

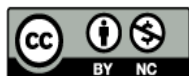
Investigation of the effects of cadmium on seed germination indices and vigor of the medicinal plant *Malva sylvestris* L. to evaluate the potential for environmental conservation

Sedighe Asadi Dolatabad¹ | Tahmaseb Asemaneh²  | Hamidreza Balouchi³

1. Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email: miss.sedighehasadi.yu@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Biology, Faculty of Basic Sciences, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email: asemaneh@yu.ac.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran. Email: balouchi@yu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type Research Article	Objective: Heavy metal pollution in soils has become a major environmental issue, adversely affecting human health, living organisms, and ecosystems. Among these metals, cadmium—a non-essential element for plant growth—is readily absorbed by plants and induces toxicity. Plant tolerance and sensitivity to cadmium vary across species. <i>Malva sylvestris</i> L., a valuable medicinal plant widely used in traditional Iranian medicine, grows in diverse habitats that may be exposed to cadmium contamination. This study investigated the responses of <i>M. sylvestris</i> to cadmium stress during the early stages of growth. Methods: Seed germination and vigor of three <i>M. sylvestris</i> seed populations were evaluated under cadmium concentrations of 0, 5, 10, 20, and 40 mg/L. The experiment was conducted on filter paper in a completely randomized design. Results: Cadmium exposure reduced germination traits, including seedling length, seed vigor index, germination rate, and germination percentage of <i>M. sylvestris</i> . Population effects were significant only for germination percentage, germination rate, and plant fresh weight. Conclusion: Cadmium treatment significantly inhibited seed germination and early growth parameters, indicating that <i>Malva sylvestris</i> L. exhibits low resistance to cadmium during the early stages of establishment.
Article history Received: 25 April 2025 Revised: 27 June 2025 Accepted: 30 June 2025 Published: 23 September 2025	
Keywords Cadmium stress <i>Malva sylvestris</i> Medicinal plant Seed germination	

Cite this article: Asadi Dolatabad, S., Asemaneh, T., & Balouchi, H. (2025). Investigation of cadmium effects on seed germination indices and vigor of the medicinal plant *Malva sylvestris* L. *Ethnobiology and Biodiversity Conservation*, 2(3), 15-25. <https://doi.org/10.22091/ethc.2025.12820.1057>



©The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22091/ethc.2025.12820.1057>

Publisher: University of Qom

بررسی اثرات کادمیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنيه بذر

گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris* L.) جهت ارزیابی پتانسیل حفاظت زیست‌محیطی

صدیقه اسدی دولت‌آباد^۱ | طهماسب آسمانه^۲ | حمیدرضا بلوچی^۳

۱. گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: miss.sedighehasadi.yu@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: asemaneh@yu.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: halouchi@yu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی

تاریخچه

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۵

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۰۶

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها

پنیرک

تنش کادمیم

جوانه‌زنی بذر

گیاه دارویی

هدف: امروزه آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها، به‌عنوان یک مشکل عمده زیست‌محیطی، بر سلامت انسان، موجودات زنده و زیست‌بوم اثر دارد. گرچه فلز سنگین کادمیم برای رشد گیاهان عنصری ضروری نیست، ولی به راحتی جذب گیاه شده و باعث بروز سمیت می‌شود. مقاومت و حساسیت گیاهان به کادمیم، بسته به نوع گونه گیاهی متفاوت است. گیاه پنیرک (*Malva sylvestris* L.)، گیاه دارویی ارزشمندی است که در طب سنتی ایران در درمان بسیاری از بیماری‌ها کاربرد دارد و در گستره وسیعی از زیستگاه‌ها با احتمال آلودگی کادمیم، رویش دارد. در این پژوهش، پاسخ‌های این گیاه به تنش کادمیم در مراحل اولیه رویش مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، جوانه‌زنی بذر و بنيه سه جمعیت بذری گیاه پنیرک تحت تیمار سطوح صفر، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم در بستر کاغذ صافی، در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی، بررسی گردید.

نتایج: تیمار کادمیم باعث کاهش صفات جوانه‌زنی از جمله طول گیاهچه، شاخص بنيه بذر، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی بذر گیاه پنیرک گردید. اثر جمعیت، فقط بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر و وزن تر گیاهچه معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج نشان داد که تیمار کادمیم، شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌ها را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که خود نشان‌دهنده‌ی عدم مقاومت این گیاه به کادمیم در مراحل اولیه استقرار می‌باشد.

استناد: اسدی دولت‌آباد، صدیقه؛ آسمانه، طهماسب؛ و بلوچی، حمیدرضا (۱۴۰۴). بررسی اثرات کادمیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و بنيه بذر گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris* L.). *زیست‌قوم‌شناسی و حفاظت تنوع زیستی*، ۲(۳)، ۲۵-۱۵. <https://doi.org/10.22091/ethc.2025.12820.1057>

مقدمه

در دهه‌های اخیر، آلودگی خاک با فلزات سنگین به دلیل سمی بودن و تجزیه‌ناپذیری آن‌ها به یک مسئله زیست‌محیطی مهم تبدیل شده است (Briffa et al., 2020). کادمیم به عنوان یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین، از طریق فعالیت‌های انسانی و صنعتی از جمله روکش کاری فلزی، تولید پلاستیک، معدنکاری، استفاده از مواد رنگی، آماده‌سازی آلیاژها، باتری‌هایی که حاوی کادمیم هستند و نیز ورود فاضلاب‌های شهری و خانگی و کشاورزی، به محیط زیست وارد می‌شود (Kabata-pendias, 2014; Moradi et al., 2005; Jaishankar et al., 2001). جذب کادمیم توسط گیاهان می‌تواند منجر به تجمع آن در زنجیره غذایی انسان شود. سمیت کادمیم فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی حیاتی در گیاهان، از جمله هموستازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، فعالیت‌های آنزیمی، فتوسنتز و جذب مواد مغذی را مختل می‌کند و منجر به توقف رشد و کاهش زیست توده می‌شود. با افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان، باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و کاهش رشد و عملکرد آن‌ها می‌شود (Soni et al., 2024). به عنوان مثال، در تحقیقی بر روی گیاه ریحان، تیمار کادمیم منجر به کاهش وزن خشک ریشه و ساقه، طول ریشه و ساقه و سطح برگ شد؛ در حالی که میزان پرولین و قندهای محلول افزایش یافت (Aghaei et al., 2019).

