

Research Article

Evaluation of the allelopathic potential of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on germination, morphophysiological, and biochemical characteristics of cress (*Lepidium sativum*)**Abdolkhadi Mashraghi¹, Ebrahim Gholamalipour Alamdari^{2,*}, Ziba Avarseji², Ali Rahemi Karizaki²****Extended abstract**

Introduction: Chemical compounds in plants include primary or secondary compounds. The allelopathic compounds are mainly of the secondary type, which are released by ways such as leaching, decomposition of plant residues, volatilization, and root exudation. Plants with allelopathic properties have a negative or even positive effect on the germination and growth of other plants by releasing substances in their surroundings. These effects depend on the type of organ, concentration, plant growth location, physiological maturity, etc.

Materials and Methods: An experiment was conducted to evaluate the allelopathic potential of wild barley (*Hordeum spontaneum*) weed on some germination, morphophysiological, and biochemical characteristics of a reference plant sensitive to allelochemicals, cress (*Lepidium sativum*), in 2021. This experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three replications. The treatments included different concentrations of *H. spontaneum* aqueous extract at 11 levels (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100%).

Results: The results showed that different concentrations of *H. spontaneum* aqueous extract had a significant decreasing effect on the percentage and rate of seed germination, radicle and shoot length, seedling length vigor index, radicle and shoot dry weight, as well as photosynthetic pigments (i.e., chlorophyll a, b, total, and carotenoids) of cress. Their effectiveness was dependent on the concentration threshold of the aqueous extract. In contrast, the content of proline amino acid, soluble sugars, ion leakage, catalase activity, guaiacol peroxidase enzymes, the concentration of malondialdehyde, and phenolic compounds showed an increasing trend compared with the control. In most cases, the highest increase in these compounds was obtained at the 100% aqueous extract concentration of *H. spontaneum*. This indicates the oxidative stress and high cytotoxicity caused by harmful compounds present in the aqueous extract of *H. spontaneum*.

Conclusions: According to the results of this experiment, it can be deduced that the aqueous extract of *H. spontaneum*, due to its allelopathic properties, prevented germination and seedling growth of *L. sativum*. Therefore, according to the proof of the harmful effect of *H. spontaneum* and its high biomass, it may be possible to introduce the bioactive compounds present in this plant for the production of environmentally friendly herbicides or even the potential to produce new formulations of synthetic herbicides in case its positive effect on other species is proven.

Keywords: Allelochemicals, Catalase, Malondialdehyde, Oxidative stress, Phenolic content

Highlights:

1. The difference in the effect of different concentrations of *Hordeum spontaneum* weed aqueous extract on germination and seedling growth of a reference plant sensitive to the allelochemicals, *Lepidium sativum*, is related to their concentration threshold.
2. The significant decrease in germination characteristics and photosynthetic pigments of *L. sativum* indicates the intensity of oxidative stress caused by the harmful compounds in the aqueous extract of *H. spontaneum*.
3. The allelopathic characteristics of *H. spontaneum* weed can be a suitable candidate for the production of biological herbicides.

¹ Post graduated student in Weed Science, Plant Production Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

² Associate professor of Plant Production Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.

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

DOI: [10.61186/yujs.11.1.105](https://doi.org/10.61186/yujs.11.1.105)



CrossMark

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/>).

Received: 13.3.2024; Revised: 10.7.2024;
Accepted: 3.8.2024; Online Published: 21.9.2024

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر خصوصیات جوانه‌زنی، مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شاهی (*Lepidium sativum*)عبدالهادی مشرقی^۱، ابراهیم غلامعلی‌پور علمداری^{۲*}، زیبا اورسجی^۳، علی راحمی کاریزکی^۲

چکیده مبسوط

مقدمه: ترکیب‌های شیمیایی در گیاهان شامل ترکیبات اولیه و یا ثانویه می‌باشند. ترکیبات دگرآسیب بطور عمده از نوع ثانویه بوده که از راه‌هایی نظیر آبشویی، تجزیه بقایای گیاهی، تبخیر و ترشحات ریشه‌ای انتشار می‌یابند. گیاهان دارای خاصیت دگرآسیب با موادی که در اطراف خود انتشار می‌دهند بر جوانه‌زنی و رشد سایر گیاهان اثرات منفی و یا حتی مثبت دارند. این اثرات وابسته به نوع اندام، غلظت، محل رویش گیاهان، بلوغ فیزیولوژیکی و غیره می‌باشد.

