

Effect of aqueous sorghum (*Sorghum bicolor* L.) extract on weed germination and peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth

Azam Hatami Hampa¹, Mohammad Taghi Alebrahim^{*1}, Salim Farzaneh¹, Elham Samadi Kalkhoran² Seyedeh Asieh Khatami¹

1. Department of Plant Production and Genetics, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

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

*Corresponding Author Email: m_ebrahim@uma.ac.ir

Abstract

Introduction: Weeds are considered undesirable and harmful plants that adversely affect the growth of cultivated crops. By reducing crop productivity, weeds significantly decrease both the quantity and quality of agricultural products in farming systems, ultimately causing substantial economic losses for farmers. Allelopathy is an ecological phenomenon involving the production and release of biologically active compounds by certain crops, cultivated plants, and microorganisms such as bacteria and fungi into the soil rhizosphere, thereby influencing the growth and development of neighboring organisms. Sorghum possesses pronounced allelopathic properties, enabling it to produce and release a wide range of phytotoxic compounds from its root hairs, stems, and grains. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is a well-known allelopathic crop with a strong potential to suppress weed growth, primarily due to the synthesis and release of the allelochemical sorgoleone.

Materials and Methods: The present study was conducted to evaluate the effects of aqueous *Sorghum bicolor* extract on seed germination, seedling growth, and fresh and dry biomass of two weed species, lambsquarters (*Chenopodium album* L.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), as well as the crop plant peanut (*Arachis hypogaea* L.). Treatments consisted of seven extract concentrations (0, 50, 100, 150, 200, 250, and 300 g L⁻¹), which were applied to all three plant species. The traits studied included germination percentage, germination rate, average germination time, fresh and dry weight, and seedling length of both weeds and peanuts.

Results: The results demonstrated that increasing concentrations of sorghum aqueous extract significantly reduced the germination percentage of the weed species, with germination being almost completely inhibited at concentrations of 200–300 g L⁻¹. In contrast, peanut exhibited relatively high tolerance to the extract, showing only slight reductions in germination percentage and germination rate even at the highest concentrations. The average germination time of the weed species was either shortened or irregularly affected by the treatments, whereas a slight increase in mean germination time was observed in peanut, indicating a minor delay in germination. Seedling growth responses varied among species; seedling length as well as fresh and dry biomass of the weed species were markedly reduced, while peanut seedlings showed only moderate reductions at higher extract concentrations. The ED₅₀ values further confirmed the greater sensitivity of the weed species compared with peanut.

Conclusion: Overall, these findings indicate that aqueous *Sorghum bicolor* extract can serve as an effective natural inhibitor of weed growth while exerting limited adverse effects on the crop, highlighting its potential application in biological weed management strategies and in reducing reliance on chemical herbicides.

Keywords: Allelopathy, *Amaranthus retroflexus*, Germination Percentage, *Chenopodium album*, Dry weight

Received: 21-10-2025

Accepted: 06-01-2026

Citation: 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. <https://doi.org/10.22034/plant.2026.144773.1177>

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.



تولید و ژنتیک گیاهی

<https://doi.org/10.22034/plant.2026.144773.1177>

اثر عصاره آبی سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در مهار جوانه‌زنی علف‌های هرز و رشد بادام‌زمینی (*Arachis hypogea* L.)

اعظم حاتمی همپا^۱، محمد تقی آل ابراهیم^{۱*}، سلیم فرزانه^۱، الهام صمدی کلخوران^۲، سیده آسیه خاتمی^۱

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و فناوری کشاورزی، 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_ebrahim@uma.ac.ir

چکیده

مقدمه: علف‌های هرز به‌عنوان گیاهان نامطلوب و زیان‌آور، اثرات منفی قابل‌توجهی بر رشد گیاهان زراعی داشته و با کاهش پتانسیل تولید، موجب افت کمی و کیفی محصولات کشاورزی در مزارع می‌شوند؛ امری که در نهایت خسارات اقتصادی چشمگیری را به کشاورزان تحمیل می‌کند. آلوپاتی پدیده‌ای اکولوژیکی است که طی آن، ترکیبات زیستی فعال از سوی برخی گیاهان زراعی، گیاهان کشت‌شده و همچنین میکروارگانیسم‌هایی نظیر باکتری‌ها و قارچ‌ها به ریزوسفر خاک ترشح شده و بر رشد و فعالیت سایر موجودات زنده پیرامون اثر می‌گذارند. سورگوم به‌دلیل برخورداری از ویژگی‌های آلوپاتیک برجسته، قادر است ترکیبات زیستی متنوعی را از طریق ریشه‌های موئین، ساقه‌ها و دانه‌های خود تولید و آزاد کند. سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) به‌عنوان یک گیاه آلوپاتیک شناخته‌شده، به‌واسطه سنتز ترکیب سورگولئون، توانایی بالایی در سرکوب رشد علف‌های هرز دارد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با هدف بررسی اثر عصاره آبی سورگوم بر جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، وزن تر و خشک دو گونه علف هرز سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) و تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) و همچنین گیاه زراعی بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) انجام شد. تیمارها شامل هفت سطح غلظت عصاره (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ گرم در لیتر) بودند که بر روی هر سه گونه گیاهی اعمال شدند. صفات مورد بررسی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی، وزن تر و خشک و طول گیاهچه علف‌های هرز و بادام‌زمینی بود.

نتایج: نتایج نشان داد که با افزایش غلظت عصاره، درصد جوانه‌زنی گونه‌های علف هرز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌گونه‌ای که در غلظت‌های ۲۰۰ تا ۳۰۰ گرم در لیتر، جوانه‌زنی تقریباً به‌طور کامل مهار شد. در مقابل، گیاه بادام‌زمینی از تحمل نسبی برخوردار بود و حتی در بالاترین غلظت‌ها، تنها کاهش جزئی در درصد و سرعت جوانه‌زنی نشان داد. متوسط زمان جوانه‌زنی در علف‌های هرز با کاهش یافت و یا به‌صورت نامنظم تحت تأثیر قرار گرفت، در حالی که در بادام‌زمینی افزایش جزئی در متوسط زمان جوانه‌زنی مشاهده شد که بیانگر تأخیر جزئی در فرآیند جوانه‌زنی است. پاسخ‌های مربوط به رشد گیاهچه نیز بین گونه‌ها متفاوت بود؛ به‌طوری‌که طول گیاهچه و وزن تر و خشک علف‌های هرز به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت، در حالی که گیاهچه‌های بادام‌زمینی در غلظت‌های بالاتر تنها کاهش متوسطی نشان دادند. مقادیر ED₅₀ نیز حساسیت بالاتر گونه‌های علف هرز را نسبت به بادام‌زمینی تأیید کرد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که عصاره آبی سورگوم می‌تواند به‌عنوان یک مهارکننده طبیعی مؤثر در کنترل علف‌های هرز عمل کند، در حالی که اثرات محدودی بر گیاه زراعی دارد؛ موضوعی که کاربرد بالقوه آن را در مدیریت زیستی علف‌های هرز و کاهش مصرف علف‌کش‌های شیمیایی برجسته می‌سازد.

کلیدواژگان: آلوپاتی، تاج‌خروس ریشه قرمز، درصد جوانه‌زنی، سلمه تره، وزن خشک

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۹

منبع: حاتمی همپا، ا.، آل ابراهیم، م.، ت.، فرزانه، س.، صمدی کلخوران، ا. و خاتمی، س. آ. (۱۴۰۴). اثر عصاره آبی سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در مهار جوانه‌زنی علف‌های هرز و رشد بادام‌زمینی (*Arachis hypogea* L.). *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۶ (۲)، ۲۷۱-۲۸۶.

<https://doi.org/10.22034/plant.2026.144773.1177>



مقدمه

علف‌های هرز به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده‌ی اصلی در سیستم‌های تولید کشاورزی، می‌توانند به‌طور معنی‌داری عملکرد و کیفیت محصولات را کاهش دهند. این گیاهان برای منابع حیاتی مانند نور، آب، مواد مغذی و فضا با گیاهان کشت شده، رقابت می‌کنند و این رقابت در نهایت باعث کاهش رشد گیاهان زراعی، افت عملکرد محصول و کاهش کارایی سیستم تولید می‌شود (Sarić et al., 2019; Macías et al., 2019). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که وجود علف‌های هرز می‌تواند موجب کاهش عملکرد محصول تا بیش از ۶۰ درصد شود. این میزان کاهش به شدت آلودگی مزرعه به علف‌های هرز و عدم مدیریت مؤثر آن‌ها بستگی دارد (Roberta et al., 2010). چنین خسارتی نه‌تنها در مرحله رشد، بلکه در فرآیند برداشت نیز، در محصولاتی مانند بادام‌زمینی که دارای اندام‌های تولیدی زیرزمینی هستند، می‌تواند به‌شدت خسارت‌زا و در مواردی غیرقابل جبران باشند.

بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) یکی از محصولات زراعی مهم در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان است که علاوه بر ارزش غذایی بالا، در تقویت امنیت غذایی و ارتقای ثبات اقتصادی کشاورزان نقش بسزایی دارد (Basuchaudhuri, 2023). این محصول به حضور علف‌های هرز، به‌ویژه در مراحل اولیه رشد و نیز طی فرآیند گل‌دهی و تشکیل غلاف که در زیر خاک انجام می‌شود، حساسیت زیادی نشان می‌دهد. علف‌های هرز با ارتفاع زیاد و رقیب مانند تاج‌خروس (*Amaranthus palmeri*) و سلمه‌تره (*Chenopodium album*) می‌توانند از طریق مکانیزم‌هایی نظیر سایه‌اندازی و رقابت شدید برای منابع حیاتی از جمله آب و عناصر غذایی، رشد رویشی و زایشی بادام‌زمینی را به‌طور قابل توجهی محدود کنند (Carroll Johnson III & Mullinix, 2005). افزون بر این، تراکم بالای علف‌های هرز یک‌ساله می‌تواند فرآیند برداشت را مختل ساخته و منجر به کاهش عملکرد و افزایش هزینه‌های تولید شود (Carroll Johnson III & Mullinix, 2005; Mathew et al., 2022). در حال حاضر، مدیریت علف‌های هرز به میزان زیادی بر کاربرد علف‌کش‌های شیمیایی متکی است. این ترکیبات اگرچه از کارایی بالایی در کنترل سریع علف‌های هرز برخوردار است، اما تجمع آن‌ها در خاک و اکوسیستم‌های

آبی به تخریب پایدار زیست‌بوم منجر شده و در بلندمدت فرآیند تکامل مقاومت در جمعیت‌های علف‌های هرز را تسریع می‌کند (Al-Samarai et al., 2018; Abu-Nassar et al., 2021). استفاده مکرر و بی‌رویه از علف‌کش‌ها پیامدهای زیان‌بار متعددی از جمله کاهش جمعیت حشرات گرده‌افشان، تهدید سلامت انسان و جانوران و افزایش فراوانی و تنوع گونه‌های مقاوم به علف‌کش‌ها به دنبال داشته است (Goulson et al., 2015; Macías et al., 2019). در پاسخ به این چالش‌ها، گرایش جهانی به سمت راهبردهای زیستی و پایدار در مدیریت علف‌های هرز، به‌ویژه از طریق کشاورزی ارگانیک و کم‌نهاد، به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (Bai et al., 2019; Reidsma et al., 2023).

یکی از رویکردهای نویدبخش در این زمینه بهره‌گیری از پدیده آللوپاتی (دگر آسیبی) است؛ پدیده‌ای زیست‌شیمیایی که طی آن گیاهان با ترشح متابولیت‌های ثانویه (آلوشیمی‌ها) از اندام‌هایی همچون ریشه، برگ و بذر، رشد و جوانه‌زنی گیاهان مجاور به‌ویژه علف‌های هرز را سرکوب می‌کنند (Hussain et al., 2021). این ترکیبات می‌توانند در فرآیندهای متنوع فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نظیر جذب مواد معدنی، فتوسنتز، تنفس، تقسیم سلولی و تنظیم هورمونی تداخل ایجاد کرده و به‌عنوان بازدارنده‌های طبیعی رشد، نقش مؤثری در مدیریت زیست‌محیطی علف‌های هرز ایفا کنند (Hura et al., 2006; Gupta et al., 2018). کاربرد هدفمند این پدیده، به‌ویژه در محصولاتی همچون بادام‌زمینی که دارای رشد اولیه کند و حساسیت بالایی نسبت به رقابت علف‌های هرز هستند، می‌تواند مزیت رقابتی محصول را در برابر فشار علف‌های هرز به‌طور چشمگیری افزایش دهد. در چنین شرایطی، بهره‌گیری از گیاهان آللوپاتیک به‌عنوان رویکردی زیستی و پایدار برای سرکوب علف‌های هرز در کشت بادام‌زمینی مطرح شده است؛ رویکردی که علاوه بر مقرون‌به‌صرفه بودن، با اصول کشاورزی پایدار و دوستدار محیط‌زیست نیز سازگار است. در میان این گیاهان، سورگوم (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) به دلیل مقاومت نسبی به خشکی، سرعت رشد بالا و توانایی ترشح ترکیبات آللوپاتیک قوی مانند سورگولون، به‌عنوان گزینه‌ای برجسته شناخته شده است. (Weston et al., 2013). این آلوشیمی‌ها، قادرند جوانه‌زنی و رشد طیف وسیعی از علف‌های هرز را مهار کرده و به کاهش تراکم آن‌ها در شرایط مزرعه منجر شوند (Hussain

در ادامه، مواد خشک شده، پودر و برای تهیه عصاره آبی در مقادیر مورد نظر با آب مقطر ترکیب گردید (Sturm et al., 2016) برای تهیه عصاره مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ گرم پودر خشک شده سورگوم در ۱۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر ترکیب شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت تکان داده شد. سپس محلول از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد

بذور علف های هرز از گل آذین های در حال رسیدن در مزارع مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان جمع آوری و به مدت سه هفته در دمای اتاق کنترل شده (25 ± 2) درجه سانتی گراد) خشک شدند و سپس با مالش از گل آذین ها جدا گردیدند. خواب بذره های علف های هرز با اسید جیبرلیک به میزان ۱۵۰۰ پی پی ام شکسته شد. پیش از انجام آزمایش، تمامی بذور با محلول یک درصد هیپوکلریت سدیم استریل و حداقل سه بار با آب مقطر شسته شدند. در هر تکرار، ۲۵ بذر سالم و استریل به طور تصادفی در پتری دیش ها، با قطر ۹ سانتی متر برای بذور علف های هرز و قطر ۱۵ سانتی متر برای بذور بادام زمینی قرار داده شدند. در هر پتری، کاغذ صافی شماره ۴۲ با ۱۰ میلی لیتر از غلظت های مختلف عصاره یا آب مقطر (شاهد) مرطوب گردید. سپس پتری دیش ها در کیسه های پلاستیکی شفاف مهر و موم شده و به ژرمیناتور مدل BINDER KBW 240 با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی گراد و در تاریکی منتقل شدند، جوانه زنی بذور به مدت ۱۴ روز به صورت روزانه شمارش شدند. بذوری که طول ریشه چه آن ها به دو میلی متر می رسید، جوانه زده در نظر گرفته شدند (Perry, 1981) درصد جوانه زنی GP (Mean Germination Time) و سرعت جوانه زنی (Germination Rate) به طور روزانه ثبت شد که بر اساس آن ها زمان متوسط جوانه زنی (Mean Germination Time) MGT محاسبه گردید. برای اندازه گیری طول گیاهچه و وزن تر و خشک گیاهچه ها، ۱۴ روز پس از نگهداری در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، ۵ نمونه به صورت تصادفی انتخاب و مجموع طول ریشه چه و ساقه چه و وزن تر و خشک آن ها اندازه گیری شد. سپس جهت تعیین وزن خشک، نمونه ها در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد (Sturm et al., 2016). اندازه گیری طول گیاهچه با خط کش مدرج با دقت یک میلی متر و اندازه گیری وزن تر و خشک با ترازوی با

et al., 2021). مزیت دیگر سورگوم، تنوع ژنتیکی بالای آن و وجود اکوتیپ های بومی و تجاری متنوع است که هر یک دارای ظرفیت آلوپاتیک متفاوتی بوده و می توانند متناسب با شرایط محیطی محلی به طور هدفمند انتخاب شوند. بر این اساس، هدف از این مطالعه، ارزیابی اثرات آلوپاتیک عصاره آبی سورگوم بر جوانه زنی بادام زمینی و دو گونه علف هرز رایج در مزارع بادام زمینی است. نتایج حاصل می تواند مبنایی علمی برای طراحی و توسعه راهبردهای مدیریت پایدار علف های هرز را فراهم آورد و به آسانی گذر از وابستگی کامل به روش های شیمیایی به سمت استفاده نسبی از گزینه های زیست پایه و کم خطر کمک نماید.

مواد و روش ها

این پژوهش با هدف بررسی اثرات آلوپاتیک عصاره آبی سورگوم (*Sorghum bicolor* L) رقم پیام بر جوانه زنی و رشد اولیه دو گونه علف هرز سلمه تره (*Chenopodium album*) و تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*) و گیاه زراعی بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) رقم گلی در شرایط کنترل شده آزمایشگاه بذر دانشکده علوم و فنون کشاورزی در دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل مبتنی بر طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار طراحی گردید. تیمارها شامل غلظت عصاره آبی سورگوم در هفت سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ گرم در لیتر) و گونه های گیاهی (دو گونه علف هرز سلمه تره و تاج خروس و گیاه زراعی بادام زمینی) بودند.

آزمایش به صورت فاکتوریل مبتنی بر طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار طراحی گردید. تیمارها شامل غلظت عصاره آبی سورگوم در هفت سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ گرم در لیتر) و گونه های گیاهی (دو گونه علف هرز سلمه تره و تاج خروس و گیاه زراعی بادام زمینی) بودند.

برای تهیه عصاره آبی، گیاه سورگوم در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشکده کشاورزی مغان کشت و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شد. برگ، ساقه و ریشه گیاه سورگوم پس از شست و شو با آب لوله کشی، به مدت ۳۰ روز در هوای آزاد و دمای اتاق (25°C) خشک گردیدند تا از بروز تغییرات بیوشیمیایی احتمالی جلوگیری شود Hussain et al., 2020

تاج خروس ریشه قرمز نیز بالاترین درصد جوانه زنی در شاهد (۹۶ درصد) و پایین ترین مقدار در غلظت ۲۰۰ گرم در لیتر عصاره سورگوم (۳ درصد) مشاهده گردید. در مقابل، گیاه زراعی بادام زمینی نسبت به تیمارهای مختلف عصاره تحمل بیشتری نشان داد؛ به طوری که درصد جوانه زنی آن در تیمار شاهد ۱۰۰ درصد بود و حتی در بالاترین غلظت (۳۰۰ گرم در لیتر) نیز به ۶۴ درصد رسید (جدول ۱). این یافته ها بیانگر آن است که عصاره آبی سورگوم به طور معنی داری جوانه زنی علف های هرز را مهار می کند، در حالی که تأثیر آن بر جوانه زنی بادام زمینی به مراتب کمتر است. داده های مربوط به درصد جوانه زنی در غلظت های مختلف به مدل لگ-لجستیک سه پارامتره برازش داده شد. نتایج آزمون عدم برازش (Lack of fit)، ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان داد که داده ها انطباق مناسبی با مدل دارند (جدول ۲). بر اساس نتایج مدل، غلظت مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی جوانه زنی (ED_{50}) در بادام زمینی ۵۳۹/۵۹ گرم در لیتر مشاهده گردید. در علف های هرز غلظت مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی جوانه زنی (ED_{50}) در سلمه تره و تاج خروس به ترتیب ۱۲۵/۲۳ و ۸۶/۰۵ گرم در لیتر برآورد شد (جدول ۲).

