

Evaluation of the Allelopathic Potential of Plant Extracts and its Comparison with Chemical Treatments on *Galium aparine* L. and *Vicia villosa* Roth. Weeds in Chickpea Fields

S. Jalilian¹, S.A. Ghanbari^{1*}, M.R. Asgharipour¹, A. Bagheri²

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

2-Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

(*- Corresponding author's Email: drghanbari@uoz.ac.ir)

Received: 12-06-2025
Revised: 11-08-2025
Accepted: 17-08-2025
Available Online: 10-11-2025

How to cite this article:

Jalilian, S., Ghanbari, S.A., Asgharipour, M.R., & Bagheri, A. (2025). Evaluation of the allelopathic potential of plant extracts and its comparison with chemical treatments on *Galium aparine* L. and *Vicia villosa* Roth. weeds in chickpea fields. *Iranian Plant Protection Research*, 39(3), 293-315. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.94054.1234>

Introduction

Weeds represent a major constraint in agricultural production by competing with crops for essential resources such as light, water, nutrients, and space. In chickpea (*Cicer arietinum*) cultivation, species like *Galium aparine* L. (cleavers) and *Vicia villosa* Roth. (hairy vetch) can cause significant yield losses, estimated between 40% and 87% in the absence of effective weed management strategies. Conventional weed control relies heavily on synthetic herbicides, which provide rapid and effective results but raise environmental and health concerns due to their toxicity, persistence, and bioaccumulation. Allelopathy involves the release of allelochemicals by plants, which inhibit the growth and development of neighboring plants, offering a targeted approach to weed management. Plants such as *Gundelia tournefortii* (cardoos), Anthemis species (chamomile), and *Arachis hypogaea* (peanut) produce bioactive compounds, including terpenoids, phenolic acids, and flavonoids, known for their phytotoxic effects on weeds. Previous studies have demonstrated the efficacy of these plant extracts in suppressing weed growth, but their allelopathic effects on *Galium aparine* and *Vicia villosa* in chickpea fields remain underexplored. This study aimed to evaluate the phytotoxic and allelopathic potential of chamomile, cardoon, and peanut shell extracts, compared to pelargonic acid and the commercial herbicide Challenge, on these weeds over two growing seasons (2021–2022 and 2022–2023).

Materials and Methods

The experiment was conducted over two consecutive growing seasons (2021–2022 and 2022–2023) in an 80-hectare chickpea field located in Jiranblagh, Serfirouzabad, Kermanshah, Iran (34°12'34"N, 47°5'48"E; 1728 m above sea level). The study area has a Mediterranean climate characterized by long, dry summers and cold winters, with an average annual precipitation of 435 mm. Soil analysis confirmed adequate NPK levels, and 25 kg ha⁻¹ bentonite sulfur and 1 kg ha⁻¹ ammonium molybdate were applied for balanced nutrition. Chickpea seeds (cv. Mansour) were sown mechanically at 15 plants m⁻². Treatments included chamomile extract (50 g L⁻¹),



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.94054.1234>

cardoos extract (100 g L^{-1}), peanut shell extract (100 g L^{-1}), pelargonic acid (5 L ha^{-1}), Challenge herbicide (2 L ha^{-1}), and water control, applied in a factorial randomized complete block design with three replicates. Plant materials were collected from Kermanshah's Koohsefid mountains (chamomile and cardoon) and Razi University's agricultural campus (peanut shells). Extracts were prepared using ethanol (1:10 ratio), filtered, and stored at 4°C . Total phenolic content was measured gravimetrically, and antioxidant activity was assessed via the DPPH assay. Weed traits, including growth inhibition, chlorophyll content, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence (Pocket PEA), were measured 48 hours post-treatment. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analyzed chamomile essential oil composition. Data were analyzed using SAS 9.1, with variance homogeneity tested via the F-test, and means compared using the Least Significant Difference (LSD) test at $P < 0.05$.

Results and Discussion

The weed flora of the chickpea field consisted of 27 species, with *Galium aparine* (92% frequency, $10.6 \text{ plants m}^{-2}$) and *Vicia villosa* (60% frequency) identified as the dominant species. GC-MS analysis of chamomile essential oil revealed 21 constituents, accounting for 82.49% of the total oil composition. The predominant compounds were myrtenyl acetate (20.37%), decanoic acid (9.85%), spathulenol (7.99%), and caryophyllene oxide (5.12%), consistent with previous reports (Nejadhabibvash, 2017). These terpenoids are known for their phytotoxic effects, disrupting photosynthesis and inducing oxidative stress. Growth inhibition of *V. villosa* was most pronounced in the first year with pelargonic acid (70.3%) and cardoon extract (67.13%), while for *Galium aparine*, cardoon extract (53.33%) and pelargonic acid (52.76%) were most effective in year one, and pelargonic acid (47.03%) and cardoon (46.79%) in year two. Treatments significantly reduced chlorophyll content, with a 69.91% decrease in *G. aparine* (pelargonic acid, year two) and 74.28% in *V. villosa* (chamomile, year two) compared to the control. Stomatal conductance was notably reduced by chamomile extract, with a 66.80% decrease in *G. aparine* and 51.75% in *V. villosa* in the second year. Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) decreased by 56.63% in *G. aparine* and 36.14% in *V. villosa* under chamomile treatment in year two, indicating photosystem II impairment. These effects are attributed to allelochemicals, particularly terpenoids, which inhibit photosynthesis, reduce chlorophyll synthesis, and cause cellular damage.

Conclusion

Chamomile extract exhibited pronounced phytotoxic and allelopathic activity, markedly reducing growth parameters, chlorophyll content, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence in *Galium aparine* and *Vicia villosa*, with efficacy surpassing that of the commercial herbicide Challenge. The high proportion of myrtenyl acetate in chamomile essential oil is likely a key contributor to its herbicidal potential. Cardoon extract and pelargonic acid also showed strong weed suppression, while peanut shell extract was less effective. These findings suggest that chamomile extract is a promising eco-friendly bioherbicide for sustainable weed management in chickpea fields. Further studies are recommended to elucidate the mechanisms of action of these allelochemicals and optimize their field application.

Keywords: Growth inhibition, Natural herbicide, Secondary metabolites, Sustainable management

ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی عصاره‌های گیاهی و مقایسه آن با تیمارهای شیمیایی بر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (*Galium aparine* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) در مزرعه نخود

صادق جلیلیان^۱، سید احمد قنبری^{۱*}، محمدرضا اصغری پور^۱، علیرضا باقری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷

چکیده

علف‌های هرز از محدودیت‌های اصلی تولید نخود در بوم‌نظام‌های کشاورزی هستند که استفاده از عصاره‌های گیاهی با پتانسیل دگرآسیبی می‌تواند رویکردی پایدار برای مدیریت آن‌ها ارائه دهد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات دگرآسیبی و سمیت گیاهی عصاره‌های گیاهی بر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (*Galium aparine* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) در زراعت نخود (*Cicer arietinum*) طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل عصاره‌های گیاه بابونه (*Anthemis odontostephana* Boiss.)، کنگر کوهی (*Gundelia tournefortii* L.)، پوسته بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، اسید پلارگونیک (*Pelargonic acid*)، علف‌کش چلنج (آکلوئیفن) و شاهد (آب خالص) بودند. در سال اول، اسید پلارگونیک و عصاره کنگر به ترتیب با ۳/۷۰ درصد و ۱۳/۶۷ درصد بیشترین اثر مهاری بر رشد ماشک گل خوشه‌ای، و به ترتیب با ۵۲/۷۶ درصد و ۵۳/۳۳ درصد بیشترین بازدارندگی را بر رشد بی‌تی‌راخ نشان دادند. همچنین، میزان سبزیگی ماشک گل خوشه‌ای در اثر کاربرد اسید پلارگونیک ۶۰/۳۱ درصد کاهش یافت. در سال دوم، بیشترین کاهش رشد بی‌تی‌راخ مربوط به اسید پلارگونیک (۴۷/۰۳ درصد) و عصاره کنگر (۴۶/۷۹ درصد) بود. در همین سال، سبزیگی بی‌تی‌راخ در اثر کاربرد اسید پلارگونیک ۶۹/۹۱ درصد و سبزیگی ماشک گل خوشه‌ای به وسیله عصاره بابونه ۷۴/۲ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. هدایت روزنه‌ای بی‌تی‌راخ در سال دوم توسط عصاره بابونه (۶۶/۸۰ درصد) و هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای در سال اول به وسیله اسید پلارگونیک (۴۰/۵۵ درصد) و در سال دوم توسط عصاره بابونه (۵۱/۷۵ درصد) و اسید پلارگونیک (۴۹/۷۴ درصد) نسبت به شاهد کاهش یافت. فلورسانس کلروفیل در بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای تحت تیمار بابونه در سال دوم به ترتیب ۵۶/۶۳ درصد و ۳۶/۱۴ درصد کاهش داشت. تحلیل اسانس بابونه با کروماتوگرافی گازی، ۲۱ ترکیب را شناسایی کرد که ترپنوئیدها، به ویژه مایرنتیل استات، ترکیبات اصلی بودند. با توجه به پتانسیل بالای عصاره بابونه در مهار علف‌های هرز، انجام تحقیقات بیشتر برای توسعه آن به عنوان علف‌کش گیاهی سازگار با محیط‌زیست و گزینه‌ای جایگزین برای علف‌کش‌های شیمیایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بازدارندگی رشد، علف‌کش طبیعی، متابولیت‌های ثانویه، مدیریت پایدار

مقدمه

در ایران، علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده

تولید نخود (*Cicer arietinum*) به شمار می‌روند (Veisi et al., 2024). این گیاهان ناخواسته با محصولات زراعی بر سر منابع حیاتی مانند فضا، آب، مواد مغذی خاک و نور رقابت کرده و تولید را به شدت کاهش می‌دهند (Vashishta et al., 2023a). علف‌کش‌های شیمیایی به طور گسترده برای مهار علف‌های هرز استفاده می‌شوند، استفاده بیش از حد از این ترکیبات به دلیل سمیت، ماندگاری در محیط و تجمع زیستی در موجودات، اثرات نامطلوبی بر محیط‌زیست، حیوانات و سلامت انسان دارد (Ben Kaab et al., 2024). استفاده از

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(*)- نویسنده مسئول:
(Email: drghanbari@uoz.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.94054.1234>

عصاره‌های گیاهی با پتانسیل دگرآسیبی، می‌تواند رویکردی پایدار و هدفمند برای مهار علف‌های هرز در محصولات باشد (Đorđević et al., 2022). این ترکیبات به‌طور انتخابی با آنزیم‌های هدف یا گیرنده‌های خاص موجود در علف‌های هرز برهم‌کنش می‌کنند و در نتیجه رشد علف‌های هرز را مهار می‌کنند (Mendes da Silva et al., 2024).

کنگر کوهی (*Gundelia tournefortii* L.) گیاهی چندساله و گل‌دار و درختچه‌ای با برگ‌های متناوب و خارمانند از تیره Asteraceae است. این گیاه در مناطق کوهستانی، گرمسیری یا معتدل می‌روید (Karimzadeh et al., 2023). گونه‌هایی از جنس *Gundelia* دارای ترکیبات زیست‌فعال اسید کلروژنیک^۱، اسید کوئینیک^۲، ترکیبات گلوکوزیدی^۳ و اسید کافئیک^۴ هستند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از خود نشان داده‌اند (Tarhan et al., 2023). عصاره کنگر فعالیت علف‌کشی بر علف‌های هرز دارد (Al-Batsh & Qasem, 2020). جنس *Anthemis* متعلق به تیره Asteraceae متشکل از حدود ۱۹۵ گونه است. ۳۹ گونه یک‌ساله و چندساله از جنس *Anthemis* در فلور ایران یافت می‌شود که ۱۵ گونه آن بومی هستند (Jassbi Sajjadi et al., 2016). گل بابونه تاج دندانی (*Anthemis odontostephana* Boiss.) یکی از گونه‌های وحشی جنس *Anthemis* است (Zebarjad & Farjam, 2015). در اسانس گل بابونه تاج دندانی، ۴۷ ترکیب شناسایی شده است که اسپاتولنول^۵، اسید هگزادکانوئیک^۶ و ژرمارکن^۷ فراوان‌ترین ترکیبات هستند (Shokoohinia et al., 2015). در مطالعه الحربی (Al-Harbi, 2016) اثر بازدارندگی عصاره *Anthemis* بر علف‌های هرز مزارع زراعی گزارش شده است.

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) از خانواده Fabaceae به‌دلیل داشتن مواد مغذی غنی از جمله پروتئین، اسیدهای چرب، مواد معدنی، ویتامین‌ها و مواد شیمیایی گیاهی در سراسر جهان مصرف می‌شود (Yu et al., 2025). پوست غلاف بادام‌زمینی حاوی بسیاری از ترکیبات فعال زیستی و آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند فنولیک اسیدها^۸، استیلبن‌ها^۹، فلاونوئیدها^{۱۰} و فیتواسترول‌ها^{۱۱} است، که می‌تواند ۸۵/۷

درصد از کل ترکیبات فنلی به‌دست‌آمده از پوست بادام زمینی را تشکیل دهد (Nunes et al., 2024). برخی از این ترکیبات، مانند فنولیک اسیدها، اسید استتاریک^{۱۲}، اسید پالمیتیک^{۱۳}، اسیدهای چرب^{۱۴}، پیرانون‌ها^{۱۵} و بنزوفوران‌ها^{۱۶} اثرات علف‌کشی دارند (Thang et al., 2023).

