‌از، تولید کلروفیل را کاهش داده و با جانشینی به‌جای منیزیم موجود در مرکز کلروفیل باعث کاهش جذب نور توسط کلروفیل و کاهش فتوسنتز می‌شود (Aggarwal et al., 2012).

کاهش شاخص سبزی‌نگی در کنگر فرنگی (Karimi et al., 2013)، کرچک (Mallhi et al., 2019) و باقلا (Alle et al., 2019) مشاهده شده است که با نتایج مطالعه ما مطابقت داشت. افزایش سطح برگ با کاربرد پوترسین توسط

نتایج مطالعه ما مبنی بر کاهش سطح برگ بالنگوی شهری ناشی از تنش سرب با پاسخ دیگر گیاهان مانند گشنیز (Fatemi et al., 2017)، نعنای فلفلی (Amirmoradi et al., 2015) و کرچک (Mallhi et al., 2019) به تنش سرب مطابقت داشت. فلزات سنگین پتانسیل آماس در سلول‌ها و خاصیت کشسانی دیواره سلولی را کاهش داده که در نهایت تشکیل سلول‌های کوچک‌تر و فضاهای بین سلولی کمتر را در پی خواهد داشت. پتانسیل آماس کم نیز در اثر به هم خوردن تعادل آب در گیاه ایجاد شده که این به هم خوردن تعادل آب و کاهش جذب آب توسط کاهش رشد ریشه قابل توجیه است (Amirmoradi et al., 2015; Mallhi et al., 2019).

نتایج همبستگی مثبت و معنی‌دار بین سطح برگ و طول ریشه ($r=0/61$ ، $t=3$) نیز مؤید این مطلب است که هر

دیگر محققان (Hanafy Ahmed et al., 2013; Alizadeh) سبزی‌نگی را در فلفل شیرین (Alizadeh et al., 2017)، همیشه‌بهار (Baniasadi et al., 2015) و گل رز (Yousefi et al., 2019) افزایش داد که با مطالعه حاضر همخوانی داشت. پوترسین، هورمون سیتوکینین را القا می‌کند که موجب بیوسنتز کلروفیل و تمایز کلروپلاست می‌شود (Hanafy Ahmed et al., 2017). پلی‌آمین‌ها در پایداری غشای کلروپلاستی نقش مؤثری دارند و مانع تجزیه کلروفیل می‌شوند و در واقع با اتصال به غشای تیلاکوئید از غشا محافظت کرده که به‌طور غیرمستقیم در حفظ فتوسنتز گیاه نقش ایفا می‌کنند (Shu et al., 2015; Yousefi et al., 2019).

هر عاملی که باعث افزایش سطح برگ شود، افزایش تولید مواد پرورده و ذخیره آن‌ها را در گیاه به دنبال دارد که در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه در گیاه می‌شود. در این رابطه همبستگی‌های مثبت و بالای سطح برگ با عملکرد دانه (Hanafy Ahmed et al., 2019; Taie et al., 2019).

رابطه همبستگی‌های مثبت و بالای سطح برگ با عملکرد دانه (Hanafy Ahmed et al., 2019; Taie et al., 2019).

جدول ۲. اثر محلول پاشی پوترسین بر شاخص سبزی‌نگی، محتوی پرولین، وزن خشک برگ، کپسول، ساقه و کل اندام هوایی، طول ریشه، عملکرد دانه و شاخص تحمل بالنگوی شهری در سطوح مختلف سرب

Table 2. Effect of putrescine spraying on greenness index, proline content, leaf, capsule, and stem dry weight, Total Shoot Dry Weight, root length, grain yield and tolerance index of *Lallemantia iberica* at different levels of Pb

