Iranian Journal of Seed Research, 2024, 10(2): 167-186

Research Article

Evaluation of allelopathic stress of St. John's wort (*Hypericum perforatum*) on the germination, physiological, and biochemical characteristics of green pea (*Pisum sativum*), the benchmark plant sensitive to allelochemicals

Ebrahim Gholamalipour Alamdari[1,*], Meisam Habibi[2], Mohammad Hadi Masoumi[2], Maral Babayani[3], Ali Asghar Saravani[4]

Extended abstract

Introduction: In agricultural systems, several environmental stresses can remarkably alter the growth, physiological, and biochemical responses of plants under stress. One of these factors is the biochemical reactions between plants along with the production of secondary compounds. Allelochemicals mainly have defence and cell wall ligninization roles in plants and do not directly play a role in the growth processes of plants. Thus, an experiment was carried out to evaluate the effect of allelopathic stress of *Hypericum perforatum* on the germination, physiological, biochemical, and antioxidant activity characteristics of green pea, the benchmark plant sensitive to allelochemicals.

Materials and methods: The treatments included different concentrations of *H. perforatum* at 11 levels (i.e., 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100% of the aqueous extract). This research was carried out as a completely randomized design with three replications at the weed science laboratory of Gonbad Kavous University in 2023.

Results: The results of this study showed that one of the factors influencing the physiological, and biochemical characteristics of green pea is the concentration of the *H. perforatum* extract. In most cases, the percentage and rate of green pea germination, radicle and plumule length, and dry weight of radicle and plumule decreased with increased concentration of aqueous extract compared to the control, so that the greatest reduction in these characteristics was observed in 100% of *H. perforatum* extract. In contrast, the content of compatible osmolytes such as proline and soluble sugars, phenolic and flavonoid compounds, and antioxidant activity of green pea roots and plumules increased significantly in all studied treatments, with the highest increase in these characteristics observed at the concentration of 100% of *H. perforatum* aqueous extract. In general, the decrease in the dry weight of green pea seedlings due to the increase in the concentration of the aqueous extract of *H. perforatum*, despite the relative increase in the content of physiological and biochemical traits, indicates the high intensity of allelopathic stress of *H. perforatum* extract and their insufficiency, which leads to cytotoxicity against oxidative stress.

Conclusion: Considering the heterotoxicity effect of *H. perforatum* on green pea sensitive to allelochemicals and its distribution in gardens, barren lands, and wheat and corn fields, the possible effect of their residues in the next planting and even in case of presence in mixed cultivation should be considered.

Keywords: Allelopathic stress, Antioxidant activity, Aqueous extract, Oxidative stress, Phenolic compounds, Seedling dry weight

Highlights:

1- Aqueous extract obtained from the *H. perforatum* drastically reduces the germination and seedling growth of green peas.
2- The difference in the effect of the aqueous extract of *H. perforatum* on green pea, the benchmark plant sensitive to allelochemicals, depends on their concentration threshold.
3- The high intensity of allelopathic stress of *H. perforatum* extract and insufficient non-enzymatic antioxidants lead to oxidative stress.

[1]Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Golestan Province, Iran.
[2]Department of Biology, Faculty of Sciences and Engineering, Gonbad Kavous University, Golestan Province, Iran.
[3]Department of Horticulture, Faculty of Agricultural Engineering, Sharood University of Technology, Semnan province, Iran.
[4]Agronomy Department, Faculty of Plant production, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources, Golestan Province, Iran.

*Corresponding author, E-mail: eg.alamdari@gonbad.ac.ir

Received: 26.2.2024; Revised: 14.3.2024;
Accepted: 18.3.2024; Online Published: 19.3.2024

DOR:
DOI: 10.61186/yujs.10.2.167

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنش دگرآسیبی گل راعی (*Hypericum perforatum*) بر خصوصیات جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان‌شیمیایی نخود فرنگی (*Pisum sativum*)

ابراهیم غلامعلی پور علمداری[1*]، میثم حبیبی[2]، محمدهادی معصومی[2]، مارال بابایانی[3]، علی‌اصغر سراوانی[4]

چکیده مبسوط

مقدمه: در سامانه‌های زراعی، تنش‌های محیطی زیادی وجود دارند که می‌توانند موجب تغییرات قابل توجهی در پاسخ‌های رشد، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش شوند. یکی از این عوامل، اندرکنش‌های بیوشیمیایی بین گیاهان توام با تولید ترکیبات ثانویه می‌باشد. دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی بطور عمده دارای نقش دفاعی و لیگنینی نمودن دیواره سلولی گیاهان می‌باشند و به‌طور مستقیم نقشی در فرآیندهای رشدی در گیاهان ندارند. لذا آزمایشی با هدف ارزیابی اثر تنش دگرآسیبی گل راعی بر خصوصیات جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان‌شیمیایی نخود فرنگی انجام شد.

مواد و روش‌ها: تیمارها شامل غلظت‌های مختلف گل راعی در ۱۱ سطح (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد از عصاره آبی) بود. این تحقیق به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه علوم علف‌های هرز دانشگاه گنبدکاووس در سال ۱۴۰۲ به اجرا درآمد.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که یکی از عوامل تاثیرگذار بر خصوصیات فیزیولوژیکی، و بیوشیمیایی نخود فرنگی، غلظت عصاره گل راعی است. صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی در بیشتر موارد، با افزایش غلظت عصاره آبی در مقایسه با شاهد کاهش نشان دادند، به‌طوری که بیشترین کاهش این صفات مربوط به غلظت ۱۰۰ درصد عصاره آبی بود. در مقابل، محتوای اسمولیت‌های سازشی نظیر پرولین و قندهای محلول، ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی در کلیه تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد که بیشترین افزایش مربوط به غلظت ۱۰۰ درصد عصاره آبی گل راعی بود. در مجموع کاهش وزن خشک گیاهچه‌ای نخود فرنگی در اثر افزایش غلظت عصاره آبی گل راعی علی رغم افزایش نسبی محتوای صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بیانگر شدت بالای تنش دگرآسیبی عصاره گل راعی و عدم کفایت آن‌ها است که منجر به سمیت سلولی در مقابل تنش اکسیداتیو است.

نتیجه‌گیری: با توجه به اثر دگرآسیبی گل راعی بر گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان‌شیمیایی نخود فرنگی و پراکنش آن در باغ‌ها، زمین‌های بایر و کشتزارهای گندم و ذرت، اثر احتمالی بقایای حاصل از آن‌ها در کاشت بعدی و حتی در صورت حضور در کشت مخلوط بایستی مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دگرآسیبی، تنش اکسیداتیو، ترکیبات فنولی، عصاره آبی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، وزن خشک گیاهچه

جنبه‌های نوآوری:

۱- عصاره آبی حاصل از گل راعی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای نخود فرنگی را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد.

۲- تفاوت در تاثیر عصاره آبی گل راعی بر گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان‌شیمیایی نخود فرنگی وابسته به حد آستانه غلظت آن‌ها می‌باشد.

۳- شدت بالای تنش دگرآسیب‌رسان عصاره گل راعی و عدم کفایت آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی منجر به تنش اکسیداتیو می‌شود.

[1]گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، شهرستان گنبدکاووس، استان گلستان، ایران.

[2]گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی، دانشگاه گنبدکاووس، شهرستان گنبدکاووس، استان گلستان، ایران.

[3]گروه باغبانی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهرستان شاهرود، استان سمنان، ایران.

[4] گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شهرستان گرگان، ، استان گلستان، ایران.

[*]رایانامه نویسنده مسئول: eg.alamdari@gonbad.ac.ir

DOR:

DOI: 10.61186/yujs.10.2.167

شاپا: ۱۴۸۰-۲۳۸۳ (برخط)؛۱۲۵۱-۲۳۸۳ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۷؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۱۲/۲۹

مقدمه

در سامانه‌های زراعی و زیستی، تنش‌های محیطی زیادی وجود دارند که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این عوامل تنش‌زا می‌توانند موجب تغییرات قابل توجهی در ریخت شناسی، پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش شوند (امزین[1] و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از این عوامل، اندرکنش‌های بیوشیمیایی بین گیاهان زراعی با سایر گیاهان مجاور می‌باشد. در این سازوکار که با عنوان دگرآسیبی شناخته می‌شود، گیاهان می‌توانند از طریق ترشح ترکیبات بیوشیمایی موسوم به مواد دگرآسیب‌رسان شیمیایی به محیط اطراف خود، رشد گیاهان و موجودات دیگر را تحت تأثیر قرار دهند (ایندجیت و وینکا[2]، ۲۰۰۶). دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی در اندام‌هایی نظیر ریشه، ساقه، برگ، میوه، ریزوم، بذر، گل، دانه گرده و جوانه مستقر هستند؛ البته غلظت آن‌ها برحسب نوع اندام گیاه متفاوت است (پوراسمعیل[3] و همکاران، ۲۰۲۱). اما به‌طورکلی، برگ‌ها مهمترین منابع ترکیبات دگرآسیب‌رسان می‌باشند و ریشه‌ها به‌طور معنی‌داری مقدار ترکیبات دگرآسیب‌رسان کمتری دارند (کلاکا[4]، ۲۰۰۶). ترکیبات شیمیایی دخیل در سازوکار دگرآسیبی می‌توانند به گروه وسیعی از ترکیبات بیوشیمیایی مانند آلکالوئیدها، ترپنوئیدها، ترکیبات فنولی، بنزوکسازینون‌ها و غیره تعلق دارند (ویر[5] و همکاران، ۲۰۰۴). این مواد به‌صورت محلول، در اثر شستشو از گیاه، ترشحات ریشه‌ای، گاز از سطح گیاه و تجزیه بقایای باقیمانده در سطح خاک در محیط آزاد می‌گردند (تیگرا[6] و همکاران، ۲۰۱۲).