البته گونه‌های مختلف گیاهی در برابر آلودگی خاک با فلزات سنگین واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. برخی از گونه‌های گیاهی به مقدار معینی از فلزات سنگین در خاک مقاوم هستند و توانایی جذب و تثبیت آن‌ها را در بافت‌های درونی خود دارند (Arduini et al., 1994). جلوگیری از جذب کادمیم توسط ریشه‌های گیاه می‌تواند یک استراتژی مهم در به حداقل رساندن اثرات سوء زیستی این عنصر باشد (Kolelia et al., 2004).

سازوکارهایی که منجر به مقاومت در برابر فلزات سنگین می‌شوند را می‌توان به سازوکار اجتنابی و سازوکار تحمل تقسیم کرد. اجتناب، منجر به محدودیت‌های جذب کادمیم می‌شود. سازوکار تحمل گیاه، شامل جمع‌آوری و ذخیره‌ی کادمیم از طریق پیوند آن با آمینواسیدها، پروتئین‌ها و پپتیدها می‌شود (Pál et al., 2006). از دیگر سازوکارهایی که گیاهان جهت سازگاری با آسیب ناشی از کادمیم به کار می‌برند استفاده از برخی مولکول‌های تنشی از قبیل؛ اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک، اسید نیتريت و اتیلن است. تمامی این مواد، به وسیله‌ی تیمار کادمیم القا می‌شوند که نشان می‌دهد در کار واکنش به سمیت کادمیم شرکت دارند (Popova et al., 2012). برخی از گیاهان، در خاک‌های آلوده به کادمیم، زنده می‌مانند، رشد می‌کنند و بالغ می‌شوند. این گیاهان قابلیت مقاومت بالایی در بافت‌ها و ارگان‌های سلولی‌شان نشان می‌دهند. از سازوکارهای مقابله با سمیت کادمیم می‌توان به جذب و توزیع کادمیم نام برد؛ روشی که با عنوان "بیش‌انباشتگری" تعریف شده است. از طرف دیگر برخی از گیاهان، آنتی‌اکسیدان‌ها را افزایش می‌دهند تا از نابودی سلول‌ها و بافت‌ها جلوگیری کنند (Rascio and Navari-Izzo, 2011). اثرات کادمیم بر روی جوانه‌زنی و بنیه بذر، بسته به دوز کادمیم، خواص محیط، گونه‌ها و ژنوتیپ‌های گیاهی و مرحله نمو گیاه، متفاوت است (Carvalho et al., 2023).

پنیرک (*Malva sylvestris* L.)، گیاهی است علفی، متعلق به خانواده‌ی Malvaceae، که ازدیاد آن از طریق بذر صورت می‌گیرد و ارزش غذایی و دارویی بالایی دارد. این گیاه در سراسر مناطق معتدل، نیمه حاره‌ای و حاره‌ای آفریقا، آسیا و اروپا گسترش یافته است. برخی از گونه‌های پنیرک به طور معمول به عنوان غذا مصرف می‌شوند (Celka and Ddrapikowska, 2008). این گیاه در اغلب نقاط از جمله شمال، جنوب، غرب و مرکز ایران رویش دارد (Pakravan, 2008). از پنیرک در پزشکی سنتی در تسکین درد و التهاب، التیام زخم و بهبود اختلالات کلیوی و عوارض پوستی و در مقابله با میکروارگانیزم‌های مختلف از جمله ویروس‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها استفاده شده است و بخش‌های هوایی آن دارای ارزش غذایی و علوفه‌ای هستند. ترکیبات اصلی گیاه پنیرک، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی می‌باشند و حضور مالوین، دلفینیدین، مالویدین، بتاکاروتن، سیانین، تانن‌ها، ساپونین‌ها، آلکالوئیدها، موسیلاژ و به ویژه آنتی‌اکسیدان‌ها در این گیاه، عامل خواص ضد اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد ویروسی و ضد درد و اثر بر بهبود التهاب است که در تحقیقات آزمایشگاهی به اثبات رسیده است (Shokrollahi and Heshmati, 2016). از آنجایی که این گیاه با پراکنش گسترده در محیط‌هایی با احتمال آلودگی بالا با فلزات سنگین از جمله کادمیم رشد می‌کند، در مطالعه حاضر، پاسخ‌های اولین مراحل چرخه زندگی این گیاه به تنش کادمیم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری بذر گیاه پنیرک

نمونه‌های بذری گیاه پنیرک طبق روش‌های استاندارد انجمن بین‌المللی بذر (ISTA^۱, 2011)، در اواخر بهار تا اوایل تابستان از رویشگاه‌های طبیعی مطابق جدول ۱، جمع‌آوری شد. پس از خشک کردن، بوجاری و حذف بذور پوک، از این بذور جهت انجام تحقیق استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات مناطق جمع‌آوری بذر گیاه پنیرک