کاهش معنی دار درصد جوانه زنی علف های هرز در غلظت های پایین (۵۰ گرم در لیتر) نشان دهنده اثر بازدارندگی قوی ترکیبات فعال موجود در عصاره سورگوم است که با یافته های پیشین در مطالعات آللوپاتی تطابق دارد (Weston, 1996). ترکیبات فنولی و مونوترپن های موجود در ساقه و برگ سورگوم به عنوان عوامل فعال زیستی شناخته شده اند که قادرند فعالیت آنزیم های مرتبط با جوانه زنی و متابولیسم اولیه بذر را مهار کنند (Inderjit & Duke, 2003). یارنیا و همکاران (Yarnia et al., 2009) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که عصاره های سورگوم باعث کاهش جوانه زنی بذرهای تاج خروس ریشه قرمز شدند، به طوری که عصاره سورگوم با غلظت ۲۰ درصد یا ۲۰۰ گرم در لیتر جوانه زنی بذر را مهار کرد. عصاره برگ و شاخه های سورگوم در غلظت های ۱۵ و ۵ درصد موجب کاهش ۹۶/۶۲ و ۵۴/۴۴ درصدی جوانه زنی بذرهای تاج خروس ریشه قرمز نسبت به تیمار شاهد شدند. ترکیبات دگرآسیب از جمله سورگولون موجود در ساقه و ریشه گیاه سورگوم با مهار فعالیت آنزیم های مرتبط با جوانه زنی و رشد گیاهان، اثرات آللوپاتیک خود را اعمال می کنند. مطالعات قبلی نیز نشان

دقت ۰/۰۰۱ انجام شد. شاخص های جوانه زنی طبق روابط زیر محاسبه شدند:

$$GP = NGS/TS \times 100 \quad (۱)$$

که در آن، GP درصد جوانه زنی، NGS تعداد بذرهای جوانه زده و T تعداد کل بذرها است (Scott et al., 1984).

برای محاسبه سرعت جوانه زنی از رابطه زیر استفاده شد (Maguire, 1962).

معادله (۲)

$$GR = \frac{\text{Number of normal seedlings}}{\text{Days to first count}} + \dots \frac{\text{Number of normal seedlings}}{\text{Days to final count}}$$

برای محاسبه میانگین زمان جوانه زنی نیز از رابطه ۳ استفاده شد (Ellis & Roberts, 1981).

$$MGT = \sum \left(\frac{NiTi}{Ni} \right) \quad (۳)$$

که در آن Ni تعداد بذرهای جوانه زده در روز T است بعد از اطمینان از نرمال بودن داده ها، تجزیه داده ها با نرم افزار SAS و مقایسه میانگین آن ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای آنالیز داده های شاخص های جوانه زنی تحت تأثیر عصاره آبی سورگوم از نرم افزار R ورژن ۲-۲-۴ استفاده شد. برای تعیین ED_{50} عصاره آبی سورگوم از مدل لگ لجستیک چهار پارامتری استفاده شد (Ritz & Streibig, 2015).

$$U_{ij} = \quad (۴)$$

U_{ij} بیانگر درصد جوانه زنی، سرعت جوانه زنی، متوسط زمان جوانه زنی، وزن تر و خشک گیاهچه و طول گیاهچه، d حد بالا 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} می باشد.

درصد جوانه زنی علف های هرز و بادام زمینی

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که کاربرد عصاره آبی سورگوم اثر معنی داری بر درصد جوانه زنی گونه های مورد بررسی داشت. در غلظت ۵۰ گرم در لیتر، درصد جوانه زنی بذرهای سلمه تره و تاج خروس ریشه قرمز نسبت به تیمار شاهد به طور قابل توجهی کاهش یافت. بیشترین درصد جوانه زنی سلمه تره در تیمار شاهد (۹۷ درصد) و کمترین آن در غلظت ۲۰۰ گرم در لیتر (۲۵ درصد) ثبت شد. در

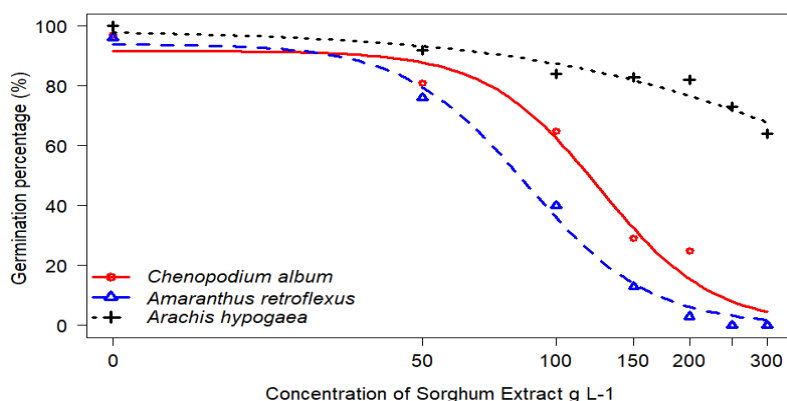
داده‌اند که سورگوم به‌عنوان یک گیاه آللوپاتیک قوی عمل می‌کند، که می‌تواند رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان و علف‌های هرز اطراف را کاهش دهد (Hussian *et al.*, 2021).

هنگامی که گیاهان حساس در معرض ترکیبات آللوپاتیک قرار می‌گیرند، فرآیند جوانه‌زنی و رشد آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی دچار اختلال و کاهش می‌شود. این ترکیبات با کاهش غلظت داخلی هورمون‌های رشد نظیر جیبرلیک اسید و اکسین و در عین حال افزایش سطح آبسزیک اسید در گیاهچه گندم، تعادل هورمونی را برهم زده و در نهایت

موجب کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌گردند (Kang *et al.*, 2008). در همین راستا، شنگ و ژو (Shang & Zhou, 2012) گزارش کردند که بذره‌ای کوچک نسبت به اثر عصاره‌های آبی بسیار حساس‌تر بوده و حتی غلظت‌های پایین این عصاره‌ها می‌توانند جوانه‌زنی آن‌ها را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار دهند. به‌طور کلی، بسیاری از گیاهان دارای توان بالقوه آللوپاتیک بوده و با آزادسازی ترکیبات محلول در آب مانند سینوژنیک گلیکوزیدها، فنول‌ها و تانن‌ها، فرآیند جوانه‌زنی و رشد گونه‌های گیاهی مجاور را مهار می‌کنند (Fateh *et al.*, 2012).

جدول ۱- اثرات متقابل غلظت × نوع گیاه بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین زمان جوانه‌زنی، وزن تر گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و طول گیاهچه