گل راعی و یا هوفاریقون با نام علمی *Hypericum perforatum* L. از تیره Hypericaceae می‌باشد. گیاهی است پایا، علفی، بدون کرک، ساقه‌ها دارای انشعابات زیاد بدون دمبرگ تا تقریباً دمبرگ‌دار، با حاشیه تخت، نوک گرد، سبز، حاوی غدد چربی شفاف، کوچک، سوراخ‌دار و حاوی هایپریسین می‌باشد (زرگری[7]، ۱۹۹۷). محل رویش آن به صورت خودرو در در زمین‌های بایر و در میان کشتزارهای گندم و ذرت (قاسمی آریان[8] و همکاران، ۲۰۱۶) در نواحی کوهستانی و ارتفاعات نواحی شمالی ایران و همچنین در ارتفاعات متوسط و کم بسیاری از نقاط از جمله کرج، جاده چالوس، کلاردشت، لاهیجان، ارومیه، بروجرد، گنبدکاووس و اطراف تهران می‌باشد (عزیزی[9] و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین گزارش شده است که گل راعی در باغ‌ها می‌روید و علف‌هرزی مزاحم است (کریمی[10]، ۲۰۰۱).

به هر جهت تاکنون طیف گسترده‌ای از ترکیبات فعال زیستی در گیاهان این جنس شناسایی و گزارش شده است که از جمله می‌توان به نفتودیانترون‌ها (هایپریسین و سودوهایپریسین)، آسیل فلورو گلوسینول‌ها (هایپرفورین و ادهایپرفورین)، زانتون‌ها (مرشد لو[11] و همکاران، ۲۰۱۵)، تانن‌ها، فنول‌ها، فلاونوئیدها و به میزان اندک روغن‌های فرار اشاره داشت (خرمالی و اسکوئی[12]، ۲۰۱۶). شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی دارویی، خودرو و هرز از پتانسیل دگرآسیب‌رسانی بالایی برخوردارند و منبع فوق العاده‌ای از ترکیبات شیمیایی طبیعی برای توسعه علفکش‌های جدید به شمار می‌رود (اسلام و کتو-نوگچی[13]، ۲۰۱۲؛ مددی[14] و همکاران، ۲۰۲۳؛ سعیدی‌پور[15] و همکاران، ۲۰۲۱؛ غلامعلی‌پور علمداری[16] و همکاران، ۲۰۲۱). در آزمایشی مشخص شده است که عصاره آبی الکلی گل راعی، مریم گلی (*Salvia officinalis*)، اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) و زیره سیاه (*Bunium pesicum*) دارای پتانسیل دگرآسیبی

[1] Omezzine
[2] Inderjit and Vivanco
[3] Pouresmaeil
[4] Clarka
[5] Weir
[6] Tigre
[7] Zargari
[8] Ghasemi Aryan
[9] Azizi
[10] Karimi
[11] Morshedloo
[12] Khormali and Oskoui
[13] Islam and Kato-Noguchi
[14] Madadi
[15] Saeedipour
[16] Gholamalipour Alamdari

هستند (حسن پور و عزیزی[1]، ۲۰۰۴). همچنین تا به حال حال اثر منفی عصاره‌ها بر برخی گیاهان زراعی مشخص شده است، برای مثال، اثرات منفی عصاره داتوره بر نخود زراعی (بنی طبا[2] و همکاران، ۲۰۰۷)، عصاره پوپولار (*Populus deltoides*) بر رشد گندم (شارما[3] و همکاران، همکاران، ۲۰۰۰)، عصاره‌های گاو پنبه (*Abutilon theophrasti* Medik)، تاج خروس (*Amaranthus retroflex*)، سلمه تره (*Chenopodium album*)، داتوره (*Datura stramanium.*)، ترشک (*Rumex acetosa*) و لباشیر (*Asclepias* sp.) بر گندم، جو، ذرت و سویا (برز و کازن سی[4]، ۲۰۰۰) و عصاره خردل وحشی (*Sinapis arvenisis*) بر جوانه‌زنی کلزا (مسعودی خراسانی[5] و همکاران، ۲۰۰۵) گزارش شده است. در مطالعه‌ای دیگر، الا[6] و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر عصاره آبی اندام‌های ریشه، ساقه، برگ، میوه و کل اندام‌های علف‌هرز شاتره هندی (*Fumaria indica*) بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای نخود، عدس، گندم و کلزا گزارش نمودند که عصاره آبی اندام برگ شاتره هندی بیشترین اثر بازدارندگی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشدی گیاهان مورد بررسی داشتند. عزیزی و فوجی[7] (۲۰۰۵) با بررسی اثر مهاری عصاره هیدروالکلی غلظت‌های مختلف گیاهان گل راعی و مریم گلی شامل عصاره رقیق نشده (۱۰ گرم گیاه در ۱۰۰ میلی‌لیتر حلال) و رقیق شده (شامل۱/۱۰، ۱/۲۰ و ۱/۵۰ درصد) بر درصد و سرعت جوانه‌زنی علف‌های هرز تاج خروس و خرفه (*Portuleca oleraceae*) گزارش نمودند که تمام غلظت‌های مختلف عصاره گل راعی و در مورد مریم گلی عصاره رقیق شده ۱/۵ درصد و رقیق نشده، درصد جوانه‌زنی تاج خروس را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش داد. همچنین غلظت‌های مختلف عصاره گل راعی و مریم گلی در هیچ یک از غلظت‌ها بجز عصاره رقیق نشده گل راعی، اثر مهاری بر سرعت جوانه‌زنی خرفه نشان نداد.

بررسی‌های منابع نشان می‌دهد که تاکنون تحقیقات چندانی پیرامون اثر دگرآسیبی گیاه گل راعی در محصولات کشاورزی در ایران علی‌رغم حضور آن در باغ‌ها، کشتزارهای گندم و ذرت و یا اثر احتمالی آن‌ها در سامانه‌های کشت مخلوط انجام نشده است و بیشتر تحقیقات بر مبنای مطالعات گیاهشناسی آن‌ها بوده است. گیاهان زراعی با توجه به سرعت رشد و سطح سایه‌انداز بسیار ضعیف در ابتدای رشد، دستیابی به عملکرد بهینه آن‌ها به علت تداخل بیوشیمیایی گیاهان مجاور (از جمله ترکیبات دگرآسیب) با چالش جدی مواجه خواهند شد. اصولاً بذر نخود فرنگی (*Pisum sativum*) از جمله بذرهایی است که به دلیل سرعت بالای جوانه‌زنی به عنوان گیاه مرجع در سنجش‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (مندزا و سلزا[8]، ۲۰۲۲). گزارش شده است که بذر گونه‌هایی نظیر نخود فرنگی، شاهی، گوجه فرنگی و کاهو (ماسیاس[9]، ۱۹۹۵)، ۱۹۹۵)، عدس (*Lense culinaris*) و گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (سلزا[10] و همکاران، ۲۰۲۰) به سرعت جوانه می‌زنند.

بنابراین هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی تنش دگرآسیب‌رسان علف‌هرز گل راعی روی صفات جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بذور حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی بوده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری و شناسایی نمونه‌های گیاهی

نمونه‌های گل راعی از مزارع شرق استان گلستان در محدوده جغرافیایی ۵۴ تا ۵۶ درجه طول شرقی و ۳۶,۳۰ تا ۳۸,۱۵ درجه عرض شمالی و در استان‌های مازندران، سمنان و خراسان شمالی طی مرحله گل‌دهی تا رسیدگی (هفته دوم خرداد ماه سال ۱۴۰۲) جمع‌آوری شد. در ابتدا نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه

[1] Hassanpour and Azizi
[2] Bani Taba
[3] Sharma
[4] Beres and Kazinczi
[5] Masoodi Khorasani
[6] Ullah
[7] Azizi and Fuji
[8] Mendoza and Salazar
[9] Macias
[10] Salazar

با کمک فلور رنگی ایران (قهرمان[1]، ۱۹۹۶) و کارشناس سیستماتیک دانشگاه گنبدکاووس به‌طور دقیق مورد شناسایی گونه‌ای قرار گرفت. نمونه هرباریومی گل راعی با کد هرباریومی No. GKU/ 804518 در آزمایشگاه هرباریوم دانشگاه گنبدکاووس ثبت شد. در ادامه، نمونه‌های گیاهی ابتدا در شرایط سایه و دمای اتاق نیمه پژمرده و سپس با کمک آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت (۱۰ درصد وزن پایه تر) خشک گردیدند (کسرس[2]، ۲۰۰۰). فلاونوئیدها از مشتقات فنولی (C_6H_6O) از گروه اصلی ترکیبات فعال زیستی در گل راعی هستند که از کامفرول، لوتئولین، مایریسیتین،کوئرسیتین وایزوکوئرسیتین تشکیل می‌شوند (پیتا[3] و همکاران، ۲۰۰۱). گل راعی همچنین دارای مقدار اندکی روغن‌های اسانسی فرار در حدود ۷-۵ درصد از یک نوع گلوکوزید بنام هایپرین می‌باشد (خرمالی و اسکوئی، ۲۰۱۶). بنابراین با توجه به حضور عمده ترکیبات فلاونوئیدی از مشتقات ترکیبات فنولی (تعداد اتم‌های کربن و هیدروکسید) به عنوان گروه اصلی ترکیبات فعال زیستی و منابع موجود در مورد خشک نمودن گیاهان حاوی ترکیبات فنولی، ابتدا نمونه‌ها در نور غیر مستقیم و سایه (ابروی[4]، ۲۰۱۶؛ ابراهیمی ناغانی[5] و همکاران، ۲۰۱۵؛ عاقل[6] و همکاران، همکاران، ۲۰۱۲)، نیمه پژمرده و سپس با کمک آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک گردیدند (ایونیوا [7]و همکاران، ۲۰۲۰). در این زمینه، قاسم نژاد[8] و همکاران (۲۰۱۳) گزارش نمودند که در میان دماهای مورد استفاده برای خشک نمودن کنگر فرنگی (*Cynara scolymus* L.)، بیشترین میزان فنول در دمای ۶۰ درجه سلسیوس مشاهده شد. افزایش فنول در محدوده دمایی ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس را می‌توان بیشتر به غیر فعال شدن آنزیم‌های تجزیه کننده فنولی مرتبط دانست. همچنین تکیوا[9] و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی دماهای خشک کردن از ۴۰ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس در توت سفید نشان دادند که بیشترین میزان فنول در دمای ۶۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید. در پایان، نمونه‌ها توسط آسیاب خرد و سپس از الک‌هایی با مش ۴۰ (تعداد مربع در یک اینچ) عبور داده شدند. در نهایت نمونه‌ها تا زمان شروع آزمایش در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار نگه‌داری شدند.