محل جمع‌آوری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
اصفهان - یزدآباد	۵۱/۶۸۸۵۱۵۰۰	۳۲/۶۶۴۹۱۰۰۰	۱۵۷۳
یاسوج - سروک	۵۱/۶۱۴۳۵۰۲۳	۳۰/۶۴۱۱۸۲۸۰	۱۸۲۸
بابا میدان - اسلام آباد	۵۱/۴۶۱۸۳۶۳۳	۳۰/۲۷۹۸۱۲۱۸	۸۵۹

جوانه‌زنی

ابتدا بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی شدند. سپس ۲ بار با آب مقطر شستشو داده شدند. جهت جوانه‌زنی بر روی کاغذ صافی در پتری‌دیش‌های با قطر ۱۰ سانتی‌متر قرار داده شدند. سپس با بررسی منابع علمی مختلف، غلظت‌های صفر، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم انتخاب و تیمار شدند. سطوح مختلف تیمار، غلظت‌های مختلف کادمیم بود که به ترتیب معادل غلظت‌های صفر، ۳۴، ۶۸، ۱۳۷ و ۲۴۷ میلی‌گرم بر لیتر سولفات کادمیم هستند. پتری‌دیش‌ها در دستگاه ژرمیناتور مدل JALTEB، در شرایط محیطی: رطوبت نزدیک به ۹۰ درصد، تناوب نوری (۸ ساعت نور و ۱۶ ساعت تاریکی) و دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (Ansari et al., 2016). آزمایش در سه تکرار و هر تکرار شامل ۲۰ عدد از بذر هر یک از جمعیت‌ها، انجام گرفت.

در آزمایش مورد اشاره تعداد بذوری که جوانه زدند و ایجاد گیاهچه سالم نمودند، به طور مرتب در طول مدت ۱۵ روز آزمایش، شمارش شدند. با استفاده از رابطه: $GP = \frac{Ni}{S} \times 100$ ، درصد جوانه‌زنی محاسبه شد که در این رابطه: Ni تعداد بذر جوانه‌زده، S کل بذر کشت داده شده می‌باشد (ISTA, 2011). سرعت جوانه‌زنی از رابطه: $SG = \sum \frac{ni}{Di}$ محاسبه شد. در این رابطه ni، تعداد بذره‌های جوانه زده در روزهای شمارش و Di، تعداد روز پس از شروع آزمایش می‌باشد. شاخص بنیه بذر (VI) نیز، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (ISTA, 2011):

$$VI = 100 / \text{درصد جوانه‌زنی} \times \text{میانگین طول گیاهچه (mm)}$$

همچنین در پایان آزمایش، طول گیاهچه با استفاده از کاغذ شطرنجی و وزن تر نیز با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم محاسبه گردید. کلیه عملیات آزمایشگاهی در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی و آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور غلظت کادمیم و جمعیت بذر انجام شد. آزمایش در سه تکرار و هر تکرار شامل ۵۰ عدد بذر هر یک از جمعیت‌ها، انجام گرفت. آنالیز آماری داده‌ها که دارای توزیع نرمال بودند با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. از آنالیز واریانس چند راهه برای بررسی معنی‌دار بودن اثر عوامل و اثر متقابل آنها و از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد برای مقایسه میانگین اثرات معنی‌دار استفاده شد.

نتایج

جدول ۲، تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی جمعیت‌های (یاسوج، بابا میدان و اصفهان) گیاه پنیرک را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱، اثر تیمار کادمیم بر همه شاخص‌های ذکر شده در بالا، معنی‌دار بود؛ در صورتیکه اثر جمعیت فقط بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر و وزن تر گیاهچه پنیرک اثر معنی‌داری داشت. علاوه بر این، اثر متقابل جمعیت و تیمار برای تمامی شاخص‌ها نیز، معنی‌دار نیست. بنابراین، در ادامه (شکل‌های ۱ تا ۸)، مقایسه تفکیکی اثرات معنی‌دار به عمل آمده است.

^۱. International Seed Testing Association

جدول ۲. آنالیز واریانس اثر پنج سطح کادمیم (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ میلی گرم بر لیتر)، برای درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر گیاهچه، طول گیاهچه و شاخص بنبه سه جمعیت بذر گیاه پنیرک (*Malva sylvestris* L.).

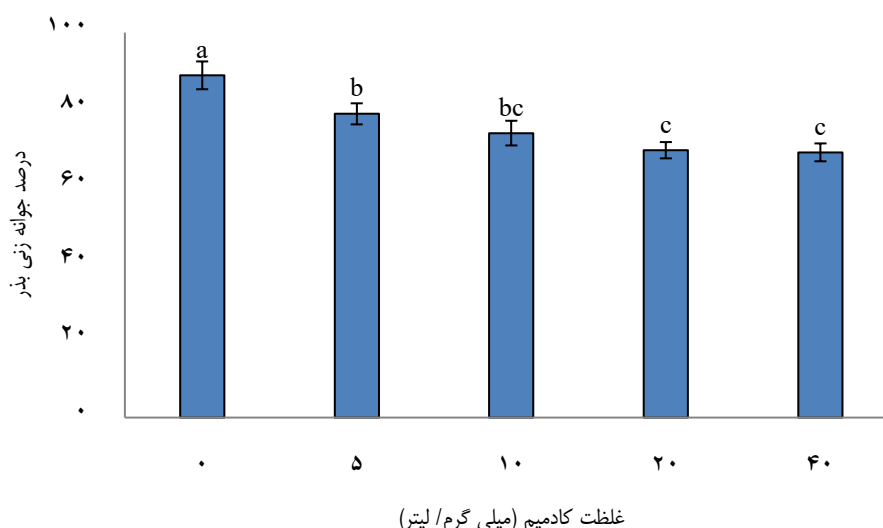
میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن تر گیاهچه	طول گیاهچه
تیمار (غلظت سولفات کادمیم)	۴	۶۱۳/۱**	۴۵/۱**	۰/۰۶۳*	۳۳۸۹/۹**
جمعیت	۲	۴۰۱/۷**	۴۳/۸**	۰/۰۸۲*	۱۳۸/۷ ^{ns}
تیمار X جمعیت	۸	۲۷۱/۳ ^{ns}	۲۱/۶ ^{ns}	۰/۰۳۸ ^{ns}	۱۰۱۵/۸ ^{ns}
خطا	۴۴	۵۲/۸	۳/۲۰۵	۰/۰۱۴	۲۷/۰۲

* و ** به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار و ^{ns} غیر معنی‌دار می‌باشد.