سرب Pb	پوترسین Putrescine	شاخص سبزی‌نگی Greenness Index	محتوی پرولین Proline Content	وزن خشک برگ Leaf Dry Weight	وزن خشک ساقه Stem Dry Weight
mg Pb/ Kg soil	mM		$\mu\text{M g}^{-1}$	plant^{-1}	
0	0	44.178 ^{ab}	2.3 ^d	0.1203 ^b	0.1204 ^a
0	0.5	44.989 ^a	2.9 ^{cd}	0.1338 ^a	0.1285 ^a
300	0	39.244 ^c	3.28 ^{cd}	0.0702 ^{de}	0.0652 ^{cd}
300	0.5	43.967 ^{ab}	3.81 ^{bc}	0.112 ^b	0.0974 ^b
600	0	32.989 ^d	3.52 ^c	0.0682 ^{de}	0.0513 ^{de}
600	0.5	40.277 ^{bc}	5.9 ^a	0.0916 ^c	0.096 ^b
900	0	30.678 ^d	4.66 ^b	0.0592 ^e	0.0431 ^e
900	0.5	38.552 ^c	5.96 ^a	0.0821 ^{cd}	0.0814 ^{bc}

Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

سرب Pb	پوترسین Putrescine	وزن خشک			طول ریشه Root Length	عملکرد دانه Grain Yield	شاخص تحمل Tolerance Index
		وزن خشک کپسول Capsule Dry Weight	اندام هوایی Total Shoot Dry Weight	عملکرد دانه Grain Yield			
mg Pb/ Kg soil	mM	g plant^{-1}	g plant^{-1}	cm	g plant^{-1}	%	
0	0	0.15 ^{ab}	0.3912 ^{ab}	21.7 ^{ab}	0.2169 ^b	100 ^b	
0	0.5	0.168 ^a	0.4303 ^a	23.1 ^a	0.2394 ^a	109.79 ^a	
300	0	0.0832 ^d	0.2186 ^c	17.15 ^{de}	0.1155 ^d	55.82 ^f	
300	0.5	0.146 ^{ab}	0.3557 ^{bc}	20.35 ^{bc}	0.2133 ^b	90.75 ^c	
600	0	0.0829 ^d	0.2025 ^e	16.1 ^e	0.0961 ^e	51.59 ^f	
600	0.5	0.132 ^{bc}	0.3201 ^c	18.7 ^{cd}	0.1503 ^c	81.63 ^d	
900	0	0.055 ^e	0.1575 ^f	12.98 ^f	0.0839 ^e	40.29 ^g	
900	0.5	0.112 ^c	0.2754 ^d	17.85 ^{de}	0.1392 ^c	70.17 ^e	

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند

In each column, means with similar letters are not significantly different from each other based on Duncan's test at the 5% probability level

جدول ۳. ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی در بالنگوی شهری تحت تأثیر محلول‌پاشی پوترسین و اعمال سرب

Table 3. Correlation coefficients of studied traits in *Lallemantia iberica* under the influence of putrescine spraying and Pb application

Trait	صفت	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	وزن خشک برگ Leaf dry weight	1										
2	وزن خشک ساقه Stem dry weight	0.93***	1									
3	وزن خشک کیسول Capsule dry weight	0.91***	0.92***	1								
4	وزن خشک اندام هوایی Total shoot dry weight	0.96***	0.98***	0.98***	1							
5	شاخص سبزی‌نگی Greenness index	0.79***	0.82***	0.77***	0.81***	1						
6	سطح برگ Leaf area	0.6**	0.56**	0.49*	0.56**	0.73***	1					
7	وزن خشک ریشه Root dry weight	0.64***	0.61**	0.57**	0.62**	0.45*	0.33 ^{ns}	1				
8	طول ریشه Root length	0.88***	0.88***	0.81***	0.87***	0.9***	0.61**	0.56**	1			
9	عملکرد دانه Grain yield	0.87***	0.83***	0.73***	0.82***	0.87***	0.69***	0.6**	0.9***	1		
10	شاخص تحمل Tolerance index	0.95***	0.96***	0.91***	0.96***	0.84***	0.58**	0.66***	0.93***	0.89***	1	
11	محتوی پرولین Proline content	-0.37 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	-0.27 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	-0.37 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	1

ns, *, **, ***; non-significant and significant at 5%, 1%, and 0.1% probability levels, respectively. ۱ و ۰/۱ درصد.