[1] Ghareman
[2] Caceres
[3] Pietta
[4] Ebru
[5] Ebrahimi Naghani
[6] Aghel
[7] Ivanova
[8] Ghasemnezhad
[9] Takuya

روش تهیه عصاره آبی گل راعی

برای آماده‌سازی نمونه، ابتدا ۵ گرم از پودر کل اندام‌های گیاه (وزنی) با ۱۰۰ میلی‌لیتر حلال آب مقطر (حجمی) عصاره‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت روی دستگاه لرزاننده قرار داده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ (مدل NF 200) شد. این امر بواسطه جلوگیری از بالا رفتن اصطکاک و شکستن احتمالی ساختار ترکیبات شیمیایی موجود در نمونه می‌باشد. در ادامه، از عصاره بدست آمده (محلول پایه)، غلظت‌های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد با کمک آب مقطر تهیه گردید. در حقیقت جهت بررسی دقیق‌تر روند تغییرات صفات نخود فرنگی در واکنش به عصاره آبی گل راعی، طیف وسیعتری از غلظت‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. از آب مقطر به عنوان نمونه شاهد استفاده شد.

آزمایش‌های زیست‌سنجی

در ابتدا، بذر گواهی شده گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی (مندزا و سلزا، ۲۰۲۲)، رقم کرمانشاهی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. سپس بذرها با هیپوکلریت سدیم ۰/۱ درصد برای ۳۰ ثانیه سترون و بدنبال آن بذرها برای چندین مرتبه با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفتند. ۲۵ عدد بذر نخود فرنگی در پتری با قطر ۱۰ سانتی‌متر حاوی کاغذ صافی کشت گردید. ۱۰ میلی‌لیتر از غلظت‌های حاصل از عصاره گل راعی به محیط هر یک از پتری‌ها به‌طور جداگانه اعمال شد. پتری‌های کشت شده در شرایط اتاقک رشد با طول دوره روشنایی ۱۶ ساعت و تاریکی ۸ ساعت، نور ۱۴۰۰۰ لوکس و در دمای ۳ ± ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۵ درصد قرار داده شدند.

تعداد بذور جوانه‌زده از روز دوم تا دهم (ثابت شدن جوانه‌زنی) ثبت گردید (ایستا[1]، ۲۰۰۳) این آزمایش، در آزمایشگاه علوم علف‌های‌هرز دانشگاه گنبد کاووس به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ انجام شد. در پایان، پاسخ صفات جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نخود فرنگی تحت تیمار عصاره آبی گل راعی به‌شرح ذیل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

اندازه‌گیری صفات جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی نخود فرنگی از رابطه ۱ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

رابطه ۱: $$GP = 100 \times \left(\frac{n}{N}\right)$$

در این رابطه، GP: درصد جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای جوانه‌زده و N کل بذرهای کشت شده در پتری می‌باشد (هاردگری و ون وکتر[2]، ۲۰۰۰)

سرعت جوانه‌زنی نیز با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (خانداکار و بردبیر[3]، ۱۹۸۳).

رابطه ۲: $$GS = \sum_{i=I}^{n} \left(\frac{n}{t}\right)$$

GS: سرعت جوانه‌زنی، n: تعداد بذرهایی که در زمان t جوانه‌زده و t: تعداد روزها از شروع آزمایش.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش مورد اندازه‌گیری و برحسب میلی‌متر گزارش گردید. وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز با ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم توزین گردید.

شاخص بنیه بذر (عبدالباکی و اندرسن[4]، ۱۹۷۳) و ضریب آلومتریک با استفاده از رابطه ۳ و ۴ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

رابطه (۳) $$VI = GP \times (RL + SL)$$

در این رابطه، GP: درصد جوانه‌زنی، RL و SL به‌ترتیب طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

رابطه ۴: $$\text{Allometric coefficient} = \frac{RL}{SL}$$

RL و SL به‌ترتیب طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

اندازه‌گیری محتوای پرولین

۵۰۰ میلی‌گرم اندام تازه ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد مخلوط و سپس مخلوط حاصل با کاغذ صافی، صاف گردید. ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل را در لوله آزمایش ریخته و سپس ۲ میلی‌لیتر اسید ناین هیدرین اضافه گردید. در ادامه، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول حاصل افزوده و به مدت ۲۰ تا ۳۰ ثانیه به‌خوبی تکان داده شد؛ به‌طوری که لایه رویی زرد رنگ تولوئن نمایان گردید. سپس این لایه جدا و به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج نوری با مدل Biochrom libera- S22 در نقطه جذب۵۲۰ نانومتر قرائت شد. در پایان، محتوای پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین بر حسب میکرو مول بر گرم وزن تازه نمونه گزارش شد (بیتس[5] و همکاران، ۱۹۷۳).

۱۹۷۳).

اندازه‌گیری محتوای قندهای محلول

۰/۱ گرم از ماده خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد مخلوط شد. سپس به‌مدت یک هفته در یخچال نگهداری گردید تا قندهای محلول آن آزاد شود. پس از یک هفته، از محلول رویی نمونه‌ها، یک میلی‌لیتر برداشته و حجم آن با آب مقطر به دو میلی‌لیتر رسانده شد. پس از اضافه نمودن یک میلی‌لیتر فنول ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و بعد از گذشت ۴۵ دقیقه میزان جذب به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج نوری با مدل Biochrom libera- S22 در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد. محتوای قندهای محلول با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه گزارش شد (کوکت[6]، ۱۹۷۸).

اندازه‌گیری محتوای فلاونوئیدها

[1] ISTA
[2] Hardgree and Van Vactor
[3] Khandakar and Bradbeer
[4] Abdul-Baki and Anderson
[5] Bates
[6] Kochert

محتوای فلاونوئیدها در ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی با روش رنگ سنجی کلرید آلومینیوم تعیین شد (مرنیوا[1] و همکاران، ۲۰۰۵؛ میلی اسکس[2] و همکاران، ۲۰۰۴). بدین منظور، محلول استوک کوئرستین با حل کردن ۵ میلی‌گرم کوئرستین در ۱ میلی‌لیتر متانول تهیه شد، سپس محلول‌های استاندارد با رقت‌های متوالی با متانول (۲۰۰-۵ میکروگرم در میلی‌لیتر) تهیه شد. در ادامه، ۰/۶ میلی‌لیتر محلول استاندارد رقیق شده کوئرستین یا عصاره به‌طور جداگانه با ۰/۶ میلی‌لیتر از کلرید آلومینیوم ۲ درصد مخلوط شد. پس از مخلوط نمودن، محلول به مدت ۶۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد. سپس جذب مخلوط‌های واکنش در ۴۲۰ نانومتر با دستگاه طیف‌سنج نوری با مدل Biochrom libera-S22 اندازه‌گیری شد. محتوای کل فلاونوئیدها در نمونه‌های آزمایشی با کمک منحنی کالیبراسیون محاسبه و بر حسب میلی‌گرم معادل کوئرستین به ازای هر گرم وزن خشک نمونه (mg QE/g) گزارش شد.

اندازه‌گیری محتوای ترکیبات فنولی

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی بر اساس روش فولین سیوکالتو انجام شد. بدین ترتیب که مقدار ۰/۱ گرم از پودر خشک شده ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول داغ ۸۰ درصد در هاون چینی در دمای اتاق ساییده شد. سپس مخلوط حاصل با ۱۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ (مدل NF 200) گردید. پس از آن مخلوط رویی در حمام آب جوش قرار داده تا کاملاً غلیظ گردد. در ادامه، یک میلی‌لیتر از محلول تغلیظ شده با کمک آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در مرحله بعد، دوباره نیم میلی‌لیتر از محلول حاصل با ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم سه میلی‌لیتر رسانده شد، سپس روی محلول حاصل، نیم میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو ۵۰ درصد اضافه شد. بعد از سه دقیقه، دو میلی‌لیتر کربنات سدیم ۲۰ درصد نیز به محلول حاصل افزوده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده و پس از سرد شدن به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج نوری با مدل Biochrom libera-S 22 در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت، محتوای ترکیبات فنولی برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه خشک گزارش شد (ملک و سینگ[3]، ۱۹۸۰).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

جهت انجام این آزمایش، ۳/۹ میلی‌لیتر از DPPH استوک ساخته شده (۰/۰۰۰۴ گرم DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول)، داخل لوله آزمایش ریخته و سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره حاصل از ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی را به‌طور جداگانه به آن اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. درصد مهار رادیکال DPPH با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (براند- ویلیام ست[4]، ۱۹۹۵).

$$I(\%) = 100 \times \frac{A0 - As}{A0}$$ رابطه ۵:

A0: جذب کنترل (حاوی همه اجزا واکنشگر بدون نمونه) و As : جذب نمونه بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا نرمال سنجی داده‌ها توسط نرم افزار Minitab با نسخه ۱۴ مورد ارزیابی قرار گرفت و داده‌های غیر نرمال نظیر صفات طول ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و محتوای پرولین ریشه‌چه، نرمال گردید. از تبدیل لگاریتمی در مبنای ده (داده‌های شمارشی) با توجه به برقراری شروط تجزیه واریانس استفاده گردید (سلطانی و ترابی[5]، ۲۰۱۴). سپس تجزیه واریانس داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS با نسخه ۹/۳ انجام شد.

برای همه صفات درصد تحریک‌کنندگی یا بازدارندگی (PLI[6]) محاسبه شد که با استفاده از رابطه ۶ بدست آمد (امی[7] و همکاران، ۲۰۰۸).

$$PLI = 100 \times \frac{R2 - R1}{R1}$$ رابطه ۶:

[1] Marinova
[2] Miliauskas
[3] Malick and Singh
[4] Brand- Williamset
[5] Soltani and Torabi
[6] Percentage Length Inhibition
[7] Amoo

که در آن، R_1 مقدار صفت در شاهد و R_2 مقدار صفت در تیمار می‌باشد.