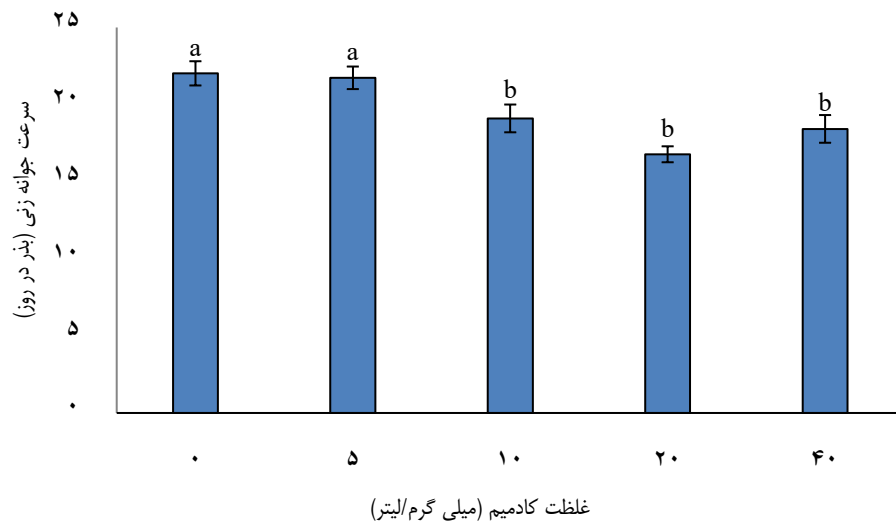
بر طبق شکل ۱، که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر درصد جوانه‌زنی بذر گیاه پنیرک را نشان می‌دهد، افزایش میزان کادمیم موجب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذر این گیاه (۱۱ تا ۲۲ درصد)، نسبت به شاهد گردیده است. با بررسی این اثر مشاهده می‌شود که کم‌ترین و بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بذر (۸۹ و ۶۹ درصد)، به ترتیب در سطوح صفر و ۴۰ میلی گرم بر لیتر کادمیم به دست آمد. همچنین بین اثر برخی از سطوح مختلف تیمار نیز، اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید.

مطابق شکل ۲ که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر میانگین سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه پنیرک را نشان می‌دهد، سطح ۱۰ میلی گرم بر لیتر کادمیم و بالاتر بر خلاف سطح ۵ این تیمار، موجب کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی بذر این گیاه (تا حدود ۲۴ درصد) نسبت به شاهد گردیده است. همچنین بین اثر سطوح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی گرم بر لیتر کادمیم بر این شاخص بذر، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد.

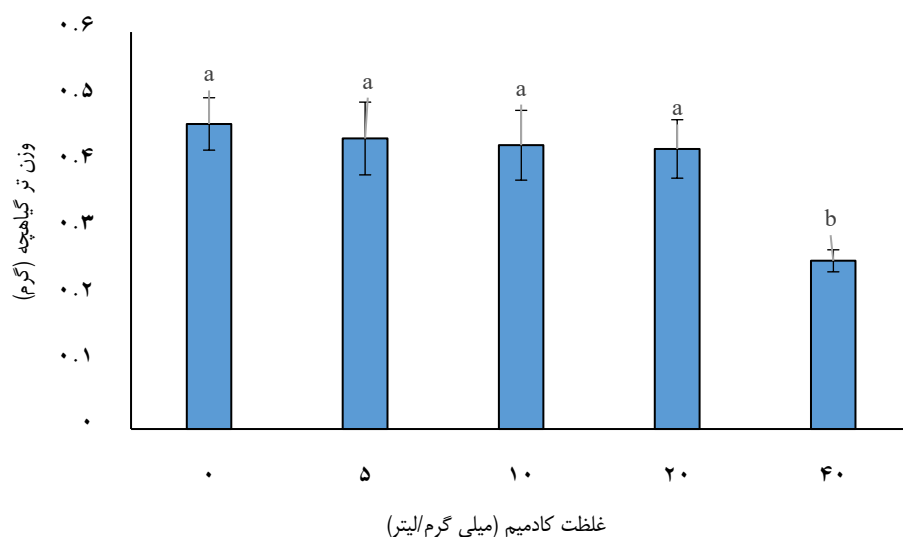
مطابق شکل ۳ که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر وزن تر گیاهچه پنیرک را نشان می‌دهد، غلظت ۴۰ میلی گرم بر لیتر کادمیم موجب کاهش معنی‌دار وزن تر این گیاهچه‌ها (حدود ۴۵ درصد) نسبت به شاهد گردیده است. اثر سطوح پایین‌تر این تیمار (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر کادمیم)، بر این شاخص معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۱. مقایسه اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر میانگین درصد جوانه‌زنی بذر گیاه پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۳ تکرار $\pm$ SE می‌باشد، حروف غیرمشترک نشان می‌دهد اثر تیمارهای مختلف بر درصد جوانه‌زنی بذر براساس آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد ($P \leq 0.05$).