پژوهشگران، پتانسیل دگرآسیبی عصاره‌های گیاهی و اثر سمیت آن بر علف‌های هرز را گزارش کرده‌اند. در مطالعه مددی و همکاران (Madadi et al., 2023)، متابولیت‌های ثانویه موجود در عصاره شاخساره بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) اثر سمیت بر علف هرز خاکشیر (*Descurainia Sophia* L.) داشت و از جوانه زنی و رشد آن جلوگیری کرد. همچنین ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی موجود در عصاره متانولی کنگر فرنگی (*Cynara cardunculus*)، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های شبدر لاکسی (*Trifolium incarnatum*)، خار مریم (*Silybum marianum*) و علف هرز فالاریس (*Phalaris minor*) را مهار کرد و باعث نکروز یا کلروز آن‌ها شد (Kaab et al., 2020). در پژوهشی مشابه، تانگ و همکاران (Thang et al., 2023) دریافتند که عصاره‌های آبی پودر بادام زمینی پوششی (*Arachis pintoi*)، گونه‌ای چندساله از تیره بقولات با کاربرد به‌عنوان پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی رشد سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و گیاهان زراعی برنج (*Oryza sativa*) و ماش (*Vigna radiata*) را کاهش داد.

گیاهان دارای ترکیبات دگرآسیبی برای سرکوب علف‌های هرز به کار می‌روند (Kaab et al., 2020; Casimiro et al., 2017; Wardini et al., 2023). تاکنون فعالیت دگرآسیبی عصاره‌های اتانولی گل بابونه، پوسته غلاف بادام زمینی و کنگر کوهی بر علف‌های هرز مزارع نخود بررسی نشده است. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی سمیت گیاهی و پتانسیل دگرآسیبی عصاره گیاه بابونه، پوسته غلاف بادام زمینی و گیاه کنگر کوهی بر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (*G. aparine*) و ماشک گل خوشه‌ای (*V. villosa*) در مزرعه نخود زراعی طی دو سال متوالی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مزرعه آزمایشی و جزئیات اقلیمی و خاک

پژوهش حاضر در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه زراعی ۸۰ هکتاری جهاد خودکفایی تیپ ۳۵ تکاور واکنش

- 1- Chlorogenic acid
- 2- Quinic acid
- 3- Glucoside
- 4- Caffeic acid
- 5- Spathulenol
- 6- Hexadecanoic acid
- 7- Germacrene D
- 8- Phenolic acids
- 9- Stilbenes
- 10- Flavonoids
- 11- Phytosterols

- 12- Stearic acid
- 13- Palmitic acid
- 14- Fatty acids
- 1- Pyranones
- 16- Benzofurans

نخود زراعی با استفاده از روش کشت مستقیم و با بهره‌گیری از دستگاه خطی کار تولید شرکت باران کشت (واقع در دیواندره)، به صورت مستقیم در خاک دارای رطوبت حاصل از بارندگی‌های فصلی کشت گردید. عملیات کاشت در دو سال متوالی، در تاریخ‌های ۲۵ اسفند ۱۴۰۰ (سال اول) و ۱۲ اسفند ۱۴۰۱ (سال دوم)، با تراکم ۱۵ بوته در مترمربع انجام شد. در یک سوم ابتدایی فصل رشد با تراکم‌گیری علف‌های هرز جهت کمک به بلوک‌بندی و انتخاب کرت‌ها در کل مزرعه به‌روش مین‌باشی و همکاران (Minbashi et al., 2008)، غنای گونه‌ای (۲۷ گونه علف هرز) شناسایی گردید. در سال ۱۴۰۱، مقدار کل بارندگی ۲۸۵/۷ میلی‌متر با توزیع نامنظم بود و بیشترین بارندگی در اردیبهشت ماه رخ داد. در سال ۱۴۰۲، میزان بارندگی ۴۷۷/۲ میلی‌متر با پراکنش نامنظم بود و بیشترین بارندگی در فروردین اتفاق افتاد. دما در فصل بهار (دوره رشد نخود) در سال ۱۴۰۲ خنک‌تر از سال ۱۴۰۱ بود (شکل ۱).

تهیه و جمع‌آوری مواد گیاهی

کل بوته گیاهان کنگرکوهی و بابونه در مرحله ابتدای گل‌دهی از دامنه ارتفاعات ۱۸۰۰-۱۳۰۰ متری کوه سفید کرمانشاه که جزء زاگرس مرتفع می‌باشد، در نیمه اول فروردین ماه ۱۴۰۱ جمع‌آوری شد. پوسته غلاف بادام‌زمینی نیز پس از برداشت و استحصال دانه بادام زمینی از مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی رازی جمع‌آوری گردید.

سریع ارتش جمهوری اسلامی ایران در منطقه جیران‌بلاغ دهستان سرفیروزآباد واقع در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵ دقیقه و ۴۸ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۴ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۷۲۸ متر از سطح دریا انجام شد. محل آزمایش در هشت کیلومتری جنوب کرمانشاه با آب‌وهوایی مدیترانه‌ای با دوره تابستان طولانی و خشک و زمستان سرد، با روزهای برفی کم و نامنظم، و با میانگین بارندگی بلندمدت در منطقه ۴۳۵ میلی‌متر بود، طبقه‌بندی اقلیمی این منطقه به‌روش سیلیانف، اقلیمی نیمه خشک می‌باشد. بذر نخود زراعی (رقم منصور) از شرکت اصلاح بذر کاوه ماهیدشت تهیه گردید. مزرعه مورد نظر که در هر دو سال زراعی گذشته زیر کشت گندم نان (*T. aestivum* L.) بوده است، بعد از اولین بارندگی مؤثر در اوایل زمستان به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر شخم زده شد. کرت‌های آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول سه متر و به فاصله ۰/۵ متر با مساحت نه مترمربع (۳×۳ متر) بودند. در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، قبل از کشت نخود به منظور بررسی خصوصیات خاک منطقه مورد آزمایش، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در (جدول ۱) نشان داده شده است. براساس نتایج آزمایش خاک و بررسی ماده آلی و عناصر ماکرو، میزان عناصر NPK مناسب بود و از این کودها استفاده نشد، اما جهت تغذیه متعادل، میزان ۲۵ کیلوگرم گوگرد بنتونیت‌دار و یک کیلوگرم مولیبدات آمونیوم در هکتار مصرف شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی پیش از کاشت در سال‌های اجرای آزمایش

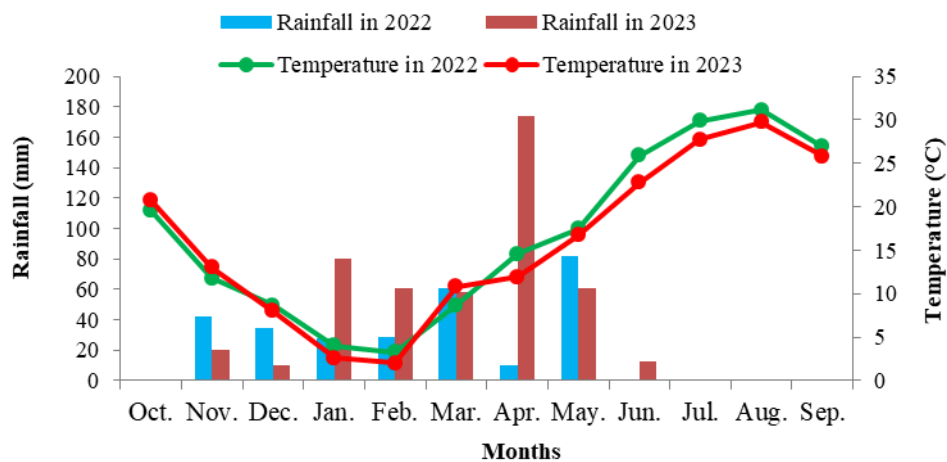
Table 1- Physical and chemical properties of the experimental site soil before planting in the years of the experiment

U.T.M	Longitude latitude	Sample 1 3786260 692713	Sample 2 3786857 693120	Sample 3 3787109 693364
Chemical properties	O Materials (%)	2.99	3.29	1.78
	P (ppm)	22.8	18.4	30
	K (ppm)	643.6	282	143.4
	T.N (%)	0.17	0.19	0.10
	T.N.V (%)	8.75	17	5.25
	pH	6.87	6.95	7.07
	EC (10 ⁻³ dS.m ⁻²)	0.50	0.50	0.48
	S.P (%)	48	49	48
Physical properties	Sand (%)	32	24	30
	Clay (%)	22	24	22
	Silt (%)	46	52	48
	Texture	L	SI. L	L
	FC (%)	28	30	28
	P.W.P (%)	13	14	13
	B.d (g.cm ⁻³)	1.38	1.35	1.37
	hydraulic conductivity (cm.h ⁻¹)	0.79	0.73	0.81

O.M: ماده آلی، P: فسفر، K: پتاسیم، T.N: نیتروژن کل، T.N.V: هدایت الکتریکی، S.P: خاک با دانه ریز- بد دانه‌بندی شده، FC: ظرفیت زراعی،

P.W.P: نقطه پژمردگی دائم

O.M: organic matter, P: phosphorus, K: potassium, T.N: total nitrogen, T.N.V: total neutralizing value, EC: electrical conductivity, S.P: fine-grained soil - poorly graded, FC: field capacity, P.W.P: permanent wilting point



شکل ۱- تغییرات اقلیمی ماه‌های اجرای آزمایش در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲
Figure 1- Climatic variations of the months during the experiment in 2022 and 2023

تعیین فنل کل

سنجش محتوای فنل کل به روش وزنی انجام شد (Onwuka, 2006). بدین منظور، پنج گرم از گیاه پودر شده در ۵۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۱۰ درصد در اتانول مخلوط شد. سوسپانسیون حاصل در شیکر انکوباتور ۳۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شد و پس از چهار ساعت سکون، با استفاده از کاغذ صافی (شماره ۳۸۹ سارتریوس^۴) فیلتر گردید. حجم محلول فیلتر شده با استفاده از هیتر تا ۱- حجم اولیه تقلیل یافت. سپس به آن قطره قطره محلول هیدروکسید آمونیوم ۳۰ درصد تا زمان رسوب فنل‌ها، اضافه شد و مخلوط با استفاده از یک کاغذ صافی توزین شده، فیلتر گردید. برای اطمینان، کاغذ با هیدروکسید آمونیوم یک درصد شستشو داده شد. کاغذ صافی در آن ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت نیم ساعت خشک و بلافاصله به دسیکاتور منتقل شد تا رطوبت جذب نکند و سپس توزین انجام شد. اختلاف وزن اولیه و ثانویه بیانگر میزان فنل است که به صورت درصد بیان شد (جدول ۲).

سنجش مهار رادیکال آزاد DPPH

ارزیابی قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره با استفاده از روش به دام انداختن رادیکال DPPH^۵ که مولکول رادیکالی آزاد و چربی دوست بوده که توانایی شروع واکنش‌های زنجیره‌ای لیپید پراکسیداسیون و اتواکسیداسیون از طریق واکنش مستقیم با آنتی‌اکسیدان‌ها را دارد، انجام شد. با به دام انداختن این رادیکال توسط آنتی‌اکسیدان‌ها، DPPH احیاء و مولکول پایدار H-DPPH تشکیل می‌شود

تهیه عصاره‌های گیاهی

پس از تأیید گیاهان برداشت شده توسط گیاه‌شناس، استخراج عصاره گیاهان کنگرکوهی و بابونه و پوسته غلاف بادام زمینی براساس روش بهینه‌سازی شده فلاح و همکاران (Falleh et al., 2013) انجام شد. بدین منظور، نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده به طور جداگانه با آب مقطر شسته و سپس هر نمونه در دمای اتاق به مدت هفت روز در تاریکی نگه داشته شدند. به منظور خشک کردن، نمونه‌ها به مدت دو ساعت در آن با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس آسیاب شدند. برای همگن شدن، پودر به دست آمده از الک با مش ۳۵ عبور داده شد. جهت تهیه عصاره از حلال اتانول با نسبت پودر خشک به حلال ۱ به ۱۰ استفاده گردید و محلول‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق روی دستگاه شیکر قرار داده شدند. هر کدام از عصاره‌ها به صورت جداگانه یک بار با استفاده از دستمال نظیف چهار لایه و بار دیگر با کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شدند تا بقایای آن‌ها حذف شود. اتانول با استفاده از دستگاه تقطیر در خلاء^۱ در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد حذف و باقی‌مانده‌ها مجدداً در توئن^۲ یک درصد حل شدند. پس از تعیین درصد عصاره (جدول ۲)، به منظور حفظ ترکیبات عصاره‌های به دست آمده و جلوگیری از تخریب ترکیبات آلوکسیمایی^۳ آن، مطابق روش توصیف شده توسط اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2014) همه عصاره‌ها بعد از تولید و تا قبل از استفاده از آن‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند.

1- Rotary evaporator

2- Tween 1%

3- Allelochemical

4- Sartorius

5- 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical

DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول) تهیه شده بود، به ۵۰ میکرولیتر از غلظت‌های مختلف عصاره اضافه گردید. پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در یک مکان تاریک، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان جذب نوری آن‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- مشخصات عصاره‌های گیاهی

Table 2- Characteristics of plant extracts

Plant name	Phenol	DPPH (mg ml ⁻¹)	Extract (%)
Chamomile	7.08	6.85	20
Peanut shell	4.08	13.18	12.5
Artichoke	11.22	6.02	16.25

(نخود) جلوگیری گردید.

صفات مورد ارزیابی

۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمارها، شاخص سبزیگی توسط دستگاه SPAD (مدل ۵۰۲ کمپانی Konica Minolta ژاپن) ثبت شد (Janusauskaitė, 2023). برای اندازه‌گیری کارایی کوانتومی فتوسنتز II برگ‌ها، ۴۸ ساعت بعد از محلول‌پاشی تیمارهای آزمایش، برگ‌ها با استفاده از گیره‌های مخصوص، به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (Fv/Fm) که نمایانگر حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسنتز III است، با استفاده از دستگاه کلروفیل فلورسانس (مدل Pocket PEA ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای نیز ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمارها انجام گرفت، به این صورت که قسمت میانی برگ در داخل سنسور دستگاه فتوسنتز متر (مدل SD Portable، ساخت کشور انگلستان) قرار داده شد و پس از ۳۰ ثانیه عدد دستگاه یادداشت گردید. برای اجتناب از اثر تغییرات دمای هوا و شرایط نوری بر روزنه‌ها، این اندازه‌گیری بین ساعت‌های ۷ تا ۹ صبح انجام گرفت (Vashishth et al., 2023).