مواد و روش‌ها: آزمایشی با هدف ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی علف‌هرز جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر خصوصیات جوانه‌زنی، مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی در سال ۱۴۰۰ انجام شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارها شامل غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی در ۱۱ سطح (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی اثر کاهشی معنی‌داری بر صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، شاخص طولی بنیه بذر، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و به‌علاوه رنگیزه‌های فتوسنتزی (نظیر کلروفیل‌های a، b، کل و کاروتنوئیدها) گیاه شاهی نشان دادند، به گونه‌ای که میزان تأثیر پذیری آن‌ها وابسته به حد آستانه غلظت عصاره آبی بود. در مقابل محتوای اسید آمینه پرولین، قندهای محلول، نشت یونی، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گاپاکول پراکسیداز، غلظت مالون دی‌آلدئید و ترکیبات فنولی در مقایسه با شاهد افزایش نشان داد. در اکثر موارد، بیشترین افزایش این ترکیبات در غلظت ۱۰۰ درصد عصاره آبی جو وحشی به‌دست آمد. این امر نشان‌دهنده تنش اکسیداتیو و سمیت سلولی بالای ناشی از ترکیبات دگرآسیب‌حاضر در عصاره آبی جو وحشی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان استنباط نمود که عصاره آبی جو وحشی به‌دلیل خاصیت دگرآسیبی از جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای شاهی جلوگیری نمود. بنابراین با توجه به اثبات اثر دگرآسیبی علف‌هرز جو وحشی و دارا بودن زیست توده بالا، احتمالاً بتوان از ترکیبات زیست فعال حاضر در این گیاه جهت تولید علفکش سازگار با محیط زیست و یا حتی پتانسیلی برای تولید فرمولاسیون جدید علفکش‌های سنتزی در صورت اثبات اثر مثبت آن روی سایر گونه‌ها معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: دگرآسیب‌رسان شیمیایی، ترکیبات فنولی، تنش اکسیداتیو، کاتالاز، مالون دی‌آلدئید

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- تفاوت در تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی بر خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی مربوط به حد آستانه غلظت آن‌ها است.
- ۲- کاهش معنی‌دار خصوصیات جوانه‌زنی و رنگیزه‌های فتوسنتزی شاهی نشان‌دهنده شدت تنش اکسیداتیو ناشی از ترکیبات دگرآسیب در عصاره آبی جو وحشی می‌باشد.
- ۳- ویژگی دگرآسیبی علف‌هرز جو وحشی می‌تواند کاندید مناسبی برای تولید علفکش‌های زیستی باشد.

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم علف‌های هرز، گروه تولیدات گیاهی،

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاوس، گنبدکاوس، ایران.

^۲ دانشیار گروه تولیدات گیاهی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع

طبیعی، دانشگاه گنبدکاوس، گنبدکاوس، ایران.

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



مقدمه

یکی از دلایل عمده کاهش محصول در گیاهان زراعی هجوم علف‌های هرز است. علف‌های هرز با رقابت بر سر منابع، مانع از دسترسی مطلوب گیاه زراعی به این منابع شده و در نتیجه باعث کاهش تولید و افزایش هزینه آن می‌شوند. خسارت علف‌های هرز به کلیه محصولات کشاورزی حدود ۵۰ درصد تولید جهانی محاسبه شده است (فائو^۱، ۲۰۱۰). تحقیقات نشان می‌دهد که گزارش‌ها در رابطه با تداخل علف‌های هرز با محصولات زراعی و کاهش عملکرد ناشی از آن‌ها به واسطه رقابت در دریافت پتانسیل‌های محیطی زیاد می‌باشد، اما در رابطه با دگرآسیبی و برهم‌کنش شیمیایی بین گیاهان اندک می‌باشد. از آنجایی که اکثر علف‌های هرز دارای خاصیت دگرآسیب می‌باشند با آزادسازی ترکیبات سمی بطور عمده ثانویه، جوانه‌زنی و رشد گونه‌های بومی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (وانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۷؛ اشرف^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). عموماً گیاهان دارای خاصیت دگرآسیبی از طریق تولید و ترشح ترکیب‌هایی که به محیط اطراف خود انتشار می‌دهند، تأثیر منفی بر جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز دارند و از این طریق، رشد و تراکم آن‌ها را محدود می‌کنند (عسگرپور^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). اصولاً ترکیب‌های ثانویه گیاهی، پتانسیل عالی برای ایجاد فرمولاسیون جدید علفکش‌ها بر اساس ترکیبات طبیعی می‌باشند و یا به‌عنوان یک راهنما برای شناسایی اجزای فعال برای به‌دست آوردن علفکش‌های طبیعی به کار می‌روند (وردگور^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). به‌طور کلی گیاهان اغلب برای مقابله با تنش اکسیداتیو، سامانه‌های حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد را توسط سامانه پاداکسیدانی آنزیمی نظیر پراکسیداز و کاتالاز در خود توسعه داده‌اند. کاتالاز آنزیمی است که باعث تجزیه H_2O_2 به آب و اکسیژن می‌شود (مرادی^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). پراکسیدازها نیز آنزیم متعلق به گروه اکسیدو ردوکتازها هستند و نقش آن‌ها کاتالیزور پراکسید هیدروژن یا پراکسیدهای آلی است (دمتوس ریبریو^۷ و همکاران،