گیاه	غلظت (گرم در لیتر)	درصد جوانه زنی (درصد)	سرعت جوانه زنی (تعداد در روز)	متوسط زمان جوانه زنی (روز)	وزن تر گیاهچه (گرم)	وزن خشک گیاهچه (گرم)	طول گیاهچه (سانتی‌متر)
سلمه تره	۰	۹۷/۰۰ ± ۱/۹۱	۷/۰۳ ± ۰/۷۵	۴/۱۷ ± ۰/۲۸	۱/۱۹ ± ۰/۲۸	۰/۱۰ ± ۰/۱۲۱	۴/۰۵
	۵۰	۸۱/۰۰ ± ۸/۰۶	۵/۷۲ ± ۰/۷۸	۳/۸۷ ± ۰/۱۳	۰/۹۰ ± ۰/۱۲	۰/۰۳ ± ۰/۰۷۵	۳/۳۲
	۱۰۰	۶۵/۰۰ ± ۴/۱۲	۴/۰۵ ± ۰/۲۸	۴/۳۸ ± ۰/۲۰	۰/۵۶ ± ۰/۰۵	۰/۰۱۸ ± ۰/۰۶۵	۲/۲۷
	۱۵۰	۲۹/۰۰ ± ۹/۹۸	۲/۰۵ ± ۰/۷۲	۲/۸۰ ± ۰/۹۴	۰/۳۵ ± ۰/۱۴	۰/۰۲۳ ± ۰/۰۵۵	۰/۷۵
	۲۰۰	۲۵/۰۰ ± ۵/۲۵	۱/۷۴ ± ۰/۳۶	۳/۷۵ ± ۰/۰۵	۰/۲۰ ± ۰/۱۴	۰/۰۲۰ ± ۰/۰۲۸	۰/۳۱
	۲۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۳۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تاج خروس	۰	۹۶/۰۰ ± ۲/۳۰	۵/۸۳ ± ۰/۰۷	۴/۵۵ ± ۰/۰۹	۰/۸۰ ± ۰/۰۶	۰/۰۱ ± ۰/۰۹۰	۲/۵۰
	۵۰	۷۶/۰۰ ± ۵/۴۱	۴/۸۱ ± ۰/۲۸	۴/۳۱ ± ۰/۱۰	۰/۴۸ ± ۰/۰۳	۰/۰۴ ± ۰/۰۵۵	۱/۵۲
	۱۰۰	۴۰/۰۰ ± ۶/۳۲	۲/۶۳ ± ۰/۴۱	۴/۰۴ ± ۰/۰۲	۰/۳۶ ± ۰/۰۴	۰/۰۵ ± ۰/۰۴۵	۱/۲۲
	۱۵۰	۱۳/۰۰ ± ۵/۲۵	۰/۸۹ ± ۰/۳۲	۳/۴۳ ± ۰/۳۱	۰/۱۵ ± ۰/۰۵	۰/۰۵ ± ۰/۰۱۷	۰/۳۷
	۲۰۰	۳/۰۰ ± ۱/۰۰	۰/۲۴ ± ۰/۰۸	۲/۲۵ ± ۰/۷۵	۰/۱۴ ± ۰/۰۵	۰/۰۵ ± ۰/۰۱۵	۰/۱۵
	۲۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	۳۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بادام زمینی	۰	۱۰۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۹/۷۵ ± ۰/۲۴	۲/۸۵ ± ۰/۰۹	۱/۱۱ ± ۰/۰۶	۰/۰۰۹ ± ۰/۱۴۰	۹/۸۲
	۵۰	۹۲/۰۰ ± ۱/۶۳	۷/۱۲ ± ۰/۱۶	۳/۹۳ ± ۰/۱۱	۱/۰۸ ± ۰/۱۷	۰/۰۱۵ ± ۰/۱۳۷	۹/۷۷
	۱۰۰	۸۴/۰۰ ± ۲/۸۲	۵/۷۹ ± ۰/۰۸	۴/۶۱ ± ۰/۱۷	۰/۹۰ ± ۰/۱۷	۰/۰۱۴ ± ۰/۱۲۰	۹/۶۰
	۱۵۰	۸۳/۰۰ ± ۲/۵۱	۶/۰۶ ± ۰/۲۸	۴/۱۷ ± ۰/۲۲	۰/۸۳ ± ۰/۰۸	۰/۰۱۷ ± ۰/۱۱۵	۸/۲۵
	۲۰۰	۸۲/۰۰ ± ۱/۱۵	۵/۸۳ ± ۰/۱۷	۴/۳۶ ± ۰/۰۸	۰/۸۰ ± ۰/۱۳	۰/۰۱۲ ± ۰/۱۱۰	۸/۲۲
	۲۵۰	۷۳/۰۰ ± ۱/۹۱	۵/۳۳ ± ۰/۰۹	۴/۳۵ ± ۰/۱۷	۰/۸۰ ± ۰/۱۳	۰/۰۰۹ ± ۰/۱۰۵	۷/۴۲
	۳۰۰	۶۴/۰۰ ± ۳/۶۵	۴/۳۴ ± ۰/۲۲	۴/۴۰ ± ۰/۱۶	۰/۶۵ ± ۰/۱۱	۰/۰۱۱ ± ۰/۰۸۸	۷/۰۴
LSD ($P < 0.05$)		۱۱/۵۶	۰/۹۸	۰/۸۴	۰/۳۲	۰/۰۴	۱/۳۵



شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر درصد جوانه‌زنی سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام‌زمینی
جدول ۲- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتره برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر درصد جوانه‌زنی سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی

گیاه	شیب خط	حد بالا	دوز مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
سلمه تره	۳/۳۹ (۰/۴۹)	۹۱/۶۹ (۳/۷۰)	۱۲۵/۲۳ (۷/۰۵)	۰/۹۵	۰/۰۸۲	۰/۰۵۲
تاج خروس	۳/۱۴ (۰/۴۵)	۹۳/۹۹ (۴/۴۶)	۸۶/۰۵ (۶/۴۶)	۰/۹۵	۰/۰۸۲	۰/۰۵۲
بادام زمینی	۱/۱۵ (۰/۴۸)	۹۸/۷۰ (۴/۶۱)	۵۹۳/۵۹ (۱۹۶/۲۶)	۰/۹۵	۰/۰۸۲	۰/۰۵۲

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

جمله ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و آزمون عدم برازش (lack of fit) همگی حاکی از انطباق مناسب داده‌ها با مدل بودند (جدول ۳). منحنی‌های دز پاسخ به‌وضوح نشان دادند.

که با افزایش غلظت عصاره آبی سورگوم، سرعت جوانه‌زنی در سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه‌قرمز و بادام‌زمینی کاهش یافت (شکل ۲). شدت کاهش در علف‌های‌هرز بارزتر بود، در حالی‌که بادام‌زمینی به‌عنوان گونه زراعی کشت‌شده روندی ملایم‌تر با شیب کند نشان داد. این موضوع بیانگر آن است که ترکیبات دگرآسیب موجود در سورگوم اثر بازدارنده‌ی قوی‌تری بر گونه‌های علف‌هرزی نسبت به گونه زراعی اعمال می‌کنند.

بر اساس مقادیر برآورد شده غلظت مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی (ED_{50}) مشخص گردید که بادام‌زمینی غلظت مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی ۵۳۹/۵۹ گرم در لیتر را داراست. این امر نشان‌دهنده تحمل یا مقاومت نسبی بالاتر آن در مقایسه با سلمه‌تره و تاج‌خروس ریشه‌قرمز نسبت به اثرات بازدارنده‌ی عصاره سورگوم است. در میان علف‌های‌هرز، سلمه‌تره نسبت به تاج‌خروس ریشه‌قرمز ۶۸/۷۱ درصد ED_{50} بیشتری داشت، که می‌تواند به تفاوت‌های فیزیولوژیک، ویژگی‌های

سرعت جوانه‌زنی علف‌های هرز و بادام‌زمینی

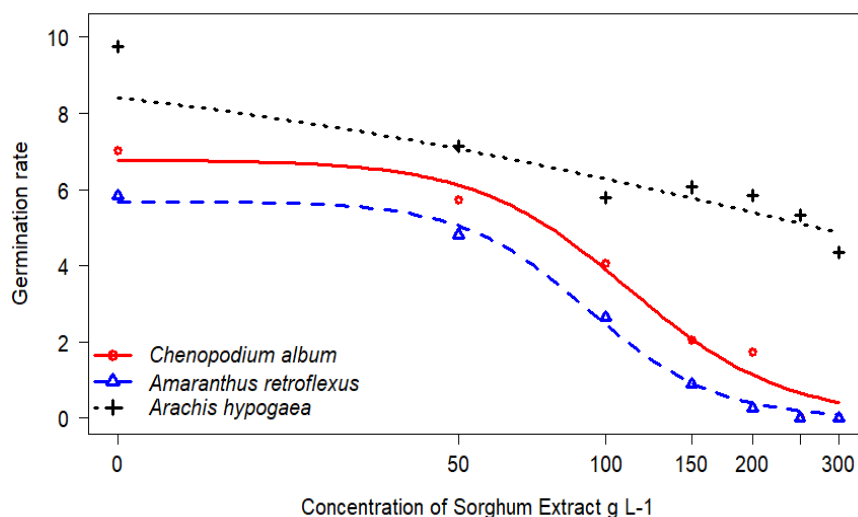
نتایج نشان داد که اثر عصاره آبی سورگوم بر سرعت جوانه‌زنی گونه‌های مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش غلظت عصاره، سرعت جوانه‌زنی بذره‌های سلمه‌تره و تاج‌خروس ریشه قرمز به‌طور پیوسته کاهش یافت، به‌طوری‌که در غلظت ۳۰۰ گرم در لیتر جوانه‌زنی این دو گونه کاملاً متوقف شد. در مقابل، گیاه زراعی بادام‌زمینی حساسیت کمتری نشان داد؛ به‌گونه‌ای که در همان غلظت (۳۰۰ گرم در لیتر) سرعت جوانه‌زنی آن تنها ۴۴/۵۱ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۱). این نتایج بیانگر آن است که عصاره آبی سورگوم دارای اثر بازدارندگی قوی بر سرعت جوانه‌زنی علف‌های هرز است، در حالی‌که بادام‌زمینی نسبت به این ترکیبات مقاومت نسبی نشان می‌دهد. چنین الگوی واکنشی می‌تواند اهمیت استفاده از عصاره سورگوم را به‌عنوان یک منبع بالقوه برای کنترل زیستی علف‌های هرز و کاهش وابستگی به علف‌کش‌های شیمیایی نشان دهد.

داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی گونه‌های مورد بررسی با استفاده از مدل لگ-لجستیک سه‌پارامتره برازش داده شد. نتایج پارامترهای مدل نشان داد که برازش از دقت بالایی برخوردار است؛ به‌طوری‌که شاخص‌های آماری از

بازدارنده نشان می‌دهند، در حالی که علف‌های هرز به دلیل حساسیت بالاتر، به سرعت در برابر ترکیبات دگرآسیب واکنش نشان می‌دهند.

کاهش سرعت جوانه‌زنی بذره‌های تاج‌خروس ریشه قرمز به ترتیب توسط عصاره ۵ درصد ساقه سورگوم و عصاره ۱۵ درصد برگ سورگوم نسبت به شاهد ۶۷/۳۱ و ۹۴/۹۲ درصد بود (Yarnia et al., 2009). کاهش سرعت جوانه‌زنی به دلیل کند شدن فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان بر اثر کاهش تنفس بذور به علت وجود مواد آلوکیمیکال می‌باشد (El-Khatib et al., 2004).