هم‌چنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار حفاظت شده[1] (در جایی‌که آماره F معنی‌دار) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اثر عصاره آبی غلظت‌های مختلف گل راعی بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی بیانگر اختلاف معنی‌دار درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد بود. مطابق نتایج، اثر غلظت‌های مختلف گل راعی بر نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

مطابق نتایج مقایسه میانگین‌ها، درصد جوانه‌زنی گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر ترکیبات دگرآسیب ناشی از گل راعی قرار گرفت، به‌طوری که درصد جوانه‌زنی نخود فرنگی با افزایش غلظت عصاره آبی گل راعی بجز غلظت ۱۰ درصد به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۱۰۰ درصد عصاره آبی گل راعی به میزان ۶۷/۳۶ درصد بود، که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۹۰ درصد نشان نداد، لذا در گروه یکسانی قرار گرفتند. تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره آبی گل راعی به‌ترتیب با میزان ۱۰/۴۲ و ۱۴/۵۸ درصد از کمترین اثر بازدارندگی معنی‌دار بر درصد جوانه‌زنی نخود فرنگی برخوردار بودند (جدول ۲).

در این مطالعه، دامنه تغییرات سرعت جوانه‌زنی نخود فرنگی بین ۱۹/۸۶ و ۵/۷۹ تعداد بر روز بود. بیشترین سرعت جوانه‌زنی نخود فرنگی به تیمار شاهد تعلق داشت، که از لحاظ آماری با تیمارهای ۱۰ و ۲۰ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در مقابل سرعت جوانه‌زنی نخود فرنگی در غلظت ۱۰۰ درصد عصاره آبی گل راعی از کمترین مقدار برخوردار بود (جدول ۲).

روند تغییرات طول ریشه‌چه نخود فرنگی نشان داد که غلظت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره آبی گل راعی اثر افزایشی بر این صفت در مقایسه با شاهد داشتند، اگرچه از لحاظ آماری اختلاف آن‌ها با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. در مقابل طول ریشه‌چه نخود فرنگی در غلظت بیش از ۷۰ درصد، به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. بیشترین کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار مربوط به دو غلظت ۹۰ و ۱۰۰ درصد عصاره آبی به‌ترتیب به میزان ۵۰/۲۱ و ۶۴/۹۹ درصد بود (جدول ۲).

در این مطالعه، طول ساقه‌چه نخود فرنگی در تیمار شاهد از بیشترین مقدار برخوردار بود و کاربرد عصاره آبی گل راعی موجب کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه شد. بیشترین و کمترین کاهش در طول ساقه‌چه نخود فرنگی به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰ و ۱۰۰ درصد به میزان ۲۳/۲۶ و ۵۶/۵۱ درصد مشاهده شد، اگرچه با برخی از تیمارها در دو حد بالا و پایین، اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲).

روند تغییرات در ضریب آلومتریک نخود فرنگی نشان داد که نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه با افزایش غلظت عصاره آبی گل راعی بجز غلظت ۱۰۰ درصد، افزایش نشان داد. تیمار ۴۰ درصد عصاره آبی با ضریب آلومتریک ۲/۲۸ از بیشترین مقدار این صفت برخوردار بود. در مقابل غلظت ۱۰۰ درصد گیاه تحت تیمار به میزان ۱۲/۳۳ درصد اثر دگرآسیبی بر ضریب آلومتریک در مقایسه با شاهد نشان داد، اما این اثر معنی‌دار نبود (جدول ۲). تاثیر پذیری بیشتر طول ریشه‌چه تحت غلظت ۱۰۰ درصد نسبت به طول ساقه‌چه نشان‌دهنده بازدارندگی بیشتر ترکیبات دگرآسیب موجود در عصاره گل راعی و تنش اکسیداتیو ناشی از آن بر این صفت مورد بررسی در مقایسه با طول ساقه‌چه و سایر غلظت‌ها می‌باشد. بنابراین، تاثیر پذیری بیشتر ریشه‌چه در این غلظت دور از انتظار نیست. انتشاری و اهرابی[2] (۲۰۱۱) گزارش نمودند که ترکیبات دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی به‌علت تنوع ساختمانی به‌نظر نمی‌رسد که آثار

[1] Protected Least Significant Difference

[2] Enteshari and Ahrabi

اولیه آن‌ها یکسان باشد، بلکه سازوکارهای مختلفی از تغییر در فراساختار غشایی تا تغییر در مهار بیان ژن و فعالیت آنزیم‌ها و رنگیزه‌ها را می‌توانند در برگیرد و موجب ایجاد برخی پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک شوند که در نهایت کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را سبب می‌گردند.

نتایج نشان داد که شاخص بنیه بذر نخود فرنگی در غلظت بیش از ۳۰ درصد به‌طور معنی‌داری تحت ترکیبات دگرآسیب عصاره آبی گل راعی قرار گرفت. به‌طوری‌که با افزایش غلظت عصاره آبی، شاخص بنیه بذر در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد. کمترین و بیشترین کاهش معنی‌دار مربوط به تیمار ۴۰ و ۱۰۰ درصد غلظت عصاره آبی به میزان ۲۵/۸۶ و ۸۸/۲۲ درصد بوده است (جدول ۲).

روند تغییرات وزن خشک ریشه‌چه گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی تحت غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود وزن خشک ریشه‌چه در غلظت بیش از ۴۰ درصد به‌طور معنی‌داری تحت تنش ترکیبات دگرآسیب موجود در عصاره آبی گل راعی قرار گرفت. کمترین میزان وزن خشک ریشه‌چه نخود فرنگی مربوط به غلظت ۱۰۰ درصد به میزان ۸۳/۵۰ بوده است، اما از لحاظ آماری با تیمار غلظت ۹۰ و ۸۰ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند، لذا در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲).

در این مطالعه، همه غلظت‌های حاصل از گل راعی اثر منفی معنی‌داری بر وزن خشک ساقه‌چه نخود فرنگی نشان داد. به‌طوری که هر دو غلظت ۱۰ و ۲۰ درصد از کمترین اثر بازدارندگی معادل ۲۰/۷۱ درصد برخوردار بود، اگرچه اختلاف آن با تیمار ۳۰ درصد معنی‌دار نبود. در مقابل، غلظت ۹۰ درصد با میزان ۶۵/۸۶ درصد از حداکثر بازدارندگی بر وزن خشک ساقه‌چه نخود فرنگی برخوردار بود، اما اختلاف آن با تیمار ۸۰ و ۱۰۰ درصد معنی‌دار نبود (جدول ۲).

ضریب همبستگی پیرسون داده‌ها نشان داد که وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی تحت ترکیبات دگرآسیب موجود در عصاره آبی گل راعی، رابطه منفی و معنی‌داری با محتوای اسمولیت‌های سازشی نظیر پرولین و قندهای محلول، بیوشیمیایی فنول کل و فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن نشان دادند. وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در نخود فرنگی از بیشترین همبستگی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب ($r=0.896^{**}$) و ($r=0.801^{**}$) برخوردار بود (جدول ۵).

در مجموع اثر افزایشی عصاره آبی گل راعی در غلظت‌های کم بر برخی از خصوصیات جوانه‌زنی نظیر طول ریشه‌چه و ضریب آلومتریک احتمالاً می‌تواند یک نوع پاسخ مثبت به تنش ایجاد شده توسط دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی باشد تا از اثرات تنش بکاهد. معمولاً تنش‌های محیطی از جمله دگرآسیبی منجر به افزایش مهار نشده‌ی گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی می‌شوند، لذا گیاهان در پاسخ به این تنش‌های محیطی، طیف وسیعی از سامانه‌های دفاعی نظیر اسمولیت‌های سازشی، آنتی‌اکسیدانی نظیر فنول‌ها و فلاونوئیدها را فعال می‌نمایند. در مطالعه حاضر، رابطه منفی مولفه‌های وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه علی‌رغم افزایش نسبی فراسنجه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مورد بررسی نشان‌دهنده شدت تنش بالای ناشی از ترکیبات دگرآسیب موجود در گل راعی و عدم کفایت ویژگی‌های محافظتی فیزیولوژیک می‌باشد. این یافته در راستای نتایج آزمایش‌های دسترس[1] و همکاران (۲۰۱۵) می‌باشد. این محققین گزارش نمودند خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای گیاهانی نظیر نخود (*Cicer arietinum*)، ارزن (*Pennisetum americanum*)، گندم (*Triticm aestivum*)، جو (*Hordeum vulgar*) و ذرت (*Zea mays*) با افزایش غلظت عصاره آبی علف‌های هرز پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis*) و تلخه بیان (*Sophora alopecuriodes*) کاهش می‌یابد. بیشترین پتانسیل بازدارندگی مربوط به علف‌هرز پیچک صحرایی بود.

[1] Dastras

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی (*H. perforatum*) بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی

Table 1. Analysis of variance for the effect of different concentrations of *H. perforatum* aqueous extract on the germination and growth characteristics of green pea sensitive to allelochemicals

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square							
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	طول ریشه‌چه Radical length	طول ساقه‌چه Plumule length	ضریب آلومتریک (ریشه‌چه به ساقه‌چه) Alometric coefficient (Radical/shoot)	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight
Treatment تیمار	10	11627.12**	81.17**	45.5**	9.51**	0.28*	830796.86**	1071.10**	93.87**
Error خطا	22	17.58	1.02	3.87	0.67	0.10	29126.80	3.84	3.51
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variations (%)		6.70	7.63	14.34	11.17	16.88	18.13	6.48	10.87

*, ** و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

indicate significance at the 1 and 5% probability level, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین (میانگین± انحراف از معیار) اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی (*H. perforatum*) بر صفات جوانه‌زنی و رشدی گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی

Table 2. Mean comparison (Mean±std) of different concentrations effect of *H. perforatum* aqueous extract on the germination and growth characteristics of green pea sensitive to allelochemicals

