Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter, 2026, p. 267-286

Plant Production and Genetics

https://doi.org/10.22034/plant.2026.146309.1208

Evaluation of allelopathic potential of aqueous extract of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) on seed germination and early seedling growth of wheat and two weed species

Siavash Hamedi Karkaragh[1], Mohammad Taghi Alebrahim*[1], Elham Samadi Kalkhoran[2], Seyedeh Asieh Khatami[1]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Plant Protection Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran

*Corresponding Author Email: m.t.alebrahim@gmail.com

Received: 11-07-2026 **revised:** 18-09-2026 **Accepted**: 27-09-2026

Abstract

Introduction: Weeds are among the most important factors reducing crop production, and their control relies heavily on chemical herbicides. However, the widespread use of these compounds has increased production costs and caused various environmental consequences. Therefore, the use of natural allelopathic compounds has been considered as a sustainable approach. The present study aimed to investigate the allelopathic effects of aqueous extract of Russian knapweed (*Acroptilon repens*) on germination and early growth of wheat, wild mustard, and wild millet.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design in the laboratory of the Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, in 2025. Seeds of wild mustard (*Sinapis arvensis*), green foxtail (*Setaria viridis*), and wheat (*Triticum aestivum*) were exposed to seven concentrations of aqueous *A. repens* extract: 0 (control), 5, 10, 20, 30, 40, and 50 g L^{-1}. In addition, three- and four-parameter log-logistic models were fitted to dose–response data to characterize concentration-dependent responses and estimate the effective concentration causing 50% inhibition (ED_{50}) for the studied traits.

Results: Increasing extract concentration significantly reduced germination percentage and germination rate in all three species, although the magnitude of inhibition differed among species. At 50 g L^{-1}, germination percentage decreased from 92%, 98%, and 99% in the controls to 33%, 20%, and 46% in wild mustard, green foxtail, and wheat, respectively, corresponding to reductions of 64.14%, 79.60%, and 53.53%. Germination rate was also strongly reduced, with decreases of 81.60% in wild mustard, 82.10% in green foxtail, and 56% in wheat relative to the control. Increasing extract concentration delayed germination. Mean germination time increased from 2.99 to 4.99 days in wild mustard, from 3.42 to 4.19 days in green foxtail, and from 2.04 to 2.21 days in wheat at 50 g L^{-1}, corresponding to increases of 2.00, 0.77, and 0.17 days, respectively. Seedling growth and biomass accumulation were also progressively inhibited as extract concentration increased. At 50 g L^{-1}, seedling length, fresh weight, and dry weight were reduced by approximately 60%, 62%, and 65%, respectively, compared with the control. Dose–response analysis further demonstrated differential sensitivity among species, with the weed species generally showing stronger responses than wheat. The findings demonstrate the allelopathic potential of *A. repens* and provide quantitative information on species responses to increasing extract concentrations.

Conclusion: The results support further investigation of *A. repens* as a potential source of biologically active compounds for integrated and bio-based weed management. However, greenhouse and field experiments, together with chemical characterization of the active compounds and assessment of crop selectivity and environmental safety, are required before practical weed-management applications can be recommended.

Keywords: Allelopathy, Biological control, Weed, Wheat

Citation: Hamedi Karkaragh, S., Alebrahim, M. T., Samadi Kalkhoran, E., & Khatami, S. A. (2026). Evaluation of allelopathic potential of aqueous extract of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) on seed germination and early seedling growth of wheat and two weed species. *Plant Production and Genetics*, *7*(2), 267-286.https://doi.org/10.22034/plant.2026.146309.1208

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

جلد ۷، شماره۲، پاییز و زمستان، ۱۴۰۵، صفحات ۲۸۶-۲۶۷

تولید و ژنتیک گیاهی

https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.146309.1208

ارزیابی اثرات آللوپاتیک عصاره آبی تلخه (*Acroptilon repens* L.) بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گندم و دو علف هرز

سیاوش حامدی کرکرق[۱]، محمدتقی آل ابراهیم*[۱]، الهام صمدی کلخوران[۲]، سیده آسیه خاتمی[۱]

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: m.t.alebrahim@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۵/۰۶/۲۷ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۷/۰۵

چکیده

مقدمه: علف‌های هرز از مهم‌ترین عوامل کاهش تولید محصولات زراعی‌اند و کنترل آن‌ها به علف‌کش‌های شیمیایی وابسته است؛ اما استفاده گسترده از این ترکیبات هزینه‌های تولید و پیامدهای زیست‌محیطی را افزایش داده است. از این‌رو، استفاده از ترکیبات طبیعی آللوپاتیک به‌عنوان رویکردی پایدار مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر آللوپاتیک عصاره آبی تلخه بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گندم، خردل وحشی و ارزن وحشی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌منظور ارزیابی اثرات آللوپاتیک عصاره آبی تلخه بر جوانه‌زنی و رشد اولیه دو گونه علف هرز خردل‌وحشی (*Sinapis arvrnsis*)، ارزن وحشی (*Setaria viridis*) و همچنین گیاه زراعی گندم (*Triticum aestivum*) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۴ اجرا گردید. بدین منظور، بذرهای گونه‌های مورد مطالعه در معرض هفت سطح غلظت عصاره آبی تلخه شامل صفر (شاهد)، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ گرم در لیتر قرار گرفتند. به‌منظور بررسی حساسیت گونه‌ها به عصاره، مدل‌های لگ لجستیک سه و چهار پارامتری برای توصیف روابط دز–پاسخ و برآورد غلظت مؤثر ۵۰ درصد (ED_{50}) مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج: نتایج نشان داد که در بالاترین غلظت عصاره (۵۰ گرم در لیتر)، درصد جوانه‌زنی خردل وحشی، ارزن وحشی و گندم به‌ترتیب از ۹۲، ۹۸ و ۹۹ درصد در تیمار شاهد به ۳۳، ۲۰ و ۴۶ درصد کاهش یافت. همچنین افزایش غلظت عصاره موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی هر سه گونه شد، اما این کاهش در علف‌های هرز، به‌ویژه ارزن وحشی و خردل وحشی، به‌ترتیب به‌میزان ۸۲/۱۰ و ۸۱/۶۰ درصد بود در حالی که این میزان در گندم به ۵۶ درصد رسید. میانگین مدت جوانه‌زنی نیز با افزایش غلظت عصاره در علف‌هایهرز خردل وحشی و ارزن وحشی و گیاه زراعی گندم به‌ترتیب نسبت به شاهد ۴/۹۹، ۴/۲۶ و ۲/۵۰ روز افزایش یافت که نشان‌دهنده تأخیر در فرآیند جوانه‌زنی و حساسیت بیشتر بخشی از بذرها به ترکیبات بازدارنده عصاره تلخه است. مقادیر ED_{50} برای صفات جوانه‌زنی و رشد در ارزن وحشی و خردل وحشی پایین‌تر از گندم بود. به‌طوری‌که میزان کاهش جوانه‌زنی در غلظت ۵۰ گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد در خردل و ارزن وحشی و گیاه زراعی گندم به‌ترتیب ۶۴/۱۴، ۷۹/۶۰ و ۵۳/۵۳ درصد کاهش یافت که بیانگر حساسیت بیشتر این دو گونه به ترکیبات آللوپاتیک موجود در عصاره و متحمل بودن گندم است. در مرحله رشدی گیاهچه نیز افزایش غلظت عصاره موجب کاهش معنی‌دار طول گیاهچه و تجمع زیست‌توده شد. ب به‌طوری‌که غلظت ۵۰ گرم در لیتر باعث کاهش حدود ۶۰ درصدی طول گیاهچه و کاهش ۶۲ و ۶۵ درصدی وزن تر و وزن خشک نسبت به شاهد گردید. مقایسه گونه‌ها نشان داد که گندم بیشترین توان حفظ رشد اولیه را داشته، در حالی‌که علف‌های هرز به‌ویژه ارزن وحشی و خردل وحشی حساسیت بیشتری نسبت به عصاره نشان دادند.

نتیجه‌گیری: بنابراین، نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره آبی تلخه دارای اثر بازدارندگی وابسته به غلظت و گونه بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهان مورد مطالعه است. حساسیت بیشتر علف‌های هرز نسبت به گندم نشان‌دهنده وجود پاسخ انتخابی به ترکیبات آللوپاتیک تلخه بوده و می‌تواند زمینه استفاده از این گیاه را در توسعه راهکارهای زیستی مدیریت علف‌های هرز و کاهش وابستگی به علف‌کش‌های شیمیایی فراهم کند.

کلمات کلیدی: آللوپاتی، علف‌هرز، کنترل زیستی، گندم

منبع: حامدی کرکرق، س.، آل ابراهیم، م. ت.، صمدی کلخوران، ا. و خاتمی، س، آ. (۱۴۰۵). ارزیابی اثرات آللوپاتیک عصاره آبی تلخه (*Acroptilon repens* L.) بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گندم و دو علف هرز، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۷(۲)، ۲۸۶-۲۶۷. https://doi.org/10.22034/plant.2026.146309.1208

CC BY

مقدمه

علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های زیستی برای تولید پایدار محصولات کشاورزی هستند. علف‌های هرز با رقابت با گیاهان زراعی برای منابع ضروری مانند مواد غذایی، آب و نور، می‌توانند عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی را به‌میزان قابل توجهی کاهش دهند (Roberts & Florentine, 2024). طی دهه‌های گذشته، علف‌کش‌های شیمیایی ابزار اصلی کنترل علف‌های هرز در سیستم‌های کشاورزی بوده است (Harker, 2013). اما مصرف گسترده آن‌ها، در کنار بروز مقاومت در گونه‌های مختلف علف‌های هرز، کارایی این ترکیبات را به‌شدت کاهش داده و لزوم توسعه راهکارهای نوین مدیریت علف‌های هرز را برجسته ساخته است (Becerra-Alvarez *et al*., 2023; HRAC, 2024). محدودیت استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی و وابستگی زیاد به روش‌های زراعی و مکانیکی، نیاز به گزینه‌های جدید کنترل علف‌های هرز را دوچندان کرده است (Fennimore & Doohan, 2008). در این میان، علف‌کش‌های زیستی که از موجودات زنده یا متابولیت‌های طبیعی گیاهان مشتق می‌شوند، به‌عنوان رویکردی نوین مطرح شده است. اگرچه سهم آن‌ها در بازار جهانی علف‌کش‌ها هنوز محدود است، اما مزایایی مانند کاهش ماندگاری محیطی، ایمنی بیشتر، سازگاری با محیط زیست و پتانسیل کشف مکانیسم‌های اثر جدید، اهمیت آن‌ها را در مدیریت پایدار علف‌های‌هرز افزایش داده است (Duke *et al*., 2014). با توجه به چالش‌های کنونی مدیریت علف‌های هرز و ضرورت دستیابی به علف‌کش‌های ایمن‌تر و مؤثرتر، بررسی و توسعه علف‌کش‌های زیستی به‌عنوان ابزارهای مکمل با علف‌کش‌های شیمیایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از منابع طبیعی مهم برای تولید علف‌کش‌های زیستی، ترکیبات آللوپاتیک گیاهان است که می‌توانند به‌صورت مستقیم بر جوانه‌زنی و رشد علف‌های‌هرز اثرگذار باشند.

دگرآسیبی یا آللوپاتی (Allelopathy) پدیده‌ای زیست‌محیطی و بیوشیمیایی است که طی آن، گیاهان از طریق ترشح ترکیبات ثانویه موسوم به ترکیبات دگرآسیب، بر جوانه‌زنی، رشد و فیزیولوژی گیاهان مجاور اثر می‌گذارند (Zaman *et al*., 2020). این ترکیبات از شاخ و برگ، ریشه، بذر، میوه و دیگر اندام‌های گیاه آزاد شده و شامل گروه‌های فنول‌ها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، ترپنوئیدها، کومارین‌ها و گلوکوزیدهای سیانوژنیک هستند (Pirzad *et al*., 2012; Alshahrani & Suansa, 2020). ترکیبات آللوپاتیک می‌توانند با ایجاد اختلال در نفوذپذیری غشا، ساختار دیواره سلولی، تنفس، فتوسنتز، تقسیم سلولی، تعادل هورمونی و سنتز DNA و RNA، مانع رشد گیاهان هدف به‌ویژه علف‌های هرز شوند (Hosseini & Khalili Mahalleh, 2014). از جمله گیاهان و علف‌های هرز دارای خواص آللوپاتی شناخته شده می‌توان به تلخه (*Acroptilon repens*)، گندم (*Triticum aestivum*)، برنج (*Oryza sativa*)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، ذرت (*Zea mays*)، کلزا (*Brassica napus*)، ارزن وحشی (*Panicum miliaceum*)، چاودار (*Secale cereale*)، شبدر (*Trifolium pratense*) و ماشک (*Vicia peregrina*) اشاره کرد (Jylha & Hytonen, 2006; Sisodia & Siddiqui, 2010; Jabran & Farooq, 2012; Jabran, 2017; Scavo & Mauromicale, 2021). کاربرد ترکیبات آللوپاتیک همچنین باعث کاهش سطح برگ، کاهش تولید ماده خشک، کاهش سنتز رنگیزه‌ها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و درنهایت توقف رشد می‌شوند (Behdad *et al*., 2015).