پوسته بذر و یا حساسیت آن‌ها به ترکیبات فنولیک و ترکیبات دگرآسیب موجود در عصاره مرتبط باشد. از دیدگاه علمی، این نتایج حاکی از آن است که تفاوت در مقادیر ED₅₀ گونه‌ها را می‌توان به ویژگی‌های خاص بذر (از جمله ضخامت و نفوذپذیری پوسته)، تفاوت در مسیرهای متابولیکی و ظرفیت دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاهان نسبت داد. به‌ویژه، گیاهان زراعی مانند بادام‌زمینی احتمالاً به‌واسطه انتخاب طبیعی تحمل بیشتری در برابر ترکیبات



شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر سرعت جوانه‌زنی سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی

جدول ۳- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتره برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر سرعت جوانه‌زنی سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی

گیاه	شیب خط	حد بالا	دوز مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
سلمه‌تره	۲/۷۵ (۰/۴۴)	۶/۷۷ (۰/۳۵)	۱۱۱/۶۵ (۹/۳۵)	۰/۹۴	۰/۶۸	۰/۱۴
تاج‌خروس	۳/۳۶ (۰/۷۴)	۵/۶۸ (۰/۳۶)	۹۲/۱۱ (۹/۰۲)	۰/۹۴	۰/۶۸	۰/۱۴
بادام زمینی	۰/۵۴ (۰/۱۱)	۹/۷۵ (۰/۳۶)	۲۹۹/۱۴ (۶۵/۵۵)	۰/۹۴	۰/۶۸	۰/۱۴

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

متوسط زمان جوانه‌زنی علف‌های هرز و بادام‌زمینی

نتایج نشان داد که واکنش گونه‌های مورد مطالعه به تیمارهای مختلف عصاره آبی سورگوم متفاوت بود (جدول ۱). در سلمه‌تره، تیمار شاهد دارای متوسط زمان جوانه‌زنی برابر با ۴/۱۷ روز بود. با افزایش غلظت عصاره، تغییرات

نامنظم اما معناداری مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که در غلظت ۱۰۰ گرم در لیتر این مقدار به ۴/۳۸ روز افزایش یافت که نشان‌دهنده کند شدن فرآیند جوانه‌زنی است، اما در غلظت ۱۵۰ گرم در لیتر به ۲/۸۰ روز کاهش یافت. این کاهش می‌تواند ناشی از جوانه‌زنی تعداد محدودی از بذره‌های سالم‌تر در همان روزهای ابتدایی باشد، در حالی که سایر

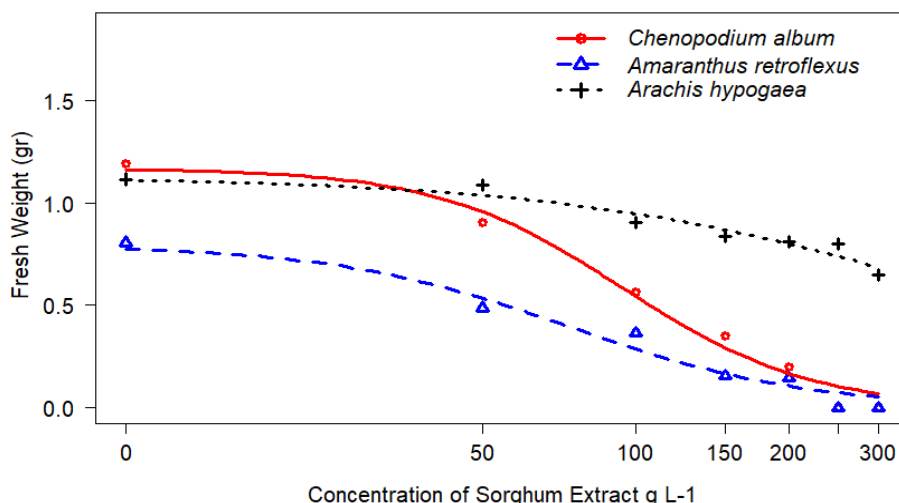
تاج‌خروس و همچنین گیاه زراعی بادام‌زمینی داشتند (جدول ۱). بیشترین مقدار وزن تر مربوط به تیمار شاهد در هر سه گیاه مورد بررسی بود. با افزایش غلظت عصاره آبی سورگوم، کاهش معنی‌دار وزن تر در گیاهچه‌های سلمه‌تره و تاج‌خروس مشاهده شد؛ به‌طوری‌که وزن تر سلمه‌تره از ۱/۱۹ گرم در شاهد به صفر و وزن تر تاج‌خروس از ۰/۸۰ گرم به صفر کاهش یافت. در گیاه زراعی بادام‌زمینی نیز وزن تر گیاهچه از ۱/۱۱ گرم در تیمار شاهد به ۰/۶۵ گرم در غلظت ۳۰۰ گرم در لیتر عصاره آبی سورگوم رسید که معادل کاهش ۵۸/۵۵ درصد نسبت به شاهد بود.

داده‌های حاصل از برازش مدل لگ-لجستیک سه‌پارامتره برای گونه‌های مورد مطالعه در (جدول ۴) ارائه شده است. شیب منحنی (b) نشان‌دهنده حساسیت گونه‌ها به تغییرات غلظت عصاره است. بالاترین شیب در سلمه‌تره، حاکی از پاسخ سریع و شدید این گونه نسبت به افزایش غلظت عصاره سورگوم است. در مقابل، بادام‌زمینی شیب کندی داشت که بیانگر کاهش حساسیت و پاسخ کندتر این گونه زراعی نسبت به اثرات بازدارنده عصاره می‌باشد (شکل ۳). گونه تاج‌خروس ریشه‌قرمز دارای شیبی متوسط بود که نشان‌دهنده حساسیت قابل توجه اما کمتر نسبت به سلمه‌تره داشت. مقادیر ED_{50} نشان داد که بادام‌زمینی نسبت به سلمه‌تره و تاج‌خروس ریشه‌قرمز ED_{50} بالاتری داشت. این تفاوت قابل توجه نشان می‌دهد که بادام‌زمینی به عنوان گونه زراعی مقاومت بیشتری نسبت به عصاره سورگوم دارد و نیازمند غلظت‌های بالاتر برای کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی است. ضریب تعیین و میانگین مربعات خطا (RMSE) پایین نشان‌دهنده برازش نسبتاً مناسب مدل به داده‌ها هستند، آزمون عدم برازش نیز معنی‌دار نبود (جدول ۴). به طور کلی، نتایج مدل لگ-لجستیک تأیید می‌کنند که عصاره آبی سورگوم اثر بازدارنده‌ای قوی بر گونه‌های علف‌هرز دارد، در حالی‌که بادام‌زمینی مقاومت نسبی بالاتری نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک بذر، ضخامت پوسته، نفوذپذیری به آب و ترکیبات دگرآسیب باشد (Hussian et al., 2021). چنین یافته‌هایی با مطالعات پیشین در زمینه آلوپاتی سورگوم و حساسیت گونه‌های زراعی و علف‌هرز مطابقت دارد (Hatami et al., 2018).

بذور به‌طور کامل بازدارنده شدند. در تاج‌خروس ریشه‌قرمز نیز تغییرات مشابهی مشاهده گردید. متوسط زمان جوانه‌زنی در شاهد ۴/۵۵ روز بود و با افزایش غلظت عصاره تا سطح ۱۰۰ گرم در لیتر اندکی کاهش یافت (۴/۰۴ روز). در غلظت‌های بالاتر، مانند ۱۵۰ و ۲۰۰ گرم در لیتر، این مقادیر به‌ترتیب ۳/۴۳ و ۲/۲۵ روز ثبت شد. این روند مشابه سلمه‌تره، نشان می‌دهد که حضور ترکیبات دگرآسیب سورگوم موجب حذف بخش عمده‌ای از بذره‌های حساس شده و تنها تعداد اندکی از بذره‌های مقاوم‌تر، آن هم در مدت کوتاه‌تر، جوانه می‌زنند. در مقابل، بادام‌زمینی واکنش کاملاً متفاوتی نشان داد. با افزایش غلظت عصاره، متوسط زمان جوانه‌زنی روندی افزایشی به خود گرفت. به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ گرم در لیتر به ۴/۶۱ روز و در غلظت‌های بالاتر (۲۰۰-۳۰۰ گرم در لیتر) حدود ۴/۳۵ تا ۴/۴۰ روز ثبت شد. این الگو نشان می‌دهد که اگرچه درصد جوانه‌زنی بادام‌زمینی در غلظت‌های بالا کاهش می‌یابد، اما بذره‌های باقی‌مانده برای جوانه‌زنی به زمان بیشتری نیاز دارند. این پدیده می‌تواند ناشی از اثر بازدارنده‌ی ترکیبات فنولیک و ترکیبات دگرآسیب سورگوم بر آنزیم‌های درگیر در متابولیسم اولیه جوانه‌زنی و یا تأخیر در جذب آب توسط پوسته بذر باشد. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که در گونه‌های علف‌هرزی مانند سلمه‌تره و تاج‌خروس، اثر عصاره سورگوم بیشتر به شکل کاهش درصد جوانه‌زنی و حذف بذره‌های حساس بروز کرد، در حالی‌که در بادام‌زمینی تأثیر عمده به صورت تأخیر در افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی مشاهده شد. این تفاوت می‌تواند به ویژگی‌های مورفولوژیک بذر (ضخامت و ترکیب پوسته)، تفاوت در تحمل متابولیکی به ترکیبات دگرآسیب و یا توانایی گیاهان زراعی در تنظیم پاسخ‌های دفاعی نسبت داده شود. چنین الگوهایی پیش‌تر نیز در مطالعات آلوپاتیک گزارش شده است (Ranal & Santana, 2006). به دلیل آن‌که مقادیر برآوردی ED_{50} در تحلیل‌های آماری معنی‌دار نشد، از گزارش و ارائه آن‌ها در متن و جداول خودداری شد. ارائه مقادیر فاقد معنی‌داری آماری می‌تواند موجب تفسیر نادرست از اثربخشی زیستی عصاره گردد؛ از این‌رو صرفاً داده‌های معنی‌دار مورد تحلیل و بحث قرار گرفتند.