غلظت‌ها (درصد) Concentrations (%)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (No./day)	طول ریشه‌چه Radicle length (cm)	طول ساقه‌چه Plumule length (cm)	ضریب آلومتریک Alometric coefficient	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (mg per plant)	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight (mg per plant)
0	96.00±4.00^{a}	19.86±1.41^{a}	16.39±0.61^{ab}	11.22±0.78^{a}	1.46±0.05^{cd}	1583.30 ±6.62^{a}	51.51±1.73^{a}	27.33±2.52^{a}
10	89.33± 4.16^{ab}	19.29±0.42^{a}	17.90±3.31^{a}	8.61±0.35^{b}	2.09±0.47^{ab}	1601.40±250.59^{a}	50.33±0.58^{a}	21.67±1.53^{b}
20	86.00±5.29^{bc}	18.57±1.29^{ab}	17.04±4.31^{a}	8.40±0.72^{bc}	2.03±0.44^{ab}	1458.38±433.49^{a}	49.33±1.15^{a}	21.67±2.89^{b}
30	82.00±2.00^{c}	17.29±0.42^{bc}	16.83±1.63^{a}	8.15±0.26^{bc}	2.07±0.27^{ab}	1390.30±166.21^{ab}	49.00±1.73^{a}	20.00±0.00^{bc}
40	73.00±5.00^{d}	16.71±1.58^{c}	16.00±1.24^{ab}	7.04±0.28^{cd}	2.28±0.26^{a}	1173.90±103.25^{b}	48.67±1.15^{a}	18.00±2.00^{cd}
50	54.00±2.00^{e}	11.36±1.07^{d}	15.00±1.55^{ab}	7.27±1.16^{cd}	2.09±0.39^{ab}	819.00±113.73^{c}	20.00±0.00^{b}	18.67±1.53^{bcd}
60	52.67±3.06^{e}	10.64±0.20^{d}	13.42±0.78^{bc}	7.20±0.63^{cd}	1.88±0.28^{abc}	713.40±46.45^{cd}	18.33±1.53^{b}	16.67±2.89^{d}
70	47.00±1.73^{ef}	1.36±1.35^{d}	13.20±2.04^{bc}	6.47±0.90^{d}	2.04±0.04^{ab}	627.00±102.87^{cd}	15.00±5.00^{c}	15.67±2.08^{d}
80	42.00±2.00^{fg}	18.14±0.15^{e}	11.27±0.98^{cd}	6.45±0.59^{d}	1.76±0.29^{bcd}	487.60±18.00^{de}	11.67±1.53^{d}	9.67±0.06^{e}
90	35.33±5.77^{g}	7.55±0.61^{e}	8.16±0.44^{de}	4.98±0.22^{e}	1.64±0.16^{bcd}	293.13±69.00^{ef}	10.67±1.15^{d}	9.33±1.15^{e}
100	31.33±7.03^{gh}	1.71±0.97^{f}	5.74±0.54^{e}	4.88±1.75^{e}	1.28±0.45^{d}	186.50±55.25^{f}	8.50±1.50^{d}	11.00±1.01^{e}
LSD 5%	7.10	1.71	3.33	1.39	0.54	288.99	3.32	3.17

حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار

Similar letters in each column indicate non-significant difference at the 5% probability level based on the least significant difference test.

پوراسمعیل و همکاران (۲۰۲۱) گزارش نمودند که عصاره اتانولی اندام‌های مختلف علف‌هرز پیچک صحرایی با ایجاد تنش اکسیداتیو و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک دانه رست‌های گندم، موجب کاهش رشد آن‌ها شد. در مطالعه‌ای دیگر، اثر دگرآسیبی عصاره آبی اندام‌های مختلف علف‌هرز فرفیون بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای ارقام گندم (سیف اللهی[1] و همکاران، ۲۰۱۸)، اثر عصاره آبی پنیرک روی خصوصیات جوانه‌زنی گندم رقم هامون (موسوی نیک[2] و همکاران، ۲۰۲۱) و گونه‌ای از فرفیون (*Euphorbia hirta*) بر نخود نیز گزارش شده است (دا[3] و همکاران، ۲۰۲۳).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی نظیر محتوای پرولین و قندهای محلول، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محتوای پرولین ریشه‌چه نخود فرنگی با افزایش تنش دگرآسیب‌رسان ناشی از افزایش غلظت عصاره آبی گل راعی، افزایش نشان داد. بیشترین محتوای پرولین ریشه‌چه مربوط به غلظت ۱۰۰ درصد گل راعی به میزان ۱۰۰/۳۵ میکرو مول بر گرم وزن تازه نمونه بود. در مقابل، تیمار شاهد با میزان ۳/۵۱ میکرو مول بر گرم وزن تازه از کمترین محتوای پرولین ریشه‌چه برخوردار بود، اگرچه از لحاظ آماری با غلظت ۱۰ درصد عصاره آبی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۴). نتایج در مورد محتوای پرولین بافت ساقه‌چه‌های نخود فرنگی تحت تنش دگرآسیب‌رسان ناشی از غلظت‌های مختلف عصاره گل راعی مشابه ریشه‌چه این گیاه بوده است (جدول ۴). مطابق نتایج، کاربرد عصاره آبی گل راعی نیز منجر به افزایش اسمولیت سازشی قندهای محلول هر دو بخش ریشه‌چه و ساقه‌چه در نخود فرنگی شده است. کمترین افزایش در محتوای قندهای محلول ریشه‌چه و ساقه‌چه مربوط به تیمار ۱۰ درصد عصاره آبی گل راعی به‌ترتیب به میزان ۴/۸۸ و ۱۷/۲۳ درصد بوده است. در مقابل، محتوای قندهای محلول ریشه‌چه و ساقه‌چه با افزایش غلظت در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد. مقدار این متابولیت در ریشه‌چه و ساقه‌چه‌های نخود فرنگی در غلظت کامل به میزان ۲۶/۲۶ و ۲۷/۴۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه بوده است، اگرچه از لحاظ آماری با غلظت ۹۰ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۴). کاهش صفات جوانه‌زنی علی رغم افزایش نسبی اسمولیت‌های سازشی نظیر پرولین و قندهای محلول نشان‌دهنده ناکافی بودن این ترکیبات در بافت‌های گیاهچه‌ای نخود فرنگی و تنش اکسیداتیو ناشی از سمیت تنش مواد دگرآسیب می‌باشد. این نتایج مطابق یافته‌های ماهدویکیا[4] و همکاران (۲۰۱۷) می‌باشد. این محققین گزارش نمودند که تجمع پرولین در گیاه تربچه تحت کاربرد عصاره آبی نعناع فلفلی نشان‌دهنده خسارت سلولی ایجاد شده توسط گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. زیرا مواد دگرآسیب‌رسان شیمیایی حاصل از نعناع فلفلی تنش اکسیداتیو را از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بوجود می‌آورد. در حقیقت پرولین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی نقش مهمی در حفاظت گیاه داشته و نشانگری برای شرایط تنش در گیاهان می‌باشد، پرولین معمولاً در این شرایط از گلوتامات سنتز می‌شود و یا این که در اثر افزایش پروتئولیز محتوای پرولین افزایش می‌یابد (بهداد[5] همکاران، ۲۰۱۶). پرولین علاوه بر نقش اسمولیت، در محافظت از آنزیم‌ها در برابر تخریب شدن، حفظ حلالیت پروتئین‌ها، تثبیت فسفولیپیدهای غشایی، تنظیم کننده اسیدیته سیتوپلاسمی، از بین برنده رادیکال‌های آزاد و تنظیم پتانسیل ردوکس نقش مهمی دارد. از آنجایی که تنش دگرآسیبی با تولید انواع اکسیژن‌های واکنشگر نوعی تنش اکسیداتیو ثانوی ایجاد می‌کند، به منظور حفظ یکپارچگی غشای سلولی تحت شرایط تنش بایستی از دناتوره شدن پروتئین‌ها جلوگیری شود، پرولین با آنزیم‌ها برهمکنش نموده و به این ترتیب ساختار پروتئین‌ها و فعالیت‌های مربوط به آن‌ها را تا حد ممکن حفظ می‌کند (سیوکیما[6] و همکاران، ۲۰۰۰). علی‌زاده[7] و همکاران (۲۰۱۹) با اندازه‌گیری محتوای پرولین و قندهای محلول

[1] Seifolahi
[2] Mousavinik
[3] Dar
[4] Mahdavikia
[5] Behdad
[6] Sivakumar
[7] Alizadeh

در گیاهچه‌های جو نشان دادند که عصاره خردل وحشی یک شرایط تنش‌زا را برای گیاه جو به وجود آورد که این موضوع باعث کاهش رشد اندام‌های هوایی و زمینی این گیاه زراعی شد.

نتایج آزمایش حاضر همچنین نشان داد که محتوای ترکیبات فنولی ریشه‌چه نخود فرنگی همزمان با کاهش صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای تحت تاثیر افزایش غلظت عصاره آبی گل راعی، افزایش یافت. کمترین محتوای ترکیبات فنولی مربوط به تیمار شاهد (۴۶/۴۲ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه) بوده است که از لحاظ آماری با کاربرد تیمارهای ۱۰ درصد عصاره آبی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. تیمار غلظت‌های ۹۰ و ۱۰۰ درصد عصاره آبی با میزان ۷۵/۲۴ و ۷۱/۴۴ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه از بیشترین میزان معنی‌دار ترکیبات فنولی برخوردار بودند (جدول ۴). مطابق نتایج، محتوای ترکیبات فنولی کل ساقه‌چه نخود فرنگی در تمامی غلظت‌ها بجز ۱۰۰ درصد در مقایسه با ریشه‌چه کمتر بوده است. به‌هر حال محتوای ترکیبات فنولی ساقه‌چه نخود فرنگی در بیش از غلظت ۱۰ درصد بطور معنی‌داری افزایش نشان داد. بیشترین مقدار معنی‌دار مربوط به غلظت‌های ۹۰ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب به میزان ۷۰/۳۷ و ۷۲/۰۹ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه بوده است (جدول ۴).