برای ارزیابی میزان بازدارندگی تیمارها بر جمعیت علف‌های هرز (St)، توانایی مهار علف‌های هرز برای هر تیمار با شاهد مقایسه شد (Motmainna et al., 2021).

$$St = \frac{W_u - W_t}{W_u} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، W_u : وزن زیست‌توده علف‌های هرز (گرم بر مترمربع) در شاهد و W_t : وزن زیست‌توده علف‌های هرز تحت تأثیر عصاره‌های گیاهی است.

براساس معادله‌های ارائه‌شده ۳ تا ۸، شاخص‌های جمعیتی

(Vijayalakshmi & Ruckmani, 2016). شدت جذب با احیاء شدن، کاهش یافته و ترکیب زردرنگی تولید می‌شود که در طول موج ۵۱۷ نانومتر جذب دارد. به‌منظور تهیه غلظت چهار میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره، در دو میلی‌لیتر اتانول حل شدند. سپس رقیق کردن محلول تا غلظت ۰/۲۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر انجام گرفت. دو میلی‌لیتر از محلول DPPH، که با حل کردن پودر (۲/۴ میلی‌گرم

از هر غلظت سه تکرار قرار داده شد. BHT^۱ نیز به‌عنوان آنتی‌اکسیدان سنتتیک، با غلظت یک میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به‌عنوان شاهد مثبت تهیه گردید (Özer, 2018). فعالیت برحسب درصد نسبی DPPH طبق معادله ۱ محاسبه شد (جدول ۲).

$$DPPH = \frac{\text{جذب نمونه} - \text{جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} \times 100 \quad (1)$$

طرح آماری و تیمارهای آزمایش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و برپایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در هر دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، تیمارهای آزمایش شامل عصاره بابونه با غلظت ۵۰ گرم بر لیتر، کنگر ۱۰۰ گرم بر لیتر، پوسته غلاف بادام زمینی ۱۰۰ گرم بر لیتر، علف‌کش چلنج با مقدار دو لیتر در هکتار، اسیدپلارگونیک با مقدار پنج لیتر در هکتار و شاهد (آب خالص) بودند. ۳۶-۶۰ روز پس از سبز شدن محصول، زمانی که نخود به مرحله رشد طولی ساقه با کد BBCH 39 (رشد نه میان‌گره به‌طور آشکار) (Khaliliaqdam et al., 2014) و اکثر علف‌های هرز به مرحله ۲-۶ برگ‌ی رسیدند، تیمارها به همراه ادجوانت^۲ (شرکت گیاه)، محلول‌پاشی شدند. علف‌کش چلنج (Challenge®) با نام عمومی آکلونیفن^۳، فرمولاسیون سوسپانسیون کنسانتره (SC) با غلظت ۶۰ گرم در لیتر، تولید شرکت بایر^۴ آلمان، به‌عنوان یکی از تیمارهای آزمایش استفاده گردید. محلول‌پاشی تیمارها در ساعات اولیه صبح و به‌صورت هدفمند بر روی علف‌های هرز موجود در بین ردیف‌های کاشت نخود انجام شد، به‌گونه‌ای که از تماس مستقیم با گیاه زراعی

- 1- Butylated hydroxytoluene
- 2- Adjuvant
- 3- Aclonifen
- 4- Bayer

دارای ستون موئینه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر و ضخامت لایه داخلی ۰/۲۵ میکرومتر بود. هلیوم به عنوان گاز حامل با نسبت تقسیم ۵:۱ و دمای تزریق ۲۳۰ درجه سانتی گراد استفاده شد. دمای فر GC، با برنامه دمایی ۶۰ تا ۲۷۵ درجه سانتی گراد و همراه با افزایش تدریجی پنج درجه سانتی گراد در دقیقه تا دمای نهایی ۲۶۵ درجه سانتی گراد و زمان نگهداری ۳۰ دقیقه انجام گردید. گاز حامل هلیوم با سرعت جریان یک میلی لیتر در دقیقه بود. دمای انژکتور و آشکارساز به ترتیب در ۳۰۰ درجه سانتی گراد و ۳۲۰ درجه سانتی گراد برنامه ریزی شد. پس از تزریق اسانس (یک میکرولیتر) به دستگاه و مشاهده طیف کروماتوگرام که حضور تعداد زیادی ترکیب را نشان می داد، با استفاده از زمان بازداری (Rt)، شناسایی ترکیبات با مقایسه طیف جرمی آن‌ها با طیف جرمی ترکیبات موجود در بانک اطلاعاتی NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library 2014 همراه با سیستم GC-MS انجام شد (Minh et al., 2019).

تحلیل داده‌ها

پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌های صفات، تجزیه و تحلیل آماری به وسیله نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. سال به عنوان عامل تصادفی در نظر گرفته شد، زیرا آزمایش در دو سال زراعی با شرایط اقلیمی متفاوت اجرا شد که می توانست بر صفات اثر بگذارد. همگنی واریانس داده‌های دوساله با آزمون F (آزمون نسبت واریانس) بررسی شد. برای صفاتی که واریانس همگن داشتند ($p \geq 0.05$)، تجزیه مرکب انجام شد، اما برای صفاتی با واریانس ناهمگن ($p < 0.01$)، به منظور حفظ اعتبار آماری و جلوگیری از سوگیری، داده‌های هر سال به صورت جداگانه تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت و نمودارها به وسیله نرم افزار Excel رسم و تفسیر شدند.

نتایج و بحث

در این آزمایش، گونه‌های علف هرز غالب در مزرعه نخود شناسایی شدند. فلور علف‌های هرز مهم موجود در مزرعه آزمایشی شامل ۲۷ گونه بود که براساس تراکم اولویت بندی شدند. در بین گونه‌های هرز، بی تی راک با فراوانی ۹۲ درصد به عنوان غالب ترین علف هرز مزرعه نخود شناخته شد. ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa*) به دلیل برخورداری از دوره رویشی زمستانه، رشد سریع در آغاز بهار و وقوع زود هنگام دوره بحرانی رقابت نسبت به اغلب علف‌های هرز دیگر، به عنوان یکی از گونه‌های هدف در این پژوهش انتخاب شد.

علف‌های هرز شامل فراوانی، یکنواختی، تراکم و تراکم نسبی، میانگین تراکم و شاخص غالبیت گونه‌های مختلف در یک سوم ابتدای فصل رشد در کل مزرعه محاسبه شد (Minbashi et al., 2008).

فراوانی، بیانگر نسبت مزارع دارای گونه گیاهی خاص بر کل مزارع بررسی شده بود که به صورت درصد بیان می شود که با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد.

$$F_k = \frac{\sum Y_i}{n} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، F_k : فراوانی گونه K ، Y_i : حضور (۱) و یا عدم حضور گونه در مزرعه شماره I و n : تعداد مزارع مورد بازدید بود.

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}}{\sum_{i=1}^n m} \times 100 \quad (4)$$

که در آن، U_k : یکنواختی مزرعه‌ای برای گونه K ، X_{ij} : حضور (۱) و یا عدم حضور (۰) گونه K در کادر شماره i در مزرعه شماره j ، n : تعداد مزارع مورد بازدید و m : تعداد کادر پرتاب شده بود.

$$D_{ki} = \frac{\sum_{j=1}^m Z_{ij}}{m} \times 4 \quad (5)$$

که در آن، D_{ki} : تراکم (تعداد بوته در مترمربع) گونه k در مزرعه شماره i ، Z_{ij} : تعداد گیاهان در کادر (۰/۲۵ مترمربعی) و m : تعداد کادر پرتاب شده بود. برای تبدیل تراکم به مترمربع D_{ki} در ۴ ضرب می شود.

$$RD = \frac{F_i}{N} \quad (6)$$

که در آن، RD : تراکم نسبی، F_i : تعداد بوته‌های مشاهده شده از هر گونه و N : تعداد کل بوته‌ها در هر مزرعه می باشد. میانگین تراکم بیانگر میانگین تعداد گیاه در مترمربع در مزارع مورد بررسی می باشد و براساس معادله ۷ به دست آمد.

$$MFD_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ki}}{n} \quad (7)$$

که در آن، MFD_k : میانگین تراکم گونه K ، D_{ki} : تراکم (تعداد بوته در مترمربع) برای گونه K در مزرعه شماره i و n : تعداد مزارع مورد مطالعه بود.

$$AI_k = F_k + U_k + MFD_k \quad (8)$$

که در آن، AI_k : شاخص غالبیت گونه K ، F_k : فراوانی، U_k : یکنواختی و MFD_k : میانگین تراکم گونه‌ای می باشد (Minbashi et al., 2008).

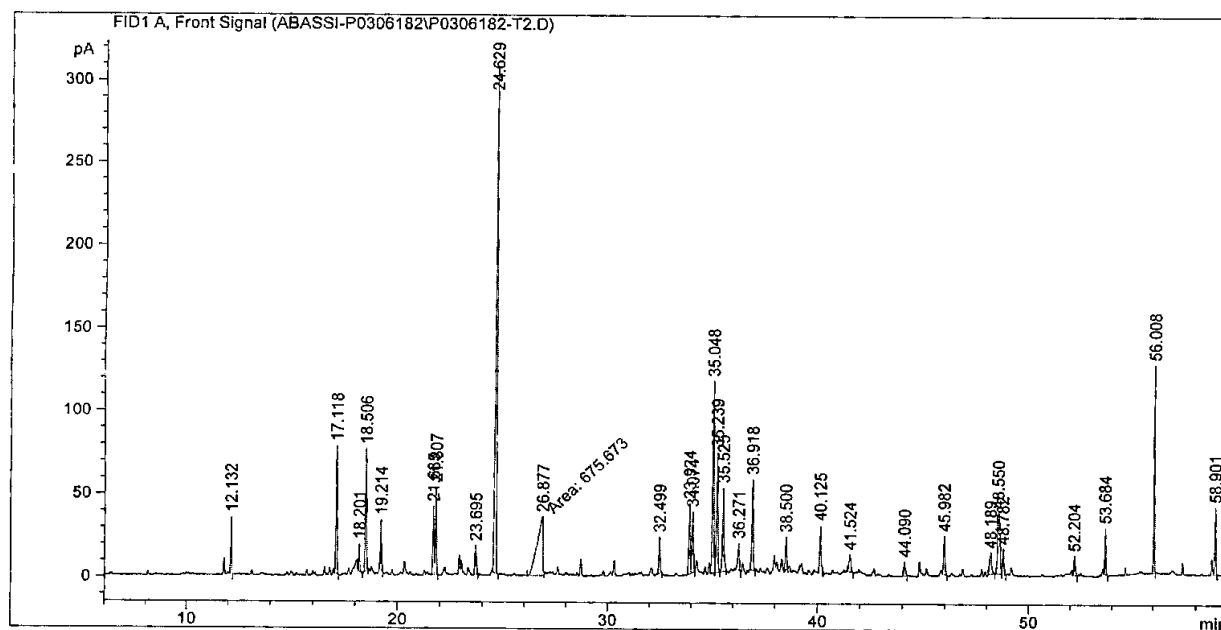
تحلیل GC-MS

به منظور جداسازی و شناسایی ترکیبات موجود در اسانس، اسانس با بونه به دستگاه گاز کروماتوگراف (ساخت شرکت آگیلنت، مدل A/5975CY۸۹۰) با طیف سنج (GC-MS) تزریق گردید. دستگاه

جدول ۳- مشخصات علفهای هرز مزرعه

Table 3- Characteristics of field weeds

	Scientific name	Weed family	Frequency (%)	Uniformity (%)	Mean density (Plant.m ⁻²)	Abundance index	Relative density (%)
1	<i>Galium aparine</i> L.	Rubiaceae	92	0.46	10.6	103.06	30.47
2	<i>Cichorium intybus</i> L.	Astraceae	82	0.41	5	87.41	14.37
3	<i>Tragopogon graminifolius</i> DC.	Astraceae	78	0.39	5	83.39	14.37
4	<i>Piptonon acarna</i> (L.) Cass.	Astraceae	70	0.35	3.8	74.15	10.92
5	<i>Carlthamus oxyacantha</i> M. B.	Astraceae	68	0.34	3.2	71.54	9.20
6	<i>Scandix pecten veneris</i> L.	Apiaceae	60	0.3	1.6	61.9	4.60
7	<i>Lathyrus blepharicarpus</i> L.	Fabaceae	60	0.3	1	61.3	2.87
8	<i>Vicia villosa</i> Roth.	Fabaceae	60	0.3	0.6	60.9	1.72
9	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	50	0.25	0.6	50.85	1.72
10	<i>Scariola orientalis</i> (Boiss.) Sojak.	Astraceae	40	0.2	0.4	40.6	1.15
11	<i>Vaccaria pyramidata</i> Medico	Caryophyllaceae	36	0.18	0.2	36.38	0.57
12	<i>Falcaria vulgaris</i> Bernh	Apiaceae	30	0.15	0.5	30.65	1.44
13	<i>Vigna radiata</i>	Fabaceae	24	0.12	0.4	24.52	1.15
14	<i>Turgenia latifolia</i> (L.) Hoffm	Apiaceae	20	0.1	0.3	20.4	0.86
15	<i>Orobanch ramosa</i> L.	Orobanchaceae	12	0.06	0.1	12.16	0.29
16	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	Euphorbiaceae	10	0.05	0.1	10.15	0.29
17	<i>Lathyrus latifolius</i> L.	Fabaceae	8	0.04	0.2	8.24	0.57
18	<i>Conringia orientalis</i> (L.) Andrz	Brassicaceae	8	0.04	0.1	8.14	0.29
19	<i>Vicia hircanica</i> L.	Fabaceae	8	0.04	0.1	8.14	0.29
20	<i>Triticum aestivum</i> L.	Poaceae	8	0.04	0.05	8.09	0.14
21	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Brassicaceae	6	0.03	0.1	6.13	0.29
22	<i>Cardaria draba</i> L.	Brassicaceae	4	0.02	0.04	4.06	0.11
23	<i>Lactuca serriola</i> L.	Astraceae	2	0.01	0.1	2.11	0.29
24	<i>Vicia ervilia</i>	Fabaceae	2	0.01	0.3	2.31	0.86
25	<i>Anchusa italica</i> Retz.	Boraginaceae	2	0.01	0.1	2.11	0.29
26	<i>Avena ludoviciana</i> L.	Poaceae	2	0.01	0.2	2.21	0.57
27	<i>Hordeum spontaneum</i> Koch	Poaceae	2	0.01	0.1	2.11	0.29
					34.79		100