وزن تر علف‌های هرز و بادام‌زمینی

نتایج نشان داد که اثرات متقابل غلظت در نوع گیاه اثر معنی‌داری بر وزن تر گیاهچه‌های علف‌های هرز سلمه‌تره و



شکل ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر وزن تر سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی
جدول ۴- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتری برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر وزن تر سلمه‌تره،

تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی

گیاه	شیب خط	حد بالا	دوز مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
سلمه تره	۲/۳۷ (۰/۵۹)	۱/۱۶ (۰/۱۱)	۹۴/۵۴ (۱۵/۸۹)	۰/۷۸	۰/۲۰	۰/۹۷
تاج خروس	۱/۸۶ (۰/۶۵)	۰/۷۹ (۰/۱۱)	۷۴/۱۴ (۲۱/۹۷)	۰/۷۸	۰/۲۰	۰/۹۷
بادام زمینی	۱/۱۰ (۰/۶۰)	۱/۱۲ (۰/۱۰)	۴۴۶/۷۶ (۱۸۲/۴۴)	۰/۷۸	۰/۲۰	۰/۹۷

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

وزن خشک علف‌های هرز و بادام‌زمینی

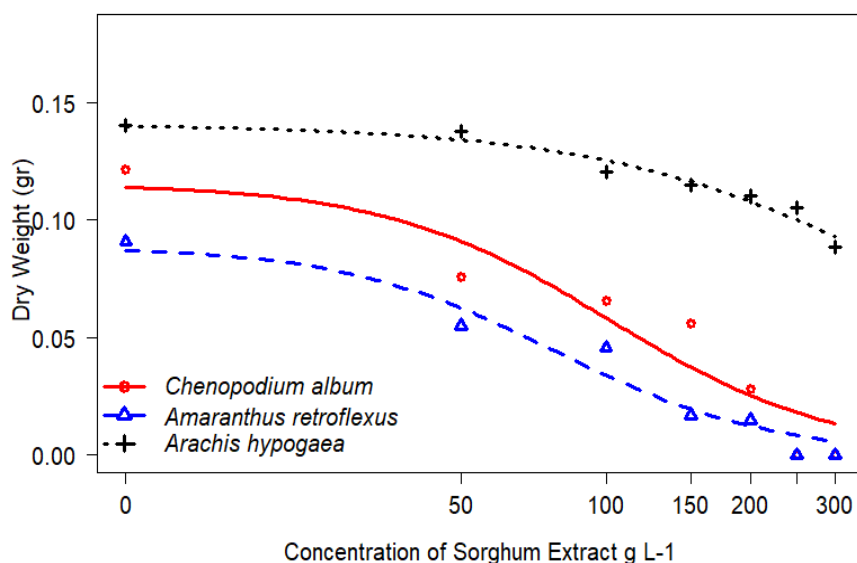
نتایج نشان داد که اثرات متقابل غلظت‌های آبی سورگوم و نوع گیاه تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک گیاهچه‌های سلمه‌تره، تاج‌خروس و بادام‌زمینی داشتند (جدول ۱). بیشترین وزن خشک سلمه‌تره در تیمار شاهد با مقدار ۰/۱۲۱ گرم به دست آمد، در حالی که کمترین آن در غلظت ۲۰۰ گرم در لیتر عصاره آبی سورگوم با مقدار ۰/۰۲۸ گرم مشاهده شد. در تاج‌خروس ریشه قرمز نیز وزن خشک گیاهچه از ۰/۰۹۰ گرم در شاهد به ۰/۰۱۵ گرم کاهش یافت. در گیاه زراعی بادام‌زمینی، بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار شاهد (۰/۱۴۰ گرم) و کمترین آن در غلظت ۳۰۰ گرم در لیتر عصاره آبی سورگوم (۰/۰۸۸ گرم) ثبت گردید. به‌طور کلی، کاربرد عصاره آبی سورگوم موجب کاهش قابل‌توجه وزن خشک گیاهچه‌ها شد (جدول ۱).

پارامترهای مدل لگ-لجستیک سه‌پارامتره برای وزن خشک در گونه‌های مورد مطالعه در (جدول ۵) ارائه شده است. شیب منحنی (b) در گونه‌های علف هرز، نسبتاً بالا بود و نشان‌دهنده حساسیت بالای این گونه‌ها به افزایش غلظت عصاره سورگوم است. به عبارت دیگر، افزایش غلظت عصاره به سرعت موجب کاهش وزن خشک علف‌هرز شد. در مقابل، بادام‌زمینی به عنوان گونه زراعی شیب کمتری داشت که نشان‌دهنده پاسخ کندتر و تحمل نسبی بیشتر در برابر اثرات بازدارنده عصاره است، مقادیر حد بالای وزن خشک (d) برای سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام‌زمینی به ترتیب ۰/۱۱، ۰/۰۸ و ۰/۱۴ گرم برآورد شد. این مقادیر بیانگر این است که حداکثر وزن خشک قابل دسترس برای گونه زراعی بالاتر از گونه‌های علف‌هرز است، حتی در شرایط بدون تیمار، که منعکس‌کننده توانایی رشد پایه‌ای بادام‌زمینی است. ED₅₀ برای وزن خشک نشان داد که علف‌های هرز به مقادیر پایین‌تری از عصاره نیاز دارند تا وزن خشک آن‌ها به نصف کاهش یابد. در حالی که بادام‌زمینی به مقدار بسیار بالاتری نیاز دارد. ضریب تعیین، میانگین مربعات خطا

(RMSE) و آزمون عدم برازش (lack of fit) نشان می‌دهد که مدل توانسته بخش عمده‌ای از تغییرات وزن خشک را به درستی برازش دهد. به طور کلی، نتایج نشان داد که عصاره آبی سورگوم اثر بازدارنده قابل توجهی بر وزن خشک علف‌های هرز دارد و کاهش وزن خشک در علف‌های هرز بارزتر است. در مقابل، بادام‌زمینی مقاومت نسبی بیشتری از خود نشان داد، که می‌تواند ناشی از تفاوت‌های فیزیولوژیک، ظرفیت جذب مواد غذایی و سازگاری متابولیکی با ترکیبات فنولیک موجود در عصاره باشد. این یافته‌ها با مطالعات پیشین در زمینه آلوپاتی سورگوم و تأثیر ترکیبات دگرآسیب بر رشد علف هرز و گیاهان زراعی همخوانی دارد (Khamare et al., 2022).

در مطالعه‌ای گزارش شده است که تیمارهای عصاره سورگوم نه تنها باعث کاهش درصد جوانه‌زنی شدند، بلکه رشد گیاهچه‌ها و تجمع ماده خشک در تاج‌خروس ریشه

قرمز را نیز کاهش دادند. تیمار با عصاره‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد از عصاره سورگوم موجب کاهش وزن خشک تاج‌خروس ریشه قرمز به ترتیب به میزان ۶۸/۹۲، ۸۵/۸۷، ۸۶/۳۰ و ۸۸/۹۱ درصد شد. کاهش وزن خشک گیاهچه‌ها ناشی از کاهش رشد آن‌ها بود (Yarnia et al., 2009). اثرات منفی عصاره سورگوم بر رشد و جوانه‌زنی بذر سایر گونه‌ها از جمله خرفه (Yang et al., 2002) (Portulaca oleracea)، سلمه‌تره (Patil et al., 1983) و تاج‌خروس ریشه قرمز (Alam et al., 2001) در مطالعات قبلی نیز به اثبات رسیده است. تغییرات در جوانه‌زنی باعث فعال‌سازی آنزیم‌ها و اثرات اسمزی می‌شوند که در نهایت توقف جوانه‌زنی را به دنبال دارد. اصلی‌ترین اثرات آلوپاتیک عصاره سورگوم شامل تأخیر در رشد گیاهچه است که منجر به اثرات فیزیولوژیک کاهش‌دهنده رشد و تجمع ماده خشک در گیاهچه‌ها می‌شود (El-Khatib et al., 2004).



شکل ۴- تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر وزن خشک سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی

جدول ۵- پارامترهای به دست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتری برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر وزن خشک سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی

گیاه	شیب خط	حد بالا	دوز مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
سلمه تره	۱/۸۵ (۰/۷۱)	۰/۱۱ (۰/۰۱)	۱۰۱/۰۹ (۳۱/۵۱)	۰/۷۵	۰/۰۲۶	۰/۸۰
تاج خروس	۱/۹۳ (۰/۷۹)	۰/۰۸ (۰/۰۱)	۷۸/۱۳ (۲۶/۹۲)	۰/۷۵	۰/۰۲۶	۰/۸۰
بادام زمینی	۱/۳۰ (۰/۹۲)	۰/۱۴ (۰/۰۱)	۴۹۹/۱۳ (۲۴۴/۹۳)	۰/۷۵	۰/۰۲۶	۰/۸۰