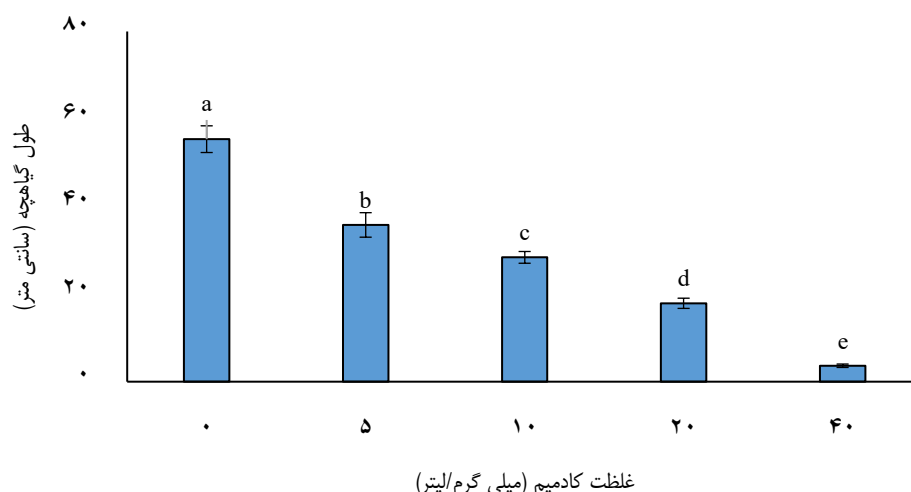


شکل ۲. مقایسه اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر میانگین سرعت جوانه‌زنی بذر گیاه پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۳ تکرار $\pm$ SE می‌باشد. حروف غیرمشتک نشان می‌دهد که اثر تیمارهای مختلف بر این شاخص بذر، براساس آزمون دانکن معنی‌دار بوده است ($P \leq 0.05$).

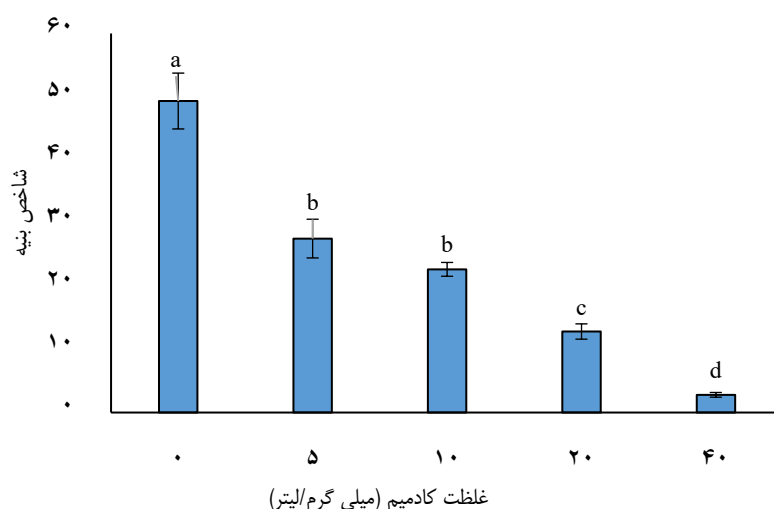


شکل ۳. مقایسه اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر میانگین وزن تر گیاهچه پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۳ تکرار $\pm$ SE می‌باشد. حروف غیرمشتک نشان می‌دهد که اثر تیمارهای مختلف بر وزن تر گیاهچه بر اساس آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد ($P \leq 0.05$).

بر طبق شکل ۴ که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر طول گیاهچه‌های پنیرک را نشان می‌دهد، افزایش میزان کادمیم موجب کاهش معنی‌دار طول گیاهچه (از حدود ۳۵ تا ۹۳ درصد) نسبت به شاهد گردید. با بررسی این اثر مشاهده می‌شود که غلظت‌های ۵ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم به ترتیب، باعث کم‌ترین و بیش‌ترین کاهش طول گیاهچه پنیرک در قیاس با شاهد شده‌اند. همچنین بین اثر سطوح مختلف تیمار بر این شاخص نیز، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید. مطابق شکل ۵ که اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر شاخص بنیه بذر گیاه پنیرک را نشان می‌دهد، افزایش میزان کادمیم موجب کاهش معنی‌دار شاخص بنیه (از حدود ۴۴ تا ۹۴ درصد) نسبت به شاهد گردیده است. با بررسی این اثر مشاهده می‌شود که غلظت‌های ۵ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین اثرگذاری را بر کاهش شاخص بنیه بذر این گیاه داشته است. همچنین بین اثر سطوح مختلف تیمار، به جز سطوح ۱۰ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر کادمیم بر این شاخص نیز، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده گردید.



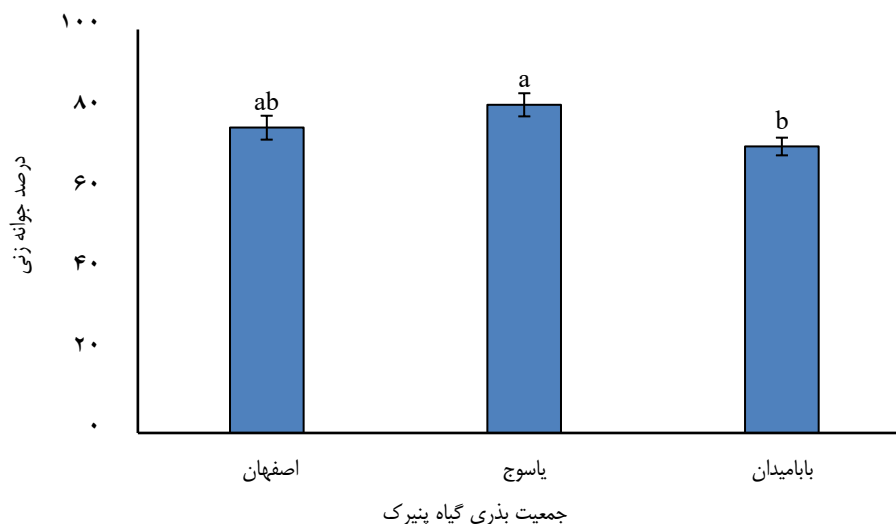
شکل ۴. مقایسه اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر میانگین طول گیاهچه‌ی پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۳ تکرار $\pm$ SE می‌باشد، حروف غیرمشترک نشان می‌دهد اثر تیمارهای مختلف بر طول گیاهچه بر اساس آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد ($P \leq 0.05$).