شکل ۲- گاز کروماتوگرام حاصل از آنالیز GC-MS اسانس بابونه
Figure 2- Gas chromatogram obtained from gc-ms analysis of chamomile essential oil

جدول ۴- ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس بابونه

Table 4- Components of chamomile essential oil

NO.	Name of compound	Percentage (%)	Group
1	1,8-cineole	1.63	Oxygenated monoterpenes
2	Camphor	4.12	Oxygenated monoterpenes
3	Borneol	0.87	Oxygenated monoterpenes
4	Terpinene-4-ol	3.98	Oxygenated monoterpenes
5	Cis-chrysanthenyl acetate	2.38	
6	3-iso-thujanol acetate	3.03	
7	Trans-sabinyl acetate	1.19	
8	Myrtenyl acetate	20.37	Oxygenated monoterpenes
9	Decanoic acid	9.85	Fatty acid
10	Iso-bornyl iso valerate	1.36	
11	Spathulenol	7.99	Oxygenated sesquiterpenes
12	Caryophyllene oxide	5.12	Oxygenated sesquiterpenes
13	Fokienol	3.67	
14	Humulene epoxide2	1.07	Oxygenated sesquiterpenes
15	Muurola-4-10-(14) dien-1-β-ol	3.66	
16	N-nonadecane	1.50	
17	Hexadecanoic acid	1.36	Fatty acid
18	N-heneicosane	0.88	
19	Methyl linoleate	1.57	Non-terpene hydrocarbons
20	N-tricosane	4.57	Non-terpene hydrocarbons
21	N-pentacosane	2.22	

شناسایی ترکیبات موجود در اسانس گیاه بابونه

براساس نتایج به‌دست‌آمده از مزرعه، عصاره بابونه بیشترین اثر سمیت و مهاری را روی ۲۷ گونه علف هرز مورد مطالعه داشت.

بنابراین در این مطالعه، ترکیبات اسانس و پتانسل دگرآسیبی ترکیبات آن روی علف‌های هرز بررسی شد. نمودار حاصل از گاز کروماتوگرام حاصل از آنالیز اسانس بابونه در (شکل ۲) گزارش شده است. تجزیه و تحلیل GC-MS ترکیبات اسانس بابونه، حضور ترکیبات شیمیایی

مایرتنیل استات منتشر شده توسط اسانس *Atriplex cana* را آزمایش کرده‌اند که سمیت گیاهی قوی در برابر *Amaranthus retroflexus* و *Poa annua* نشان داد و به‌طور قابل توجهی از جوانه‌زنی و رشد گیاهچه جلوگیری کرد. به‌علاوه پتانسیل بازدارندگی ترکیبات کاریوفیلن اکسید، مایرتنیل استات، شیبونول^{۱۵}، ترانس-کاریوفیلن^{۱۶} در برابر علف هرز *Dactyloctenium aegyptium* گزارش شده است (Abd-ElGawad et al., 2021). یافته‌های پژوهش حاضر، فعالیت فیتوتوکسیک قابل توجه عصاره بابونه را در برابر علف‌های هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش نشان داد. مطابق با نتایج این تحقیق، اثرات علف‌کشی اسانس‌های ۱۸ گونه گیاهی بر روی گیاهچه سوروف (*Echinochloa crus-galli*) و بی‌تی‌راخ (*G. aparine*) توسط شو و همکاران (Xu et al., 2023) مورد سنجش قرار گرفت. در میان آن‌ها، پنج ترکیب ترپنوئیدی مایرتنیل استات، گلیسرول تری استات^{۱۷}، لینالول^{۱۸}، ال-منتول^{۱۹} و سینن^{۲۰} موجود در سه اسانس (لیمو، اسطوخودوس و بابونه) اثر علف‌کشی قوی بر علف‌های هرز مورد مطالعه داشتند. بنابراین فعالیت بازدارندگی و علف‌کشی قابل توجه مشاهده‌شده در عصاره بابونه را می‌توان به درصد بالای ترکیبات ترپنوئیدی به‌ویژه ترکیب مایرتنیل استات نسبت داد.

بازدارندگی

میزان بازدارندگی از رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف (عصاره‌ها)، سال و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۵). براساس نتایج حاصل از تجزیه برش‌دهی، اثر عصاره‌های گیاهی بر بازدارندگی از رشد علف‌هرز بی‌تی‌راخ در هر دو سال به‌طور معنی‌داری مشهود بود ($P < 0.01$) (جدول ۶). در هر دو سال اجرای پژوهش، کاربرد عصاره‌های گیاهی منجر به افزایش درصد بازدارندگی از رشد علف‌هرز بی‌تی‌راخ شد. در سال اول، بیشترین میزان بازدارندگی از رشد بی‌تی‌راخ (۵۳/۳۳ درصد) با محلول‌پاشی عصاره کنگر به دست آمد. این تیمار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با اسید پلارگونیک، عصاره بابونه و علف‌کش چلنج نداشت. در مقابل، عصاره بادام‌زمینی کمترین میزان بازدارندگی (۱۵/۷۶ درصد) را نشان داد و اثر ناچیزی بر رشد گیاهچه بی‌تی‌راخ داشت، درحالی‌که عصاره بادام‌زمینی با ۱۵/۷۶ درصد اثر بازدارندگی

متنوعی را نشان داد. در مجموع، ۲۱ ترکیب در اسانس بابونه شناسایی شد که ۸۲/۴۹ درصد از کل اسانس بابونه را تشکیل می‌دهند. در بین این ترکیبات مایرتنیل استات^۱، دکانوئیک اسید^۲، اسپاتونول و کاریوفیلن اکسید^۳ به‌ترتیب با میزان ۲۰/۳۷، ۹/۸۵، ۷/۹۹ و ۵/۱۲ درصد بیشترین ترکیبات موجود در اسانس بابونه بودند (جدول ۴). ترکیبات فعال زیستی عصاره کنگر و پوسته بادام‌زمینی، مانند اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها (Tarhan et al., 2023; Nunes et al., 2024)، احتمالاً در اثرات دگرآسیبی مشاهده‌شده نقش داشته‌اند. در اسانس بابونه، ۲۱ ترکیب شناسایی شد که ترکیبات مایرتنیل استات، دکانوئیک اسید، اسپاتونول و کاریوفیلن اکسید عمده‌ترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس بابونه بودند. ترکیب شیمیایی شناخته شده اسانس بابونه توسط آنالیز GC-MS عمدتاً با یافته‌های نژادحبیب‌وش (Nejadhabibvash, 2017) مطابقت داشت. بر این اساس، ۲-پنتانون^۴، کاریوفیلن اکسید، اسپاتونول، آلفا-فارنزن^۵، بتا-اودسمول^۶ و بتا-سسکوئی‌فلاندرن^۷ به‌عنوان اجزاء اصلی اسانس بابونه (*Anthemis wiedemanniana*) شناسایی شدند. همچنین در عصاره بابونه (*Matricaria chamomilla*)، ترکیبات ۸-و ۸-سینئول^۸، لیمونن^۹، کامفن^{۱۰}، کافور^{۱۱} و P-سیمن^{۱۲} یافت شد (Madadi et al., 2022). اسانس‌های استخراج‌شده از گیاهان مختلف علاوه‌بر هیدروکربن‌ها، حاوی مخلوط پیچیده‌ای از متابولیت‌های ثانویه مانند مونوترپنوئیدها، سسکوئی‌ترپنوئیدها و دی‌ترپنوئیدها هستند که به‌عنوان مواد شیمیایی فیتوتوکسیک (آلووشیمیایی) شناخته شده‌اند (Ibáñez & Blázquez, 2018). اسانس‌ها، پتانسیل مهاری در جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه، ایجاد تنش اکسیداتیو و اختلال در فتوسنتز و سازوکارهای تنفسی نشان دادند (Pouresmaeil et al., 2020). به‌طور کلی، اسانس‌های گیاهی منابع ارزشمندی از ترکیبات هستند که دارای فعالیت سمی گیاهی هستند و بنابراین دارای پتانسیل خاصی به‌عنوان علف‌کش‌های طبیعی هستند (Álvarez-Rodríguez et al., 2023a). در این زمینه، وی و همکاران (Wei et al., 2019) فعالیت سمیت گیاهی ترکیبات دی‌بوتیل فتالات^{۱۳}، اکالیپتول^{۱۴} و

- 1- Myrtenyl acetate
- 2- Decanoic acide
- 3- Caryophyllene oxide
- 4- 2-pentanone
- 5- α -farnesene
- 6- β -eudesmol
- 7- β -sesquiphellandrene
- 8- 1,8-cineole
- 9- Limonene
- 10- Camphene
- 11- Camphor
- 12- P-cymene
- 13- Dibutyl Phthalate

- 14- Eucalyptol
- 15- Shyobunol
- 16- Trans-caryophyllene
- 17- Glycerol triacetate
- 18- Linalool
- 19- L-Menthol
- 20- Cinene

ناچیزی بر رشد گیاهچه بی‌تی‌راخ داشت. در سال دوم، تیمار اسید پلارگونیک با ۴۷/۰۳ درصد و عصاره کنگر با ۴۶/۷۹ درصد اثر سرکوب‌کنندگی بالایی بر این علف‌هرز داشتند و کارایی آن‌ها به‌طور قابل توجهی بالاتر از علف‌کش چلنج بود. در مقابل، عصاره‌های بادام‌زمینی و بابونه اگرچه نسبت به شاهد اثر بازدارندگی بالاتری داشتند، اما در مهار علف‌هرز بی‌تی‌راخ از کارایی ضعیفی برخوردار بودند (شکل ۳).

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که عصاره‌های گیاهی اثر فیتوتوکسیک قابل توجهی بر بازدارندگی از رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای نشان دادند. استفاده از تیمار اسید پلارگونیک در سال اول با میزان ۷۰/۳ درصد اثر مهاری بیشتری بر رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای داشت. در رتبه بعدی، تیمارهای کنگر و بادام زمینی در سال اول و اسید پلارگونیک و کنگر در سال دوم بالاترین اثر بازدارندگی را بر رشد این علف‌هرز داشتند که نشان‌دهنده تأثیر قوی این تیمارها در مهار علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای بوده است، درحالی‌که عصاره بادام زمینی در سال دوم (۸/۴۳ درصد) و بابونه در سال اول (۲۰/۱ درصد) اثر مهاری ضعیفی بر رشد ماشک گل خوشه‌ای نشان دادند (شکل ۴).

در مطالعه حاضر، رشد علف‌های هرز در هر دو سال به‌دلیل

تداخل آلوشیمیایی فیتوتوکسیک موجود در عصاره‌ها به‌طور قابل توجهی مهار شد که این اثر سرکوب‌کنندگی با کاربرد عصاره کنگر بیشتر بود و با اسید پلارگونیک اختلافی نداشت. استفاده از عصاره *Cynara cardunculus*، رشد علف‌های هرز *A. retroflexus* و *P. oleracea* را مهار می‌کند و طول ریشه، طول هیپوکوتیل و اپیکوتیل و وزن خشک کل گیاهچه را کاهش می‌دهد که به حضور متابولیت‌های ثانویه مختلف نسبت داده می‌شود (Scavo et al., 2019).

ترکیبات مورد بررسی دارای اثرات آللوپاتیک قابل توجهی هستند که با کارایی علف‌کش‌های زیستی تجاری حاوی اسید پلارگونیک قابل مقایسه است (Ben Kaab et al., 2020). شهنواز و همکاران (Shahnawaz et al., 2017) با استفاده از عصاره ریشه بابونه (*Anthemis cotula*) در شرایط آزمایشگاهی، پتانسیل آللوپاتیک این گیاه را ارزیابی کرده و مهار رشد قابل توجهی در گونه‌های *Zea mays* و *Brassica caulorapa* گزارش نمودند. متابولیت‌های ثانویه می‌توانند تغییرات فیزیولوژیکی متعددی در گیاهان هدف ایجاد کنند که منجر به آسیب ساختار سلولی و اختلال در عملکرد طبیعی آن‌ها می‌شود.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تیمار (عصاره‌ها) بر درصد بازدارندگی از رشد علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Table 5- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of treatments (extracts) on the percentage of growth inhibition of hairy vetch weed in two years of the experiment

S.O.V	df	Inhibition
Block	2	6.92 ^{ns}
Year	1	889.33**
Treatment	4	1797.97**
Year × treatment	4	1088.87**
Total error	18	39.09
C.V (%)	-	13.28

^{ns} و **: به ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

ns and **: non-significant and significant at $P < 0.01$, respectively.