در چند دهه اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه آللوپاتی (دگرآسیبی) به‌ویژه در رابطه با گیاه گندم و اثرات آن بر رشد و جوانه‌زنی علف‌های هرز صورت گرفته است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که بقایای گندم سیاه تا ۸۰ درصد می‌توانند علف‌های هرز مزارع برنج را کنترل کنند (Xuan & Tsuzuki, 2004). در مطالعه‌ای که توسط بهاری میمندی و همکاران (Bahari Meymandi *et al*., 2022) انجام شد، مشخص گردید که اسانس رازیانه در غلظت ۱۰۰۰ میکرو لیتر در لیتر، باعث توقف درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای پنیرک (*Malva sylvestris*) و کاهش معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی سلمه‌تره (*Chenopodium album*) شد. در مطالعه‌ای مشخص شد که با افزایش غلظت عصاره آبی جو، رشد گیاهچه (از نظر طول و وزن خشک) و پایداری غشای سلولی در علف‌های هرز یولاف وحشی (*Avena ludoviciana*) و چچم (*Lolium multiflorum*) کاهش یافت (Makizadeh Tafti and Farhoudi, 2017). رضوانی و دادخواه (Rezvani and Dadkhah, 2023) نشان دادند که افزایش غلظت عصاره آبی اسپند (*Peganum harmala* L.) باعث کاهش بیشتر از ۷۰ درصدی در درصد و سرعت جوانه‌زنی تاج‌خروس و سلمه‌تره شد. ترکیبات دگرآسیب اسپند مانند فنولیک اسیدها عامل این تأثیرات بازدارنده

معرفی شدند. سایر پژوهش‌ها نیز اثر منفی مشابه این ترکیبات را بر رشد اولیه گیاهانی مانند سورگوم، گندم و آفتابگردان تأیید کرده‌اند (Bais *et al*., 2003). مطالعات نشان داده‌اند که ترکیبات آللوپاتیک مانند عصاره درمنه (*Artemisia khorassanica*) باعث کاهش رشد، وزن خشک و محتوای کلروفیل گیاه بروموس (*Bromus kopetdaghensis*) شدند (Behdad *et al*., 2015).

گیاه تلخه (*Acroptilon repens* L.) از تیره کاسنی (Asteraceae)، با تولید ترکیبات آللوپاتیک مختلف از جمله لاکتون‌های سزکوئی‌ترپن، فلاونوئیدی با نام ۷،۸-بنزوفلاون و همچنین کاتچین، از یک سیستم دفاع بیوشیمیایی فعال برخوردار است (Alebrahim *et al*., 2018). این متابولیت‌ها توانایی ایجاد بازدارندگی در گونه‌های گیاهی مختلف را دارند. از جمله کاربرد عصاره تلخه موجب کاهش بیشتر از ۷۰ درصدی در جوانه‌زنی و شاخص‌های رشدی علف‌هرز بی‌تی‌راخ (*Galium aparine*) و نیز بازدارندگی معنی‌دار جوانه‌زنی علف‌های هرز تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus*) و سلمه‌تره (*Chenopodium album*) شده است (Alebrahim *et al*., 2016; Hatami hampa *et al*., 2017).

با وجود مطالعات متعدد درباره اثرات آللوپاتیک گیاه تلخه و گزارش اثر بازدارنده عصاره‌های این گیاه بر جوانه‌زنی و رشد گونه‌های مختلف علف‌هرز، ارزیابی پاسخ گونه‌ها در پژوهش‌های پیشین عمدتاً بر اساس مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در غلظت‌های مختلف عصاره انجام شده است. درمقابل، تحلیل کمی رابطه دز–پاسخ و برآورد غلظت مؤثر ۵۰ درصد (ED_{50})، که می‌تواند شاخص دقیق‌تری برای مقایسه حساسیت نسبی گونه‌ها به عصاره باشد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، مقایسه هم‌زمان پاسخ علف‌های هرز با یک گیاه زراعی مهم مانند گندم در دامنه مشخصی از غلظت‌های عصاره، به‌ویژه با در نظر گرفتن شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره دامنه انتخاب‌پذیری احتمالی اثرات بازدارنده عصاره فراهم کند. بنابراین، خلأ پژوهشی موجود را می‌توان در فقدان ارزیابی کمی حساسیت گونه‌های مختلف به عصاره آبی تلخه بر اساس رابطه دز–پاسخ و ED_{50}، در کنار مقایسه مستقیم پاسخ علف‌های هرز و گندم دانست. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت جوانه‌زنی و رشد اولیه خردل وحشی، ارزن وحشی و گندم انجام شد. افزون بر مقایسه میانگین صفات، رابطه دز–پاسخ گونه‌های مورد مطالعه نیز با استفاده از مدل‌های لجستیک سه و چهارپارامتری بررسی و مقادیر ED_{50} برای کمی‌سازی حساسیت آن‌ها به عصاره برآورد شد. نتایج حاصل می‌تواند در تعیین پتانسیل گیاه تلخه به‌عنوان منبعی طبیعی برای تولید علف‌کش‌های زیستی و ارائه راهکارهای کارآمد در مدیریت پایدار علف‌های هرز مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی اثرات آللوپاتیک عصاره آبی تلخه (*Acroptilon repens* L.) بر جوانه‌زنی و رشد اولیه دو گونه علف‌هرز خردل وحشی (*Sinapis arvrnsis*)، ارزن وحشی (*Setaria viridis*) و گیاه زراعی گندم (*Triticum aestivum*)، در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۴ انجام شد. بذور گندم ، ارزن وحشی و خردل وحشی از مرکز تحقیقات کشاورزی مغان تهیه شدند. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی عبارتند از: فاکتور اول غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ گرم در لیتر) و فاکتور دوم نوع گیاه (ارزن وحشی، خردل وحشی و گندم) انجام شد. برای استخراج عصاره آبی گیاه تلخه، از روش خیساندن استفاده شد (Sturm *et al*., 2016). بدین منظور، اندام‌های هوایی گیاه شامل برگ و ساقه، بدون استفاده از گل‌آذین، در مرحله شروع گلدهی از مزارع آلوده به‌صورت دستی جمع‌آوری شدند. به‌منظور حذف ذرات گرد و غبار سطحی، نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده به مدت ۳۰ ثانیه با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و سپس در سایه، در دمای محیط و با تهویه مناسب تا رسیدن به وزن ثابت هواخشک شدند. برای تهیه عصاره، مقادیر مختلفی از ماده گیاهی خشک‌شده در حجم ثابت یک لیتر آب مقطر، بر اساس نسبت‌های وزنی به حجمی موردنظر، اضافه و به مدت ۲ ساعت روی دستگاه شیکر قرار داده شدند. پس از استخراج، سوسپانسیون حاصل با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس محلول رویی با استفاده از کاغذ صافی صاف گردید. عصاره‌های حاصل بدون انجام فرآیند استریل‌سازی

جداگانه مورد استفاده قرار گرفتند. در طول دوره آزمایش جوانه‌زنی، هیچ‌گونه آلودگی قارچی یا باکتریایی قابل مشاهده‌ای در تیمارها و شاهد مشاهده نشد. بنابراین، آلودگی میکروبی قابل مشاهده‌ای که بتواند بر روند جوانه‌زنی اثرگذار باشد، مشاهده نگردید. استفاده از روش هواخشک کردن با هدف به حداقل رساندن تخریب حرارتی و اکسیداسیون ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و ترپنوئیدها، و حفظ توان آللوپاتیک نمونه‌ها انجام گرفت. سپس نمونه‌های خشک شده با استفاده از آسیاب برقی پودر شده و جهت فرآیند استخراج عصاره به‌کار گرفته شدند. به‌منظور تهیه عصاره آبی گیاه تلخه، ابتدا مقادیر مشخصی از پودر خشک‌شده گیاه بر اساس غلظت‌های مورد نظر توزین شدند. سپس این مقادیر پودر گیاه به حجم معینی از آب مقطر افزوده شدند، به‌گونه‌ای که حجم نهایی هر محلول به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. محلول‌های تهیه‌شده به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق بر روی دستگاه شیکر با سرعت مناسب (۱۲۰ دور در دقیقه) قرار گرفتند، تا فرآیند استخراج ترکیبات مؤثره به‌طور کامل انجام گیرد. پس از پایان مدت زمان استخراج، محلول‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شدند تا ذرات جامد جدا گردند. عصاره‌های صاف شده در ظروف درب‌دار و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند تا از تخریب احتمالی ترکیبات زیست‌فعال جلوگیری شود (Yarnia *et al*., 2010; Alebrahim *et al*., 2016).

پیش از آغاز اعمال تیمارها، درصد جوانه‌زنی بذرهای خردل وحشی، ارزن وحشی و گندم به‌منظور اطمینان از زنده‌مانی بذرها مورد ارزیابی قرار گرفت. برای شکستن خواب بذور خردل وحشی، از اسید جیبرلیک به‌میزان ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام استفاده شد (Rahimi *et al*., 2018). به‌منظور استریل‌سازی سطحی، بذرها به‌صورت جداگانه به‌مدت یک دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد غوطه‌ور شدند. سپس به‌منظور حذف باقی‌مانده مواد شیمیایی، شستشو با آب مقطر سه بار انجام شد. در هر تکرار، تعداد ۲۵ بذر در ظروف پتری‌دیش با قطر نه سانتی‌متر که حاوی کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ مرطوب شده با ۱۰ میلی‌لیتر عصاره آبی تلخه بود، کشت داده شدند. تیمار شاهد با آب مقطر به جای عصاره جایگزین شد. پتری‌ها درون پاکت‌های پلاستیکی شفاف برای حفظ رطوبت قرار داده شده و به ژرمیناتور با شرایط کنترل‌شده شامل تناوب نوری ۱۶ ساعت روشنایی، هشت ساعت تاریکی و در دمای ۳±۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد نگهداری شدند. تعداد بذرهای جوانه‌زده از روز اول تا ثابت شدن جوانه‌زنی ثبت گردید. ملاک جوانه‌زنی، ظهور جوانه‌ها با اندازه دو میلی‌متر در نظر گرفته شد

برای محاسبه درصد جوانه‌زنی (GP) معادله (۱) و سرعت جوانه‌زنی (GR) معادله (۲) از روش خان و اونگار (Khan & Ungar, 1998) استفاده شد.

معادله (۲)

$$GP = {}^{Ni}/_{N} \times 100$$

که در آن، GP درصد جوانه‌زنی، Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز آخر شمارش و N تعداد کل بذرها است.

معادله (۲)

$$GR = \frac{N1}{T1} + \cdots \frac{Nn}{Tn}$$

که در آن N تعداد بذرهای جوانه‌زده در زمان T و T تعداد روزها از زمان شروع آزمایش بود.

و جهت محاسبه میانگین زمان جوانه‌زنی از معادله ۳ استفاده شد (Ellis & Roberts, 1981).

معادله (۳)

$$MGT = \sum(\frac{NiTi}{Ni})$$

که در آن Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز T است

به‌منظور اندازه‌گیری طول گیاهچه‌ها، گیاهچه‌ها از محیط برداشته و با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌های تصادفی از بذور جوانه‌زده انتخاب سپس آب اضافی سطح آن‌ها با استفاده از کاغذ صافی گرفته شد و بعد وزن آن‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری گردید. به‌منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت نگه‌داری، سپس وزن خشک آن‌ها ثبت شد (Sturm *et al*., 2016). پس از بررسی و تأیید نرمال بودن داده‌ها،

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر شاخص‌های جوانه‌زنی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه، از نرم‌افزار R و بسته drc (نسخه ۴-۲-۲) استفاده شد. برای برآورد غلظت مؤثر برای کاهش ۵۰ درصدی (ED_{50}) شاخص‌های جوانه‌زنی، از مدل لگ-لجستیک سه پارامتری استفاده شد (Ritz & Streibig, 2015).