دامنه تغییرات محتوای فلاونوئیدهای ریشه‌چه گیاه محک نخود فرنگی تحت ترکیبات دگرآسیب غلظت‌های مختلف گل راعی بین ۰/۸۴ و ۴/۳۹ میلی‌گرم معادل کوئرستین به ازای هر گرم وزن خشک نمونه بود. کمترین محتوای فلاونوئیدها در ریشه‌چه این گیاه مربوطه به تیمار ۱۰ درصد عصاره آبی بود، اما از لحاظ آماری با غلظت‌های ۲۰ و ۳۰ درصد و شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، لذا در گروه یکسانی از لحاظ آماری قرار گرفتند. به‌طورکلی محتوای فلاونوئیدها در ریشه‌چه نخود فرنگی در غلظت بیش از ۵۰ درصد عصاره آبی گل راعی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد (جدول ۴). مطابق یافته‌ها، روند تغییرات محتوای فلاونوئیدها در ساقه‌چه نخود فرنگی تحت کاربرد غلظت‌های مختلف گل راعی مشابه طول ریشه‌چه بوده است (جدول ۴). ترکیبات فنلی با تنوع زیاد شامل سینامیک، کوماریک فلاونوئید، آنتوسیانین، تانن، کافئیک و فرولیک اسید از جمله متابولیت‌های ثانویه مهم هستند که در همه بافت‌های گیاهی یافت می‌شوند. ترکیبات فنلی که از مسیر شیکیمات و به دنبال تولید فنیل آلانین ایجاد می‌شود. این ترکیبات دارای حلقه آروماتیک و خاصیت نوکلئوفیل هستند (میچالاک[1]، ۲۰۰۶) و با انتقال الکترون به آنزیم‌های پراکسیداز، زمینه جهت سم‌زدایی آب اکسیژنه تولید شده در تنش فراهم شده و در سلول به عنوان آنتی اکسیدان عمل می‌کنند (سکهاما[2] و همکاران، ۲۰۰۲)، تا جایی که ترکیبات فنلی به عنوان پایان‌دهنده زنجیره رادیکال‌های آزاد مشهور می‌باشند (نژاد علی مرادی و رضانژاد[3]، ۲۰۲۲). به‌طورکلی ترکیبات فنولی یکی از مهمترین دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی گیاهی در بومسامانه‌ها هستند. نوع و میزان تولید ترکیبات فنولی وابسته به نوع گونه، اندام گیاهی و شدت تنش می‌باشد (پدرول[4] و همکاران، ۲۰۰۶). فلاح[5] و همکاران (۲۰۱۲) در در گزارشی بیان نمودند که ترکیبات فنولی تقریباً در همه بخش‌های گیاه وجود دارند و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک مانند رشد سلولی، جوانه‌زنی دانه و رسیدن میوه نقش دارند. از مهمترین ویژگی‌هایی که به این گروه نسبت داده می‌شود، خاصیت آنتی‌اکسیدانی است که به آن‌ها امکان از دست دادن هیدروژن و به دام انداختن رادیکال آزاد را می‌دهد (خلیلی و ابراهیم‌زاده[6] (۲۰۱۵). سو و روستاین[7] (۲۰۱۸) نیز بیان نمودند که تجمع ترکیبات فنولی در گیاهان از راهبردهای مناسب برای جلوگیری از فعالیت رادیکال‌های آزاد، تخریب غشای سیتوپلاسمی و ماکروملکول‌ها در برابر تنش‌های اسمزی می‌باشد. به‌علاوه مطابق گزارش و ال- وتبن و سلامه[8] (۲۰۱۲)، فلاونوئیدها به عنوان یک ترکیب فنولی موجب اختلال در متابولیسم هورمون گیاهی اکسین، سنتز پروتئین و جذب یون‌ها به‌وسیله گیاه می‌شوند و به این ترتیب اندام‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

[1] Michalak
[2] Sakihama
[3] Nejad Alimordi and Rezanejad
[4] Pedrol
[5] Fallah
[6] Khalili and Ebrahimzadeh
[7] Xu and Rothstein
[8] Al- Watban and Salama

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی (*H. perforatum*) بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی

Table 3. Analysis of variance for different concentrations effect of *H. perforatum* aqueous extract on the physiological characteristics, biochemical, and antioxidant activity of green pea sensitive to allelochemicals

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	Mean square میانگین مربعات									
		محتوای پرولین ریشه‌چه Radicle proline content	محتوای پرولین ساقه‌چه Plumule proline content	محتوای قندهای محلول ریشه‌چه Radicle soluble sugar content	محتوای قندهای محلول ساقه‌چه Plumule soluble sugars content	محتوای ترکیبات فنولی ریشه‌چه Radicle soluble phenolic compound content	محتوای ترکیبات فنولی ساقه‌چه Plumule phenolic compound content	محتوای فلاونوئیدی ریشه‌چه Radicle flavonoid content	محتوای فلاونوئیدی ساقه‌چه Plumule flavonoid content	فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه Radicle antioxidant activity	فعالیت آنتی‌اکسیدانی ساقه‌چه Plumule antioxidant activity
تیمار Treatment	10	2483.05**	405.77**	143.35**	189.11**	281.38**	868.99**	3.32**	38.71**	177.75**	76.18**
خطا Error	22	24.98	6.69	3.15	2.49	25.74	30.11	0.18	0.28	2.40	2.63
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variations (%)	-	12.99	14.28	12.87	11.49	8.10	10.35	23.97	17.70	11.27	13.96

**: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

**: indicates significance at 1% probability level

جدول ۴. مقایسه میانگین (میانگین± انحراف از معیار) اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی (*Hypericum perforatum*) بر صفات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی

Table 4. Mean comparison (Mean±std) of different concentrations effect of *Hypericum perforatum* aqueous extract on the physiological characteristics, biochemical, and antioxidant activity of green pea sensitive to allelochemicals

غلظت‌ها (درصد) Concentrations (%)	محتوای پرولین ریشه‌چه Radicle proline content (µmol per g fresh weight)	محتوای پرولین ساقه‌چه Plumule proline content (µmol per g fresh weight)	محتوای قندهای محلول ریشه‌چه Radicle soluble sugars content (mg per 100 g sample dry weight)	محتوای قندهای محلول ساقه‌چه Plumule soluble sugars content (mg per 100 g sample dry weight)	محتوای ترکیبات فنولی ریشه‌چه Radicle phenolic compounds content (mg GAE in 100 g sample dry weight)	محتوای ترکیبات فنولی ساقه‌چه Plumule phenolic compounds content (mg GAE in 100 g sample dry weight)	محتوای ترکیبات فلاونوئیدی ریشه‌چه Radicle flavonoid content (mg QE/g sample dry weight)	محتوای ترکیبات فلاونوئیدی ساقه‌چه Plumule flavonoid content (mg QE/g sample dry weight)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه Radicle antioxidant activity (%)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی ساقه‌چه Plumule antioxidant activity (%)
0	3.51±0.76^{g}	4.03±0.99^{g}	5.33±2.20^{e}	4.99±1.76^{h}	46.42±3.37^{e}	18.89±5.07^{e}	0.92±0.07^{f}	0.71± 0.31^{e}	3.63±0.08^{g}	2.68±0.29^{g}
10	10.79±0.02^{fg}	5.05±1.43^{g}	5.59±0.67^{e}	5.85±0.29^{gh}	51.73±2.70^{e}	25.30±6.96^{e}	0.84±0.24^{f}	0.76±0.09^{e}	3.97±0.78^{g}	6.31±1.13^{f}
20	15.63±0.01^{ef}	7.49±1.01^{fg}	8.96±1.96^{d}	8.10±1.36^{fg}	48.85±4.95^{d}	51.42±8.53 ^{d}	0.97±0.15^{f}	1.07±0.15^{de}	3.25±0.60^{g}	8.64±1.32^{ef}
30	19.23±2.93^{e}	11.52±0.93^{ef}	10.86±1.45^{cd}	8.20±0.73^{fg}	61.20±5.57^{d}	50.94±7.66 ^{d}	1.22±0.42^{ef}	1.26±0.10^{de}	9.76±1.29^{f}	8.99±3.30^{def}
40	23.62±5.18^{de}	12.13±1.21^{e}	11.67±0.15^{cd}	9.08±2.57^{ef}	63.26±3.78^{cd}	51.11±5.75 ^{d}	1.30±0.03^{def}	1.73±0.02^{d}	13.19±1.55^{e}	11.30±0.97^{c} de
50	29.67±2.59^{d}	18.54±1.09^{d}	12.89±2.43^{c}	11.85±0.67 ^{d}	65.97±3.85^{bcd}	54.90±7.59^{c} ^{d}	1.42±0.20^{cd} ef	1.47±0.42^{de}	15.36±1.31 de	12.61±0.32^{b} c
60	45.92±4.80^{c}	23.33±3.46c	12.07±0.03 ^{b}	11.46±1.33 de	66.07±4.06^{bcd}	63.89±2.02^{a} bc	1.93±0.44^{cd} e	1.60±0.26^{de}	17.33±1.95 d	11.66±0.05^{c} d
70	57.47±1.34^{b}	20.21±2.85^{cd}	16.61±2.51^{b}	16.62±1.60^{c}	66.70±9.79^{abcd}	63.10±1.47^{a} bc	1.99±0.24^{cd}	2.77±0.64^{c}	17.95±2.14^{c} d	12.42±0.01^{b} c
80	55.85±8.57^{b}	24.34±2.39^{c}	16.28±1.71^{b}	22.26±2.70 ^{b}	71.99±5.36^{bc}	61.08±4.46 bc	2.08±0.33^{c}	2.72±0.25^{c}	21.14±1.50 b	14.75±2.04^{b}
90	61.40±7.11^{b}	30.71±2.23^{b}	25.16±2.48^{a}	25.17±0.62^{a}	75.24±5.64^{ab}	70.37±0.06^{a} ^{b}	2.85±1.01^{b}	5.70±1.38b	20.14±0.83 bc	17.96±1.12^{a}
100	100.35±8.96^{a}	41.82±5.94^{a}	26.26±1.48^{a}	27.46±1.67^{a}	71.44±2.66^{a}	72.09±3.00^{a}	4.39±0.51^{a}	12.93±0.56^{a}	25.56±2.89^{a}	20.47±2.51^{a}
LSD 5%	8.46	4.38	3.01	2.67	8.59	9.29	0.71	0.89	2.62	2.75

حروف مشابه در هر ستون، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار

Similar letters in each column indicate non- significant difference at the 5% probability level based on the least significant difference test.