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

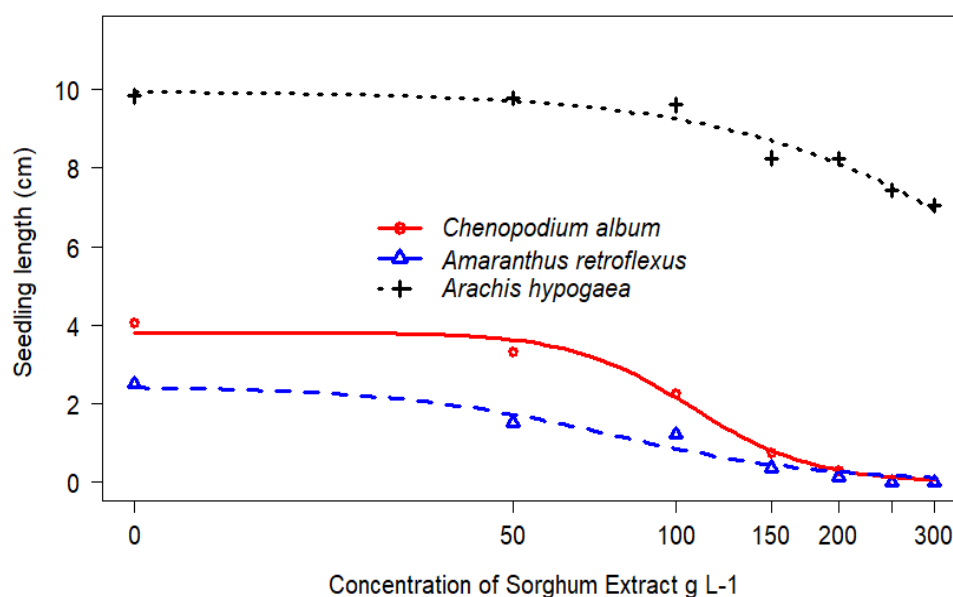
طول گیاهچه علف‌های هرز و بادام‌زمینی

نتایج نشان داد که اثرات متقابل غلظت‌های مختلف و نوع گیاه تأثیر معنی‌داری بر طول گیاهچه علف‌های هرز سلمه‌تره و تاج‌خروس و همچنین گیاه زراعی بادام‌زمینی داشتند (جدول ۱). بیشترین کاهش طول گیاهچه در علف‌های هرز مشاهده شد؛ به‌طوری‌که طول گیاهچه سلمه‌تره از ۴/۰۵ سانتی‌متر در تیمار شاهد به صفر و طول گیاهچه تاج‌خروس از ۲/۵۰ سانتی‌متر به صفر کاهش یافت. در مقابل، طول گیاهچه بادام‌زمینی از ۹/۸۲ سانتی‌متر در شاهد به ۷/۰۴ سانتی‌متر در غلظت ۳۰۰ گرم در لیتر عصاره آبی سورگوم کاهش پیدا کرد (جدول ۱). نتایج مشابهی در مطالعه‌ای دیگر گزارش شده است؛ به‌گونه‌ای که کاربرد غلظت ۱۰ میلی‌گرم از پودر سورگوم در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول، طول گیاهچه‌های سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و شاهی (*Lepidium sativum*) را به ترتیب ۳۹/۸ و ۳۱/۰۰ درصد نسبت به شاهد کاهش داد، در حالی‌که طول ریشه این گونه‌ها نیز به ترتیب ۳۶/۶ و ۳۹/۰ درصد کمتر از شاهد بود. این تفاوت در درجات بازدارندگی بین گونه‌های مختلف احتمالاً به ترکیبات فعال زیستی موجود در سورگوم مربوط است که با افزایش غلظت، اثرات بازدارنده قوی‌تری بر فرایندهای فیزیولوژیکی بروز می‌دهند (Ullah et al., 2022).

تحلیل داده‌های برازش شده با مدل لگ-لجستیک سه‌پارامتره نشان داد که عصاره آبی سورگوم اثر بازدارنده قابل توجهی بر طول گیاهچه‌های علف‌های هرز و بادام‌زمینی دارد، اما شدت این اثر به گونه گیاهی بستگی دارد. در سلمه‌تره شیب منحنی و حد بالای پاسخ نشان داد که افزایش غلظت عصاره موجب کاهش سریع و شدید رشد این گونه علف‌هرز شد. ED₅₀ این گونه بیانگر این است که حتی غلظت‌های نسبتاً پایین عصاره برای کاهش ۵۰ درصدی رشد آن کافی است، که نشان‌دهنده حساسیت بالای این گونه به ترکیبات دگرآسیب موجود در سورگوم است. در تاج‌خروس ریشه قرمز کاهش رشد نیز با افزایش غلظت عصاره مشهود بود، هرچند با شدت کمتر نسبت به

سلمه‌تره شیب منحنی این گونه و حد بالای پاسخ بالاتر اما تدریجی است، به طوری که کاهش رشد تا مقادیر بالاتر غلظت عصاره طول می‌کشد. ED₅₀ این گونه نیز نشان‌دهنده حساسیت بالای این گونه علف‌هرز است. برخلاف گونه‌های علف‌هرز، بادام‌زمینی مقاومت بالاتری در برابر عصاره نشان داد. شیب منحنی پایین‌تر و حد بالای پاسخ بالاتر حاکی از این است که رشد این گونه زراعی به راحتی تحت تأثیر غلظت‌های پایین عصاره قرار نمی‌گیرد و کاهش رشد تنها در غلظت‌های بسیار بالا مشهود است. ED₅₀ بالای بادام‌زمینی نیز تأییدی بر تحمل بالای این گونه نسبت به اثرات بازدارنده عصاره است (شکل ۵ و جدول ۶)، به طور کلی، نتایج بیانگر آن است که عصاره آبی سورگوم اثر بازدارنده برجسته‌ای بر گونه‌های علف‌هرز دارد. در مقابل، بادام‌زمینی مقاومت نسبی بالایی نشان داد که احتمالاً به تفاوت‌های مورفولوژیک بذری، توانایی تنظیم متابولیسم و ظرفیت مقاومت به ترکیبات فنولیک مربوط می‌شود. این الگوها با یافته‌های پیشین در زمینه آلوپاتی سورگوم و اثرات بازدارنده آن بر رشد علف‌های هرز و گیاهان زراعی همخوانی دارد (Hatami et al., 2018; Yar et al., 2020; Ullah et al., 2022).

سورگوم حاوی مجموعه‌ای از ترکیبات آللوپاتیایی از جمله اسید فرولیک، اسید کافئیک، اسید گالیک، اسید پارا-کوماریک، اسید متا-کوماریک، اسید کلروژنیک، اسید وانیلیک، ترکیبات فنولی و اسید هیدروکسی‌بنزوئیک است. این متابولیت‌ها توانایی آن را دارند که جوانه‌زنی، استقرار، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرزی مانند تاج‌خروس ریشه قرمز، خونی‌واش (*Phalaris minor*)، ترشک (*Rumex dentatus*) و پیچک (*Convolvulus arvensis*) را به‌طور معنی‌داری مهار کنند (Alsaadawi et al., 2015). علاوه بر این، سورگولون به‌عنوان یکی از ترکیبات فعال سورگوم، از طریق متوقف کردن چرخه انتقال الکترون در فرآیند فتوسنتز عمل می‌کند و بازدارندگی آن در فتوسنتز II حتی از علف‌کش آترازین نیز قوی‌تر گزارش شده است (Alsaadawi et al., 2015).



شکل ۵- تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر طول گیاهچه سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی
جدول ۶- پارامترهای به دست آمده از تابع لوگ لجستیک سه پارامتری برای غلظت‌های مختلف عصاره آبی سورگوم بر طول گیاهچه سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز و بادام زمینی

گیاه	شیب خط	حد بالا	دوز مؤثر ۵۰ درصد	ضریب تعیین	ریشه میانگین مربعات خطا	عدم برازش مدل
سلمه تره	۳/۸۵ (۱/۸۳)	۳/۸۱ (۰/۴۰)	۱۰۶/۷۹ (۱۵/۸۱)	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۹۸
تاج خروس	۲/۱۴ (۱/۰۳)	۲/۴۳ (۰/۴۷)	۷۵/۴۸ (۲۸/۸۵)	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۹۸
بادام زمینی	۱/۵۸ (۰/۵۳)	۹/۹۴ (۰/۳۷)	۵۰۸/۸۲ (۱۱۵/۶۶)	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۹۸

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره آبی سورگوم اثر آللوپاتیک قوی و وابسته به غلظت بر گونه‌های علف‌هرز سلمه‌تره و تاج‌خروس ریشه‌قرمز داشت و موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های اولیه رشد آن‌ها شد. در غلظت ۲۰۰ گرم در لیتر، درصد جوانه‌زنی سلمه‌تره و تاج‌خروس ریشه‌قرمز به ترتیب ۷۴/۲۲ و ۹۶/۸۷ درصد و سرعت جوانه‌زنی آن‌ها ۷۵/۲۴ و ۹۵/۸۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین در همین غلظت، وزن تر گیاهچه در سلمه‌تره و تاج‌خروس ریشه‌قرمز به ترتیب ۸۳/۱۹ و ۸۲/۵ درصد و وزن خشک آن‌ها ۷۶/۸۵ و ۸۳/۳۳ درصد کاهش نشان داد و طول گیاهچه نیز به ترتیب ۹۲/۳۴ و ۹۴ درصد کمتر از شاهد بود. شدت اثر بازدارندگی عصاره سورگوم در تاج‌خروس ریشه‌قرمز در اغلب شاخص‌ها بیشتر از سلمه‌تره بود که بیانگر حساسیت بالاتر این گونه به ترکیبات

دگرآسیب سورگوم است، در مقابل، گیاه زراعی بادام‌زمینی مقاومت نسبی بیشتری نسبت به عصاره نشان داد؛ به‌طوری‌که حتی در غلظت ۳۰۰ گرم در لیتر، درصد جوانه‌زنی تنها ۳۶ درصد و سرعت جوانه‌زنی ۵۵/۴۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت و کاهش وزن تر، وزن خشک و طول گیاهچه به ترتیب ۴۱/۴۴، ۳۷/۱۴ و ۲۸/۳ درصد بود. مقادیر برآوردی ED_{50} نیز تأیید کرد که بادام‌زمینی برای کاهش ۵۰ درصدی جوانه‌زنی به غلظت‌های بالاتری از عصاره نیاز دارد، در حالی‌که این مقدار برای علف‌های هرز به مراتب پایین‌تر بود. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهد که عصاره آبی سورگوم دارای پتانسیل بالا و انتخاب‌پذیر در مهار علف‌های هرز، به‌ویژه تاج‌خروس ریشه‌قرمز و سلمه‌تره، بوده و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار زیستی مؤثر در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و کاهش وابستگی به علف‌کش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد. تفاوت پاسخ گونه‌های

سیاسگزاری

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از دانشگاه محقق اردبیلی به دلیل تأمین هزینه‌های اجرای این پژوهش ابراز می‌دارند. همچنین از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان به سبب تأمین بذور مورد استفاده در این تحقیق صمیمانه تشکر می‌شود.