معادله (۴)

$$U_{ij} = \frac{d}{1+exp\{b(log(dose)-log(ED_{50}))\}}$$

U_{ij} بیانگر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، وزن تر و خشک گیاهچه و طول گیاهچه، d حد بالای پارامترهای مختلف مورد بررسی و ED_{50} مقدار غلظت لازم برای کاهش ۵۰ درصدی پارامترهای مورد بررسی، b متناسب با شیب خط در محدوده ED_{50} می‌باشد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

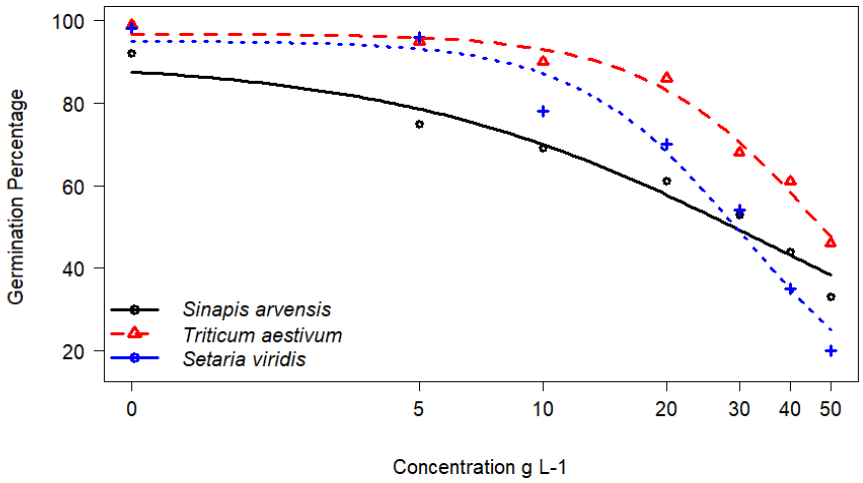
بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین، افزایش غلظت عصاره آبی تلخه اثر بازدارنده‌ی قابل‌توجهی بر هر سه گیاه داشت، با این تفاوت که شدت بازدارندگی در گونه‌ها متفاوت بود (جدول ۱ و شکل ۱). در خردل وحشی، درصد جوانه‌زنی از ۹۲ درصد در تیمار شاهد به ۳۳ درصد در غلظت ۵۰ گرم در لیتر کاهش یافت، که نشان‌دهنده‌ی حساسیت بالای این گونه به ترکیبات بازدارنده‌ی عصاره تلخه است. ارزن وحشی نیز رفتار مشابهی داشت، اما دامنه کاهش درصد جوانه‌زنی در آن شدیدتر بود و از ۹۸ درصد در شاهد به ۲۰ درصد در غلظت ۵۰ گرم در لیتر رسید. درمقابل، گندم نسبت به علف‌های هرز تحمل بیشتری نشان داد و درصد جوانه‌زنی آن از ۹۹ درصد در شاهد به ۴۶ درصد در غلظت ۵۰ گرم در لیتر کاهش یافت. این الگوها بیانگر تفاوت قابل‌توجه در حساسیت سه گیاه به اثرات آللوپاتیک عصاره آبی تلخه است که می‌تواند در انتخاب‌پذیری مدیریت زیستی علف‌های هرز مورد توجه قرار گیرد. برازش مدل لگ لجستیک سه‌پارامتری بر داده‌های درصد جوانه‌زنی نشان داد که مدل از برازش مناسبی برای هر سه گونه برخوردار است. به‌طوری‌که مقادیر عدم برازش مدل غیرمعنی‌دار، ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۹۱ و میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۶/۹۵ بود (جدول ۲). بر اساس مقادیر برآورد شده غلظت مؤثر ۵۰ درصد (ED_{50}) گونه‌ها حساسیت متفاوتی به عصاره نشان دادند، به‌طوری‌که ارزن وحشی کمترین مقدار (۳۰/۹۴ گرم در لیتر) و بیشترین حساسیت را داشت، پس از آن خردل وحشی با مقدار ۳۶/۳۳ گرم در لیتر قرار گرفت. درمقابل، گندم بالاترین ED_{50} (۴۹/۰۸ گرم در لیتر) را نشان داد و نسبت به اثرات بازدارنده عصاره تحمل بیشتری داشت. این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از اختلاف در توانایی خنثی‌سازی ترکیبات دگرآسیب، پایداری غشا و فعالیت سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی است که در گیاهان زراعی مانند گندم باعث می‌گردد که سیستم ریشه‌ای خود را توسعه داده و در رقابت با علف‌های‌هرز قوی‌تر عمل کنند (Tahami zarandi i & Rezvanimoghadam, 2011). کاربرد مواد آللوپاتیک جوانه‌زنی گونه‌های گیاهی را کاهش داد، اما تأثیر مواد آللوپاتیک و غلظت آن‌ها بر کاهش جوانه‌زنی علف‌های‌هرز بیشتر از گیاهان زراعی بود (Hatami *et al*., 2017). حاتمی و همکاران (Hatami Hampa *et al*., 2017) گزارش کردند که عصاره‌ی آبی تلخه اثر بازدارندگی معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی علف‌های‌هرز تاج‌خروس و سلمه‌تره داشت، به‌طوری که درصد جوانه‌زنی علف‌های هرز تاج‌خروس و سلمه‌تره در حالت تیمار با عصاره‌ی آبی تلخه نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب از ۹۹ درصد به ۱۰ درصد و از ۹۲ درصد به هفت درصد کاهش یافت. در آزمایش دیگر کاربرد ۲۰ درصد عصاره آبی تلخه باعث کاهش معنی‌دار در درصد جوانه‌زنی چاودار (*Secale cereale* L.) شد (Alebrahim *et al*., 2022). در پژوهش دیگری نباتی و همکاران گزارش کردند که با افزایش غلظت عصاره آبی تلخه، درصد جوانه‌زنی خردل وحشی به‌صورت وابسته به غلظت کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در غلظت ۵۰ گرم در لیتر، درصد جوانه‌زنی ۱۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت و در غلظت ۱۰۰ گرم در لیتر جوانه‌زنی به‌طور کامل متوقف شد، که بیانگر حساسیت بالای این گونه به ترکیبات آللوپاتیک تلخه است (Nabati Souha *et al*., 2020b).

تلخه حاوی متابولیت‌های ثانویه متعددی، به‌ویژه ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و سزکویی‌ترپن لاکتون‌ها است که به‌عنوان عوامل اصلی فعالیت آللوپاتیک این گیاه شناخته می‌شوند (Quintana *et al*., 2008). در همین راستا، این نتایج بیان می‌کنند که ترکیبات آللوپاتیک، از جمله

فنولیک‌ها و آلکالوئیدها، از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو و اختلال در متابولیسم اولیه گیاه، با شدت متفاوتی بر جوانه‌زنی گونه‌ها اثر می‌گذارند (Cheng & Cheng, 2015). ترکیبات آللوپاتیک با القای تنش اکسیداتیو و با کاهش فعالیت آنزیم آلفاآمیلاز و مهار بیوسنتز جیبرلین‌ها (GA)، انتقال مجدد ذخایر اندوخته‌شده در بذر به‌سوی محور جنینی را به‌طور مؤثری محدود کرده و فرآیند جوانه‌زنی بذر را مختل می‌کنند. آلفا آمیلاز مسئول تجزیه نشاسته به قندهای ساده در بذور در حال جوانه‌زنی است (Hopkins & Hüner, 2008). ترکیبات دگرآسیب از طریق اختلال در مسیرهای هورمونی، یکی از کلیدی‌ترین سازوکارهای مهار جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه را ایجاد می‌کنند. بسیاری از ترکیبات فنولی ترشح شده از گیاهان قادرند فعالیت آنزیم ایندول استیک اسید اکسیداز را افزایش دهند. آنزیمی که نقش اصلی در اکسیداسیون و تجزیه هورمون اکسین (IAA) دارد. افزایش فعالیت این آنزیم موجب کاهش غلظت اکسین در بافت‌های گیاهی شده و به‌دنبال آن فرآیندهایی نظیر طویل‌شدن سلول، گسترش اولیه بافت‌ها و رشد گیاهچه مختل می‌شود. علاوه بر این، برخی مواد دگرآسیب با مهار واکنش آنزیم پراکسیداز (POD) در تعامل با IAA آزاد یا کمپلکس‌های اکسین و جیبرلین (IAA–GA)، تعادل هورمونی بین اکسین و جیبرلین‌ها را بر هم می‌زنند. بر هم خوردن این توازن، سبب کاهش هورمون‌های محرک جوانه‌زنی و در عین حال افزایش نسبی هورمون‌های بازدارنده‌ای چون اسید آبسزیک (ABA) می‌شود. تغییری که به‌طور مستقیم فرآیند جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه و پویایی فیزیولوژیک گیاهچه را محدود می‌کند (Yang *et al*., 2005). نتایج پژوهشی نشان داده است که عصاره آبی برنج به‌طور قابل توجهی فعالیت IAA اکسیداز را در سوروف (*Echinochloa crus-galli*) تحریک و سطح IAA را کاهش داد که این کاهش باعث آسیب به سیستم تنظیم رشدی گیاه شده و در نتیجه رشد جوانه‌ها را مهار کرد (Lin *et al*., 2000). در آزمایشی گزارش شده است که بذرهای ریزتر بیشتر تحت تأثیر ترکیبات دگرآسیب قرار می‌گیرند به‌طوری که حتی عصاره‌های گیاهی با غلظت پایین می‌توانند موجب عدم جوانه‌زنی بذر شوند (Shang & Xu, 2012). اما تأثیر کمتر در بذر محصولات زراعی احتمالاً ممکن است به‌دلیل اندازه بزرگ بذر و مواد غذایی ذخیره‌ای بیشتر موجود نسبت به بذر علف‌های هرز باشد (Mallik *et al*., 2014).

جدول ۱- اثرات متقابل غلظت × نوع گیاه بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی

گیاه	غلظت (گرم در لیتر)	درصد جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد در روز)	میانگین مدت جوانه‌زنی (روز)
خردل وحشی	۰	۹۲/۰۰ ab ± ۱/۶۳	۹/۲۸ c ± ۰/۲۰	۲/۹۹ fg ± ۰/۱۸
	۵	۷۵/۰۰ de ± ۱/۹۱	۶/۵۸ de ± ۰/۲۱	۳/۳۴ ef ± ۰/۰۸۰
	۱۰	۶۹/۰۰ d-f ± ۳/۷۸	۵/۹۴ gf ± ۰/۴۷	۳/۱۶ f ± ۰/۲۴
	۲۰	۶۱/۰۰ gf ± ۵/۰۰	۴/۷۴ hi ± ۰/۰۸	۳/۲۸ ef ± ۰/۰۸۸
	۳۰	۵۳/۰۰ h-g ± ۵/۰۰	۳/۲۵ j ± ۰/۳۵	۴/۶۰ ab ± ۰/۲۸
	۴۰	۴۴/۰۰ ij ± ۵/۱۶	۲/۹۱ jk ± ۰/۲۶	۴/۰۰ cd ± ۰/۲۶
	۵۰	۳۳/۰۰ k ± ۲/۵۱	۱/۷۱ lm ± ۰/۱۵	۴/۹۹ a ± ۰/۳۰
گندم	۰	۹۹/۰۰ a ± ۱/۰۰	۱۲/۲۰ a ± ۰/۱۴	۲/۰۴ h ± ۰/۰۱۶
	۵	۹۵/۰۰ a ± ۱/۹۱	۱۱/۷۹ a ± ۰/۲۲	۲/۰۲ h ± ۰/۰۱۱
	۱۰	۹۰/۰۰ ab ± ۱/۱۵	۱۰/۹۱ b ± ۰/۲۲	۲/۱۰ h ± ۰/۰۵۸
	۲۰	۸۶/۰۰ bc ± ۲/۰۰	۱۰/۰۰ c ± ۰/۳۹	۲/۲۶ h ± ۰/۰۶۸
	۳۰	۶۸/۰۰ ef ± ۳/۲۶	۸/۱۰ d ± ۰/۳۶	۲/۱۶ h ± ۰/۲۸
	۴۰	۶۱/۰۰ gf ± ۵/۲۵	۶/۴۵ f ± ۰/۴۰	۲/۵۰ gh ± ۰/۱۰
	۵۰	۴۶/۰۰ hi ± ۲/۰۰	۵/۳۷ gh ± ۰/۲۷	۲/۲۱ h ± ۰/۰۸
ارزن وحشی	۰	۹۸/۰۰ a ± ۱/۱۵	۷/۳۱ de ± ۰/۰۹	۳/۴۲ ef ± ۰/۰۱۸
	۵	۹۶/۰۰ a ± ۱/۶۲	۶/۷۰ ef ± ۰/۲۱	۳/۷۳ de ± ۰/۱۱
	۱۰	۷۸/۰۰ cd ± ۶/۶۳	۵/۰۰ hi ± ۰/۴۱	۴/۱۷ b-d ± ۰/۱۶
	۲۰	۷۰/۰۰ d-f ± ۲/۵۸	۴/۴۰ i ± ۰/۱۳	۴/۲۶ bc ± ۰/۱۳
	۳۰	۵۴/۰۰ hg ± ۲/۵۸	۳/۵۳ j ± ۰/۱۱	۴/۰۶ cd ± ۰/۰۹
	۴۰	۳۵/۰۰ jk ± ۶/۸۰	۲/۲۰ kl ± ۰/۵۲	۴/۱۹ b-d ± ۰/۲۱
	۵۰	۲۰/۰۰ l ± ۲/۸۲	۱/۳۱ m ± ۰/۲۶	۴/۱۹ b-d ± ۰/۴۶
	LSD (P<0.05)	۹/۷۵	۰/۸۲	۰/۵۱