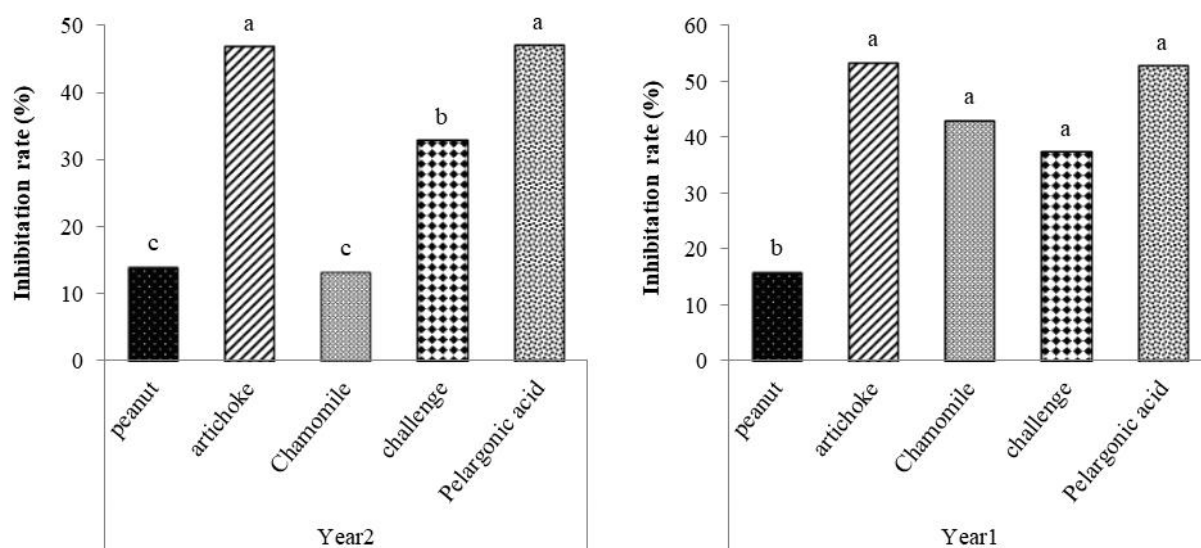
جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برش‌دهی اثر متقابل سال × تیمار بر درصد بازدارندگی از رشد علف‌هرز بی‌تی‌راخ در هر دو سال آزمایش

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of the year × treatment interaction effect on the percentage of growth inhibition of cleavers weed in two years of the experiment

S.O.V	df	Inhibition	
		Year 1 (2022)	Year 2 (2023)
Block	2	371.17 ^{ns}	210.41**
Treatment	4	707.40**	838.92**
Total error	8	91.07	21.62
C.V (%)	-	23.60	15.12

^{ns} و **: به ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد را نشان می‌دهد.

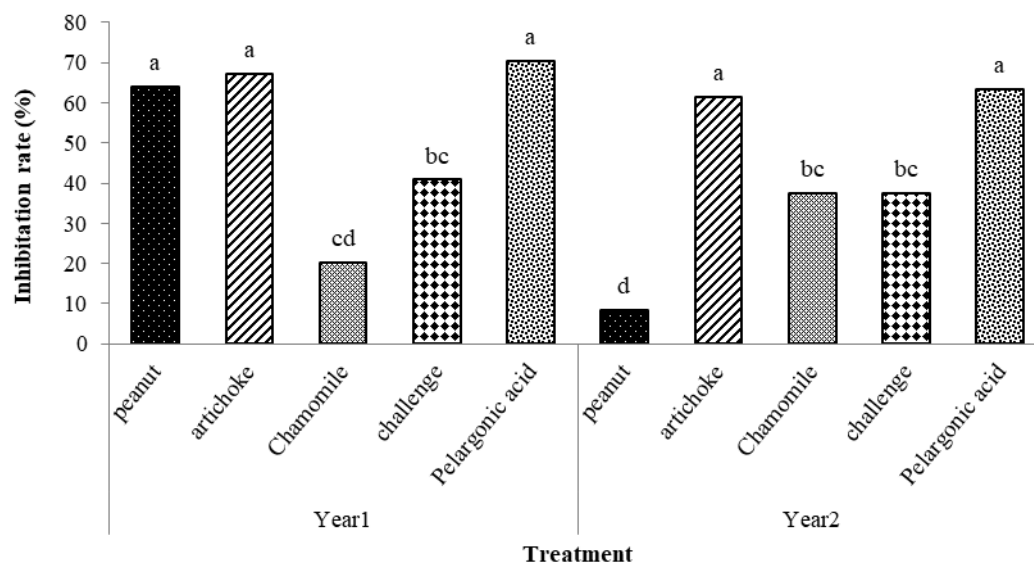
ns and **: non-significant and significant at $P < 0.01$, respectively.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های حاصل از برش‌دهی اثر متقابل سال و تیمار بر میزان بازدارندگی از رشد علف هرز بی‌تی‌راخ در هر دو سال آزمایش
 Figure 3- Comparison of mean slicing of the year $\times$ treatment interaction effect on the percentage of growth inhibition of cleavers weed over two years of the experiment

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تیمار بر میزان بازدارندگی از رشد علف هرز ماشک گل خوشه‌ای
 Figure 4- Comparison of mean interaction effect of year and treatment on the percentage of growth inhibition of hairy vetch weed

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the Same Letter within Each Column Are not significantly different according to the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% Probability Level.

از سوی دیگر، این ترکیبات با افزایش غلظت هورمون‌های گیاهی از جمله ایندول-۳-استیک اسید (IAA)، جبرلین‌ها، سیتوکینین‌ها و آبسزیک اسید (ABA) موجب مهار رشد گیاهچه می‌شوند (Dmitrović et al., 2025). همچنین، آلودگی‌های موجود در عصاره‌ها ممکن است از طریق مهار یا تغییر در بیان ژن و فرآیند طولی شدن سلول‌های مریستمی، تقسیم سلولی را محدود کنند (Uyun et al., 2024). این ترکیبات می‌توانند فرآیندهایی نظیر فتوسنتز، سنتز پروتئین و کربوهیدرات را در گیاهان هدف کاهش داده، محتوای کلروفیل را پایین آورده، متابولیسم انرژی را با تأثیر بر نفوذپذیری غشاء سلولی ریشه مختل کرده و با جلوگیری از تقسیم سلولی و انشعاب ریشه، در نهایت موجب کاهش رشد گیاه شوند (Alsharekh et al., 2022).

سبزی‌نگی

براساس نتایج تجزیه واریانس برش‌دهی، اثر تیمارهای مختلف عصاره‌های گیاهی بر میزان سبزی‌نگی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ در سال دوم و بر سبزی‌نگی ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال به‌طور معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷)، درحالی‌که در سال اول، تیمارهای اعمال‌شده تأثیر معنی‌داری بر سبزی‌نگی علف‌های بی‌تی‌راخ نداشتند. در سال دوم، گیاهان بی‌تی‌راخ تیمارشده با اسید پلارگونیک کمترین میزان سبزی‌نگی را با مقدار ۱۱/۰۳ نشان دادند که بیانگر بالاترین اثر مهاری در میان تیمارها بود. پس از آن، عصاره‌های کنگر (۱۲/۷۰)، بادام زمینی (۱۲/۷۸) و بابونه (۱۵/۹۵) نیز کاهش قابل توجهی در سبزی‌نگی و افزایش در میزان زردی نشان دادند. این تیمارها به‌ترتیب

موجب کاهش سبزی‌نگی به‌میزان ۶۹/۹۱ درصد، ۶۵/۳۶ درصد، ۶۵/۱۴ درصد و ۵۶/۴۹ درصد نسبت به شاهد شدند. در مقابل، تیمار با علف‌کش شیمیایی چلنج کاهش سبزی‌نگی کمتری نسبت به عصاره‌های گیاهی مذکور داشت، به‌گونه‌ای که تنها باعث ۳۹/۶۳ درصد کاهش در میزان سبزی‌نگی گیاهان بی‌تی‌راخ در مقایسه با شاهد شد (شکل ۵A).

محلول‌پاشی علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای با عصاره‌های گیاهی تأثیر متفاوتی بر میزان سبزی‌نگی داشت. در سال اول (۱۴۰۱)، تیمارهای اسید پلارگونیک و علف‌کش چلنج بیشترین کاهش را در سبزی‌نگی علف‌هرز نشان دادند. میزان سبزی‌نگی برای این تیمارها در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۶۰/۳۱ و ۵۰/۵۲ درصد کمتر بود. کاربرد عصاره‌های بادام زمینی، بابونه و کنگر نیز منجر به مقادیر پایین سبزی‌نگی بی‌تی‌راخ شد، اما در مقایسه با دو تیمار فوق، مقدار آن‌ها کمی بیشتر بود و اختلافی با شاهد نداشتند. به‌طور خاص، کاربرد عصاره‌های بادام زمینی، بابونه و کنگر، میزان سبزی‌نگی را در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۳۷/۳۶، ۲۴/۳۰ و ۲۳/۱۹ درصد کاهش داد. در سال دوم، تیمار عصاره بابونه نسبت به سایر تیمارها اثر سمیت بیشتری بر میزان سبزی‌نگی ماشک گل خوشه‌ای داشت و ۷۴/۲۸ درصد کمتر از شاهد بود. پس از آن کمترین میزان سبزی‌نگی در تیمارهای اسیدپلارگونیک و علف‌کش چلنج حاصل شد. این تیمارها میزان سبزی‌نگی را حدود ۶۹/۱۰ و ۶۳/۸۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دادند (شکل ۵B).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برش‌دهی اثر متقابل سال × تیمار بر میزان سبزی‌نگی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

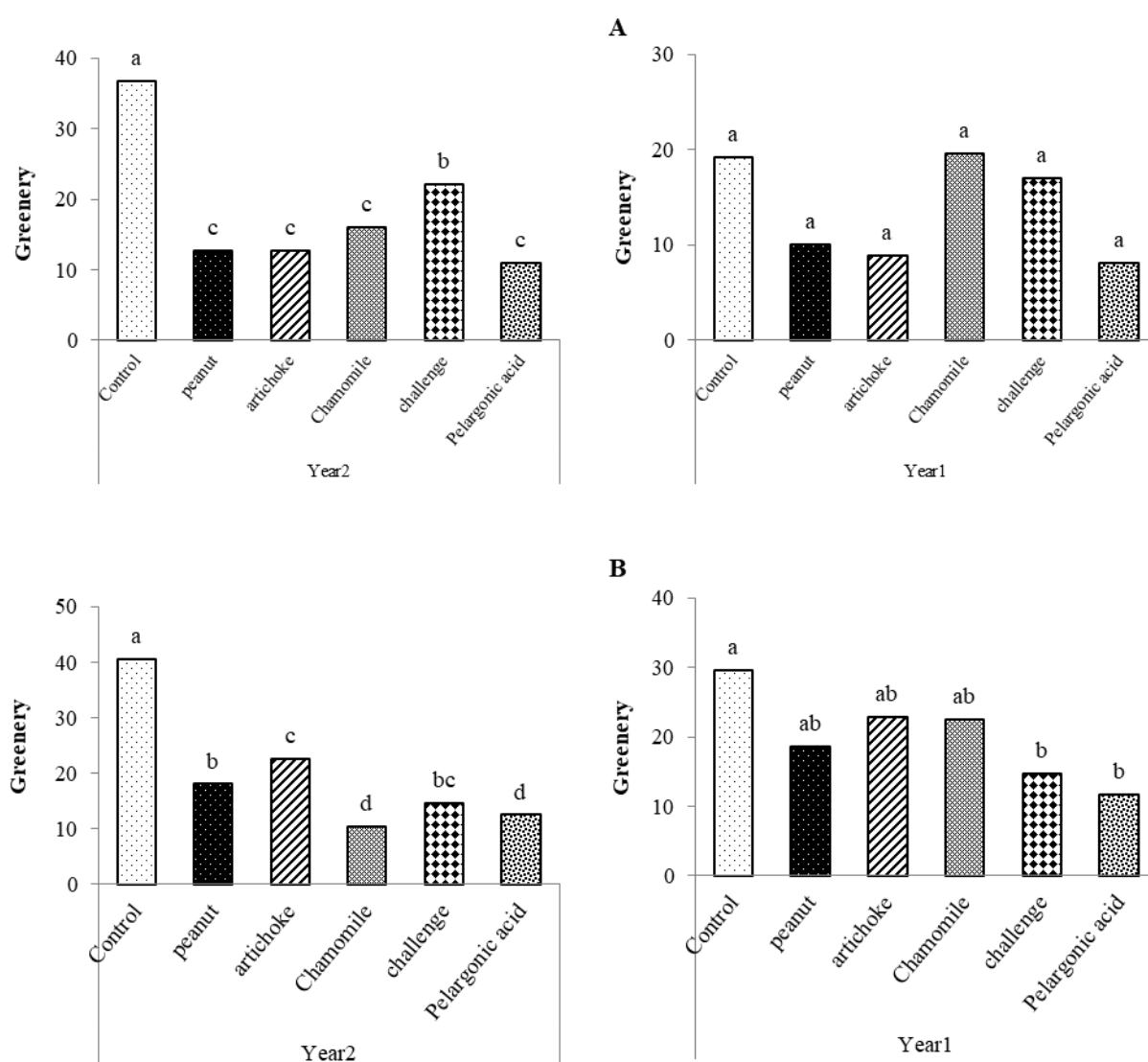
Table 7- Analysis of variance (mean of squares) of the year × treatment interaction effect on the greenness of cleavers and hairy vetch weeds in two years of the experiment

S.O.V	df	Greenery G. aparine		Greenery V. villosa	
		Year 1 (2022)	Year 2 (2023)	Year 1 (2022)	Year 2 (2023)
Block	2	13.95 ^{ns}	0.56 ^{ns}	43.70 ^{ns}	29.14 ^{ns}
Treatment	5	86.80 ^{ns}	283.08 ^{**}	122.79 [*]	364.79 ^{**}
Total error	22	46.50	10.60	39.71	10.39
C.V (%)	-	49.39	17.55	31.55	16.28

^{ns}، ^{**} و ^{*}: به ترتیب عدم‌معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهد. ns, ** and *: non-significant and significant at $P < 0.01$ and at $P < 0.05$, respectively.