محتوی پرولین

(2018). با افزایش غلظت سرب، محتوی پرولین در گشنیز (Fatemi et al., 2017)، لوبیا (Jimenez-Bremont et al., 2006) و باقلا (Alle et al., 2019) افزایش یافت و پوترسین توانست اثرات تنش سرب را تسکین داده و محتوی پرولین گیاه پنبه (Hanafy Ahmed et al., 2013) و بابونه آلمانی (Khorshidi et al., 2013) را افزایش دهد. پلی-آمین‌ها تحمل به تنش و پرولین را در تنش فلزات سنگین افزایش می‌دهند (Hasanuzzaman et al., 2019) زیرا مسیرهای متابولیکی دخیل در بیوسنتز پرولین و پلی‌آمین‌ها، به گلوتامات، اورنیتین و آرژینین به‌عنوان پیش‌ماده نیاز دارند (Jimenez-Bremont et al., 2006).

وزن خشک برگ، ساقه، کیسول و کل اندام هوایی

اثر اصلی سرب و پوترسین و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک برگ، ساقه، کیسول و کل اندام هوایی معنی‌دار بودند (جدول ۱). با افزایش غلظت سرب در خاک یک روند نزولی در وزن

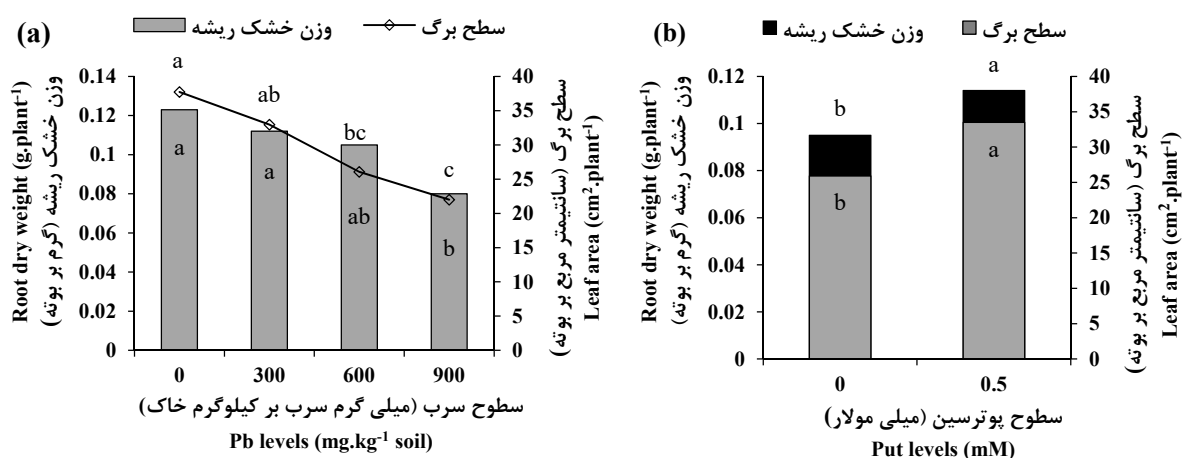
تجزیه واریانس محتوی پرولین بیانگر معنی‌داری اثر اصلی سرب و پوترسین و اثر متقابل آن‌ها بود (جدول ۱). در هر دو سطح کاربرد پوترسین و عدم کاربرد آن، با افزایش غلظت سرب از ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌گرم، محتوی پرولین نسبت به سطح شاهد افزایش یافت و محلول‌پاشی پوترسین در سطوح صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم سرب، پرولین را به ترتیب ۲۶/۱، ۱۶/۲، ۶۷/۶ و ۲۷/۹ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد (جدول ۲). افزایش پرولین، یک سازوکار مهم گیاه برای افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی است که این نقش را از طریق پایداری غشاها و پروتئین‌ها، تنظیم فشار اسمزی، محافظت از ساختارهای سلولی و کاهش آسیب ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن، ایفا می‌کند (Kumar et al., 2018). افزایش پرولین در شرایط تنش می‌تواند به دلیل کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات و یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باشد (Kumar et al.,