۲۰۱۷). معمولاً آنزیم پراکسیداز نقش مهمی در کاتابولسیم اکسین، اکسیداسیون فنولیک‌ها، تولید و تجزیه هیدروژن پراکسید و سایر گونه‌های فعال اکسیژن دارد و می‌تواند عامل مهمی در پاسخ دفاعی یکپارچه گیاهان به انواع تنش‌ها باشد (گلزار و صدیقی^۸، ۲۰۱۷). ترکیبات فنولی از اجزای سامانه پاداکساینده غیرآنزیمی با وزن مولکولی پایین و جزو ترکیب‌های ثانویه هستند و نقش مهمی در برهم‌کنش بین گیاه و محیط ایفا می‌کنند. در این رابطه، عطایی^۹ و همکاران (۲۰۲۱) با ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی عصاره آبی اندام‌های ریشه، ساقه، برگ و گل علف‌هرز شاتره (*Fumaria parviflora* L.) بر مؤلفه‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاهچه چچم (*Lolium rigidum* Guad) در شرایط آب کشت گزارش نمودند که عصاره آبی اندام‌های مختلف شاتره اثر بازدارندگی معنی‌داری بر شاخص‌های رشد طول ریشه و وزن خشک گیاهچه، محتوای کلروفیل b، کل و کاروتنوئیدهای چچم داشتند. در اکثر موارد، بیشترین اثر بازدارندگی مربوط به عصاره اندام‌های برگ و گل بود. مطابق نتایج، محتوای پرولین، قندهای محلول و ترکیبات فنولی در مقایسه با شاهد از افزایش معنی‌داری برخوردار بودند. بیشترین افزایش این ترکیبات مربوط به عصاره برگ و گل شاتره بود. در مطالعه‌ای دیگر گزارش شده است که تراوش‌های ریشه برخی از گونه‌های تیره Cucurbitaceae موجب مهار جذب یون‌ها شده و اسید سینامیک و p-هیدروکسی بنزوئیک موجود در این ترشحات اثر مهارکنندگی روی فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، نترات ردوکتاز و ATPase ریشه داشتند (چنگ و چنگ^{۱۰}، ۲۰۱۵). صفاهانی و قوشچی^{۱۱} (۲۰۱۴) با ارزیابی پتانسیل دگرآسیبی عصاره آبی سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و تلخه (*Acroptilon repens* L.) بر رشد گیاهچه‌های گندم گزارش نمودند که با افزایش غلظت عصاره‌ها، رشد گیاهچه‌های گندم کاهش و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان‌ها افزایش یافت. طی تحقیقی گزارش شد که تأثیرات شناخته شده دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی شامل ناهنجاری‌های ساختمانی، کاهش جذب، کاهش جوانه‌زنی، کاهش رشد و کلروزه شدن برگ‌ها می‌باشد. میزان بازدارندگی این مواد

⁸ Gulzar and Siddiqui⁹ Ataei¹⁰ Cheng and Cheng¹¹ Safahani and Ghooshchi¹ FAO² Wang³ Ashraf⁴ Asgarpour⁵ Verdeguer⁶ Moradi⁷ De Mattos Ribeiro