شکل ۱- روند دز-پاسخ غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر درصد جوانه‌زنی خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی

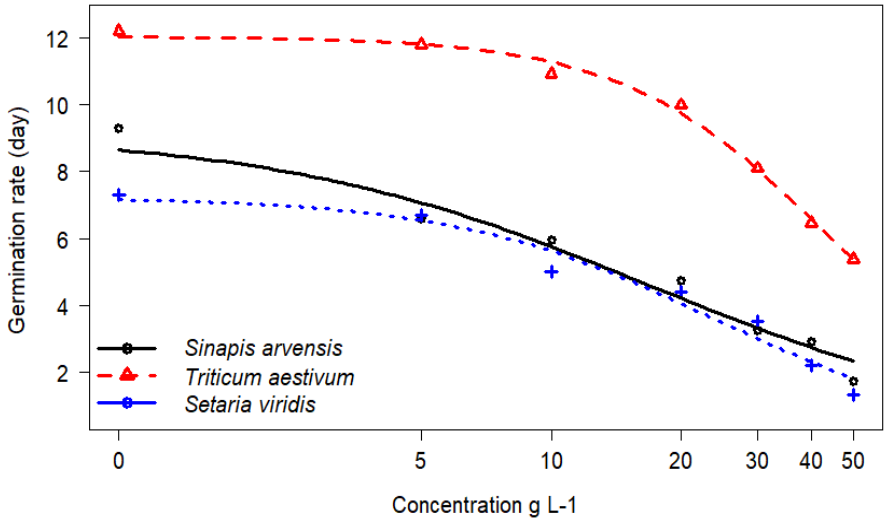
جدول ۲- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتره برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر درصد جوانه‌زنی خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی

گیاه	شیب خط	حد بالا	غلظت مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
خردل وحشی	۰/۹۵ (۰/۱۳)	۹۰/۳۹ (۳/۱۰)	۳۶/۳۳ (۳/۶۵)	۰/۹۱	۶/۹۵	۰/۰۵۸
گندم	۲/۰۱ (۰/۳۲)	۹۶/۷۷ (۲/۱۸)	۴۹/۰۸ (۲/۴۵)	۰/۹۱	۶/۹۵	۰/۰۵۸
ارزن وحشی	۲/۱۲ (۰/۳۳)	۹۵/۰۳ (۳/۱۰)	۳۰/۹۴ (۱/۸۷)	۰/۹۱	۶/۹۵	۰/۰۵۸

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

سرعت جوانه‌زنی

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت عصاره آبی تلخه، سرعت جوانه‌زنی هر سه گونه خردل وحشی، ارزن وحشی و گندم کاهش یافت، اگرچه شدت این اثر در گونه‌های مورد بررسی متفاوت بود (جدول ۱ و شکل ۲). در خردل وحشی، سرعت جوانه‌زنی از ۹/۲۸ روز در تیمار شاهد به ۶/۵۸ روز و ۵/۹۴ روز به‌ترتیب در غلظت‌های پنج و ۱۰ گرم در لیتر کاهش یافت و این روند کاهشی در غلظت‌های بالاتر شدت بیشتری پیدا کرد. به‌طوری‌که در غلظت ۳۰ گرم در لیتر، سرعت جوانه‌زنی به ۳/۲۵ روز رسید و در غلظت ۵۰ گرم در لیتر با مقدار ۱/۷۱ روز تقریباً به کمترین میزان ممکن تنزل یافت. در ارزن وحشی نیز کاهش قابل توجهی مشاهده شد. به‌صورتی که سرعت جوانه‌زنی از ۷/۳۱ روز در شاهد به ۵/۰۰ و ۴/۴۰ روز در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر رسید و در غلظت ۵۰ گرم در لیتر به ۱/۳۱ روزکاهش یافت. در حالی‌که گندم تحمل بسیار بیشتری نسبت به عصاره نشان داد. به‌گونه‌ای که سرعت جوانه‌زنی آن تا غلظت ۲۰ گرم در لیتر تقریباً ثابت مانده و از ۱۲/۲۰ روز در شاهد تنها به ۱۰/۰۰ روز کاهش یافت. با این حال، در غلظت‌های بالاتر روند کاهش تشدید شد و سرعت جوانه‌زنی به ۶/۴۵ روز در ۴۰ گرم در لیتر و ۵/۳۷ روز در غلظت ۵۰ گرم در لیتر رسید. برازش مدل لگ لجستیک چهارپارامتری بر داده‌های سرعت جوانه‌زنی نشان داد که خردل وحشی با مقدار ۱۶/۹۸ گرم در لیتر بیشترین حساسیت را نشان داد و کاهش ۵۰ درصدی سرعت جوانه‌زنی آن در غلظت‌های نسبتاً پایین عصاره رخ داد. پس از آن ارزن وحشی با ۲۳/۶۹ گرم در لیتر قرار گرفت که بیانگر آسیب‌پذیری متوسط و واکنش سریع این گونه به ترکیبات آللوپاتیک تلخه است. درمقابل، گندم با مقدار بالاتر ۴۴/۳۵ گرم در لیتر مقاوم‌ترین گونه بود و کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی در آن تنها در غلظت‌های بالا مشاهده شد (جدول ۳). این یافته‌ها نشان می‌دهند که ترکیبات آللوپاتیک از طریق مکانیسم‌های پیچیده فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر رشد و نمو گیاهان اثر می‌گذارند (Blum *et al*., 1999). تفاوت بین گونه‌ها در پاسخ به این ترکیبات ممکن است ناشی از عواملی مانند تفاوت در سطح ریشه و میزان جذب ترشحات، تغییر در نفوذپذیری غشاء، مکانیسم‌های اختصاصی سم‌زدایی و توانایی سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی باشد (Inderjit & Duke, 2003). به‌طور کلی، مواد دگرآسیب می‌توانند فرآیندهای مختلفی از جمله جوانه‌زنی و رشد، تقسیم و طویل‌شدن سلولی، رشد القاشده توسط اکسین و جیبرلین، تنفس، فتوسنتز، عملکرد روزنه‌ها، سنتز پروتئین، تغییرات تراوایی غشاء، فعالیت آنزیم‌ها و انتقال فعال را تحت تأثیر قرار دهند (Lydon *et al*., 1997). همچنین این ترکیبات با ایجاد اختلال در جوانه‌زنی بذر، طویل‌شدن ریشه، جذب مواد غذایی و مسیرهای سیگنال‌دهی هورمونی، تنظیم رشد گیاه را مختل می‌کنند (Duke, 2010; Kato-Noguchi & Peters, 2013). علاوه بر این، تخریب یکپارچگی غشای سلولی و نشت محتویات سلولی از دیگر اثرات شناخته‌شده مواد دگرآسیب است که درنهایت می‌تواند منجر به مرگ سلولی شود (Khanh *et al*., 2005). Nabati و همکاران گزارش دادند که سرعت جوانه‌زنی خردل‌وحشی با افزایش غلظت عصاره آبی تلخه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌گونه‌ای که در غلظت ۵۰ گرم در لیتر، سرعت جوانه‌زنی ۱۶ درصد کمتر از شاهد بود و در غلظت ۱۰۰ گرم در لیتر به صفر رسید، که نشان‌دهنده تأثیر شدید ترکیبات آللوپاتیک تلخه بر فرآیندهای اولیه جوانه‌زنی این علف هرز است (Nabati Souha *et al*., 2020b). گزارش شده است که برخی از این ترکیبات در غلظت‌های پایین اثر تحریک‌کنندگی بر جوانه‌زنی و رشد ریشه دارند، در حالی‌که در غلظت‌های بالاتر موجب مهار رشد می‌شوند (Inderjit & Nilsen, 2003). در این رابطه براون و مورا (Brown & Morra, 1995) نشان دادند که محصولات حاصل از تجزیه متابولیت‌های ثانویه در گیاهان می‌توانند جوانه‌زنی بذور را مهار کنند.



شکل ۲- روند دز-پاسخ غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی

جدول ۳- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتره برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی

گیاه	شیب خط	حد بالا	غلظت مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
خردل وحشی	۰/۹۹ (۰/۱۰)	۹/۱۵ (۰/۳۲)	۱۶/۹۸ (۱/۸۹)	۰/۹۶	۰/۶۰	۰/۰۱۹
گندم	۱/۸۱(۰/۲۳)	۱۲/۰۳ (۰/۲۵)	۴۴/۳۵ (۱/۸۹)	۰/۹۶	۰/۶۰	۰/۰۱۹
ارزن وحشی	۱/۴۴(۰/۲۰)	۷/۲۳ (۰/۳۱)	۲۳/۶۹ (۲/۴۵)	۰/۹۶	۰/۶۰	۰/۰۱۹

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

میانگین مدت جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که مدت جوانه‌زنی در سه گونه مورد بررسی، در پاسخ به غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه، روندهای متفاوتی را نشان داد (جدول ۱). در خردل وحشی، میانگین مدت جوانه‌زنی در تیمار شاهد ۲/۹۹ روز بود و با افزایش غلظت عصاره تا ۲۰ گرم در لیتر افزایش ملایمی یافت، اما در غلظت‌های بالاتر (۳۰–۵۰ گرم در لیتر) این مقدار به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و تا ۴/۹۹ روز رسید. این افزایش بیانگر کندی محسوس فرآیند جوانه‌زنی و حذف بخشی از بذرهای حساس در حضور غلظت‌های بالای عصاره است. در ارزن وحشی، میانگین مدت جوانه‌زنی از ۳/۴۲ روز در شاهد به‌تدریج با افزایش غلظت عصاره افزایش یافت و در غلظت‌های ۱۰ تا ۵۰ گرم در لیتر عمدتاً در محدوده ۴/۰۶ تا ۴/۲۶ روز باقی ماند. این روند نشان می‌دهد که در ارزن وحشی جوانه‌زنی بذرهای حساس‌تر در غلظت‌های پایین کند شده و در غلظت‌های بالاتر تنها بخش محدودی از بذرهای مقاوم‌تر قادر به جوانه‌زنی در زمان‌های نسبتاً نزدیک به هم بودند. در گندم، تغییرات میانگین مدت جوانه‌زنی بسیار محدود بود. مقدار آن در شاهد ۲/۰۴ روز بود و حتی در بالاترین غلظت عصاره تنها تا ۲/۵۰ روز افزایش یافت.

با توجه به این‌که مقادیر برآوردشده ED_{50} از نظر آماری معنی‌دار نبودند، از ارائه و تفسیر آن‌ها در متن و جداول اجتناب شد. زیرا گزارش مقادیر فاقد معنی‌داری آماری می‌تواند منجر به برداشت نادرست از میزان اثر زیستی عصاره شود. بنابراین، تنها نتایج دارای معنی‌داری آماری مورد تجزیه، تحلیل و بحث قرار گرفتند.

افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی در خردل وحشی و ارزن وحشی با افزایش غلظت عصاره بیانگر آن است که ترکیبات فنولیک و ترکیبات دگرآسیب موجود در عصاره آبی تلخه با اختلال در فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک نظیر آلفا آمیلاز، موجب کند شدن فرآیند جوانه‌زنی می‌شوند (Safahani & Ghooshchi, 2014). همچنین، گزارش شده است که ترکیبات دگرآسیب با القای تنش اکسیداتیو، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) و کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سلول، نقش مهمی در بازدارندگی جوانه‌زنی

ایفا می‌کنند (Farooq *et al*., 2013). این مکانیسم‌ها به‌ویژه در گونه‌های حساس‌تر باعث می‌شوند که تنها بذرهای مقاوم‌تر قادر به جوانه‌زنی باشند و این جوانه‌زنی نیز در زمان‌های دیرتر و با پراکندگی بیشتر صورت گیرد. (Rice, 1984). در گندم، ثبات نسبی میانگین مدت جوانه‌زنی حتی در غلظت‌های بالای عصاره نشان می‌دهد که این گونه از نظر فیزیولوژیکی دارای توانایی مهار تنش اکسیداتیو و حفظ فعالیت آنزیم‌های کلیدی جوانه‌زنی است (Hatami Hampa *et al*., 2025). حساسیت متفاوت گونه‌های مختلف گیاهی به مواد بازدارنده رشد می‌تواند به‌دلیل خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متفاوت آن گونه‌ها باشد (Kobayashi, 2004). بر اساس مطالعات متعدد، پایداری میانگین مدت جوانه‌زنی گندم در شرایط تنش آللوپاتیک را می‌توان به سیستم آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر، کارایی بیشتر در تنظیم پتانسیل آب و مقاومت ساختاری بالاتر در پوسته بذر آن نسبت داد (Li *et al*., 2022; Weitbrecht *et al*., 2011). در نتیجه، اگرچه درصد یا سرعت جوانه‌زنی آن ممکن است در غلظت‌های بالا کاهش یابد، اما زمان لازم برای شروع جوانه‌زنی دچار تغییر جدی نمی‌شود. به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش همسو با گزارش‌های پیشین نشان می‌دهد که ترکیبات آللوپاتیک می‌توانند از طریق افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی و حذف بذرهای حساس، موجب تضعیف استقرار اولیه گونه‌های علف‌هرز شوند (Weston & Duke, 2003). شدت و الگوی این اثرات تا حد زیادی به نوع و مقدار آللوکمیکال‌های آزاد شده وابسته است. به‌گونه‌ای که مطالعات انجام‌شده روی سورگوم نشان داده است که تغییر در سطح ترکیباتی مانند سورگولئون، پاسخ جوانه‌زنی و رشد گونه‌های هدف را به‌طور معنی‌داری تعدیل می‌کند (Dayan *et al*., 2006). در این راستا، اثر بازدارنده مشاهده شده بر علف‌های هرز در مقایسه با گندم می‌تواند ناشی از تفاوت در حساسیت گونه‌ها به این ترکیبات باشد، که این امر تلخه را به گزینه‌ای بالقوه در توسعه راهبردهای زیست‌علف‌کش تبدیل می‌کند.

طول گیاهچه

نتایج حاصل از بررسی اثر عصاره آبی تلخه بر طول گیاهچه گونه‌های مورد مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت عصاره، طول گیاهچه (صرف نظر از نوع گیاه) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین طول گیاهچه در تیمار شاهد (۱۳/۴۵ سانتی‌متر) و کمترین مقدار آن در غلظت ۵۰ گرم در لیتر (۵/۳۴ سانتی‌متر) مشاهده شد که نسبت به شاهد حدود ۶۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین گونه‌های گیاهی نشان داد که طول گیاهچه در بین گونه‌های مورد بررسی متفاوت بود. به‌طوری‌که بیشترین طول گیاهچه در گندم (۱۵/۵۵ سانتی‌متر) و کمترین مقدار آن در خردل وحشی (۵/۴۷ سانتی‌متر) مشاهده شد، در حالی که ارزن وحشی در حد وسط قرار گرفت (جدول ۵). بررسی منحنی‌های دز-پاسخ نشان داد که میزان حساسیت گونه‌ها به عصاره آبی تلخه متفاوت است (شکل ۳). ارزن وحشی بیشترین حساسیت را به عصاره نشان داد، به‌طوری‌که با افزایش غلظت عصاره، طول گیاهچه آن به شدت کاهش یافت و مقدار ED_{50} برابر با ۲۹/۸۴ گرم در لیتر به دست آمد. درمقابل، گندم کمترین حساسیت را نشان داد و با وجود کاهش تدریجی طول گیاهچه در غلظت‌های بالاتر، رشد آن به‌طور کامل متوقف نشد. مقدار بالاتر ED_{50} در گندم (۵۸/۶۲ گرم در لیتر) نیز مؤید تحمل نسبی این گونه در برابر اثرات آللوپاتیک عصاره تلخه است (جدول ۶). در مجموع، نتایج نشان داد که عصاره آبی تلخه دارای توان بازدارندگی قابل‌توجهی بر رشد گیاهچه علف‌های هرز مورد مطالعه بوده، در حالی که تأثیر آن بر رشد گیاهچه گندم کمتر از دو گونه علف هرز بود.

کاهش رشد و زیست‌توده گیاهچه‌ها در تیمارهای مختلف را می‌توان به حضور ترکیبات فنلی و آللوپاتیک موجود در عصاره نسبت داد. ترکیباتی که احتمالاً از طریق القای تنش اکسیداتیو و تغییر در عملکرد سیستم آنتی‌اکسیدانی، موجب اختلال در فعالیت آنزیم‌های مرتبط با تنش می‌شوند (Oracz *et al*., 2007; Khaliq *et al*., 2012). همچنین، مواد دگرآسیب با برهم‌زدن تعادل هورمونی، به‌ویژه از طریق افزایش غلظت آبسیزیک اسید (ABA) و اختلال در تنظیم اکسین‌ها و جیبرلین‌ها، فرآیندهای تقسیم و رشد سلولی درنهایت رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه را محدود می‌کنند (Yang *et al*., 2008; Sedghi *et al*., 2015).

گزارش‌ها نشان می‌دهند که مکانیسم دقیق کاهش رشد گیاهان تحت تأثیر ترکیبات آللوپاتیک به‌طور کامل مشخص نشده است، با این حال سینگ و همکاران (Singh *et al*., 2005) بیان کردند که مواد بازدارنده موجود در عصاره‌های گیاهی می‌توانند با مهار تقسیم میتوزی در بافت مریستمی ریشه، رشد طولی ریشه و اندام‌های هوایی را کاهش دهند.

از سوی دیگر، برخی ترکیبات دگرآسیب با تداخل در متابولیسم هورمون‌های گیاهی، به‌ویژه اکسین‌ها، سبب کاهش سنتز پروتئین، اختلال در جذب یون‌ها و درنهایت کاهش رشد ریشه می‌شوند. به‌عنوان نمونه، فلاونوئیدها با اختلال در متابولیسم اکسین، نقش مؤثری در مهار رشد ریشه و گیاهچه دارند (Al-Watban & Salama, 2012). همچنین گزارش شده است که کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در اثر عصاره‌های آللوپاتیک می‌تواند ناشی از کاهش در تقسیم سلولی، کاهش در میزان اکسین القاءکننده رشد ریشه‌ها و دخالت در تنفس و فسفوریلاسیون اکسیداتیو باشد (Burgos & Talbert, 2000; Saberi *et al*., 2012). افزایش غلظت عصاره‌های آللوپاتیک با کاهش پتانسیل اسمزی محیط بذر، رطوبت قابل جذب را محدود کرده و در نتیجه طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و شاخص بنیه گیاهچه کاهش می‌یابد. این پدیده عمدتاً به‌دلیل تأثیر ترکیبات آللوپاتیک بر رشد ریشه و جلوگیری از تشکیل ریشه‌های موئینه و کاهش جذب آب رخ می‌دهد (Gholami *et al*., 2011).

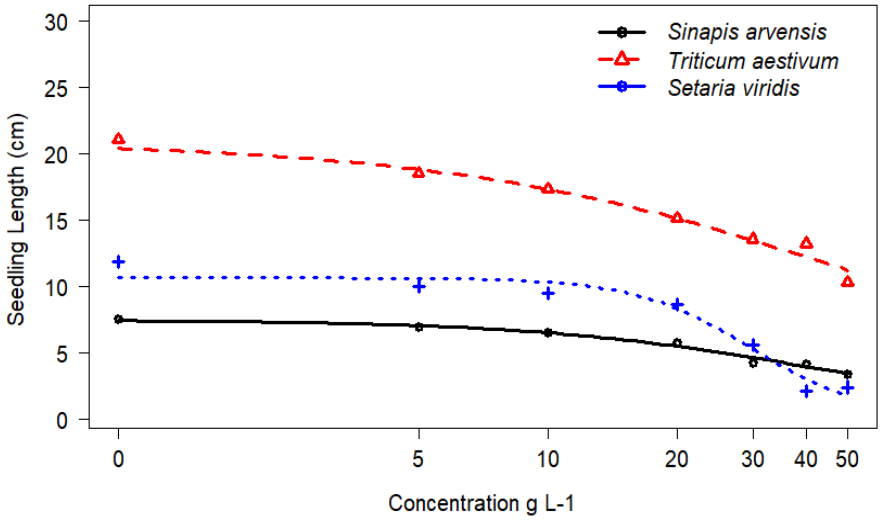
مطالعات متعددی اثرات مهاری ترکیبات دگرآسیب را تأیید کرده‌اند. نی و همکاران (Ni *et al*., 2010) گزارش کردند که ترشحات ریشه گیاه تلخه موجب کاهش معنی‌دار رشد گونه‌های *Koeleria macrantha* و *Vulpia octoflora* شد. همچنین حاتمی همپا و همکاران (Hatami Hampa *et al*., 2017) نشان دادند که با افزایش غلظت عصاره آبی تلخه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه علف‌هرز تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری که طول ریشه‌چه از ۳/۳۵ سانتی‌متر در تیمار شاهد به ۰/۹ سانتی‌متر در تیمار عصاره کاهش پیدا کرد. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهند ترکیبات آللوپاتیک می‌توانند با القای تنش اکسیداتیو نیز موجب کاهش رشد گیاه شوند. در شرایطی که سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی قادر به خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) نباشند، تخریب پروتوپلاست، از دست رفتن یکپارچگی و عملکرد اندامک‌های سلولی و درنهایت آسیب به بافت‌های گیاهی رخ می‌دهد. در ریشه‌ها، این فرآیند با تغییر در ساختار و فعالیت مریستم رأسی، کاهش تقسیم سلولی، اختلال در جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه محدود شدن رشد ریشه همراه است. بنابراین، ترکیبات دگرآسیب از طریق برهم زدن تعادل هورمونی، القای تنش اکسیداتیو، کاهش تقسیم سلولی و اختلال در جذب آب و مواد غذایی، رشد گیاهان حساس را به‌طور مؤثری مهار کرده و از این‌رو، پتانسیل بالایی برای استفاده در مدیریت پایدار علف‌های هرز و کاهش وابستگی به علف‌کش‌های شیمیایی دارند (Soln *et al*., 2022).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف غلظت عصاره آبی تلخه بر طول گیاهچه، وزن تر و وزن خشک گیاهچه