(Taie et al., 2019) و گندم (Parmoon et al., 2019) نیز مشاهده شد که این افزایش را می‌توان به نقش پلی‌آمین‌ها در افزایش تقسیم و طولی شدن سلولی، بهبود شاخص‌های رشدی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و اثر محافظتی آن‌ها در پایداری سلول نسبت داد (Taie et al., 2019).

طول و وزن خشک ریشه

اثر اصلی سرب و پوترسین بر وزن خشک و طول ریشه معنی‌دار بودند و اثر متقابل آن‌ها فقط بر طول ریشه معنی‌دار شد (جدول ۱). افزایش غلظت سرب در خاک روندی نزولی در وزن خشک ریشه ایجاد نمود و سطح ۹۰۰ میلی‌گرم سرب، وزن خشک ریشه را به ترتیب ۳۳/۳ درصد نسبت به سطح صفر کاهش داد (شکل ۱a). محلول پاشی پوترسین وزن خشک را ۲۰ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد (شکل ۱b).

خشک برگ، ساقه، کپسول و کل اندام هوایی در هر دو سطح کاربرد پوترسین و عدم کاربرد آن مشاهده شد و بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۹۰۰ میلی‌گرم سرب بود و پوترسین در تمام سطوح سرب منجر به افزایش وزن خشک برگ، ساقه، کپسول و کل در مقایسه با عدم کاربرد پوترسین شد (جدول ۲). کاهش وزن خشک اندام هوایی با افزایش غلظت سرب در مریم‌گلی (Stancheva et al., 2010)، نعنای فلفلی (Amirmoradi et al., 2015) و گندم (Taie et al., 2019) گزارش شد که با نتایج پژوهش ما مطابقت داشت. کاهش رشد گیاهان در تنش سرب می‌تواند به دلیل مهار فعالیت‌های متابولیکی مهم مانند فتوسنتز و تنفس و کاهش تقسیم و طولی شدن سلولی باشد (Taie et al., 2019; Mallhi et al., 2019). غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار پوترسین، وزن خشک برگ و کل را در فلفل شیرین افزایش داد (Alizadeh et al., 2017). افزایش بیوماس با کاربرد پوترسین در آویشن (Saffari et al., 2015)، رازیانه



شکل ۱. اثرات اصلی سرب (a) و پوترسین (b) بر سطح برگ و وزن خشک ریشه گیاه بالنگوی شهری

Fig. 1. Simple effects of Pb (a) and putrescine (b) on leaf area and root dry weight of *Lallelantia iberica*

کاهش می‌یابد (Taie et al., 2019; Mallhi et al., 2019). همبستگی مثبت و معنی‌دار طول ریشه با وزن خشک کل اندام هوایی و سطح برگ به ترتیب $r=0/61^{**}$ و $r=0/87^{***}$ است (جدول ۳). از جمله دلایل کاهش رشد ریشه و قسمت هوایی در تنش سرب می‌توان به تجمع زیاد سرب در ریشه، اثر مستقیم سرب بر هسته سلول و تعامل سرب با گروه‌های سولفیدریل غشای سلول‌ها و غیرفعال کردن آن‌ها اشاره کرد (Aggarwal et al., 2012;)