2024). تنش اکسیداتیو باعث انرژی اضافه شده و کلروفیل این انرژی مازاد را جذب می‌کند و به مولکول‌های اکسیژن مجاور منتقل کرده و با تولید گونه‌های فعال اکسیژن منجر به آسیب اکسیداسیون نوری (سفید و زرد شدن برگ‌ها) می‌شود.

کلروپلاست‌ها به‌ویژه در برابر آسیب اکسیداتیو حساس هستند. گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) می‌تواند مستقیماً از طریق اکسیداسیون به مولکول‌های کلروفیل آسیب برساند (Uyun et al.,



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های حاصل از برش دهی اثر متقابل سال و تیمار بر میزان سبزیگی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (A) و ماشک گل خوشه‌ای (B) در هر دو سال آزمایش

Figure 5- Comparison of mean slicing of the year × treatment interaction effect on the greenness of cleavers weed (A) and hairy vetch (B) in two years of the experiment

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

اجزاء کلروفیل اتفاق بیفتد که می‌تواند تحت تأثیر آلوشیمیایی‌ها قرار گیرد (Pouresmaeil *et al.*, 2020). گزارش شده است که متابولیت‌های ثانویه با اثر بر پروتوپورفیرینوژن اکسیداز^۱ (PPO)، که تبدیل پروتوپورفیرینوژن به پروتوپورفیرین را کاتالیز می‌کند، بیوسنتز

آسیب بیش از حد منجر به تخریب غشاء و اکسیداسیون کلروفیل می‌شود (Ben Kaab *et al.*, 2020). سطوح بالای ROS می‌تواند آنزیم‌های دخیل در تخریب کلروفیل را فعال کند، مانند کلروفیلاز، که تجزیه مولکول‌های کلروفیل را تسریع می‌کند و محتوای کلروفیل را بیشتر کاهش می‌دهد (Uyun *et al.*, 2024). احتمال دیگر این است که سرکوب کلروفیل می‌تواند در نتیجه ممانعت از بیوسنتز یا تخریب

1- Protoporphyrinogen oxidase

کلروفیل در کلروپلاست را هدف قرار می‌دهد. این فرآیند شامل تجمع غیرقابل تنظیم رنگدانه بسیار فتودینامیک پروتوپورفیرین است که در مواجهه با نور باعث پراکسیداسیون سریع غشاء می‌شود (Verdeguer *et al.*, 2020). این مطالعه نشان داد که تیمار علف‌های هرز با عصاره‌های گیاهی منجر به کاهش میزان سبزی‌نگی در سال‌های اجرای آزمایش شد. هم‌راستا با نتایج این پژوهش، لوپس و همکاران (Lopes *et al.*, 2022) نشان دادند که محلول‌پاشی عصاره‌های *Piper tuberculatum* و *Ricinus communis* روی گیاهان *Bidens bipinnata* باعث زردی برگ‌ها، تأثیر بر محتوای کلروفیل و کاهش رشد می‌شود. در مطالعه پون‌پای‌بون‌پی‌ت و همکاران (Poonpaiboonpipat *et al.*, 2021)، میزان کلروفیل *Echinochloa crus-galli* به‌طور چشمگیری با افزایش غلظت عصاره *Chromolaena odorata* کاهش می‌یابد، که نشان‌دهنده توانایی آن در اختلال در فرآیند فتوسنتز است.

هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که هدایت روزنه‌ای علف‌هرز بی‌تی‌راخ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار عصاره‌های گیاهی، سال و برهم‌کنش تیمار و سال قرار گرفت (جدول ۸). براساس نتایج آزمون برهم‌کنش، اثر تیمارها (عصاره‌ها) در سال اول ($P < 0.05$) و دوم ($P < 0.01$) بر علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۹). بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز بی‌تی‌راخ در شاهد در سال دوم با مقدار $38/65$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه به دست آمد. در مقابل، کمترین هدایت روزنه‌ای این علف‌هرز مربوط به تیمار عصاره بابونه در سال دوم با مقدار $12/83$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه بود که بیانگر کاهش $66/80$ درصدی این صفت نسبت به شاهد همان سال است. همچنین، تیمارهای اسید پلارگونیک در سال

اول و دوم، و عصاره بابونه در سال اول، اثرات سمی مشابهی بر هدایت روزنه‌ای بی‌تی‌راخ داشتند و به‌ترتیب باعث کاهش $58/27$ ، $51/88$ و $55/16$ درصدی آن در مقایسه با تیمار شاهد در سال دوم شدند (شکل ۶).

در رابطه با میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای، محلول‌پاشی عصاره‌های گیاهی باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای برگ در هر دو سال آزمایش شد. در سال اول، کمترین میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای با اعمال تیمار اسید پلارگونیک به‌میزان $17/3$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه حاصل شد و بیشترین میزان آن در شاهد به‌میزان $29/1$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه بود که تأثیر اسید پلارگونیک بر هدایت روزنه‌ای $40/55$ درصد کمتر بود. پس از آن، عصاره کنگر کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشت و نسبت به شاهد کاهش $23/19$ درصدی نشان داد. در سال دوم، عصاره بابونه و اسید پلارگونیک به‌ترتیب با مقادیر $18/43$ و $19/2$ میلی‌مول CO_2 بر مترمربع در ثانیه کمترین میزان هدایت روزنه‌ای را داشتند. در رتبه بعدی، عصاره کنگر کارایی بالایی در کاهش هدایت روزنه‌ای داشت. تیمارهای ذکرشده نسبت به شاهد به‌ترتیب میزان هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای را $51/75$ ، $49/74$ و $36/23$ درصد کاهش دادند. در واقع، اثر کاربرد این تیمارها بر کاهش هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای در سال دوم نسبت به سال اول بارزتر بود (شکل ۷).

هدایت روزنه‌ای به‌نوبه خود با سرعت فتوسنتز در ارتباط است. کاهش هدایت روزنه‌ای بر توانایی گیاه برای انجام فتوسنتز با کاهش عبور گاز از روزنه تأثیر می‌گذارد، و مقدار کربن موجود برای تثبیت را کاهش می‌دهد، بنابراین سرعت فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Fu *et al.*, 2019).

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تیمار (عصاره‌ها) بر صفات فتوسنتزی علف‌های هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Table 8- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of treatments (extracts) on photosynthetic traits of cleavers and hairy vetch weeds in two years of the experiment

S.O.V	df	Stomatal conductance		Chlorophyll fluorescence	
		<i>G. aparine</i>		<i>G. aparine</i>	<i>V. villosa</i>
Block	2	444.80**		0.0020 ^{ns}	0.0082*
Year	1	67.40*		0.0142 ^{ns}	0.0073 ^{ns}
Treatment	5	335.55**		0.0978**	0.0367**
Year × treatment	5	42.11*		0.0147**	0.0121**
Total error	22	12.73		0.0037	0.0018
C.V (%)	-	14.31		9	6.01

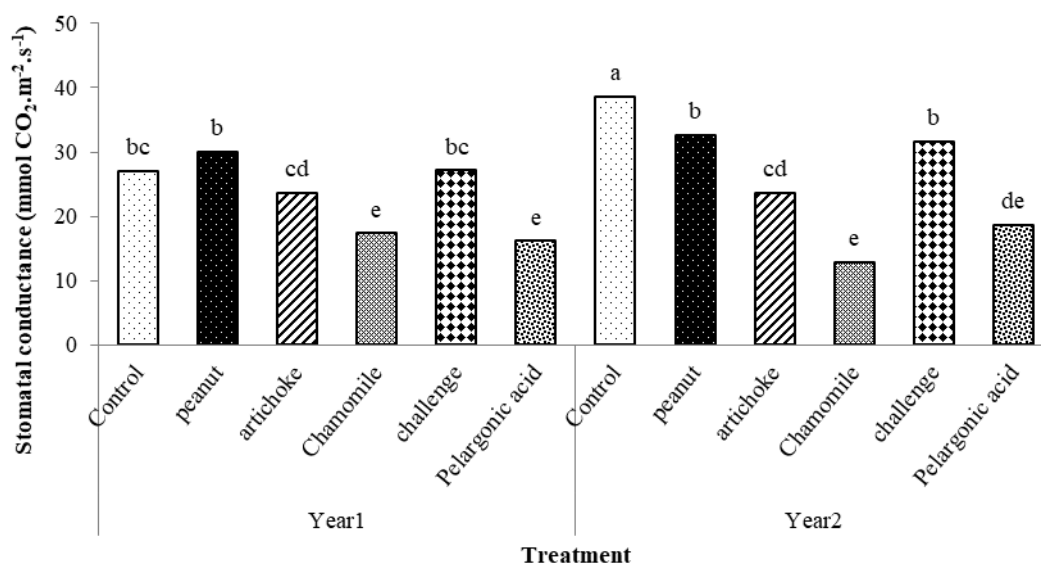
^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهد. ns, ** and *: non-significant and significant at $P < 0.01$ and at $P < 0.05$, respectively.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر متقابل سال × تیمار بر میزان هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Table 9- Analysis of variance (mean of squares) of the year × treatment interaction effect on the stomatal conductance of hairy vetch weed in two years of the experiment

S.O.V	df	Stomatal conductance	
		Year 1 (2022)	Year 2 (2023)
Block	2	158.57**	143.83**
Treatment	5	59.29*	165.78**
Total error	22	17.54	5.09
C.V (%)	-	17.43	8.56

ns، ** و * : به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد را نشان می‌دهد.
ns, ** and *: ns and significant at $P < 0.01$ and at $P < 0.05$, respectively.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تیمار بر میزان هدایت روزنه‌ای علف‌های هرز بی‌تی‌راخ

Figure 6- Comparison of mean interaction effect of year and treatment on the stomatal conductance of cleavers weed

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی داری با یکدیگر ندارند.

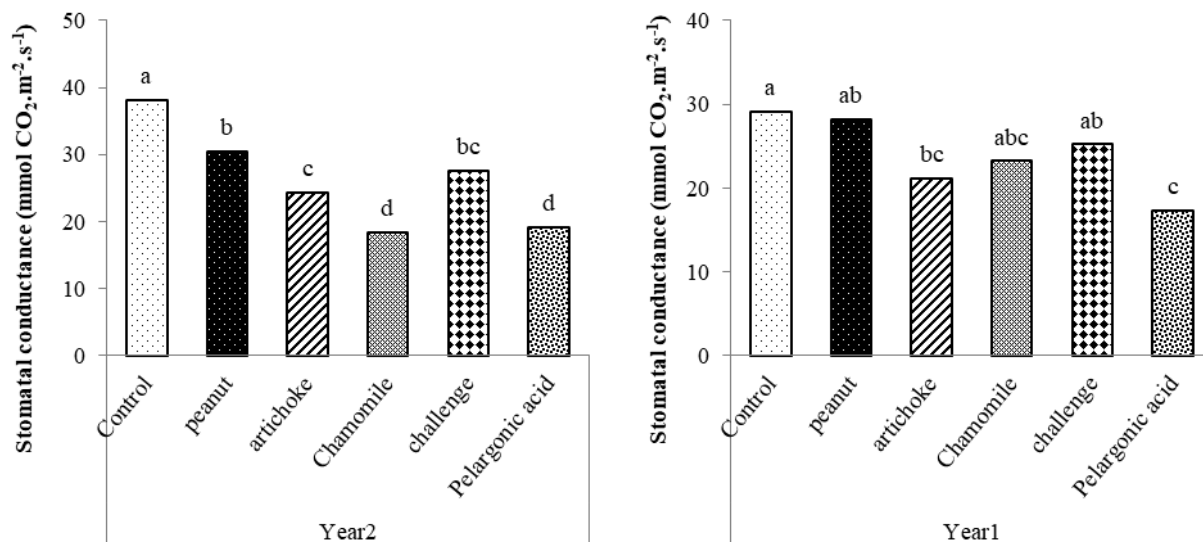
Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

(Verdeguer *et al.*, 2020). همچنین، متابولیت‌های ثانویه باعث تغییر قابل توجهی در وضعیت آب گیاه همراه با افزایش محتوای ABA، باعث بسته شدن کامل روزنه‌ها و در نتیجه، کاهش تبخیر و تعرق و تجمع گرما در سطح لامینای برگ می‌شود. این اثرات با تجمع شدید ROS باعث تنش اکسیداتیو و آسیب غشاء سلولی شد (Araniti *et al.*, 2020). جانوساسکایت (Janusauskaitė, 2023) بیان کردند که غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ درصد عصاره آبی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، اثرات بازدارندگی بر سرعت فتوسنتز نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) نشان دادند. راندمان مصرف آب، هدایت روزنه‌ای و محدودیت روزنه مهار شد، درحالی که سرعت تعرق، راندمان استفاده از آب فتوسنتزی و غلظت CO₂ بین سلولی با افزایش

روزنه‌ها نقش کلیدی در گیاهان دارند، زیرا هم از دست دادن آب و هم جذب CO₂ را کنترل می‌کنند. ترکیبات طبیعی با باز و بسته کردن بیش از حد دهانه روزنه‌ها می‌توانند عملکرد آن‌ها را تغییر دهند و باعث اثرات کشنده بر گیاهان شود (Dalcin *et al.*, 2022). در مطالعات انجام گرفته مشخص شده است که ترکیبات ترپنوئیدی از بسته شدن روزنه‌ها و ایجاد تغییرات در اسکلت سلولی روزنه، که نقشی محوری در حرکات روزنه‌ها دارد، جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، تیمار طولانی مدت ترکیبات ترپنوئیدی باعث کاهش بیان ژن‌های MPK3 و ABF4، که پروتئین‌های دخیل در فرآیند بسته شدن روزنه‌ها را کدگذاری می‌کنند، و همزمان کاهش بیان PEPCase، که آنزیمی مهم برای باز شدن روزنه‌ها است، می‌شود

ساعت و بعد با استفاده از علف‌کش گیاهی WeedLock مهار شد (Hasan et al., 2022) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