جدول ۵. ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی نخود فرنگی تحت غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی (*Hypericum perforatum*)

Table 5. The correlation coefficient of studied characteristics of green pea under the aqueous extract of different concentrations of *Hypericum perforatum*

	صفات Characteristics	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	1											
2	وزن خشک ساقه‌چه Plumule dry weight	0.763**	1										
3	محتوای پرولین ریشه‌چه Radicle proline content	-856**	-0.749**	1									
4	محتوای پرولین ساقه‌چه Plumule proline content	-0.871**	-0.719**	0.957**	1								
5	محتوای قندهای محلول ریشه‌چه Radicle soluble sugar content	-0.772**	-0.619**	0.902**	0.927**	1							
6	محتوای قندهای محلول ساقه‌چه Plumule soluble sugar content	-0.841**	-0.676**	0.929**	0.928**	0.926**	1						
7	محتوای ترکیبات فنولی ریشه‌چه Radicle phenolic compound content	-0.766**	-0.676**	0.740**	0.779**	0.797**	0.761**	1					
8	محتوای ترکیبات فنولی ساقه‌چه Plumule phenolic compound content	-0.759**	0.703**	0.748**	0.802**	0.798**	0.744**	0.770**	1				
9	محتوای ترکیبات فلاونوئید ریشه‌چه Radicle flavonoid content	-0.716**	-0.591**	0.883**	0.863**	0.867**	0.842**	0.677**	0.668**	1			
10	محتوای ترکیبات فلاونوئیدی ساقه‌چه Plumule flavonoid content	-0.580**	-0.519**	0.857**	0.847**	0.829**	0.802**	0.501**	0.586**	0.892**	1		
11	میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه Radicle antioxidant activity (%)	-0.896**	-0.801**	0.897**	0.932**	0.851**	0.868**	0.832**	0.818**	0.784**	0.693**	1	
12	میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ساقه‌چه Plumule antioxidant activity (%)	-0.790**	-0.688**	0.891**	0.915**	0.887**	0.885**	0.808**	0.863**	0.797**	0.776**	0.883**	1

**: indicates significance at 1% probability level

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

مطابق یافته‌ها، تنش حاصل از ترکیبات دگرآسیب گل راعی موجب افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی در همه غلظت‌ها شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی در حداکثر غلظت از بیشترین مقدار به‌ترتیب ۲۵/۵۶ و ۲۰/۴۷ درصد برخوردار بودند (جدول ۴).

ضرایب همبستگی پیرسون داده‌ها نشان داد که میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی تحت تنش دگرآسیب‌رسان غلظت‌های مختلف عصاره آبی گل راعی ، رابطه منفی و معنی‌داری با وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نخود فرنگی نشان داد. در مقابل همبستگی بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریشه‌چه‌ها و ساقه‌چه‌های نخود فرنگی با محتوای اسمولیت‌های سازشی پرولین و قندهای محلول، محتوای بیوشیمیایی شبه آنزیم‌های ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی مثبت و معنی‌ار بود (جدول ۵). نتایج تحقیق حاضر مطابق یافته‌های حاتمی همپا[1] و همکاران (۲۰۱۸) می‌باشد. این محققین گزارش نمودند که با افزایش غلظت عصاره آبی سورگوم و تلخه، رشد گیاهچه‌های گندم کاهش و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد. همچنین کینگمینگ[2] و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش نمودند که متابولیت‌های ثانویه مشتق از گیاهان مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها، با پتانسیل بالا برای پاکسازی رادیکاهای آزاد یا به عبارتی با قدرت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها، رابطهٔ مستقیمی دارد. خلیلی و ابراهیم زاده (۲۰۱۵)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان را به حضور ترکیبات فنولی در آن‌ها نسبت دادند. همچنین نتایج مطالعاتی که بطور جداگانه توسط کاندان[3] و همکاران (۲۰۰۳) و مورت[4] و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد، نشان داد که بالا بودن ترکیبات فنولی دلیل عمده بالا بودن فعالیت آنتی اکسیدانی بعضی از عصاره‌ها از جمله عصاره‌های قطبی می‌باشد. زیرا بر اساس شواهد موجود ارتباط مثبتی بین محتوای ترکیبات فنولی و قدرت آنتی‌اکسیدانی گیاهان وجود دارد. از طرف دیگر به نظر می‌رسد که ترکیبات فنولی که به‌صورت گسترده در گیاهان یافت می‌شوند و قدرت آنتی‌اکسیدانی بالایی دارند، بیشتر از طریق عصاره‌های گیاهی آن‌ها قابل استخراج باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که یکی از عوامل تاثیرگذار و متفاوت اثرات دگرآسیبی گل راعی بر صفات جوانه‌زنی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود فرنگی، غلظت عصاره مورد بررسی می‌باشد. این امر می‌تواند بواسطه کمیت و کیفیت دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی حاضر در عصاره باشد. در این مطالعه اثر افزایشی عصاره گل راعی بر برخی از صفاتی نظیر طول ریشه‌چه و بدنبال آن ضریب آلومتریک نشان‌دهنده پاسخ مثبت به تنش ناشی از ترکیبات دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی می‌باشد تا از شدت تنش بکاهد. در مجموع به نظر می‌رسد گیاه نخود فرنگی با افزایش فراسنجه‌های فیزیولوژیکی نظیر اسمولیت‌های سازگار، محتوای فنول‌ها و فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به تنش اکسیداتیو ایجاد شده ناشی از اثرات دگرآسیب‌رسان‌های گل راعی پاسخ مثبت نشان داد؛ اما این ویژگی‌های محافظتی فیزیولوژیک مورد بررسی کافی و مناسب نبوده و منجر به کاهش شدید وزن خشک گیاهچه‌ها گردید. بنابراین با توجه به اثر دگرآسیبی گل راعی بر گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی نخود و پراکنش آن در زمین‌های بایر و کشتزارهای گندم و ذرت، اثر احتمالی بقایای حاصل از آن‌ها در کاشت بعدی و حتی در صورت حضور در کشت مخلوط بایستی مد نظر قرار گیرد.

[1] Hatami hampa
[2] Qingming
[3] Candan
[4] Muret

منابع

Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Journal of Crop Science, 13: 630-633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Aghel, N., Ramezani, Z. and Jalalitalab, H. 2012. Isolation and determination of hypericins from different parts of *Hypericum triquetrifolium* Turra Grown in Khozestan by UV/Visible Spectrophotometry. Jundishapur Scientific Medical Journal, 11(3): 285- 294. [In Persian with English Summary]

Alizadeh, Y., *Zeidali, E. and Hassaneian Khoshro, H. 2019. Allelopathic effects of mustard (Sinapis* arvensis) on germination, morphological and biochemical characteristics of barley (*Hordeum vulgare*). Iranian Journal of Seed Research, 5(2): 59-71. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.29252/yujs.5.2.59

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

Amoo, S.O., Ojo, A.U. and Van Staden, J. 2008. Allelopathic potential of Tetrapleura tetraptera leaf extracts on early seedling growth of five agricultural crops. South African Journal of Botany, 74: 149-152. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.08.010

Azizi, M. and Fuji, Y. 2005. Allelopathic effect of some medicinal plant substances on seed germination of Amaranthus retroflexus and Portulaca oleraceae. In International Symposium on Improving the Performance of Supply Chains in the Transitional Economies 699, pp. 61-68. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.699.5

Azizi, M., Ghani, A., Ebadi, T. and Crockett, S. 2010. The ex situ comparison of two improved st. John's wort (*Hypericum perforatum*) cultivars with an Iranian wild population. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): A New Look at Medicinal and 925, pp. 163-170. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.925.24

Bani Taba, A.L. Nadri, M.R. and Javanmard, H.R. 2007. Study of allelopathic effects of *Datura stramanium* L. aerial part extract on the germination and growth of the cultivated chickpea. The Second National Conference of Iranian Legumes. Tehran, pp. 8-14. [In Persian]

Bates, L.S., Walderen, R.D. and Taere, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Behdad, A., Abrishamchi, P. and Jankju, M. 2016. Relation to phonology, phenolics content and allelopathic effect of Artemisia khorassanica Krash. On growth and physiology of *Bromus kopetdaghensis*. Journal of Plant Researches, 28(2): 243-256. [In Persian with English Summary]

Beres, I. and Kazinczi, G. 2000. Allelopathic effects of shoot extracts and residues of weeds on field crops. Allelopathy Journal, 7: 93-98.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C.L.W.T. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology, 28(1): 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Caceres, A. 2000. Calidad de la material prima para la elaboracion de productos fitofarma ceuticas. Primer Congreso International FITO 2000 Por la investigacion, conservacion y diffusion del conocimiento de las plantas medicinals 27-30 de septiembre, Lima, Peru.

Candan, F., Unlu, M., Tepe, B., Daferera, D., Polissiou, M., Sokmen, A.H. and Akpulat, A. 2003. Antioxidant and antimicrobial activity of the essential oil and methanol extracts of *Achillea millefolium* subsp. millefolium Afan. (Asteraceae). Journal of Ethnopharmacology, 87: 215-220. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(03)00149-1

Clarka, D. 2006. The role of allelopathy in agricultural ecosystems. Department of Pomology and Basic Natural Sciences in Horticulture, Warsaw Agricultural University, 418p.

Dar, H., Abbas, A., Salam, I.U., Zohra, R.R. and Bashir, I.A.Q.F. 2023. Allelopathic effect of *Euphorbia hirta* (pig weed) extracts and powder on seedling growth, chlorophyll and protein content of *Cicer arietinum* (black gram) in Pakistan. Pakistan Journal of Botany, 55(2): 643-648. https://doi.org/10.30848/PJB2023-2(9)

Dastras, O., Safari, M. and Magsodi Mod, A.A. 2015. Study of the effect of aqueous extract of *Sophora alopecuriodes* L. and Convolvulus arvensis L. on seedling growth of different cops. Journal of Plant Process and Function, 4(11): 45-58. [In Persian with English Summary]

Ebrahimi Naghani, E., Javadi, I., Rashidi Nooshabadi, M., Goudarzi, M. and Houshmand, G.R. 2015. Protective effects of hydroalcoholic extract of *Hypericum perforatum* against bleomycin-induced pulmonary fibrosis in rats. Journal of Babol University Medicinal Science, 18(1): 44-51. [In Persian with English Summary]

Ebru, Y.Ü.C.E. 2016. Analysis of the Essential Oils of two Hypericum species *H. Lanuginosum* var. lanuginosum Lam. and *H. perforatum* L. from Turkey. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 44(1): 29-34. https://doi.org/10.15671/HJBC.20164417564

Enteshari, S.H. and Ahrabi, F. 2011. Effect of the coumarin on some physiological and biochemical indexes of Conola-Hiola variety. Journal of Plant Biology, 3(10): 26-23. [In Persian with English Summary]

Fallah, H., Ksouri, R., Lucchessi, M.E., Abdelly, C.H. and Magné, C.H. 2012. Ultrasound-assisted extraction: effect of extraction time and solvent power on the levels of polyphenols and antioxidant activity of *Mesembryanthemum edule* L. Aizoaceae shoots. Tropical Journal of Pharmaceutical, 11: 243-249. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.4314/tjpr.v11i2.10

Ghareman, A. 1996. Code of families and plant genera of Iran. Published by Research Institute of Forests and Rangelands of Iran. 222p. [In Persian]