افزایش غلظت سرب در خاک روندی نزولی در طول ریشه ایجاد کرد و کاربرد پوترسین طول ریشه را در سطوح سرب صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم، به ترتیب ۶/۴، ۱۸/۷، ۱۶/۲ و ۳۷/۵ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد (جدول ۲). رشد و توسعه نامناسب ریشه در تنش فلزات سنگین به‌ویژه سرب، سطوح جذب آب و مواد غذایی را کاهش داده و به دنبال آن فتوسنتز، تعرق و تنفس گیاه را تحت تأثیر قرار داده که در نتیجه رشد بخش هوایی گیاه و سطح برگ

شد که با نتایج مطالعه ما مطابقت داشت. این کاهش می‌تواند ناشی از تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی و کاهش رشد بخش هوایی و سطح برگ باشد (Taie et al., 2019). پوترسین عملکرد دانه را در پنبه (Hanafy Ahmed et al., 2013) و گندم (Taie et al., 2019) افزایش داد که مطابق با نتایج تحقیق ما بود. پلی‌آمین‌ها از فتوسنتز در برابر تنش محافظت کرده و حرکت قندها و آمینواسیدها را به مخازن زایشی در حال توسعه تنظیم می‌کنند. افزایش عملکرد می‌تواند به دلیل نقش پلی‌آمین‌ها در القای گل، آغاز گل، گل، گرده-افشانی، رشد دانه و رسیدگی باشد (Hanafy Ahmed et al., 2019; Taie et al., 2013). پوترسین می‌تواند توانایی گیاه را برای رشد در خاک‌های آلوده به سرب افزایش دهد. افزایش تحمل در گیاهان تیمار شده با پلی‌آمین به‌ویژه پوترسین در تنش سرب، به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش نشت الکترولیتی، افزایش شاخص پایداری غشا و محتوی پروتئین، نسبت داده شده است (Rady et al., 2016; Taie et al., 2019).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که غلظت‌های سرب تأثیر معنی‌داری بر صفات سطح برگ، شاخص سبزی‌نگی، وزن خشک برگ، ساقه و کل اندام هوایی، طول و وزن خشک ریشه، شاخص تحمل و عملکرد دانه گیاه بالنگوی شهری داشت به طوری که با افزایش غلظت سرب، از مقادیر صفات فوق نسبت به شاهد کاسته و بر محتوی پروتئین افزوده شد. محلول‌پاشی پوترسین توانست اثر بهبوددهنده بر صفات فوق داشته باشد و در شرایط تنش سرب با افزایش طول ریشه، شاخص سبزی‌نگی و وزن خشک برگ منجر به افزایش شاخص تحمل بالنگوی شهری شود؛ بنابراین با توجه به بحران افزایش غلظت فلزات سنگین به‌ویژه سرب در خاک‌های کشاورزی، کاربرد پوترسین می‌تواند برای افزایش تحمل به تنش سرب در گیاه بالنگوی شهری و استفاده از این گیاه در مناطق آلوده به سرب جهت احیای پوشش گیاهی از بین رفته، پیشنهاد گردد.

Hasanuzzaman et al., 2019). بخش زیادی از سرب جذب‌شده در دیواره سلول‌های ریشه رسوب کرده و با ایجاد شکاف‌هایی در دیواره‌ها موجب ممانعت از رشد طولی آن‌ها می‌شود (Karimi et al., 2013). در تنش سرب، کاهش وزن خشک ریشه در کنگر فرنگی (Karimi et al., 2013)، مریم-گلی (Stancheva et al., 2010) و کرچک (Mallhi et al., 2019) و نیز کاهش رشد طولی در بابونه آلمانی (Saderi et al., 2011)، گشنیز (Fatemi et al., 2017) و کرچک (Mallhi et al., 2019) گزارش شده‌اند. افزایش وزن خشک و طول ریشه با کاربرد پوترسین در مطالعات دیگر گزارش شده است (Lakra et al., 2016; Yousefi et al., 2019). که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. پلی‌آمین‌ها می‌توانند موجب درجات گوناگونی از کاهش مهار رشد در تنش شوند که بیانگر تأثیر پلی‌آمین‌ها در کاهش آسیب سلولی ناشی از تنش است (Taie et al., 2019) و با حذف رادیکال‌های آزاد، تثبیت غشا و ساختارهای سلولی، تنظیم کانال‌های یونی و افزایش مقدار انرژی سلول با تحریک تولید آدنوزین تری فسفات، از گیاهان در برابر اثرات مضر تنش‌های محیطی محافظت کنند (Shu et al., 2015).