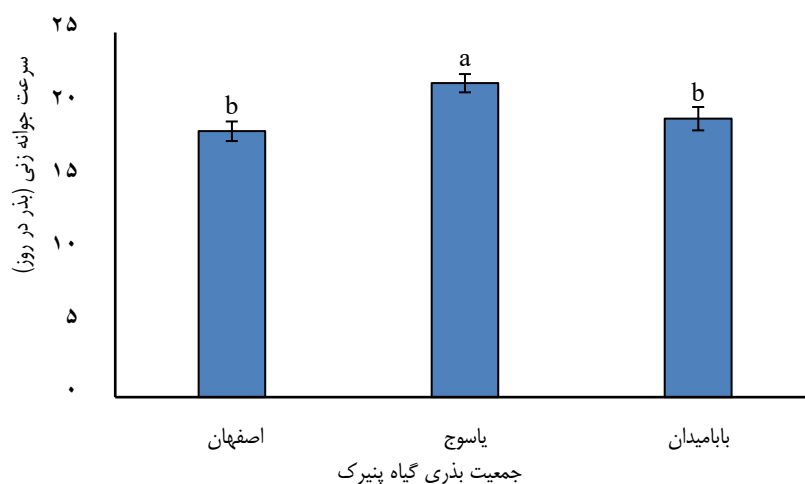
شکل ۵. مقایسه اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر میانگین شاخص بنبه بذر گیاه پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۳ تکرار $\pm$ SE می‌باشد، حروف غیرمشترک نشان می‌دهد اثر تیمارهای مختلف بر شاخص بنبه بر اساس آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد ($P \leq 0.05$).

بر طبق شکل ۶، میانگین درصد جوانه‌زنی جمعیت‌های یاسوج و بابامیدان در سطح آماری ۵ درصد، دارای اختلاف معنی‌دار بودند؛ درحالی‌که این شاخص دو جمعیت فوق با جمعیت بذری اصفهان، فاقد اختلاف معنی‌دار است. جمعیت‌های یاسوج و بابامیدان به ترتیب، بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی بذر (۸۱/۳ و ۷۱ درصد) را دارا بودند.

بر طبق شکل ۷، میانگین سرعت جوانه‌زنی در جمعیت‌های اصفهان و یاسوج و همچنین یاسوج و بابامیدان در سطح آماری ۵ درصد، دارای اختلاف معنی‌دار بودند، درحالی‌که شاخص مورد نظر در دو جمعیت بذری اصفهان و بابامیدان، فاقد اختلاف معنی‌دار است. همچنین، بیشترین و کمترین سرعت جوانه‌زنی بذر (۲۱/۵ و ۱۸/۲ بذر در روز) به ترتیب در جمعیت‌های یاسوج و اصفهان قابل مشاهده می‌باشد.

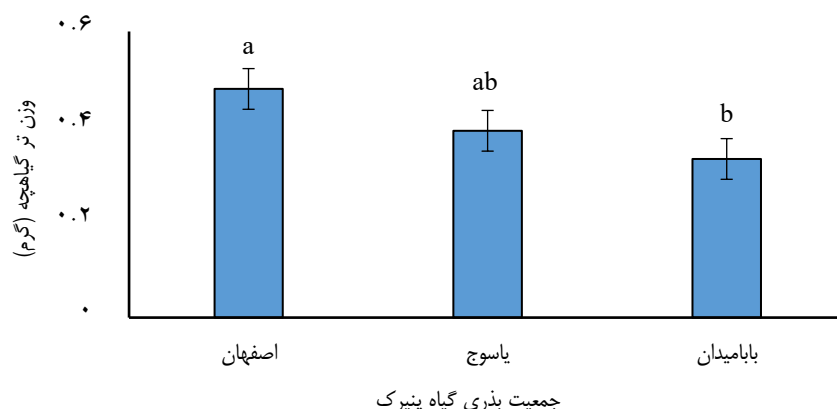


شکل ۶. مقایسه اثر جمعیت بر میانگین درصد جوانه زنی بذری پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۹ تکرار $\pm$ SE می باشد، حروف غیرمشترک نشان دهنده اثر معنی دار جمعیت های مختلف بر درصد جوانه زنی بر اساس آزمون دانکن می باشد ($P \leq 0.05$).



شکل ۷. مقایسه اثر جمعیت بر میانگین سرعت جوانه زنی بذری پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۹ تکرار $\pm$ SE می باشد، حروف غیرمشترک نشان دهنده اثر معنی دار جمعیت های مختلف بر سرعت جوانه زنی بر اساس آزمون دانکن می باشد ($P \leq 0.05$).

بر طبق شکل ۸، میانگین وزن تر گیاهچه پنیرک در جمعیت های اصفهان و بابامیدان در سطح آماری ۵ درصد، دارای اختلاف معنی دار بودند، در حالی که شاخص فوق در جمعیت های بذری اصفهان و یاسوج و همچنین یاسوج و بابامیدان، فاقد اختلاف معنی دار در سطح آماری مورد نظر می باشد. جمعیت های بذری اصفهان و بابامیدان به ترتیب، بیشترین و کمترین وزن تر گیاهچه بذری (۰/۴۸ و ۰/۳۳ گرم) را دارا می باشند.