غلظت عصاره نسبت به شاهد تحریک شد. به‌طور مشابه هدایت روزنه‌ای گیاهان *Z. Eleusine indica* *Ageratum conyzoides* و *mays* و *Amaranthus gangeticus* به‌طور قابل ملاحظه‌ای در ۲۴



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های حاصل از برش‌دهی اثر متقابل سال و تیمار بر میزان هدایت روزنه‌ای علف‌هرز ماشک گل خوشه‌ای در هر دو سال آزمایش

Figure 7- Comparison of mean slicing of the year and treatment interaction effect on the stomatal conductance of hairy vetch weed in two years of the experiment

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

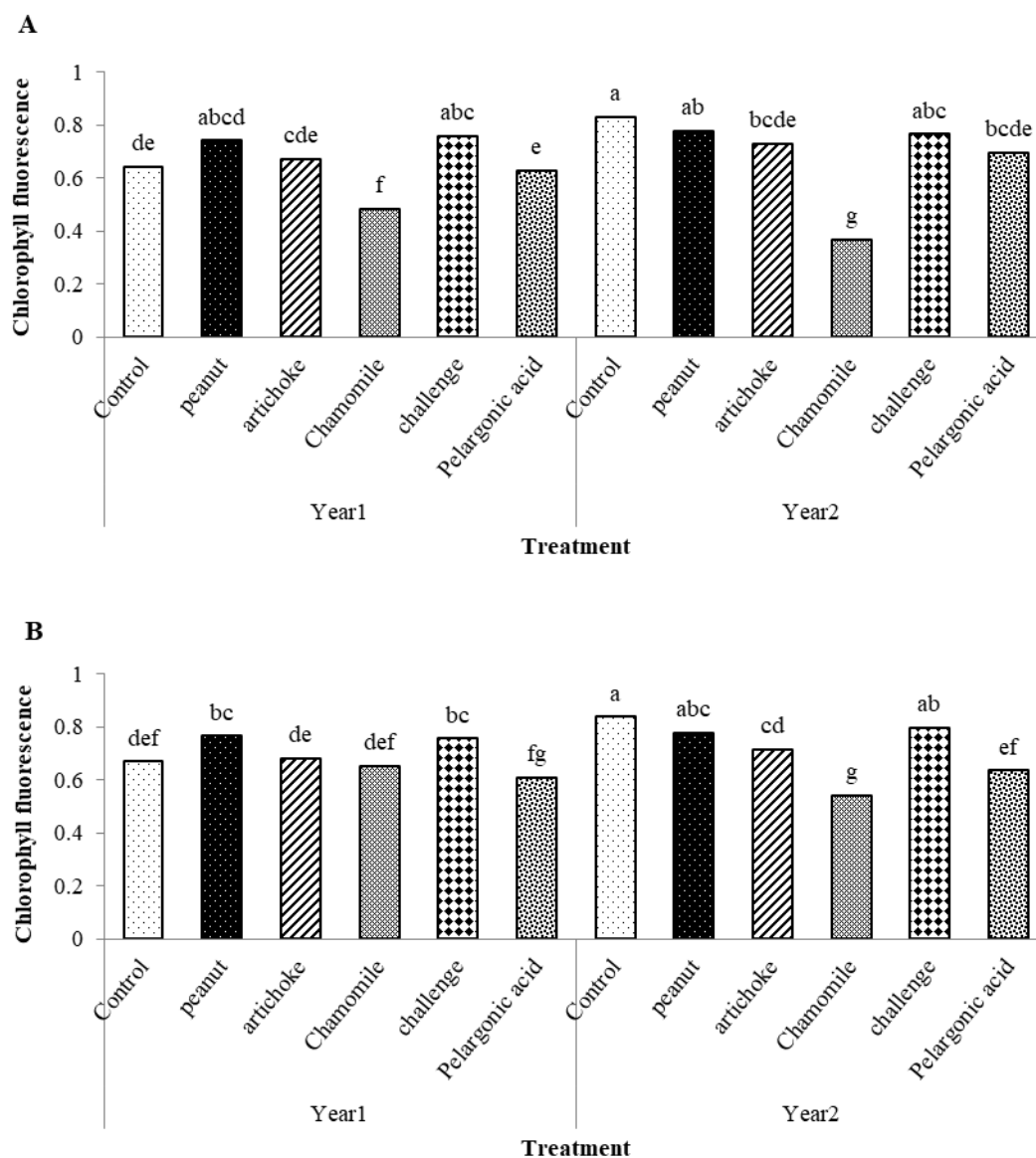
اسید پلارگونیک در سال اول بیشترین اثر سمیت را بر کاهش فلورسانس کلروفیل ماشک گل‌خوشه‌ای نشان دادند. این تیمارها به‌ترتیب موجب کاهش ۳۶/۱۴ و ۲۷/۷۱ درصدی فلورسانس کلروفیل نسبت به شاهد در سال دوم شدند. با این حال، عصاره بابونه در سال دوم از کارایی بالاتری در کاهش این شاخص برخوردار بود و توانست میزان فلورسانس کلروفیل علف‌هرز ماشک گل‌خوشه‌ای را در مقایسه با سایر تیمارها، و حتی علف‌کش چلنج، در هر دو سال کاهش دهد (شکل ۸).

تجزیه و تحلیل فلورسانس کلروفیل (Fv/Fm) اغلب برای بررسی جنبه‌های فیزیولوژیکی فتوسنتز و مشخص کردن عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه استفاده می‌شود (Ben Kaab et al., 2020). همچنین با موفقیت برای تشخیص اثرات علف‌کش‌ها بر روی فتوشیمی PSII استفاده شده است. مقدار Fv/Fm نشان‌دهنده حداکثر بازده کوانتومی PSII است و کاهش آن نشان‌دهنده غیرفعال شدن PSII (آسیب نوری) و یا مسدود شدن مسیرهای انتقال الکترون و انرژی از دست رفته است (Pouresmaeil et al., 2020).

فلورسانس کلروفیل

میزان فلورسانس کلروفیل در هر دو گونه علف‌هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل‌خوشه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای عصاره‌های گیاهی (تیمارها) و برهم‌کنش تیمار و سال قرار گرفت ($P \leq 0.01$) (جدول ۸). در هر دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲، تیمار عصاره بابونه به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۸ و ۰/۳۶، بیشترین تأثیر را در کاهش میزان فلورسانس کلروفیل علف‌هرز بی‌تی‌راخ داشت (به‌ترتیب ۴۲/۱۷ و ۵۶/۶۳ درصد)، به‌طوری‌که که اثر مهاری آن حتی بیشتر از علف‌کش چلنج بود. همچنین تیمار اسید پلارگونیک در سال اول باعث کاهش بیشتری در فلورسانس کلروفیل شد. میزان فلورسانس کلروفیل در گیاهان تیمار شده با این ماده، در سال دوم حدود ۲۵/۳۰ درصد کمتر از گیاهان شاهد در سال دوم بود. تیمار علف‌کش چلنج در سال اول و دوم، به‌ترتیب میزان فلورسانس کلروفیل بی‌تی‌راخ را ۹/۶۴ و ۸/۴۳ درصد نسبت به گیاهان شاهد در سال دوم کاهش داد (شکل ۸).

در میان تمام تیمارهای اعمال شده، عصاره بابونه در سال دوم و



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تیمار بر میزان فلورسانس کلروفیل علف‌های هرز بی‌تی‌راخ (A) و ماشک گل خوشه‌ای (B)
Figure 8- Comparison of mean interaction effect of year and treatment on the chlorophyll fluorescence of cleavers weed (a) and hairy vetch weed (B)

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by the same letter within each column are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at 5% probability level.

اتلاف کمی به انرژی شیمیایی تبدیل می‌کند (Uyun et al., 2024). نویسندگان پیشنهاد کردند که نشأت الکترون در غشاء تیلاکوئید و آسیب به غشاء تیلاکوئید به دلیل اکسیداسیون آن در کلروپلاست، انتقال الکترون از PSII به فتوسیستم I (PSI) را مختل می‌کند (Verdeguer et al., 2020). در پژوهش حاضر با کاربرد عصاره

این کاهش همچنین ممکن است به کاهش کلروفیل و همچنین دنا توره شدن پروتئین‌های متصل‌شونده به کلروفیل مرتبط باشد (Araniti et al., 2020). نور توسط رنگدانه‌های آنتن جذب شده و در طی فتوسنتز به مراکز واکنش PSI و PSII منتقل می‌شود. این مراکز، واکنش‌های فتوشیمیایی اولیه را آغاز می‌کنند که انرژی نور را با

بابونه در سال دوم، میزان فلورسانس کلروفیل هر دو گونه علف‌هرز بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای بیشترین کاهش را نشان داد. نتایج مشابه اخیراً توسط آوارز-رودریگز و همکاران (Alvarez-Rodríguez et al., 2023a) پس از تیمار اسانس *Carlina acaulis* روی علف هرز *Bidens pilosa* مشاهده شده است. آن‌ها این کاهش را با تنش اکسیداتیو و فرآیندهای نکرور مرتبط دانستند. همچنین محلول‌پاشی تیمار هارمالین روی گیاهان بالغ *Fv/Fm Arabidopsis thaliana* را کاهش داد که نشان‌دهنده آسیب‌های فیزیکی در فتوسیتسم II است (Alvarez-Rodríguez et al., 2023b).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که عصاره بابونه در شرایط آزمایشی، به‌دلیل ترکیبات فیتوتوکسیک، به‌طور قابل‌توجهی سبزی‌نگی، هدایت روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل بی‌تی‌راخ و ماشک گل خوشه‌ای را در هر دو سال کاهش داد و در برخی موارد کارایی بالاتری نسبت به علف‌کش چلنج نشان داد. عصاره بابونه در سال دوم به‌طور مؤثری سبزی‌نگی (۷۴/۲۸ درصد کاهش در ماشک گل خوشه‌ای)، هدایت روزنه‌ای (۶۶/۸۰ درصد کاهش در بی‌تی‌راخ و ۵۱/۷۵ درصد در ماشک

گل خوشه‌ای) و فلورسانس کلروفیل (۵۶/۶۳ درصد کاهش در بی‌تی‌راخ و ۳۶/۱۴ درصد در ماشک گل خوشه‌ای) را کاهش داد و در مقایسه با علف‌کش شیمیایی چلنج، عملکرد سمی بهتری از خود نشان داد. اسید پلارگونیک در سال اول رشد ماشک گل خوشه‌ای (۷۰/۳ درصد) و در هر دو سال رشد بی‌تی‌راخ (۵۲/۷۶ درصد در سال اول و ۴۷/۰۳ درصد در سال دوم) را به‌طور مؤثری مهار کرد و سبزی‌نگی بی‌تی‌راخ (۶۹/۹۱ درصد در سال دوم) و ماشک گل خوشه‌ای (۶۰/۳۱ درصد در سال اول) و هدایت روزنه‌ای ماشک گل خوشه‌ای (۴۰/۵۵ درصد در سال اول و ۴۹/۷۴ درصد در سال دوم) را کاهش داد. عصاره کنگر نیز رشد بی‌تی‌راخ (۵۳/۳۳ درصد در سال اول و ۴۶/۷۹ درصد در سال دوم) و ماشک گل خوشه‌ای (۶۷/۱۳ درصد در سال اول) را به‌طور قابل‌توجهی مهار کرد. تجزیه‌وتحلیل اسانس بابونه، ۲۱ ترکیب را شناسایی کرد که مایرتیل استات به‌عنوان ترکیب اصلی، احتمالاً مسئول اثرات علف‌کشی است. این یافته‌ها نشان‌دهنده پتانسیل عصاره بابونه، کنگر و اسید پلارگونیک به‌عنوان گزینه‌های پایدار برای مدیریت علف‌های هرز در مزارع نخود است، اما مطالعات بیشتری برای بهینه‌سازی کاربرد و بررسی سازوکارهای دگرآسیبی آن‌ها توصیه می‌شود.