شاخص تحمل و عملکرد دانه

اثر اصلی سرب و پوترسین و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص تحمل و عملکرد دانه معنی‌دار بودند (جدول ۱). در هر دو سطح کاربرد پوترسین و عدم کاربرد آن، افزایش سرب شاخص تحمل و عملکرد دانه را کاهش داد و کاربرد پوترسین در سطوح سرب صفر، ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم، شاخص تحمل را به ترتیب ۹/۸، ۶۲/۶، ۵۸/۲ و ۷۴/۲ درصد و عملکرد دانه را به ترتیب ۱۰/۴، ۸۴/۷، ۵۶/۴ و ۶۵/۹ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد (جدول ۲). شاخص تحمل بیانگر توانایی گیاه برای زنده‌مانی در محیط آلوده است و گیاهان دارای شاخص تحمل بالاتر، توانایی بیشتری برای زنده‌مانی در محیط‌های آلوده دارند. افزایش غلظت سرب و کادمیوم موجب کاهش شاخص تحمل (Khoramivafa et al., 2013) و عملکرد دانه (Jamshidi et al., 2016; Taie et al., 2019)

منابع

Aggarwal, A., Sharma, I., Tripathi, B.N., Munjal, A.K., Baunthiyal, M., Sharma, V., 2012. Metal toxicity and photosynthesis. In: Itoh, S.,

Mohanty, S., Guruprasad, K.N. (eds.), Photosynthesis: Overviews on Recent Progress