وابسته به غلظت عصاره آبی گیاه مورد آزمایش بود (الشورا و عبد الغاواد^۱، ۲۰۱۵). جو وحشی (*Hordeum Koch spontaneum*) از خانواده غلات و از علف‌های هرز مهم گندم آبی است که در بسیاری از مناطق ایران گسترش یافته است. این گونه ارتباط ژنتیکی بسیار نزدیکی با جو زراعی (*H. vulgare*) دارد و به عقیده بسیاری از محققان، جو زراعی از نتاج این گونه است (هارلن^۲، ۱۹۹۲). از لحاظ گیاهشناسی، جو گیاهی است از خانواده غلات، یک‌ساله و زمستانه با ارتفاع ۱ تا ۱/۵ متر و دارای گوشوارک‌های بلند که ساقه را کاملاً احاطه می‌کنند. بذور جو وحشی دارای ریشک‌های بلندی می‌باشند که آن را در مراحل رسیدگی از چاودار، جو و گندم متمایز می‌سازد. مقاومت به خشکی و شوری، خواب‌بذر و دگرآسیبی به‌ویژه در برگ‌ها از جمله ویژگی‌های بارز این گیاه است (حمیدی^۳، ۲۰۰۷). حضور این علف‌هرز در اغلب استان‌ها به‌ویژه استان گلستان گزارش شده است. شاهی یا تره تیزک، با نام علمی *Lepidium sativum* L. گیاهی است یک‌ساله و خوراکی، از خانواده شب‌بو (Brassicaceae) که منشأ آن به ناحیه وسیعی از مصر تا تبت نسبت داده می‌شود. با توجه به این که بذورهای شاهی به سهولت جوانه می‌زنند، در مطالعات زیست‌سنجی به‌عنوان گیاه مرجع به‌کار می‌روند. مسیس^۴ (۱۹۹۵) گزارش نمود که بذورهایی از گونه‌های شاهی، گوجه‌فرنگی و کاهو به سهولت جوانه می‌زنند، لذا اغلب به عنوان گیاه مرجع در جوانه‌زنی به‌کار می‌رود. این چنین آزمون‌ها می‌تواند برای تجزیه و خالص‌سازی ترکیبات دگرآسیب مفید باشد. امروزه تحقیقات زیادی در مورد خصوصیات بوم‌شناسی و فیزیولوژیکی علف‌های هرز از جمله جو وحشی انجام شده است، اما تحقیقات در رابطه با خاصیت دگرآسیبی آن‌ها اندک است. به‌طورکلی علف‌های هرز به‌دلیل سازگاری زیاد با شرایط محیطی از زیست‌توده بالایی در مزارع برخوردار می‌باشند. اصولاً خارج نکردن علف‌های هرز در زمین موجب بروز اثرات دگرآسیبی و یا فیتوتوکسینی بر محصولات زراعی می‌گردند، لذا شناسایی، برآورد سطح تأثیر علف‌های هرز و بهره‌گیری از ترکیبات شیمیایی علف‌های هرز با خواص

دگرآسیبی جهت تولید علفکش‌های سازگار با محیط زیست در راستای تولید پایدار در کشاورزی ضروری می‌باشد. بنابراین هدف از این آزمایش، بررسی اثر دگرآسیبی غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی بر خصوصیات جوانه‌زنی، مورفیزولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی بود.

مواد و روش‌ها

مختصات جغرافیایی محل جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی

در این مطالعه، نمونه‌های گیاهی جو وحشی (*H. spontaneum*) از مزارع شرق استان گلستان در محدوده جغرافیایی ۵۴ تا ۵۶ درجه طول شرقی و ۳۷ تا ۳۸ درجه عرض شمالی و در بین استان‌های مازندران، سمنان و خراسان شمالی طی مرحله فنولوژیکی گل‌دهی جمع‌آوری شد (شکل ۱). ابتدا، نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه با کمک فلور رنگی ایران (قهرمان^۵، ۱۹۹۶) و کارشناس خبره سامانه‌اتیک، مورد شناسایی دقیق گونه‌ای قرار گرفت. در ادامه، نمونه‌ها با آب دیونیزه (فاقد یون) به‌مدت کوتاهی (یک دقیقه) جهت جلوگیری از آسبویی ترکیبات شیمیایی دگرآسیب‌مورد شستشو قرار گرفتند. سپس نمونه‌های گیاهی در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت (۱۰ درصد وزن پایه تر) خشک گردیدند (کسر^۶، ۲۰۰۰). در ادامه، نمونه‌ها توسط آسیاب برقی، خرد و سپس از الک‌هایی با مش ۵۰ (تعداد مربع در یک اینچ) عبور داده شدند. در پایان نمونه‌ها تا زمان استفاده در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار نگهداری شدند. برای آماده‌سازی نمونه، ابتدا ۵ گرم از پودر کل اندام‌های گیاه جو وحشی (وزنی) با ۱۰۰ میلی‌لیتر حلال آب مقطر (حجمی) عصاره‌گیری شد. هم‌اکنون ۴۴ ترکیب متعلق به ترکیبات شیمیایی مختلف نظیر فنول‌ها، آلکالوئیدها، سیانوگلیکوزیدها، پلی آمین‌ها، هیدروکسامید اسیدها و غیره، به‌عنوان دگرآسیب‌رسان شیمیایی بالقوه شناسایی شده‌اند که به اثرات دگرآسیبی جو کمک