Ghasemi Aryan, A.R., Rohani, H. and Hajimir Rahimi, D. 2016. Entrepreneurship package of *Hypericum perforatum* production. Asrar elm publisher, 56p. [In Persian]

Ghasemnezhad, A., Bagherifard, A., Asghari, A. 2013. Study on the effect of drying temperature on some phytochemical characteristics of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves. Eco-phytochemical Journal of Medical Plants, 1(3): 10-21. [In Persian with English Summary]

Gholamalipour Alamdari, E., Ghorbani, A., Avarseji, Z., Habibi, M. and Ataei, A. 2021. Comparison of synthesis phenolic compounds and extracted from barnyard grass weed (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv) on morphological and biochemical characteristics of rice seedlings-Domsia cultivar. Applied Biology, 34(2): 112-128. [In Persian with English Summary]

Hardgree, S.P. and Van Vactor, S.S. 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. Annals of Botany Journal, 85: 379-390. https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1076

Hassanpour, H. and Azizi, M. 2004. Study of allelopathic effect of medicinal plants on weeds control. 2nd Conference of Medicinal Plant. Tehran, pp. 121-134. [In Persian]

Hatami hampa, A., Javanmard, A., Taghi Alebrahim, M. and Sofalian, S. 2018. Allelopathic Effects of aqueous extracts from sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and Russian knapweed (*Acroptilon repens* L.) on seedling growth and enzymes activity of wheat, sugar beet, common lambsquarters and redroot pigweed. Iranian Plant Production Research, 32(1): 101-109. [In Persian with English Summary]

Inderjit, C.R.M. and Vivanco, J.M. 2006. Can plant biochemistry contribute to understanding of invasion ecology? Trends in Plant Science, 11(12): 574-580. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.10.004

International Seed Testing Association (ISTA). 2003. ISTA handbook on seedling evaluation. 3rd edition.

Islam, A.K. and Kato-Noguchi, H. 2012. Allelopathic potentiality of medicinal plant *Leucas aspera*. Journal of Sustainable Agriculture, 4(1): 1-7.

Ivanova, L., Vassileva, P. and Detcheva, A. 2020. Characterization and adsorption properties of *Hypericum perforatum* L. for the removal of cu 2 ions from aqueous solutions. Cellulose Chemistry and Technology, 54(9-10): 1023-1030. https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2020.54.99

Karimi, H. 2001. Iranian weeds. Markaz-e nashr-e daneshgahi, 2nd edition, 419p. [In Persian]

Khalili, M. and Ebrahimzadeh, M.A.A. 2015. Review on antioxidants and some of their common evaluation methods. Journal of. Mazandaran University of. Medical Sciences, 24: 188- 208. [In Persian with English Summary]

Khandakar, A.L. and Bradbeer, J.W. 1983. Jute seed quality. Dhaka, Bangladesh Agricultural Research Council. Dhaka, Bangladesh.

Khormali, A. and Oskoui, R. 2016. Study the medicinal properties and morphological characteristics of the gerbera plant *Hypericum perforatum* L. International Conference on Research in Science and Technology. Berlin, Germany, July 9, 2016.

Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method: 56-97. In: Helebust, J.A. and Craig, J.S. (Eds.). Handbook of physiological method. Cambridge University Press. Cambridge.

Macias, F.A., 1995. Allelopathy in the search for natural herbicides models. Allelopathy. Organisms, Processes and Applications (eds). American Chemical Society, pp. 310-329. https://doi.org/10.1021/bk-1995-0582.ch023

Madadi, E., Fallah, S., Sadeghpour, A. and Barani-Beiranvand, H. 2023. The effect of allelochemical compounds of chamomile on changes in physiological parameters and growth of charlock mustard compared to wheat. Journal of Plant Process and Function, 11(47): 173-194. [In Persian with English Summary]

Mahdavikia, F., Saharkhiz, M.J. and Karami A. 2017. Defensive response of radish seedlings to the oxidative stress arising from phenolic compounds in the extract of peppermint (*Mentha piperita* L.). Scientia Horticulturae, 214: 133-140. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.029

Malick, C.P. and Singh, M.B. 1980. In plant enzymology and histo enzymologhy. Kalyani Publishers, New Dehli, 286 p.

Marinova, D., Ribarova, F., Atanassova, M. 2005. Total phenolic and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 40(3): 255-260.

Masoodi Khorasani, F., Hadadchi, G.R., Bagherani, N. and Banaian Aval, M. 2005. Allelopathic effects of aqueous extract of different parts of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) extract at different concentrations on seed germination and seedling growth of canola (*Brassica napus* L.) cv. P.F. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 12(5): [In Persian with English Summary]

Mendoza N. and Salazar S. 2022. Cytogenotoxicity of fifth-generation quaternary ammonium using three plant bioindicators. Environmental Toxicology and Pharmacology, 95: e103972. https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103972

Michalak, A. 2006. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. Polish Journal of Environmental Studies, 15: 523-530.

Miliauskas, G., Venskutonis, P.R. and Van Beek, T.A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chemistry, 85(2): 231-237. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.007

Morshedloo, M. R., Moghadam, M.R.F., Ebadi, A. and Yazdani, D. 2015. Genetic relationships of Iranian Hypericum perforatum L. wild populations as evaluated by ISSR markers. Plant Systematics and Evolution, 301: 657-665. https://doi.org/10.1007/s00606-014-1103-z

Mousavinik, M., Heidari, M. and Fazeli-Nasab, B. 2021. Evaluation of the allelopathic effect of mallow aqueous extracts on wheat seed germination. Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 3(2): 375-383. [In Persian with English Summary]

Muret, K., Sevgi, K., Sengul, K., Esra, U., Cemalettin, B. and Fedra, V. 2007. Biological activities, chemical composition of three honeys of different types from Anatolia. Food Chemistry, 100(2): 526-534. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.010

Nejad Alimordi, F. and Rezanejad, F. 2022. Evaluation of soil edaphic factors, morphology and comparison of phenolic compounds in vegetative and reproductive organs of *Periploca aphylla* Decne. Journal of Plant Process and Function, 11(51): 307-320. [In Persian with English Summary]

Omezzine, F., Ladhari, A. and Haouala, R. 2014. Physiological and biochemical mechanisms of allelochemicals in aqueous extracts of diploid and mixoploid *Trigonella foenum-graecum* L. South African Journal of Botany, 93: 167-178. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.009

Pedrol, N., Gonzalez, L. and Reigosa, M.L. 2006. Allelopathy and abiotic stress, a physiological process with ecological implications, Netherlands, pp. 171-209. https://doi.org/10.1007/1-4020-4280-9_9

Pietta, P., Gardana, C. and Pietta, A. 2001. Comparative evaluation of St. Johns Wort from different Italian regions. Pharmacology, 56(5-7): 491-496. https://doi.org/10.1016/S0014-827X(01)01068-0

Pouresmaeil, M., Motefakerazad, R. and Sabzinojdeh, M. 2021. Identification of chemical constituents and evaluation of allelopathic potential of field bindweed organs extract on growth and physiological parameters of bread wheat. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 34(3): 618-633. [In Persian with English Summary]

Qingming, Y., Xianhui, P., Weibao, K., Hong, Y., Yidan, S., Zhang, L., Yanan, Z., Yuling, Y., Lan, D. and Guoan, L. 2010. Antioxidant activities of malt extract from barley (*Hordeum vulgare* L.) toward various oxidative stress in vitro and in vivo. Food Chemistry, 118(1): 84-89. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.094

Saeedipour, A., Gholamalipour Alamdari, E., Biabani, A., Avarseji, Z. and Nakhzari Moghadam, A. 2021. Evaluation of allelopathic stress of Cyperus esculentus remains on some invasive weeds. Applied Biology, 33(4): 42-60. [In Persian with English Summary]

Sakihama, Y., Cohen, M.F., Grace, S.C. and Yamasaki, H. 2002. Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. Toxicology, 177: 67-80. https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00196-8

Salazar, S., Quintero, J. and Rojas, J. 2020. Cytogenotoxic effect of propanil using the *Lens culinaris* Medik and *Allium cepa* L. test. Chemosphere, 249: e126193. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126193

Seifolahi, B., Gholamalipour Alamdari, E., Avasaji, Z. and Biabani, A. 2018. Evaluation of allelopathic effect of *Euphorbia maculata* weed on traits of germination, chlorophyll and

carotenoids pigments of wheat cultivars. Iranian Journal of Seed Research, 5(1): 71-85. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.29252/yujs.5.1.71

Sharma, N.K., Samra, J.S. and Singh, H.P. 2000. Effect of aqueous extracts of Populus deltoids on germination and seedling growth wheat. Allelopathy Journal, 7: 56-68.

Sivakumar, P., Sharmila, P. and Pardha Saradhi, P. 2000. Proline alleviates salt stress induced enhancement in the activity of ribulose-1, 5-bisphosphate oxygenase. Biochemical and Biophysical Research Communications (Academic Press, USA). 279: 512- 515. https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.4005

Soltani, A. and Torabi, B. 2014. Design and analysis of agricultural experiments (with SAS programs). Jahad-e- Daneshgahi Mashhad publisher, 431p. [In Persian]

Takuya, K., Yoko, T., Mari, S., Toshimichi, F. and Yukikazu, Y. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. Food Chemistry, 113: 964-969. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.041

Tigre, R.C., Silva, N.H., Santos, M.G., Honda, N.K., Falcao, E.P.S. and Pereira, E.C. 2012. Allopathic and bio herbicidal potential of *Cladonia verticillaris* on the germination and growth of *Lactuca sativa*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 84: 125-132. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.06.026

Ullah, R., Tanveer, A., Khaliq, A. and Hussain, S. 2013. Comparative allelopathic potential of *Fumaria indica* L. and *Polygonum plebejum* L. against field crops. Weed Science Research, 19(1): 15-29.

Weir, T.L., Park, S.W. and Vivanco, J.M. 2004. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. Current Opinion in Plant Biology, 7(4): 472-479. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.05.007

Xu, Z. and Rothstein, S.J. 2018. ROS-induced anthocyanin production provides feedback protection by scavenging ROS and maintaining photosynthetic capacity in Arabidopsis. Plant Signaling and Behavior, 13: 1364-1377. https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1451708

Zargari, A. 1997. Medicinal plants. Volume 5, Tehran University Publisher, 976p. [In Persian].