غلظت (گرم در لیتر)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	وزن تر گیاهچه (گرم)	وزن خشک گیاهچه (گرم)
۰	۱۳/۴۵ ^{a} ± ۱/۷۱	۰/۰۷۸ ^{a} ± ۰/۰۱۳	۰/۰۱۱۴^{a} ± ۰/۰۰۲۸
۵	۱۱/۶۷ ^{ab}± ۱/۹۸	۰/۰۷۱ ^{a}± ۰/۰۱۲	۰/۰۰۹۴ ^{ab}± ۰/۰۰۲۱
۱۰	۱۱/۰۷ ^{b} ± ۱/۵۰	۰/۰۶۶ ^{ab} ± ۰/۰۱۳	۰/۰۰۸۷ ^{bc} ± ۰/۰۰۱۹
۲۰	۹/۸۲ ^{b} ± ۱/۳۴	۰/۰۵۶ ^{bc} ± ۰/۰۱۰	۰/۰۰۶۹ ^{cd} ± ۰/۰۱۹
۳۰	۷/۷۴ ^{c} ± ۱/۲۶	۰/۰۴۱ ^{cd} ± ۰/۰۰۷	۰/۰۰۵۶ ^{de} ± ۰/۰۰۲۰
۴۰	۶/۴۶ ^{cd} ± ۱/۵۱	۰/۰۳۴ ^{d} ± ۰/۰۰۶	۰/۰۰۴۷ ^{de} ± ۰/۰۰۱۶
۵۰	۵/۳۴ ^{d} ± ۱/۰۶	۰/۰۳۰ ^{d} ± ۰/۰۰۶	۰/۰۰۴۰ ^{e} ± ۰/۰۰۱۶
LSD (P<0.05)	۱/۹۸	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲

جدول ۵- مقایسه گونه‌های مورد مطالعه از نظر صفات رشدی گیاهچه

نوع گیاه	طول گیاهچه (سانتی‌متر)	وزن تر گیاهچه (گرم)	وزن خشک گیاهچه (گرم)
خردل وحشی	۵/۴۷ ^{c}± ۰/۳۱	۰/۰۲۵ ^{c}± ۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۲ ^{b} ± ۰/۰۰۰۳
گندم	۱۵/۵۵ ^{a}± ۰/۹۳	۰/۰۹۶ ^{a}± ۰/۰۰۷	۰/۰۱۶ ^{a}± ۰/۰۰۱۱
ارزن وحشی	۷/۱۱ ^{b}± ۰/۷۰	۰/۰۴۰ ^{b}± ۰/۰۰۳	۰/۰۰۳ ^{b}± ۰/۰۰۰۴
LSD (P<0.05)	۱/۲۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۱۶



شکل ۳- روند دز-پاسخ غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر طول گیاهچه خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی

جدول۶- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتری برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر طول گیاهچه گندم، خردل وحشی و ارزن وحشی

گیاه	شیب خط	حد بالا	غلظت مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
خردل وحشی	۱/۲۹ (۰/۹۰)	۷/۴۴ (۱/۰۴)	۴۳/۶۵ (۱۵/۱۵)	۰/۸۵	۲/۱۷	۰/۹۷
گندم	۰/۸۸ (۰/۲۵)	۲۰/۹۰ (۱/۱۴)	۵۸/۶۲ (۱۲/۴۹)	۰/۸۵	۲/۱۷	۰/۹۷
ارزن وحشی	۳/۱۹ (۱/۲۶)	۱۰/۶۰ (۰/۷۶)	۲۹/۸۴ (۳/۳۲)	۰/۸۵	۲/۱۷	۰/۹۷

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

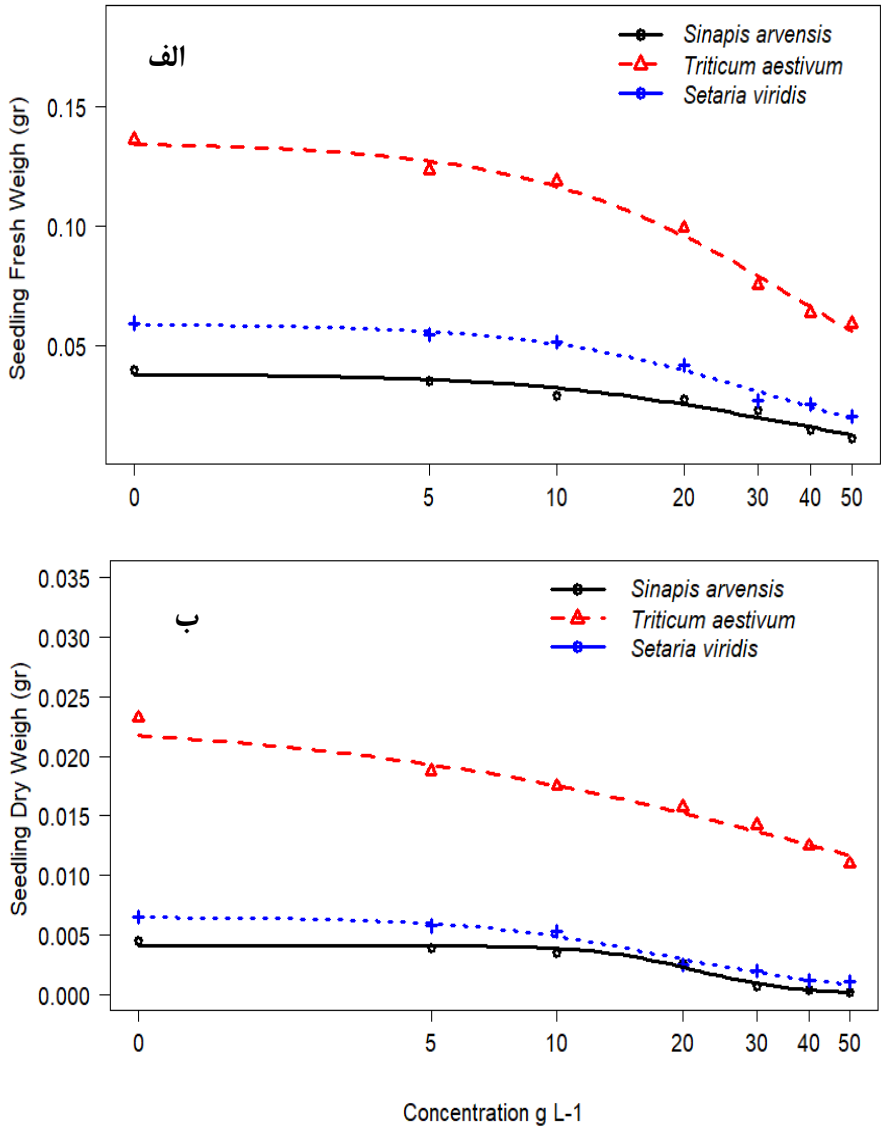
وزن تر و خشک گیاهچه

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت عصاره آبی تلخه، وزن تر و خشک گیاهان مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. به‌طوری‌که بیشترین وزن تر و وزن خشک به‌ترتیب در تیمار شاهد با مقادیر ۰/۰۷۸ و ۰/۰۱۱۴ گرم مشاهده شد، در حالی که کمترین مقادیر این صفات در غلظت ۵۰ گرم در لیتر به‌ترتیب برابر با ۰/۰۳۰ و ۰/۰۰۴۰ گرم بود. در مقایسه با شاهد، غلظت ۵۰ گرم در لیتر موجب کاهش ۶۲ درصدی وزن تر و ۶۵ درصدی وزن خشک گیاهچه شد که نشان‌دهنده اثر بازدارندگی وابسته به غلظت عصاره بر رشد و تجمع زیست‌توده گیاهچه‌ها است (جدول ۴). مقایسه میانگین گونه‌های گیاهی نیز اختلاف معنی‌داری را در وزن تر و وزن خشک نشان داد. بیشترین وزن تر و وزن خشک به‌ترتیب در گندم با مقادیر ۰/۰۹۶ و ۰/۰۱۶ گرم و کمترین وزن تر و وزن خشک به‌ترتیب در خردل وحشی با مقادیر ۰/۰۲۵ و ۰/۰۰۲۲ گرم مشاهده شدند. ارزن وحشی از نظر وزن تر در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفت، اما از نظر وزن خشک اختلاف معنی‌داری با خردل وحشی نشان نداد (جدول ۵ و شکل ۴).

به‌طور کلی، الگوی حساسیت گونه‌ها مشابه نتایج حاصل از جوانه‌زنی بوده و به‌ترتیب در ارزن وحشی، خردل وحشی و گندم مشاهده شد. در ارزن وحشی، کاهش وزن تر و خشک حتی در غلظت‌های پایین عصاره نیز مشهود بود و با افزایش غلظت، به‌ویژه در سطوح بالاتر از ۲۰ تا ۳۰ گرم در لیتر،

رشد گیاهچه تقریباً متوقف شد. در خردل وحشی نیز کاهش وزن تر و خشک به‌صورت تدریجی اما شدید رخ داد که نشان‌دهنده حساسیت بالای این گونه به ترکیبات آللوپاتیک موجود در عصاره تلخه است. درمقابل، گندم کمترین کاهش زیست‌توده را نشان داد و حتی در بالاترین غلظت مورد بررسی نیز بخشی از رشد گیاهچه خود را حفظ کرد. برازش داده‌ها با مدل لگ لجستیک سه پارامتری نیز این الگوی پاسخ را تأیید کرد. مقادیر ED_{50} وزن تر برای خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی به‌ترتیب ۳۲/۱۴، ۳۸/۸۳ و ۳۱/۹۹ گرم در لیتر و مقادیر ED_{50} وزن خشک به‌ترتیب ۲۱/۲۸، ۵۱/۳۲ و ۱۸/۰۹ گرم در لیتر برآورد شد (جدول ۷). مقادیر پایین‌تر ED_{50} در ارزن وحشی و خردل وحشی بیانگر حساسیت بیشتر این گونه‌ها به ترکیبات آللوپاتیک تلخه بود، در حالی که مقادیر بالاتر ED_{50} در گندم نشان‌دهنده تحمل نسبی این گیاه زراعی در برابر اثرات بازدارنده عصاره آبی تلخه است. در مجموع، نتایج نشان داد که عصاره آبی تلخه توانایی بالایی در کاهش رشد و تجمع زیست‌توده علف‌های هرز مورد مطالعه داشته، در حالی که اثر آن بر گندم به‌مراتب کمتر بوده است.

گزارش شده است که ترکیبات فنولی موجود در پسماند گندم باعث کاهش تنفس میتوکندریایی، کاهش تولید ATP، تغییر نفوذپذیری غشاء و جلوگیری از انتقال انرژی لازم برای فرآیندهای ضروری رشد می‌شوند و در نتیجه، کاهش رشد و تجمع ماده خشک در گیاه را به دنبال دارند (Al-Watban & Salama, 2012). همچنین، فلاونوئیدها به‌عنوان یک ترکیب فنولی موجب اختلال در متابولیسم هورمون گیاهی اکسین، سنتز پروتئین و جذب یون توسط گیاه می‌گردند و به این ترتیب رشد ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. محققین گزارش کردند که با افزایش غلظت عصاره آبی تلخه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گندم و همچنین وزن تر و خشک ریشه سلمه‌تره به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت (Hatami Hampa *et al*., 2018). تعدادی از پژوهشگران در بررسی اثرات آللوپاتیک تلخه گزارش کردند که کاربرد غلظت‌های مختلف عصاره تلخه باعث کاهش شاخص‌های رشدی علف‌های‌هرز کوزه قلیانی (*Silene vulgaris*) و بی‌تی‌راخ (*Galium aparine*) شد (Alebrahim *et al*., 2016). نتایج بررسی دیگری که بر روی علف‌هرز یولاف وحشی انجام گرفت، نشان داد که وزن تر و خشک گیاهچه‌ها تحت تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره تلخه قرار گرفت و کمترین میزان صفات مذکور از تیمارهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد عصاره تلخه به دست آمدند (Nabati Souha *et al*., 2020a). هنگامی که مواد آللوپاتیک در غلظت‌های بالا استفاده می‌شوند، در تقسیم سلولی، بیوسنتز هورمون‌ها و جذب و انتقال مواد معدنی (Rizvi *et al*., 1992)، نفوذپذیری غشاء (Harper & Balke, 1981، نوسانات روزنه، فتوسنتز (Einhellig & Rasmussen, 1979)، تنفس، متابولیسم پروتئین (Kruse *et al*., 2000) و روابط آبی گیاه (Rice, 1984) اختلال ایجاد می‌کنند که ممکن است باعث کاهش قابل‌توجه رشد شود. این فعالیت فیتوتوکسیک مواد آللوپاتیک مسئول سرکوب رشد علف‌های هرز است.