¹ El- Shora and Abd El- Gawad

² Harlan

³ Hamidi

⁴ Macias

⁵ Ghareman

⁶ Caceres

گرفت و در ادامه این بذرها برای چندین مرتبه با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفتند. در مرحله بعدی، ۲۵ عدد بذر شاهی در پتری‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر کشت شدند. سپس ۵ میلی‌لیتر از هریک از غلظت‌های حاصل از عصاره آبی به محیط کشت هر یک از پتری‌ها اعمال گردید. پتری‌های کشت شده در شرایط اتاقک رشد با طول دوره روشنائی ۱۶ ساعت و تاریکی ۸ ساعت، نور ۱۴۰۰۰ لوکس و دمای 25 ± 3 درجه سلسیوس قرار داده شدند. در ادامه، تعداد بذره‌های جوانه‌زده از روز دوم تا پنجم ثبت گردید. بذره‌های شاهی از جمله بذوری است که دارای مدت زمان جوانه‌زنی کوتاهی می‌باشد. بررسی منابع نشان می‌دهد که مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی شاهی یعنی ثابت شدن جوانه‌زنی آن، ۵ روز می‌باشد (هیوه‌چی^۴ و همکاران، ۲۰۲۳). این آزمایش در آزمایشگاه گیاه‌شناسی دانشگاه گنبدکاووس به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. در پایان این مدت، برخی از خصوصیات جوانه‌زنی، مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های شاهی تحت تیمار به‌شرح ذیل مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

اندازه‌گیری صفات جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی (هاردگری و ون وکتر^۵، ۲۰۰۰) و سرعت جوانه‌زنی (خندکار و بردبیر^۶، ۱۹۸۳)، به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱ و ۲ مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. معیار جوانه‌زنی بذرها، ظهور جزئی جوانه‌ها با اندازه ۳ میلی‌متر بود (غلامی و امینی دهقی^۷، ۲۰۲۲).

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

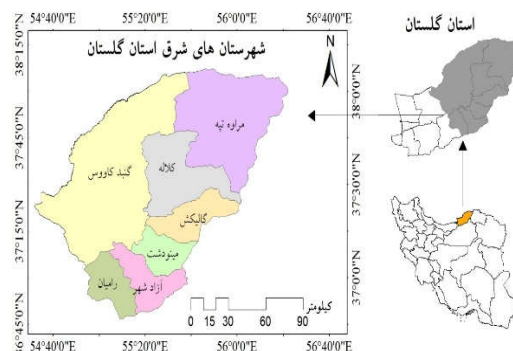
در این رابطه، تعداد بذره‌های جوانه‌زده n تعداد و N کل بذره‌های کشت شده می‌باشد.

$$\text{رابطه (۲)} \quad GR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n}{t} \right)$$

GR: سرعت جوانه‌زنی، n : تعداد بذره‌هایی که در زمان t

جوانه‌زده و t : تعداد روزها از شروع آزمایش

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و برحسب سانتی‌متر گزارش گردید. همچنین