- and Future Perspectives. I.K. International Publishing House Pvt, Ltd, pp. 229-236.
- Alizadeh, B., Ghahremani, Z., Barzegar, T., Nikbakht, J., 2017. Effect of foliar application of putrescine on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annum* cv. Dimaz) under water stress. *Agricultural Crop Management*. 19, 431-444. [In Persian with English summary].
- Alle, V., Osvalde, A., Vikmane, M., Kondratovics, U., 2019. The effect of cadmium and lead pollution on growth and physiological parameters of field beans (*Vicia faba*). *Agronomy Research*. 17, 1261-1272.
- Amanzadeh, Y., Dehaghi, N.K., Gohari, A.R., Monsef-Esfahan, H.R., Sadat Ebrahimi, S.E., 2011. Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and post-flowering stage. *Research Journal of Biological Sciences*. 6, 114-117.
- Amirmoradi, S.H., Rezvani Moghaddam, P., kocheiki, A., danesh, S., fotovat, A., 2015. Effect of cadmium and lead on quantitative and essential oil traits of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Agroecology*. 9, 142-157. [In Persian with English Summary].
- Baniasadi, F., Saffari, V.R., Maghsoudi moud, A.A., 2015. Effect of putrescine on some physiological and morphological characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. *Environmental Stresses in Crops Sciences*, 8, 73-82. [In Persian with English summary].
- Bates, L.S., Waldern, R.P., Tear, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- Çelebi, Ş.Z., Ekin, Z., Eryiğit, T., 2017. Lead phytoremediation potential of hydroponically cultivated crop plants. *International Journal of Agriculture and Biology*. 19, 1141-1148.
- Fatemi, H., Esmailpour, B., Soltani-Toolarood, A., Nematollah Zadeh, A., 2017. Effects of silicon nano particle nutrition on growth and physiological characteristics of *Coriandrum sativum* L. under lead stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 33, 853-870. [In Persian with English Summary].
- Hanafy Ahmed, A.H., Darwish, E., Hamoda, S.A.F., Alobaidy, M.G., 2013. Effect of putrescine and humic acid on growth, yield and chemical composition of cotton plants grown under saline soil conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural Environmental Sciences*. 13, 479-497.
- Hanafy Ahmed, A.H., Darwish, E., Alobaidy, M.G., 2017. Impact of putrescine and 24-epibrassinolide on growth, yield and chemical constituents of cotton (*Gossypium barbadense* L.) plant grown under drought stress conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*. 16, 9-23.
- Hasanuzzaman, M., Alhaithloul, H.A.S., Parvin, K., Bhuyan, M.B., Tanveer, M., Mohsin, S.M., Nahar, K., Soliman, M.H., Mahmud, J.A., Fujita, M., 2019. Polyamine action under metal/metalloid stress: regulation of biosynthesis, metabolism, and molecular interactions. *International Journal of Molecular Sciences*. 20, 3215.
- Jamshidi, P., Baradaran Firoozabadi, M., Oloumi, H., Naghavi, H., 2016. Evaluation of foliar spraying of zinc and calcium fertilizers on yield and physiological traits of safflower under lead stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15, 368-379. [In Persian with English Summary].
- Jeliazkova, E.A., Craker, L.E., 2003. Seed germination of some medicinal and aromatic plants in heavy metal environment. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*. 10, 105-112.
- Jimenez-Bremont, J.F., Becerra-Flora, A., Hernandez-Lucero, E., et al., 2006. Proline accumulation in two bean cultivars under salt stress and the effect of polyamines and ornithine. *Biologia Plantarum*. 50, 763-766.
- Karimi, A., Khodaverdilo, H., Rasouli Sadaghiani, M.H., 2017. Characterisation of growth and biochemical response of *Onopordum acanthium* L. under lead stress as affected by microbial inoculation. *Chemistry and Ecology*. 33, 963-976.
- Karimi, N., Khanahmadi, M., Moradi, B., 2013. The effects of lead on some physiological parameters of Artichoke. *Journal of Plant Production Research*. 20, 49-62. [In Persian with English Summary].
- Khoramivafa, M., Ahmadpour, Z., Jalali Honarmand, S., Cheghamirza, K., Khanahmadi, M., 2013. Biosorption of lead and cadmium by watercress (*Nasturtium officinale*) and pennyroyal (*Mentha pulegium*) in hydroponic conditions. *Environmental Sciences Journal*. 11, 69-78. [In Persian with English Summary].