شکل ۸. مقایسه اثر جمعیت بر میانگین وزن تر گیاهچه پنیرک (*Malva sylvestris* L.). هر عدد میانگین ۹ تکرار $\pm$ SE می‌باشد. حروف غیرمشترک نشان‌دهنده اثر معنی‌دار جمعیت‌های مختلف بر وزن تر براساس آزمون دانکن می‌باشد ($P \leq 0.05$).

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش غلظت کادمیم باعث کاهش صفات جوانه‌زنی از جمله طول گیاهچه، شاخص بنبه بذر، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی و بنبه گیاهچه می‌شود. نتایج فوق را می‌توان با شواهد و مدارک ذیل تایید و یا تفسیر کرد: در این تحقیق، تیمار کادمیم، وزن زیست‌توده گیاهچه پنیرک را کاهش داد. مشابه این یافته، از طرف برخی محققین دیگر در مورد گیاهچه‌های گندم، جو و خردل نیز گزارش شده است (Jiang et al., 2004; Shenker et al., 2001). در بررسی تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر گیاه *Phyllanthus amarus* مشخص شد که کادمیم باعث کاهش چشم‌گیر در وزن و طول گیاه می‌شود (Rai et al., 2005). کاهش رشد، یکی از اولین اثرات کادمیم بر گیاهان است. اختلال در رشد می‌تواند به دلایلی مانند کاهش آب سلول و کشسانی دیواره سلول باشد (Costa and Spitz, 1997). اختلال در تعادل آبی گیاه، به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی ضروری مانند منیزیم، آهن، کلسیم و پتاسیم ایجاد می‌شود (Gussarsson et al., 1996). کاهش رشد، ممکن است به طور کلی به علت کاهش فعالیت میتوزی و یا مهار طولی شدن سلول‌ها باشد (Shah et al., 2008; Soni et al., 2024). همچنین، کادمیم در سلول‌ها از طریق تأثیر بر دیواره‌های سلولی و تیغه میانی و افزایش پیوند عرضی بین ترکیبات دیواره سلولی باعث مهار گسترش سلولی می‌شود (Hassan et al., 2006). کاهش وزن خشک در حضور کادمیم، ناشی از کاهش جذب آب و کاهش جذب عناصر (Faizan et al., 2011) و کاهش انتقال عناصر غذایی به اندام هوایی نسبت به ریشه است (Gouia et al., 2001). شاخص بنبه یکی از ویژگی‌های تعیین‌کننده کیفیت بذر می‌باشد که آلودگی به کادمیم آن را کاهش می‌دهد. شاخص بنبه روی کیفیت بذرها از طریق جوانه‌زنی نهایی و طول گیاهچه تأثیر می‌گذارد. بذرهایی که دارای شاخص بنبه بالاتری هستند، تنش‌های محیطی را بهتر تحمل می‌کنند. همچنین، علاوه بر داشتن درصد جوانه‌زنی بالا، گیاهچه‌های قوی و عادی تولید می‌کنند (Rabiei and Bayat, 2009). یک دلیل برای کاهش رشد گیاهچه‌ها در اثر تیمار با فلزات سنگین که در این تحقیق نیز بارز بود، می‌تواند در نتیجه کاهش سلول‌های مرستمی در ناحیه غشای سلولی و برخی آنزیم‌ها در کوتیلدون و آندوسپرم باشد. در شرایط طبیعی، سلول‌ها فعال شده و شروع به تجزیه‌ی ذخایر غذایی می‌کنند. این مواد غذایی، به واسطه آنزیم آمیلاز که نشاسته را به قند تبدیل می‌کند و عمل پروتئاز که بر روی پروتئین‌ها اثر دارد، به فرم محلول تبدیل شده و به ریشه‌های اولیه و نوک ریشه‌ها منتقل می‌شود. بنابراین وقتی فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک به واسطه عناصر سنگین تحت تأثیر قرار می‌گیرند، غذا به ریشه‌های اولیه و اندام هوایی نمی‌رسد و در نتیجه طول گیاهچه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Kabir et al., 2008).

تفاوت شاخص‌های جوانه‌زنی جمعیت‌های مختلف گیاه پنیرک در پژوهش حاضر، می‌تواند ناشی از تفاوت در توده‌های بذری آنها باشد. این تفاوت ممکن است به خاطر تشکیل بذرها در شرایط محیطی مختلف باشد. به نظر می‌رسد، رشد گونه‌های گیاهی با

ژنوم مشابه در شرایط محیطی مختلف، باعث شده که پتانسیل‌های بذری‌شان با هم متفاوت باشد. شرایط اقلیمی و خاکی، می‌تواند بر ویژگی‌های بذری از جمله میزان ذخیره بذر، رطوبت بذر و وزن هزاردانه اثر داشته باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از بررسی اثر غلظت‌های مختلف کادمیم بر جوانه‌زنی سه جمعیت گیاه پنیرک، می‌توان دریافت که واکنش شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر) و رشد اولیه گیاهچه‌ها به کاربرد کادمیم منفی بوده که خود نشان‌دهنده‌ی عدم مقاومت گیاه پنیرک در مراحل اولیه استقرار گیاه در حضور کادمیم می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه یاسوج به خاطر حمایت مالی پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود. همچنین از داوران محترم به خاطر ارائه نظرات ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

آقائی، کیوان؛ راه خسروانی، بهاره؛ مغانلو، لیلا؛ و قطبی راوندی، علی اکبر (۱۳۹۸). بررسی اثر تجمع کادمیم بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸ (۳۳)، ۱۰۷-۱۲۲.

پاکروان، منیژه (۱۳۸۷). فلور ایران؛ تیره پنیرک. تهران: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، شماره ۵۸، ۴۳-۲۶.