شکل ۱. مختصات جغرافیایی محل انجام آزمایش

Figure 1. Geographical coordinates of the experimental place

می‌کنند (کریم و بن-همیدا^۱، ۲۰۰۹). بنابراین با توجه به حضور بیشتر ترکیبات قطبی نظیر فنول‌ها، آلکالوئیدها و گلیکوزیدها از لحاظ تعداد اتم‌های کربن و هیدروکسید به‌عنوان گروه اصلی ترکیبات فعال زیستی (نزدیک بودن قطبیت آن‌ها به آب) و منابع موجود از حلال آب مقطر استفاده شد. در این رابطه، یعقوبی^۲ و همکاران (۲۰۲۲) گزارش نمودند که در بعضی از گیاهان مانند گیاه مورد (*Myrtus communis* L.)، قطبیت ترکیبات فنولی آن نزدیک قطبیت آب بوده و بنابراین از حلال آب برای استخراج ترکیبات استفاده شد. سپس نمونه به مدت ۲۴ ساعت بر روی دستگاه لرزاننده^۳ قرار داده شد و در مرحله بعد، نمونه با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه (جهت جلوگیری از بالا رفتن دما و شکست احتمالی ساختار ترکیبات دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی موجود در نمونه) سانتریفیوژ گردید. در ادامه، از عصاره به‌دست آمده حاصل از محلول پایه، غلظت‌های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد با کمک آب مقطر تهیه گردید. از آب مقطر خالص به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد.

آزمایش‌های زیست‌سنجی

برای شروع آزمایش، بذره‌های گواهی شده گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی (*L. sativum*) از شرکت پاکان بذر تهیه شد. سپس بذرها با هیپوکلریت سدیم ۰/۱ درصد به‌مدت یک دقیقه مورد ضد عفونی قرار

⁴ Heivachi

⁵ Hardgree and Van Vactor

⁶ Khandakar and Bradbeer

⁷ Gholami and Amini Dehagi

¹ Kremer and Ben-Hammouda

² Yaghoobi

³ Shaker

$$\text{Chlorophyll } b = [(19.3 \times A_{645}) - (3.6 \times A_{663})] \times V / 100W$$

رابطه (۶)

$$\text{Carotenoids} = [100(A_{470}) - 3.27 (\text{mg chl } a) - 104(\text{mg chl } b) / 227]$$

رابطه (۷)

V = مقدار حجم محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ؛ W وزن تازه نمونه برحسب گرم؛ A ، مقدار جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر.

اندازه‌گیری محتوای قندهای محلول

بدین منظور، ۰/۱ گرم از ماده خشک برگچه شاهی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد مخلوط شد. سپس به مدت یک هفته در یخچال نگهداری گردید تا قندهای محلول آن کاملاً آزاد شود. پس از یک هفته، از محلول رویی نمونه‌ها، یک میلی‌لیتر برداشته و حجم آن با آب مقطر به دو میلی‌لیتر رسانده شد. میزان جذب نمونه پس از افزودن یک میلی‌لیتر فنول ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ و بعد از گذشت ۴۵ دقیقه، به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر با مدل Biochrom libera- 22 در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد. محتوای قندهای محلول با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک نمونه گزارش شد (کوکرت^۴، ۱۹۷۸).

اندازه‌گیری محتوای پرولین

بدین منظور، ۵۰۰ میلی‌گرم برگچه تازه شاهی با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳ درصد (جهت انعقاد پروتئین) مخلوط شد. 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 به محلول حاصل اضافه گردید. در ادامه، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول حاصل افزوده و به مدت ۲۰ تا ۳۰ ثانیه به خوبی تکان داده شد، به طوری که لایه رویی زرد رنگ تولوئن نمایان گردید. سپس این لایه جدا و مقدار جذب به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر با مدل Biochrom libera- S22 در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. سپس محتوای پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین بر حسب میکرومول بر

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و برحسب میلی‌گرم در بوته گزارش گردید.

شاخص طولی بنیه بذر با استفاده از رابطه ۳ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (عبدالباکی و اندرسن^۱، ۱۹۷۳).

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

رابطه (۳)

VI : شاخص طولی بنیه بذر، GP : درصد جوانه‌زنی و SL : طول گیاهچه (مجموع طول ریشه‌چه و ساقه‌چه)

ضریب آلومتریک (نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\text{Allometric coefficient} = \frac{RL}{SL}$$

رابطه (۴)

RL : طول ریشه‌چه، SL : طول ساقه‌چه بر حسب سانتی‌متر

اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی بر اساس روش استون سرد^۲ انجام شد. بدین ترتیب که مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه برگ شاهی با ۱۰ میلی‌لیتر استون سرد ۸۰ درصد کاملاً له شده و محلول حاصل با سرعت پایین (۱۰۰۰ دور در دقیقه جهت جلوگیری از حرارت محلول و یونیزه شدن ترکیبات شیمیایی آن) به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس فاز محلول از فاز رسوب جدا شده و با استون سرد ۸۰ درصد به حجم معین ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. مقداری از نمونه محلول داخل بالن را در کووت از جنس کوارتز ریخته و در پایان مقدار جذب به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به ترتیب برای رنگیزه‌های کلروفیلی a ، b و کاروتنوئیدها با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر با مدل Biochrom libera- S22 قرائت شد. با استفاده از روابط ۵-۷ محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی a ، b و کل و به‌علاوه کاروتنوئیدها، برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه نمونه برآورد شد (آرنون^۳، ۱۹۴۹).