- Khorshidi, M., Kousha, A., Alemi, M., 2013. Effect of putrescine on MDA, proline and sugars in *Matricaria chamomilla*. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 2, 607-611.
- Kong, Z., Glick, B.R., 2017. The role of plant growth-promoting bacteria in metal phytoremediation. *Advances in Microbial Physiology*. 71, 97-132.
- Koohdar, F., Sheidai, M., Talebi, S.M., Noormohammadi, Z., 2015. Population genetic structure in medicinal plant *Lallemantia iberica* (Lamiaceae). *Biodiversitas*. 16, 139-144.
- Kumar, A., Prasad, M.N.V., 2015. Lead-induced toxicity and interference in chlorophyll fluorescence in *Talinum triangulare* grown hydroponically. *Photosynthetica*. 53, 66-71.
- Kumar A., Narasimha M., Prasad V., 2018. Plant-lead interactions: Transport, toxicity, tolerance, and detoxification mechanisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 166, 401-418.
- Kunwar G., Pande C., Tewari G., Singh C., Kharkwal G.C., 2015. Effect of heavy metals on terpenoid composition of *Ocimum basilicum* L. and *Mentha spicata* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 18, 818-825.
- Lakra, N., Tomar, P.C., Mishra, S.N., 2016. Growth response modulation by putrescine in Indian mustard *Brassica juncea* L. under multiple stress. *Indian Journal of Experimental biology*. 54, 262-270.
- Liao, M., Yun-kuo, L., Xiao-min, Z., Chang-yong, H., 2005. Toxicity of cadmium to soil microbial biomass and its activity: Effect of incubation time on Cd ecological dose in paddy soil. *Journal of Zhejiang University Science*. 6B, 324-330.
- Lou, Y., Zhao, P., Wang, D., Amombo, E., Sun, X., Wang, H., Zhuge, Y., 2017. Germination, physiological responses and gene expression of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) growing under Pb and Cd. *PLoS ONE*. 12, e0169495.
- Mallhi, Z.I., Rizwan, M., Mansha, A., Ali, Q., Asim, S., Ali, S., Hussain, A., Alrokayan, S.H., Khan, H.A., Alam, P., Ahmad, P., 2019. Citric acid enhances plant growth, photosynthesis, and phytoextraction of lead by alleviating the oxidative stress in castor beans. *Plants*. 8, 525.
- Parmoon, G., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Hashemi, M., Moosavi, S.A., 2019. Assessing photosynthetic performance of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) influenced by plant growth regulators and drought stress imposed at vegetative and reproductive stages. *Italian Journal of Agronomy*. 14, 93-100.
- Rady, M.M., Seif El-Yazal, M.A., Taie, H.A.A., Ahmed, S.M.A., 2016. Response of wheat growth and productivity to exogenous polyamines under lead Stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 19, 363-371.
- Sá R.A., Sá R.A., Alberton O., Gazim Z.C., Laverde Jr A., Caetano J., Amorin A.C., Dragunski D.C., 2015. Phytoaccumulation and effect of lead on yield and chemical composition of *Mentha crispata* essential oil. *Desalination and Water Treatment*. 53, 3007-3017.
- Saderi, S.Z., Zarinkamar, F., Zeynali, H., 2011. The study of lead uptake and accumulation by *Matricaria chamomilla* in various growth stages. *Iranian Journal of Plant Biology*. 3, 53-62. [In Persian with English Summary].
- Safari, Y., Delavar, M.A., Esfandiarpour Borujeni, I., Salehi, M.H., Owliaie, H.R., 2016. Assessment of heavy metals using pollution load index in Zanjan Zinc Industrial Town area. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 6, 119-133. [In Persian with English Summary].
- Saffari, M., Oveysi, M., Zarghami, R., 2015. Effect of putrescine polyamine on some traits of the herb thyme (*Thymus vulgaris* L.) under water deficit stress. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*. 12, 279-289. [In Persian with English summary].
- Shu, S., Yuan, Y., Chen, J., Sun, J., Zhang, W., Tang, Y., Zhong, M., Guo, S., 2015. The role of putrescine in the regulation of proteins and fatty acids of thylakoid membranes under salt stress. *Scientific Reports*. 5, 14390.
- Stancheva, I., Geneva, M., Hristozkova, M., Markovska, Y., Salamon, I., 2010. Antioxidant capacity of sage grown on heavy metal-polluted soil. *Russian Journal of Plant Physiology*. 57, 799-805.
- Taie, H.A., El-Yazal, M.A.S., Ahmed, S.M., Rady, M.M., 2019. Polyamines modulate growth, antioxidant activity, and genomic DNA in heavy metal-stressed wheat plant.

- Environmental Science and Pollution Research. 26, 22338-22350.
- Yousefi, F., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., Rasouli-Sadaghiani, M.H., 2019. Response of roses (*Rosa hybrida* L. 'Herbert Stevens') to foliar application of polyamines on root development, flowering, photosynthetic pigments, antioxidant enzymes activity and NPK. Scientific Reports. 9, 16025.
- Zlatanov, M., Antova, G., Angelova-Romova, M., et al., 2012. Lipid structure of Lallemandia seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids for nutritional supplements. Journal of American Oil Chemists' Society. 89, 1393-1401.