References

1. Abd-ElGawad, A.M., Elgamal, A.M., Ei-Amier, Y.A., Mohamed, T.A., El Gendy, A.E.N.G., & Elshamy, A.I. (2021). Chemical composition, allelopathic, antioxidant, and anti-inflammatory activities of sesquiterpenes rich essential oil of *Cleome amblyocarpa* Barratte & Murb. *Plants*, 10(7), 1294. <https://doi.org/10.3390/plants10071294>
2. Al-Batsh, L.J., & Qasem, J.R. (2020). Phytotoxicity of wild plants extracts to redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) and nettle-leaved goosefoot (*Chenopodium murale* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(6), 1493–1502.
3. Al-Harbi, N.A. (2016). Allelopathic potential of *Artemisia herba-alba* and *Anthemis arvensis* to control weeds in wheat (*Triticum aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare*). *South Asian Journal of Experimental Biology*, 6(3), 95–100.
4. Alsharekh, A., El-Sheikh, M.A., Alatar, A.A., & Abdel-Salam, E.M. (2022). Natural control of weed invasions in hyper-arid arable farms: Allelopathic potential effect of *Conocarpus erectus* against common weeds and vegetables. *Agronomy*, 12(3), 703. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030703>
5. Álvarez-Rodríguez, S., Alvite, C.M., Reigosa, M.J., Sánchez-Moreiras, A.M., & Araniti, F. (2023a). Application of indole-alkaloid harmaline induces physical damage to photosystem II antenna complexes in adult plants of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(15), 6073–6086. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00531>
6. Álvarez-Rodríguez, S., Spinozzi, E., Sánchez-Moreiras, A.M., López-González, D., Ferrati, M., Lucchini, G., Maggi, F., Petrelli, R., & Araniti, F. (2023b). Investigating the phytotoxic potential of *Carlina acaulis* essential oil against the weed *Bidens pilosa* through a physiological and metabolomic approach. *Industrial Crops and Products*, 203, 117149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117149>
7. Araniti, F., Miras-Moreno, B., Lucini, L., Landi, M., & Abenavoli, M.R. (2020). Metabolomic, proteomic and physiological insights into the potential mode of action of thymol, a phytotoxic natural monoterpene phenol. *Plant Physiology and Biochemistry*, 153, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.008>
8. Aslani, F., Juraimi, A.S., Ahmad-Hamdani, M.S., Omar, D., Alam, M.A., Hashemi, F.S.G., Hakim, M.A., & Uddin, M.K. (2014). Allelopathic effect of methanol extracts from *Tinospora tuberculata* on selected crops and rice weeds. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 64(2), 165–177. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.898784>

9. Ben Kaab, S., Fernández Pierna, J.A., Foncoux, B., Compère, P., Baeten, V., & Jijakli, M. H. (2024). Biochemical and physiological responses of weeds to the application of a botanical herbicide based on cinnamon essential oil. *Plants*, 13(23), 3432. <https://doi.org/10.3390/plants13233432>
10. Ben Kaab, S., Lins, L., Hanafi, M., Bettaieb Rebey, I., Deleu, M., Fauconnier, M.L., Ksouri, R., Jijakli, M.H., & De Clerck, C. (2020). *Cynara cardunculus* crude extract as a powerful natural herbicide and insight into the mode of action of its bioactive molecules. *Biomolecules*, 10(2), 209. <https://doi.org/10.3390/biom10020209>
11. Casimiro, G.S., Mansur, E., Pacheco, G., Garcia, R., Leal, I.C.R., & Simas, N.K. (2017). Allelopathic activity of extracts from different Brazilian peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars on lettuce (*Lactuca sativa*) and weed plants. *The Scientific World Journal*, 2017, Article 2796983. <https://doi.org/10.1155/2017/2796983>
12. Dalcin, M.S., Dias, B.L., Viteri Jumbo, L.O., Oliveira, A.C., Araújo, S.H., Moura, W.S., Mourão, D.S., Ferreira, T.P., Campos, F.S., Cangussu, A.S.R., & Santos, G.R. (2022). Potential action mechanism and inhibition efficacy of *Morinda citrifolia* essential oil and octanoic acid against *Stagonosporopsis cucurbitacearum* infestations. *Molecules*, 27(16), 5173. <https://doi.org/10.3390/molecules27165173>
13. Dmitrović, S., Nestorović Živković, J., Smailagić, D., Trajković, M., Banjac, N., Ninković, S., & Stanišić, M. (2025). Via air or rhizosphere: The phytotoxicity of *Nepeta* essential oils and *Malus dihydrochalcones*. *Plants*, 14(5), 701. <https://doi.org/10.3390/plants14050701>
14. Đorđević, T., Đurović-Pejčev, R., Stevanović, M., Sarić-Krsmanović, M., Radivojević, L., Šantrić, L., & Gajić-Umiljendić, J. (2022). Phytotoxicity and allelopathic potential of *Juglans regia* L. leaf extract. *Frontiers in Plant Science*, 13, 986740. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.986740>
15. Falleh, H., Msilini, N., Oueslati, S., Ksouri, R., Magne, C., Lachaâl, M., & Karray-Bourauoui, N. (2013). *Diplotaxis harra* and *Diplotaxis simplex* organs: Assessment of phenolics and biological activities before and after fractionation. *Industrial Crops and Products*, 45, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.017>
16. Fu, Y.H., Quan, W. X., Li, C.C., Qian, C.Y., Tang, F.H., & Chen, X.J. (2019). Allelopathic effects of phenolic acids on seedling growth and photosynthesis in *Rhododendron delavayi* Franch. *Photosynthetica*, 57(2), 377–387. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.045>
17. Hasan, M., Mokhtar, A.S., Mahmud, K., Berahim, Z., Rosli, A.M., Hamdan, H., Motmainna, M., & Ahmad-Hamdani, M. S. (2022). Physiological and biochemical responses of selected weed and crop species to the plant-based bioherbicide WeedLock. *Scientific Reports*, 12(1), 19602.
18. Ibáñez, M.D., & Blázquez, M.A. (2018). Phytotoxicity of essential oils on selected weeds: Potential hazard on food crops. *Plants*, 7(4), 79. <https://doi.org/10.3390/plants7040079>
19. Janusauskaite, D. (2023). The allelopathic activity of aqueous extracts of *Helianthus annuus* L., grown in boreal conditions, on germination, development, and physiological indices of *Pisum sativum* L. *Plants*, 12(9), 1920. <https://doi.org/10.3390/plants12091920>
20. Jassbi, A.R., Firuzi, O., Miri, R., Salhei, S., Zare, S., Zare, M., Masroorbabanari, M., Chandran, J.N., Schneider, B., & Baldwin, I.T. (2016). Cytotoxic activity and chemical constituents of *Anthemis mirheydari*. *Pharmaceutical Biology*, 54(10), 2044–2049. <https://doi.org/10.3109/13880209.2016.1141220>
21. Kaab, S.B., Rebey, I.B., Hanafi, M., Hammi, K.M., Smaoui, A., Fauconnier, M.L., De Clerck, C., Jijakli, M.H., & Ksouri, R. (2020). Screening of Tunisian plant extracts for herbicidal activity and formulation of a bioherbicide based on *Cynara cardunculus*. *South African Journal of Botany*, 128, 67–76.
22. Karimzadeh, H.R., Farhang, H.R., Rahimmalek, M., & Esfahani, M.T. (2023). Spatio-temporal variations of extract produced and fatty acid compounds identified of *Gundelia tournefortii* L. seeds in central Zagros, Iran. *Scientific Reports*, 13(1), 7665. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34538-5>
23. Khaliliaqdam, N., Faghfori, F., & Mir-Mahmoodi, T. (2014). Critical period for weed control of chickpea in a semi-arid region. *International Journal of Biosciences*, 5(2), 33–40. <https://doi.org/10.12692/ijb/5.2.33-40>
24. Lopes, R.W.N., Marques Morais, E., Lacerda, J.J.D.J., & Araújo, F.D.D.S. (2022). Bioherbicidal potential of plant species with allelopathic effects on the weed *Bidens bipinnata* L. *Scientific Reports*, 12(1), 13476.
25. Madadi, E., Fallah, S., Sadeghpour, A., & Barani-Beiranvand, H. (2022). Exploring the use of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) bioactive compounds to control flaxweed (*Descurainia sophia* L.) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Implication for reducing chemical herbicide pollution. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(11), 103421. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103421>
26. Mendes da Silva, L., Novaes Matilde, M.E., & Júnio da Silva, F. (2024). Allelopathic and phytochemical potential of the aqueous extract of *Curcuma longa* L.: Contributions to the production of bioherbicides. *Revista de Ciencias Agroveterinarias*, 23(2), 177–187.
27. Minbashi, M., Baghestani, M.A., & Mashhadi, H.R. (2008). Introducing an abundance index for assessing weed flora in survey studies. *Weed Biology and Management*, 8(3), 172–180. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00293.x>
28. Minh, T.N., Xuan, T.D., Tran, H.D., Van, T.M., Andriana, Y., Khanh, T.D., Quan, N.V., & Ahmad, A. (2019). Isolation and purification of bioactive compounds from the stem bark of *Jatropha podagrica*. *Molecules*, 24(5), 889. <https://doi.org/10.3390/molecules24050889>

29. Motmainna, M., Juraimi, A.S., Uddin, M.K., Asib, N.B., Islam, A.M., Ahmad-Hamdani, M.S., & Hasan, M. (2021). Phytochemical constituents and allelopathic potential of *Parthenium hysterophorus* L. in comparison to commercial herbicides to control weeds. *Plants*, 10(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/plants10071445>
30. Nejadhabibvash, F. (2017). Phytochemical composition of the essential oil of *Anthemis wiedemanniana* Fisch. & C.A.Mey. (Asteraceae) from Iran during different growth stages. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(5), 1349–1359. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1383191>
31. Nunes, Y.C., de Oliveira Santos, G., Machado, N.M., Otoboni, A.M., Laurindo, L.F., Bishayee, A., Fimognari, C., & Barbalho, S.M. (2024). Corrigendum to “peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds and by-products in metabolic syndrome and cardiovascular disorders: A systematic review of clinical studies” [*Phytomedicine*, 123, 155170]. *Phytomedicine*, 155870. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.155870>
32. Onwuka, G.I. (2006). Soaking, boiling and antinutritional factors in pigeon peas (*Cajanus cajan*) and cowpeas (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(5), 616–630. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00092.x>
33. Özer, Z. (2018). Investigation of phenolic compounds and antioxidant activity of *Mentha spicata* L. subsp. *spicata* and *M. longifolia* (L.) L. subsp. *typhoides* (Briq.) Harley decoction and infusion. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 5(2), 445–456. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.350089>
34. Poonpaiboonpipat, T., Krumsri, R., & Kato-Noguchi, H. (2021). Allelopathic and herbicidal effects of crude extract from *Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H. Rob. on *Echinochloa crus-galli* and *Amaranthus viridis*. *Plants*, 10(8), 1609. <https://doi.org/10.3390/plants10081609>
35. Pouresmaeil, M., Nojadeh, M.S., Movafeghi, A., & Maggi, F. (2020). Exploring the bio-control efficacy of *Artemisia fragrans* essential oil on the perennial weed *Convolvulus arvensis*: Inhibitory effects on the photosynthetic machinery and induction of oxidative stress. *Industrial Crops and Products*, 155, 112785. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112785>
36. Scavo, A., Pandino, G., Restuccia, A., Lombardo, S., Pesce, G.R., & Mauromicale, G. (2019). Allelopathic potential of leaf aqueous extracts from *Cynara cardunculus* L. on the seedling growth of two cosmopolitan weed species. *Italian Journal of Agronomy*, 14(2), 1373–1379. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1373>
37. Shah Nawaz, M.O.H.D., Malik, S.B., Dar, R.A., Hussain, M., Tak, A.Q., Chauhan, D., Qazi, H.A., Rather, I.A., Yaseen, M., Sirwal, S.Y., & Manisha, K. (2017). Allelopathic effect of aqueous root extract of *Anthemis cotula* L. on some important crops of Chenab Valley, Jammu and Kashmir, India. *Trends in Biosciences*, 10(44), 9096–9103.
38. Shokoohinia, Y., Sajjadi, S.E., Jassbi, A.R., Moradi, H., Ghassemi, N., & Schneider, B. (2015). Sesquiterpenes and flavonoids of *Anthemis odontostephana* var. *odontostephana*. *Chemistry of Natural Compounds*, 51(3), 491–494. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1322-8>
39. Tarhan, A., Firat, M., & Topal, G. (2023). Comprehensive study of all *Gundelia* L. taxa exists in the globe: An insight on LC-MS/MS based phytochemical investigation and bioactivity potential of 22 species. *Biochemical Systematics and Ecology*, 109, 104672. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104672>
40. Thang, P.T., Vien, N.V., Anh, L.H., Xuan, T.D., Duong, V.X., Nhung, N.T., Trung, K.H., Quan, N.T., Nguyen, C.C., Loan, L.T.K. & Ha, T.T.T. (2023). Assessment of allelopathic activity of *Arachis pintoi* Krapov. & WC Greg as a potential source of natural herbicide for paddy rice. *Applied Sciences*, 13(14), 8268. <https://doi.org/10.3390/app13148268>
41. Uyun, Q., Respatie, D.W., & Indradewa, D. (2024). Unveiling the allelopathic potential of *Wedelia* leaf extract as a bioherbicide against purple nutsedge: A promising strategy for sustainable weed management. *Sustainability*, 16(2), 479. <https://doi.org/10.3390/su16020479>
42. Vashishth, D.S., Bachheti, A., Bachheti, R.K., Alhag, S.K., Al-Shuraym, L.A., Kumar, P., & Husen, A. (2023). Reducing herbicide dependency: Impact of *Murraya koenigii* leaf extract on weed control and growth of wheat (*Triticum aestivum*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Agriculture*, 13(9), 1678. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091678>
43. Veisi, M., Turk, A.J., & Mansouri, M.S. (2024). Influence of herbicides-based weed management in chickpea. *Journal of Food Legumes*, 37(3), 297–304. <https://doi.org/10.59797/jfl.v37.i3.210>
44. Verdeguer, M., Sánchez-Moreiras, A.M., & Araniti, F. (2020). Phytotoxic effects and mechanism of action of essential oils and terpenoids. *Plants*, 9(11), 1571. <https://doi.org/10.3390/plants9111571>
45. Vijayalakshmi, M., & Ruckmani, K. (2016). Ferric reducing antioxidant power assay in plant extract. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, 11(3), 570–572. <https://doi.org/10.3329/bjpv.v11i3.27663>
46. Wardini, T.H., Afifa, I.N., Esyanti, R.R., Astutiningsih, N.T., & Pujisriswanto, H. (2023). The potential of invasive species *Praxelis clematidea* extract as a bioherbicide for *Asystasia gangetica*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(9), 4960–4967. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240914>
47. Wei, C., Zhou, S., Li, W., Jiang, C., Yang, W., Han, C., Zhang, C., & Shao, H. (2019). Chemical composition and allelopathic, phytotoxic and pesticidal activities of *Atriplex cana* Ledeb. (Amaranthaceae) essential oil. *Chemistry & Biodiversity*, 16(4), e1800595. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800595>

48. Xu, J., Bai, H., Bai, Z., & Li, Z. (2023). Characteristics of eighteen essential oils on *Echinochloa crus-galli* and *Galium aparine* seedling growth. *Pakistan Journal of Botany*, 55(3), 1051–1063. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-3\(6\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-3(6))
49. Yu, H.H., Park, J.S., & Lee, S. (2025). Enhanced bioactive compounds and antioxidant activity in germinated seeds of the new peanut variety. *BioTech*, 14(1), 12. <https://doi.org/10.3390/biotech14010012>
50. Zebarjad, Z., & Farjam, M.H. (2015). Evaluation of antimicrobial activity of essential oils from different parts of *Anthemis odontostephana* Boiss. var. *odontostephana*. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 7(3), 579–584.