$$\text{Chlorophyll } a = [(19.3 \times A_{663}) - (0.86 \times A_{645})] \times V / 100W$$

رابطه (۵)

¹ Abdul-Baki and Anderson

² Chill acetone

³ Arnon

⁴ Kochert

گرم وزن تازه نمونه گزارش شد (بیتس^۱ و همکاران، ۱۹۷۳).

اندازه‌گیری نشت یونی غشای سلول

بدین منظور، ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های برگچه‌های شاهی را توزین و سپس درون دو لوله آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر به‌طور جداگانه قرار داده شد. در ادامه، یکی از نمونه‌ها در دستگاه حمام آب جوش در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شد و سپس هدایت الکتریکی نمونه‌ها به کمک دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (EC1). نمونه دیگر را نیز در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه نیز قرار داده شد و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد (EC2). رابطه (۶)

درصد نشت یونی = هدایت الکتریکی نمونه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس / هدایت الکتریکی نمونه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز

جهت رسیدن به حداکثر استخراج آنزیم در بافت برگچه‌های شاهی، شرایط عصاره‌گیری با توجه به مولاریته و pH بافر، استاندارد شد. تمام مراحل عصاره‌گیری در دمای صفر الی ۴ درجه سلسیوس انجام شد. در ابتدا یک گرم از نمونه برگچه‌ها با آب مقطر شستشو و با کاغذ صافی خشک شد و سپس در هاون چینی با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم سرد (حاوی ۰/۱ میلی‌لیتر اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA)، ۱ درصد (W/V) پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP)، ۰/۵ درصد تریتون X-100 و ۲۰ درصد گلیسرول که در pH=۷/۸ تنظیم شده)، له شد. عصاره حاصل با ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد تا محلول همگنی به دست آید. سپس محلول رویی با دقت جدا و به‌عنوان عصاره آنزیم خام استفاده شد (کالا^۲، ۲۰۱۵).

فعالیت آنزیم کاتالاز با توجه به روش ابی^۳ (۱۹۸۴) با کمی تغییرات انجام شد. بدین منظور، مخلوط واکنش کاتالاز موجود شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار

(pH=۷)، ۱۰۰ میکرولیتر از پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره گیاهی بود. واکنش با افزودن H₂O₂ آغاز شد و فعالیت آنزیم به وسیله میزان تخریب H₂O₂ به کمک اسپکتروفتومتر (با مدل Biochrom libera-S22) در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه تعیین شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی ۳۹/۴ mM⁻¹cm⁻¹ برای H₂O₂ محاسبه شد، به گونه‌ای که یک واحد از فعالیت آنزیم به‌عنوان مقدار آنزیم مورد نیاز برای اکسیداسیون یک میکرومول از دقیقه H₂O₂ در شرایط سنجش تعریف می‌شود.

$$A = \varepsilon bc \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این معادله A: نقطه جذب، ε : ضریب خاموشی (۳۹/۴ mM⁻¹cm⁻¹)، b: طول سلول (1 cm)، c: غلظت کاتالاز می‌باشد.

سنجش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش چانس و مهلی^۴ (۱۹۵۵) مورد سنجش قرار گرفت. محیط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی‌مولار و گایاکول ۱۰ میلی‌مولار محلول در آب دو بار تقطیر بود. واکنش با افزودن ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به محیط واکنش در درون کووت شیشه‌ای آغاز شد. میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر با ضریب خاموشی (26.6 mM⁻¹cm⁻¹) و در مدت زمان ۱۸۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. سپس فعالیت این آنزیم به‌صورت تغییرات جذب در دقیقه به ازای هر گرم وزن تازه گزارش شد. نمونه شاهد شامل مخلوط واکنش مذکور بدون عصاره آنزیمی بود.