شکل ۴- روند دز-پاسخ غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر وزن تر (الف) و خشک (ب) گیاهچه خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی

جدول۷- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتری برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی تلخه بر وزن تر و خشک گیاهچه خردل وحشی، گندم و ارزن وحشی

صفت	گیاه	شیب خط	حد بالا	غلظت مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
وزن تر	خردل وحشی	۱/۴۷ (۱/۵۰)	۰/۰۳۸ (۰/۰۰۸)	۳۲/۱۴ (۱۵/۴۴)	۰/۸۳	۰/۰۱۵	۰/۹۹
	گندم	۱/۳۵ (۰/۳۴)	۰/۱۳۵ (۰/۰۰۷)	۳۸/۸۳ (۵/۰۴)	۰/۸۳	۰/۰۱۵	۰/۹۹
	ارزن وحشی	۱/۵۴ (۰/۷۸)	۰/۰۵۹ (۰/۰۰۷)	۳۱/۹۹ (۸/۴۵)	۰/۸۳	۰/۰۱۵	۰/۹۹
وزن خشک	خردل وحشی	۳/۶۳ (۶/۳۶)	۰/۰۰۴ (۰/۰۰۱)	۲۱/۲۸ (۱۰/۲۶)	۰/۸۷	۰/۰۰۲	۱/۰۰
	گندم	۰/۶۹ (۰/۲۰)	۰/۰۲۳ (۰/۰۰۱)	۵۱/۳۲ (۱۳/۹۰)	۰/۸۷	۰/۰۰۲	۱/۰۰
	ارزن وحشی	۱/۸۴ (۱/۰۵)	۰/۰۰۶ (۰/۰۰۱)	۱۸/۰۹ (۷/۱۵)	/۸۷	۰/۰۰۲	۱/۰۰

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره آبی تلخه دارای اثر بازدارندگی قابل‌توجه بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهان مورد مطالعه بود و شدت این اثر با افزایش غلظت عصاره افزایش یافت. در بالاترین غلظت مورد بررسی (۵۰ گرم در لیتر)، درصد جوانه‌زنی خردل وحشی و ارزن وحشی نسبت به شاهد به‌ترتیب ۶۴/۱۰ و ۷۹/۶۰ درصد کاهش یافت، در حالی‌که کاهش جوانه‌زنی گندم ۵۳/۵۰ درصد بود. همچنین، سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی، ارزن وحشی و گندم به‌ترتیب ۸۱/۶، ۸۲/۱۰ و ۵۶/۰۰ درصد کاهش یافت و میانگین مدت جوانه‌زنی آنها افزایش نشان داد. در مرحله رشد اولیه نیز افزایش غلظت عصاره موجب کاهش معنی‌دار طول، وزن تر و وزن خشک گیاهچه شد؛ به‌طوری‌که در غلظت ۵۰ گرم در لیتر، این صفات در میانگین گونه‌های مورد بررسی به‌ترتیب ۶۰/۳۰، ۶۱/۵۰ و ۶۴/۹۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافتند. در مجموع، پاسخ متفاوت گونه‌ها نشان‌دهنده وجود تفاوت در حساسیت آنها نسبت به ترکیبات بازدارنده موجود در عصاره تلخه بود. به‌گونه‌ای که ارزن وحشی و خردل وحشی، به‌ویژه از نظر جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی، حساسیت بیشتری نسبت به گندم نشان دادند. تحمل نسبی بیشتر گندم را می‌توان به تفاوت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بین گونه‌ها نسبت داد، هرچند تعیین سازوکارهای دقیق این تحمل نیازمند بررسی‌های اختصاصی در زمینه ترکیبات فنولی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سایر شاخص‌های فیزیولوژیک است. برازش موفق مدل لگ لجستیک و مقادیر معتبر ED_{50}، به روشنی ترتیب حساسیت گونه‌ها را آشکار ساخت و نشان داد که ارزن وحشی و خردل وحشی در مقایسه با گندم، در غلظت‌های پایین‌تری از عصاره دچار کاهش ۵۰ درصدی صفات جوانه‌زنی و رشد می‌شوند. در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که تلخه می‌تواند به‌عنوان منبعی طبیعی و انتخاب‌پذیر از ترکیبات آللوپاتیک، نقش مؤثری در کاهش توان رقابتی و استقرار اولیه علف‌های هرز ایفا کند. در حالی‌که اثرات بازدارنده آن بر گندم محدودتر است. این ویژگی، تلخه را به گزینه‌ای امیدبخش در توسعه راهبردهای مدیریت پایدار و زیستی علف‌های هرز و کاهش وابستگی به علف‌کش‌های شیمیایی تبدیل می‌کند. با این حال، انجام مطالعات تکمیلی در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای، شناسایی ترکیبات فعال و بررسی پایداری و ایمنی زیست‌محیطی آن‌ها، برای کاربرد عملی این یافته‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشگاه محقق اردبیلی به پاس حمایت مالی و تأمین هزینه‌های اجرای این پژوهش که پایان نامه دکتری می‌باشد ابراز می‌دارند.

منابع

Abdoli, M. (2020). Effect of aging of seed and hydro-priming on germination characteristics and activity of some antioxidant enzymes of hybrid corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Research*, *7*(2), 147-159. (In Persian). https://doi.org/10.22124/jms.2020.4543

Alebrahim, M. T., Azadbakht, A., & Jafarzadeh Gallo, P. (2018). Study on the effect of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) aqueous extract on seed germination and growth characteristics of purslane, common yellow mallow and wheat. *Iranian Journal of Seed Sciences Research*, *5*(4), 13-24. (In persian). https://doi.org/10.22124/JMS.2018.2942

Alebrahim, M. T., Fakhari, R., & Sharifi, K. (2016). Allelopathic effect of *Acroptilon repens* extract on emergence of some crops and weeds. *Journal of Seed Research*, *6(*20), 21-13. (In persian). https://doi.org/20.1001.1.22520961.1395.6.20.2.8

Alebrahim, M. T., Hajzadeh, A., Ahmadnia, F., & Nabati Soha, L. (2022). Assessing the deterrent effect of aqueous and formulated extracts of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) with chitosan on the germination of Rrye weed (*Secale cereale* L.). *Journal of Seed Research*, *12*(4), 39-38. (In persian). https://doi.org/10.30495/jsr.2023.1994021.1262

Alshahrani, T. S., & Suansa, N.I. (2020). Application of biochar to alleviate effects of Allelopathic chemicals on seed germination and seedling growth. *BioRecourses*, *15*(1), 382-400. https://doi.org/10.15376/biores.15.1.382-400

Al-Watban, A., & Salama H. M. H. (2012). Physiological effects of allelopathic activity of Artemisia monosperma on common bean (*Phaseolus vulgaris*). *International Research Journal of Plant Science*, *3*(8), 158- 163.

Bahari Meymandi, S. A., Alizadeh, O., Sharafzadeh, S. H., Bazrafshan, F., & Amiri, B. (2022). Effect of fennel essential oil on seed germination characteristics and seedling growth of Malva sylvestris and Chenopodium album. Eco-phytochemical *Journal of Medicinal Plants*, *10*(1), 130-145. https://doi.org/10.30495/EJMP.2022.1948906.1670

Bais, H. P., Vepachedu, R., Gilroy S., Callaway R. M., & Vivanco, J.M. (2003). Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science*, *301*(5638), 1377- 1380. https://doi.org/10.1126/science.1083245

Becerra-Alvarez, A., Godar, A. S., Ceseski, A. R., & Al-Khatib, K. (2023). Herbicide resistance management in rice: annual field survey of California rice weeds helps establish a weed management decision framework. *Outlooks on Pest Management*, *34*(2), 51–57. https://doi.org/10.1564/v34_apr_02

Behdad, A., Abrishamchi, P., & Jankju, M. (2015). Relation to phonology, phenolics content and allelopathic effect of Artemisia khorassanica Krasch on growth and physiology of Bromus kopetdaghensis Drobov. *Journal of Biology*, *28*(2), 243- 255. https://doi.org/20.1001.1.23832592.1394.28.2.3.0

Blum, U., Shafer, S. R., & Lehman, M. E. (1999). Evidence for inhibitory allelopathic interactions involving phenolic acids in field soils: Concepts vs. an experimental model. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *18*(5), 673-693. https://doi.org/10.1080/07352689991309441

Brown, P. D., & Morra, M. J. (1996). Hydrolysis products of glucosinolates in Brassica napus tissues as inhibitors of seed germination. Plant and Soil, *181*(2), 307-316. https://doi.org/10.1007/BF00012065

Burgos, N.R., & Talbert, R.E. (2000). Differental activity of allelochemicals from Secale cereale in seedling bioassys. *Weed Science*, *48*(3), 302-310. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0302:DAOAFS]2.0.CO;2

Cacho, M., Moran, M., Corchete, P., & Frarandez Tarrago, J. (1999). Influence of medium composition on the accumulation of flavonolignans in cultured cells of *Silybum marianum* (L.) *Gaertn. Plant Science*, *144*(2), 63-68. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00056-4

Chauvel, B., Guillemin, J.P., Gasquez, J., & Gauvrit, C. (2012). History of chemical weeding from 1944 to 2011 in France: changes and evolution of herbicide molecules. *Crop Protection*, *42*, 320-326. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.07.011

Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in plant science*, *6*, 1020. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020

Dayan, F.E. (2006). Factors modulating the levels of the allelochemical sorgoleone in *Sorghum bicolor*. *Planta*, *224*, 339–346. https://doi.org/10.1007/s00425-005-0217-5

Duke, S.O. (2010). Allelopathy: Current status of research and future of the discipline: A commentary. Allelopathy *Journal*, *25*(1), 17-30.

Duke, S.O., Owens, D.K., & Dayan, F.E. (2014). The growing need for biochemical bioherbicides. In Biopesticides: State of the art and future opportunities. *American Chemical Society*, 31–43. https://doi.org 10.1021/bk-2014-1172.ch003.

Einhellig, F. A., & Rasmussen, J.A. (1979). Effects of three phenolic acids on chlorophyll content and growth of soybean and grain sorghum seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, *5*(5), 815-824. https://doi.org/10.1007/BF00986566.

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technolgy*, *9*, 377-409. https://doi.org/6471244d3c73b155c849720b

Farooq, M., Bajwa, A. A., Cheema, S.A., & Cheema, Z.A. (2013). Application of allelopathy in crop production. International *Journal of Agriculture and Biology*, *15*(6), 1367-1378. https://www.scopus.com/pages/publications/84889063616

Fennimore, S. A., & Doohan, D. J. (2008). The challenges of specialty crop weed control, future directions. *Weed Technology*, *22*(2), 364–372. https://doi.org/10.1614/WT-07-102.1

Gershenzon, J. (2002). Secondary metabolites and plant defense. In L. Taiz, & E. Zeiger (Eds.), *Plant Physiology*, 283-308. https://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-0012-A5D5-E

Gholami, P., Ghorbani, J., & Ghaderi, Sh. (2011). Allelopathic effects of artemisia aucheri on seed germination and dactylis glomerata properties of festuca arundinacea schreb. *Plant Ecophysiology*, *3*(9), 42-52. https://doi.org/20.1001.1.20085958.1390.3.8.7.5

Harker, K. N. (2013). Slowing weed evolution with integrated weed management. *Canadian Journal of Plant Science*, *93*(5), 759–764. https://doi.org/10.4141/cjps2013-049

Harper, J. R., & Balke, N. E. (1981). Characterization of the inhibition of K+ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiology*, *68*(6), 1349–1353. https://doi.org/10.1104/pp.68.6.1349

Hatami Hampa, A., Alebrahim, M. T., Farzaneh, S., Samadi Kalkhoran, E., & Khatami, S. A. (2025). Effect of aqueous sorghum (Sorghum bicolor L.) extract on weed germination and peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth. *Plant Production and Genetics*, *6*(2), 271-286. (In Persian). https://doi.org/10.22034/plant.2026.144773.1177

Hatami hampa, A., Javanmard A., Alebrahim M. T., & Sofalian O. (2017). Allelopathic effects of Sorghum (Sorghum bicolor l.) and Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) aqueous extract on seed germination indices and enzyme activity of some field crops and weeds. *Journal plant protection*, *31*(4), 676-689. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JPP.V31I4.62227

Hatami Hampa, A., Javanmard, A., Alebrahim, M. T., & Sofalian, O. (2018). Allelopathic effects of aqueous extracts of sorghum and Russian knapweed on seedling growth and activity of antioxidant enzymes in wheat, sugar beet, Lamb's quarters and pigweed. *Iranian Plant Protection Researches*, *32*(1), 101-119. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JPP.V32I1.62909

Herbicide Resistance Action Committee, (2024). HRAC global herbicide MOA classification. available online at: moa-classification (Accessed December 15, 2025). https://hracglobal.com/tools/2024-hrac-globalherbicide

Hopkins, W.G., & Hüner, N.P.A. (2008). Introduction to plant physiology. 4th ed. Hoboken: Wiley

Hosseini, N., & Khalili Mahalleh, J. (2014). The impact of four kinds of weed allopathy on the germination process and safflower growth under laboratory and greenhouse conditions. *Journal of research in crop sciences*, *6*(23), 1-14. (In Persian).