علف‌هرزی و گیاه زراعی نیز اهمیت بهره‌گیری از آلوپاتی را در توسعه روش‌های کنترل تلفیقی علف‌های هرز را برجسته می‌کند و می‌تواند پایه‌ای برای تحقیقات بیشتر در زمینه استفاده مزرعه‌ای و ترکیب آن با سایر روش‌های مدیریت باشد.

منابع

- Abu-Nassar, J., & Matzrafi, M. (2021). Effect of herbicides on the management of the invasive weed *Solanum rostratum* Dunal. (Solanaceae). *Plants*, 10(2), 284. <https://doi.org/10.3390/plants10020284>
- Alam, S. M., Ala, S. A., Azmi, A. R., Khan, M. A., & Ansari, R. (2001). Allelopathy and its role in agriculture. *Journal of Biological Sciences*, 1(5), 308-315. <https://doi.org/10.3923/jbs.2001.308.315>
- Alsaadawi, I. S., Al-Khateeb, T. A., Hadwan, H. A. & Lahmood, N. R. (2015). A chemical basis for differential allelopathic potential of root exudates of *Sorghum bicolor* L. (Moench) cultivars on companion weeds. *Journal of Allelochemical Interactions*, 1(1), 49-55. <https://doi.org/10.22067/JPP.V32I1.62909>
- Al-Samarai, G. F., Mahdi, W. M., & Al-Hilali, B. M. (2018). Reducing environmental pollution by chemical herbicides using natural plant derivatives—allelopathy effect. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 25(3), 449-452. <https://doi.org/10.26444/aaem/90888>
- Bai, B., Xu, X., Hai, J., Hu, N., Wang, H., & Suo, Y. (2019). Lauric acid-modified nitraria seed meal composite as green carrier material for pesticide-controlled release. *Journal of Chemistry*, 1, 5376452. <https://doi.org/10.1155/2019/5376452>
- Basuchaudhuri, P. (2022). Physiology of the Peanut Plant. CRC Press, 430p. <https://doi.org/10.1201/9781003262220>
- Carroll Johnson III, W., & Mullinix Jr, B. G. (2005). Texas panicum (*Panicum texanum*) interference in peanut (*Arachis hypogaea*) and implications for treatment decisions. *Peanut Sciences*, 32(1), 68-72. <https://doi.org/10.3146/0095-3679>
- EI-Khatib, A. A., Hegazy, A. K., & Galal, H. K. (2004). Does allelopathy have a role in the ecology of *Chenopodium murale*? In *Annales Botanici Fennici* (pp. 37-45). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 377-409.
- Fateh, E., Sohrabi, S. S., & Gerami, F. (2012). Evaluation of the allelopathic effect of bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) on germination and seedling growth of millet and basil. *Advances in Environmental Biology*, 6(3), 940-950
- Goulson, D., Thompson, J., & Croombs, A. (2018). Rapid rise in toxic load for bees revealed by analysis of pesticide use in Great Britain. *Peer Journal*, 6, 5255. <https://doi.org/10.7717/peerj.5255>
- Gupta, D. K., Palma, J. M., & Corpas, F. J. (2018). Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants (pp. 1-300). Berlin: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0>
- Hatami Hampa, A., Javanmard, A., Alebrahim, M. T., & Sofalian, O. (2018). allelopathic effects of the aqueous extract of Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor*) on germination indices and enzymatic activity of some cultivated plants and weeds. *Journal of Advances in Plant Protection*, 31(4), 676-689. <https://doi.org/10.22034/PLANT.2023.62944>
- Hura, T., Dubert, F., Dąbkowska, T., Stupnicka-Rodzynekiewicz, E., Stokłosa, A., & Lepiarczyk, A. (2006). Quantitative analysis of phenolics in selected crop species and biological activity of these compounds evaluated by sensitivity of *Echinochloa crus-galli*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 28(6), 537-545. <https://doi.org/10.1007/s11738-006-0049-3>
- Hussain, M. I., Danish, S., Sánchez-Moreiras, A. M., Vicente, Ó., Jabran, K., Chaudhry, U. K., Branca, F., & Reigosa, M. J., (2021). Unraveling sorghum allelopathy in agriculture: Concepts and implications. *Plants*, 10(9), 1795. <https://doi.org/10.3390/plants10091795>
- Hussain, M. I., El-Sheikh, M. A., & Reigosa, M. J. (2020). Allelopathic potential of aqueous extract from *Acacia melanoxylon* R. Br. on *Lactuca sativa*. *Plants*, 9(9), 1228. <https://doi.org/10.3390/plants9091228>
- Inderjit, Duke, S. O. (2003). Eco physiological aspects of allelopathy. *Planta*, 217, 529-539. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z>
- Kang, G. Q., Wan, F. H., Liu, X., & Guo, L. (2008). Influence of two allelochemicals from *Ageratina Adenophora* Sprengel on ABA, IAA and ZR contents in roots of upland rice seedlings. *Allelopathy Journal*, 21, 253-262. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1054-z>

- Khamare, Y., Chen, J., & Marble, S. C. (2022). Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1034649. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1034649>
- Macías, F. A., Mejías, F. J., & Molinillo, J. M. (2019). Recent advances in allelopathy for weed control: from knowledge to applications. *Pest Management Science*, 75(9), 2413-2436. <https://doi.org/10.1002/ps.5355>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—aids in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Patil, M. B., Jalapure, S. S., Prakash, N. S., & Kokate, C. K. (1983). Anticellular properties of alcoholic extract of *Sorghum* spp. in rats. ISHS Press.
- Perry D. (1981). Methodology & application of vigor tests. In: Handbook of vigor test methods.
- Ranal, M. A., & Santana, D. G. D. (2006). How and why to measure the germination process? *Brazilian Journal of Botany*, 29, 1-11.
- Reidsma, P., Accatino, F., Appel, F., Gavrilescu, C., Krupin, V., Tasevska, G. M., Meuwissen, M. P., Peneva, M., Severini, S., Soriano, B., & Urquhart, J. (2023). Alternative systems and strategies to improve future sustainability and resilience of farming systems across Europe: from adaptation to transformation. *Land Use Policy*, 134, 106881. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106881>
- 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>
- Roberta, M., Donato, L., Stefen, B., Vanti, M., Clarazain, M., & Goseppe, Z. (2010). Temperature and water potential as parameters for modeling weed emergence in central- northern Italy. *Weed Science*, 58, 216-222.
- Sarić-Krsmanović, M., Gajić Umiljendić, J., Radivojević, L., Šantrić, L., Potočnik, I., & Đurović-Pejčev, R. (2019). Bio-herbicidal effects of five essential oils on germination and early seedling growth of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.). *Journal of Environmental Sciences. and Health, Part B*, 54(4), 247-251. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1550309>
- Scott, S. J., Jones, R. A., & Williams, W., (1984). Review of data analysis methods for seed germination 1. *Crop Sciences*, 24(6), 1192-1199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x>
- Shang, Z. H., & Xu, S. G., (2012). Allelopathic testing of *Pedicularis kansuensis* (Scrophulariaceae) on seed germination and seedling growth of two native grasses in the Tibetan plateau. *Fyton*, 81, 75-79. <https://doi.org/10.32604/phyton.2012.81.075>
- 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, 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.032>
- Ullah, R., Aslam, Z., Attia, H., Sultan, K., Alamer, K. H., Mansha, M. Z., Althobaiti, A. T., Al Kashgry, N. A. T., Algethami, B., & Zaman, Q. U., (2022). Sorghum allelopathy: alternative weed management strategy and its impact on mung bean productivity and soil rhizosphere properties. *Life*, 12(9), 1359. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.032>
- Weston, L. A. (1996). Utilization of Allelopathy for Weed Management in Agroecosystems. *Agronomy Journal*, 88, 860-866. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962003600060004x>
- Weston, L. A., Alsaadawi, I. S. & Baerson, S. R. (2013). Sorghum allelopathy--from ecosystem to molecule. *Journal of Chemical Ecology*, 39(2), 142-53. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0245-8>
- Yang, C. M., Lee, C. N., & Chou, C. H. (2002). The biology of Canadian weeds *Amaranthus retroflexus* L., *A. powelli* Swatson and *A. hybridus* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 84, 631-668. <https://doi.org/10.4141/P02-183>
- Yar, S., Khan, E., Hussain, I., Raza, B., Abbas, M., & Munazza, Z. (2020). Allelopathic influence of sorghum aqueous extracts and sorghum powder on germination indices and seedling vigor of hybrid corn and jungle rice. *Planta Daninha*, 38, 020192192. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582020380100005>
- Yarnia, M., Benam, M. K., & Tabrizi, E. F. M. (2009). Allelopathic effects of sorghum extracts on *Amaranthus retroflexus* seed germination and growth. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7(4), 770-774.