ربیعی، بابک؛ و بیات، مهدی (۱۳۸۸). بررسی شاخص‌های جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از آزمون‌های بنیه بذر. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴، ۹۳-۱۰۴.

شکراللهی، شکوفه؛ و حشمتی، غلامعلی (۱۳۹۵). مروری بر جنبه‌های مختلف گیاه دارویی پنیرک (*Malva sylvestris*) و یافته‌های تحقیقات نوین. *نشریه دانشکده علوم پزشکی نیشابور*، ۱۰، ۸-۱.

References

- Aghaei, K., Rahkhosravani, B., Moghanlu, L., & Ghotbi Ravandi, A. A. (2019). Analysis of cadmium accumulation and its effects on some biochemical and physiological characters of basil plants (*Ocimum basilicum* L.). *Plant Process and Function*, 8(33), 107-122. (in Persian)
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B., & Ghaderi-Far, F. (2016). Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. *Seed Science and Technology*, 44, 1-14. <https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.3.05>
- Arduini, I., Godbold, D. A., & Onnis, A. (1994). Cadmium and copper change root growth and morphology of *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* seedling. *Physiologia Plantarum*, 92, 675-680.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>
- Carvalho, M. E. A., Agathokleous, E., Nogueira, M. L., Brunetto, G., Brown, P. H., & Azevedo, R. A. (2023). Neutral-to-positive cadmium effects on germination and seedling vigor, with and without seed priming. *Journal of Hazardous Material*, 448, 130813. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130813>
- Celka, Z., & Drapikowska, M. (2008). Relics of cultivation in Central Europ, *Malva alcea* L. as an example. *Vegetation History and Archaeobotany*, 17, 251-255.
- Costa, G., & Spitz, E. (1997). Influence of cadmium on soluble carbohydrates, free amino acids, and protein content of *in vitro* cultured *Lupinus albus*. *Plant Science*, 128, 131-140.

- Faizan, S., Kausar, S., & Perveen, R. (2011). Varietal differences for cadmium-induced seedling mortality, foliar toxicity symptoms, plant growth, proline and nitrate reductase activity in chickpea (*Cicer arietinum* L). *Biology and Medicine*, 3(2), 196-206.
- Gouia, H., Ghorbal, M. H., & Meyer, C. (2001). Effect of cadmium on activity of nitrat reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. *Plant Physiology*, 38, 629-638.
- Gussarsson, M., Asp, H., Adalsteinsson, S., & Jensen, P. (1996). Enhancement of cadmium effects on growth and nutrient composition of birch (*Betula Pendula*) by buthionine sulfoximine (BSO). *Journal of Botany*, 47, 211-215.
- Hassan, M. J., Zhu, Z., Ahmad, B., & Mahmood, Q. (2006). Influence of cadmium toxicity on rice genotypes as affected by zinc, sulfur and nitrogen fertilizers. *Caspian Journal Environment Science*, 4(1), 1-8.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2011). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72.
- Jiang, X. J., Luo, Y. M., Liu, Q., Liu, S. L., & Zhao, Q. G. (2004). Effects of cadmium on nutrient uptake and translocation by Indian mustard. *Environment Geochemistry and Health*, 26, 319-324.
- Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace elements in soils and plants* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kabir, M., Iqbal, M. Z., Shafiq, M., & Farooqi, Z. R. (2008). Reduction in germination and seedling growth of *Thespesia populnea* L. caused by lead and cadmium treatments. *Pakistan Journal of Botany*, 40, 2419-2426.
- Koleli, N., Eker, S., & Cakmak, I. (2004). Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environmental Pollution*, 131, 453-459.
- Moradi, A., Abbaspour, K. C., & Afyuni, M. (2005). Modelling field-scale cadmium transport below the root zone of a sewage sludge-amended soil in an arid region in Central Iran. *Journal of Contaminant Hydrology*, 79, 187-206.
- Pakravan, M. (2008). *Flora of Iran: Family Malvaceae*. Tehran: Forest and Rangeland Research Institute, 58, 26-43. (in Persian)
- Pál, M., Horváth, E., Janda, T., Páldi, E., & Szalai, G. (2006). Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 239-246.
- Popova, L. P., Maslenskova, L. T., Ivanova, A. P., & Stoinova, Z. (2012). Role of salicylic acid in alleviating heavy metal stress. In P. Ahmad & M. N. V. Prasad (Eds.), *Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change* (pp. 441-466). Springer.
- Rabiei, B., & Bayat, M. (2009). A study of seed germination and seedling growth indices of oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars through seed vigour tests. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(2), 93-104. (in Persian)
- Rai, V. S., Khatoon, S., Bisht, S., & Mehrotra, S. (2005). Effect of cadmium on growth, ultramorphology of leaf and secondary metabolites of *Phyllanthus amarus* Schum. & Thonn. *Pharmacognosy and Ethnopharmacology Division, National Botanical Research Institute*, 61(11), 1644-1650.
- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it, and what makes them so interesting? *Plant Science*, 180, 169-181.
- Shah, F. R., Ahmad, N., Masood, K. R., & Zahid, D. M. (2008). The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 40(4), 1341-1348.
- Shenker, M., Fan, T. W. M., & Crowley, D. E. (2001). Phytosiderophores influence on cadmium mobilization and uptake by wheat and barley plants. *Journal of Environment Quality*, 30, 2091-2098.
- Shokrollahi, S., & Heshmati, G. A. (2016). Different aspects of mallow (*Malva sylvestris*) and results of new research findings: a review. *Journal of Neyshabur University of Medical Sciences*, 4(1), 1-8. (in Persian)
- Soni, S., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Sharma, P. (2024). Mitigating cadmium accumulation and toxicity in plants: The promising role of nanoparticles. *Science of The Total Environment*, 912, 168826. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168826>.