Inderjit, & Duke, S.O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*, *217*(4), 529–539. https://doi: 10.1007/s00425-003-1054-z

Inderjit, & Nilsen E.T. (2003). Bioassays and field studies for allelopathy in terrestrial plants: Progress and problems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *22*(3-4), 221-238. https://doi.org/10.1080/713610857

Jabran, K. (2017). Rye allelopathy for weed control. In Manipulation of allelopathic crops for weed control. Cham: *Springer International Publishing*, 49-56. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1_6

Jabran, K., & Farooq, M. (2012). Implications of potential allelopathic crops in agricultural systems. In Allelopathy: Current trends and future applications. Berlin, Heidelberg: *Springer Berlin Heidelberg*, 349-385. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30595-5_15

Jylha, P., & Hytonen, J. (2006). Effect of vegetation control on the survival and growth of scots pine and norway spruce planted on former agricultural land. *Canadian Journal of Forest Research*, *36*(10), 2400- 2411. https://doi.org/10.1139/x06-053

Kato-Noguchi H., & Peters A. (2013). Herbicidal substances of natural origin. Weed Biology and Management, *13*(1), 1-8.

Khaliq, A., Matloob, A., Aslam, F., Mushtaq, M. N., & Khan, M.B. (2012). Toxic action of aqueous wheat straw extract on horse purslane. *Planta Daninha*, *30*(2), 269-278. https://doi:10.1590/S0100-83582012000200005

Khan, M.A., & Ungar, I.A. (1998). Germination of the salt tolerant shrub Suaeda fruticosa from Pakistan: salinity and temperature responses. Seed Science and Technology, *26*(3), 657-667. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19990704818

Khanh, T. D., Chung, I. M., Xuan, T. D., & Tawata, S. (2005). The exploitation of allelopathy in sustainable agricultural production. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *191*(3), 172-184. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00172.x

Kobayashi, K. (2004). Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management*, *4*(1), 1-7. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2003.00112.x

Kruse, M., Strandberg, M., & Strandberg, B. (2000). Ecological effects of allelopathic plants-a review. NERI technical report, 315.

Li, B. B., Zhang, S. B., Lv, Y.Y., Wei, S., & Hu, Y. S. (2022). Reactive oxygen species-induced protein

carbonylation promotes deterioration of physiological activity of wheat seeds. *Plos One*, *17*(3), e0263553. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263553

Lin, W. X., Kim, K. U., & Shin, D. H. (2000). Rice allelopathic potential and its modes of actionon Barnyar dgrass (Echinochloacrus-galli). *Allelopathy*, *7*(2), 215-223.

Lydon J., Teasdale, J.R., & Chen, P.K. (1997). Allelopathic activity of annual worm wood (*Artemisia annua*) and the role of artemisinin. *Weed Science*, *45*(6), 807-811. https://doi.org/10.1017/S0043174500089001

Makizadeh Tafti M., & Farhoudi R. (2017). Investigation on the effect of alternate barley extract on seedling growth and stability of the cell membrane of seedlings of weeds of wild oat and ryegrass. *Journal of Plant Production Science*, *7*(1), 65-72.

Mallik, B. B. D., Acharya, B., Saquib, M., & Chettri, M. K. (2014). Allelopathic effect of Artemisia dubia extracts on seed germination and seedling growth of some weeds and winter crops. Ecoprint: *An International Journal of Ecology*, *21*, 23–30. https://doi.org/10.3126/eco.v21i0.11901

Nabati Souha, L. Alebrahim, M.T. Habibi Yangjeh, A. Zangoueinejad, R., & Samadi Kalkhoran, E. (2020a). The inhibitory effect of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) as a biological herbicide on germination and growth indices of Wild oats (*Avena fatua* L.). 10th National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources.

Nabati Souha, L. Alebrahim, M. T. Habibi Yangjeh, A. Zangoueinejad, R., & Samadi Kalkhoran, E. (2020b). The inhibitory effect of Russian knapweed (*Acroptilon* repens L.) as a biological herbicide on germination and growth of Sinapis arvensis. 10th National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources.

Ni, G.Y., Schaffner, U., Peng, S. L., & Callaway, R. M. (2010). *Acroptilon repens*, an Asian invader, has stronger competitive effect on species from America than species from its native range. *Biological invasions*, *12*(11), 3653-3663. https://doi.org/10.1007/s10530-010-9759-y

Oracz, K., Bailly, C., Gniazdowska, A., Come, D., Corbineau, F., & Bogatek, R. (2007). Induction of oxidative stress by sunflower phytotoxins in germinating mustard seeds. *Journal of Chemical Ecology*, *3*(2), 251-264. https://doi:10.1007/s10886-006-9222-9

Pirzad, A., Ghasemian V.R., Sharifi, M., Sedghi, M., & Hadi, H. (2012). Effect of water extracts of Salvia officinalis and Artemisia sieberi on Seed Germination and Seedling Growth of Amaranthus retroflexus. *Iranian Plant Protection Research*, *26*(2), 145- 151. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jpp.v26i2.13814

Qavami, N, Labbafi M, Dehghani- Meshkani M., & Mehrafarin A. (2012). Determination of seed and oil yield and yield components in two variety of milk thistle (*Silybum marianum* Gaetrn.) based on path analysis and regression. *Journal of Medecinal Plants*, *11*(44), 78- 85. (In Persian)

Quintana, N., Weir, T. L., Du, J., Broeckling, C. D., Rieder, J.P., Stermitz, F.R., Paschke, M.W., & Vivanco, J.M. (2008). Phytotoxic polyacetylenes from roots of Russian knapweed (*Acroptilon repens* (L.) DC.). *Phytochemistry*, *69*(14),2572-2578. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.07.015

Rahimi, H., Torabi, B., Soltani, E., & Ghaderifar, F. (2018). Investigation of the process of seed germination of wild mustard (*Sinapis arvensis*) during dormancy elimination. *Weed Research Journal*, *2*(2), 15-30.

Rezvani, R., & Dadkhah, A. (2023). A study of the effect of the aqueous extract of different organs of Peganum harmala L. on the germination and growth of Amaranthus retroflexus L. and *Chenopodium album* L. *Journal of Seed Science and Technology*, *12*(1), 1- 14. https://doi:10.22092/IJSST.2022.359764.1451

Rice, E. L. (1984). Allelopathy, 2nd edition. Academic Press, New York, USA

Ritz, C., Baty, F., Streibig, J. C., & Gerhard, D. (2015). Dose-Response analysis using R. *Plos One*, *10*(12), 0146021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021

Rizvi, S.J.H., Haque, H., Singh, V.K., & Rizvi, V. (1992). A discipline called allelopathy. In Allelopathy: basic and applied aspects, 1-10, Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2376-1_1

Roberts, J., & Florentine, S. (2024). Advancements and developments in the detection and control of invasive weeds: a global review of the current challenges and future opportunities. *Weed Science*, *72*(3), 205-215. https://doi:10.1017/wsc.2024.13

Saberi, M., Shahriari, A., Jafari M., Tarnian F. A., & Safari H. (2012). Allelopathic effect of Thymus kotschyanus on seed germination and initial growth of Bromus inermis (*Bromus inermis*) and Agropyron elongatum (*Agropyron elongatum*). *Journal of Watershed Management Researches*, *24*(93), 18- 25. (In Persian).

Safahani, A. R., & Ghooshchi, F. (2014). Allelopathic effects of aqueous and residue of different weeds on germination and seedling growth of wheat. *Plant Research Journal*, *27*(1). (In Persian). https://plant.ijbio.ir/article_298_26e359e83860db1d11b6acca57d8ea88

Scavo, A., & Giovanni, M. (2021). Crop allelopathy for sustainable weed management in agroecosystems: knowing the present with a view to the future. *Agronomy*, *11*(11), 1-23. https://doi:org/10.3390/agronomy11112104

Sedghi, M., Gholi Toluie, S., & Rezaei, M. (2015). Study on the effect of Orchard Grass (*Dactylis glomerata* L.) allelopathy on germination and seedling growth of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *28*(4), 532-538. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JPP.V28I4.22542

Shang, Z. H., & Xu, S. G. (2012). Allelopathic testing of pedicularis kansuensis (*Scrophulariaceae*) on seed

Sprengel on ABA, IAA and ZR contents in roots of upland rice seedlings. *Allelopathy Journal*, *21*, 253-262.
Singh, H. P., Batish, D. R., Setia, N., & Kohli, R. K. (2005). Herbicidal activity of volatile oils from Eucalyptus citriodora against Parthenium hysterophorus. *Annals of Applied Biology*, *146*(1), 89-94. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.04018.x
Sisodia, S., & Siddiqui, M. B. (2010). Allelopathic effect by aqueous extracts of different parts of Croton bonplandianum Baill. on some crop and weed plants. *Agricultural Extension Rural Development*, *2*(1), 22-28. https://doi.org/10.5897/JAERD.9000005
Šoln, K., Klemenčič, M., & Koce, J. D. (2022). Plant cell responses to allelopathy: From oxidative stress to programmed cell death. *Protoplasma*, *259*(5), 1111-1124. https://doi.org/10.1007/s00709-021-01729-8
Sturm, D. J., Kunz, C., & Grehards, R. (2016). Inhibitory effects of cover mulch on germination and growth of Stellaria media L. Vill. *Chenopodium album* L. and *Matricaria chamomilla* L. Crop Protection, *90*, 125-131. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.032
Tahami Zarandi, M. K., & Rezvanimoghadam, P. (2011). Investigation of germination and seedling morphological characteristics of wild oat (*Avena ludoviciana*) under aqueous extract of the aerial parts of medicinal plants. *Crop Protection*, *25*, 398-406. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JPP.V25I4.11860
Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., & Murphy, A. (2015). Plant Physiology and Development. Biological Sciences. Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Publication. 761p.
Weitbrecht, K., Müller, K., & Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: early seed germination. Journal of *Experimental Botany*, *62*, 3289–3309. https://doi.org/10.1093/jxb/err030
Weston, L. A., & Duke, S. O. (2003). Weed and crop allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *22*, 367–389. https://doi.org/10.1080/713610861
Xuan, T. D., & Tsuzuki, E. (2004). Allelopathic plants: buckwheat (*Fugopyrum* spp.). *Allelopathy*, *13*, 137-148.
Yang, G. Q., Wan, F. H., Liu, W. X., & Guo, J. (2008). Influence of two allelochemicals from Ageratina adenophora Sprengel on ABA, IAA and ZR contents in roots of upland rice seedlings. *Allelopathy Journal*, *21*(2), 253-262. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20083123469
Yang, Q., Ye, W., Liao, F., & Yin, X. (2005). Effects of allelochemicals on seed germination. *Chinese Journal of Ecology*, *24*(12), 1459-1465. https://www.cje.net.cn/EN/Y2005/V/I12/1459
Yarnia, M., Farajzadeh Memari Tabrizi E., Ahmadzadeh V., & Nobari N. (2010). Allelopathic effect of desert ivy (*Convolvulus arvensis* L.) on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *20*(1), 153- 167. https://doi.org/20.1001.1.24764310.1389.20.1.13.4
Yazdani Biuki, R., Khazaei, H.R., Rezvani Moghaddam, P., & Astaraei, A. (2010). Effects of animal manures and chemical fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of milk thistle plant (*Silybum marianum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *8*(5), 738- 746. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v8i5.8015
Yazdany, M., Babaei, S., & Haghiyan, I. (2022). Allelopathic effects of amygdalus scoparia, daphne mezereum, and ebenus stellata on seed germination percentage of important under-floor species. *Desert Ecosystem Engineering*, *9*(29), 89-100. https://doi.org/10.22052/DEEJ.2020.9.29.51
Zaman, S., Yaseen, T., Shah, A. M., Khan, M., Ahmad, M., Gul, R., & Nawaz, G. (2020). Allelopathic effect of Ficus carica L. against *Triticum aestivum* L., *Zea mays* L., *Lactuca sativa* L. and *Trifolium repens* L. *Pure and Applied Biology*, *10*(1), 1-11. http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2021.100001