اندازه‌گیری غلظت مالون دی‌آلدید

به‌منظور تعیین غلظت مالون دی‌آلدید در برگچه، ابتدا ۰/۵ گرم بافت برگچه تازه شاهی را در محلول ۲۰ درصد تری کلرو استیک اسید (TCA) که حاوی ۰/۵ درصد تیو باربیتوریک اسید (TBA)، کاملاً پودر نموده و آنگاه مخلوط حاصل به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس در حمام آب جوش قرار داده شد. سپس این مخلوط را در حمام یخ، سرد نموده و مطابق روش

^۱ Bates

^۲ Kala

^۳ Aebi

^۴ Chance and Maehly

ولنتوویک^۱ و همکاران (۲۰۰۶)، غلظت مالون دی آلدئید در طول موج ۵۳۲ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با مدل Biochrom libera-S22 قرائت و برحسب نانومول بر گرم وزن تازه 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 شاهی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول داغ ۸۰ درصد در هاون چینی در دمای اتاق ساییده شد و سپس مخلوط حاصل با سرعت پایین ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتیفریوژ (مدل NF 200) گردید. پس از آن مخلوط رویی در حمام آب جوش قرار داده تا کاملاً غلیظ گردد. سپس یک میلی‌لیتر از محلول تغلیظ شده با کمک آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. در مرحله بعد، مجدداً ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول حاصل با ۲/۵ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم سه میلی‌لیتر رسانده شد، سپس روی محلول حاصل، ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو ۵۰ درصد اضافه و در ادامه بعد از سه دقیقه، دو میلی‌لیتر کربنات سدیم ۲۰ درصد نیز به آن افزوده گردید. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده و پس از سرد شدن به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر با مدل Biochrom libera-S 22 در طول موج ۶۵۰ نانومتر قرائت شد. در پایان، محتوای ترکیبات فنولی بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه خشک محاسبه شد (ملک و سینگ^۲، ۱۹۸۰).

تعیین درصد بازدارندگی و یا تحریک کنندگی

در این مطالعه، میزان درصد تحریک‌کنندگی و یا بازدارندگی عصاره آبی جو وحشی بر صفات مورد بررسی شاهی با استفاده از رابطه ارائه شده توسط آمو^۳ و همکاران (۲۰۰۸)، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

$$I = [(R_2 - R_1) / R_1] \times 100 \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن، I: درصد بازدارندگی و یا تحریک کنندگی، R₁: پاسخ گیاه شاهد و R₂: پاسخ گیاه تیمار شده می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا نرمال سنجی داده‌ها توسط نرم افزار Minitab با نسخه ۱۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS با نسخه ۹/۳ انجام شد. برازش منحنی رگرسیونی میانگین داده‌های هر صفت با استفاده از نرم‌افزار Excel با نسخه ۲۰۰۷ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج اثر عصاره آبی غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی بر صفات جوانه‌زنی و رشدی شاهی

نتایج نشان داد که اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص طولی بذر و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در این مطالعه، اثر غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی بر ضریب آلومتریک شاهی معنی‌دار نبود (جدول ۱). روند تغییرات درصد جوانه‌زنی شاهی تحت غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی نشان داد که این صفت با افزایش غلظت عصاره آبی، کاهش نشان داد، به گونه‌ای که با افزایش یک درصد از غلظت عصاره آبی، درصد جوانه‌زنی معادل ۰/۳۶ درصد، کاهش نشان داد. این رابطه ۹۱ درصد تغییرات در درصد جوانه‌زنی شاهی تحت ترکیبات دگرآسیب غلظت‌های مختلف جو وحشی را توجیه می‌نماید (شکل ۲). مطابق شکل ۳، روند تغییرات رگرسیونی سرعت جوانه‌زنی شاهی نظیر درصد جوانه‌زنی نشان‌دهنده رابطه خطی منفی و معنی‌داری از این صفت با غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی بود، با این تفاوت که شیب کاهش درصد جوانه‌زنی بیشتر از سرعت جوانه‌زنی (۰/۰۲ تعداد در روز) به ازای افزایش یک واحد از درصد غلظت عصاره آبی بود. در این مطالعه، تمام بذور کشت شده شاهی در نمونه شاهد جوانه زده‌اند، بنابراین می‌توان استنباط نمود که بذره‌های شاهی تحت آزمایش از قوه نامیه و کیفیت مناسبی برخوردار بودند، به گونه‌ای که تحت تأثیر کاهنده تنش اکسیداتیو ناشی از ترکیبات دگرآسیب غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی قرار گرفتند.

¹ Valentovic

² Malick and Singh

³ Amoo

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر صفات جوانه‌زنی و رشدی شاهی (*Lepidium sativum*)

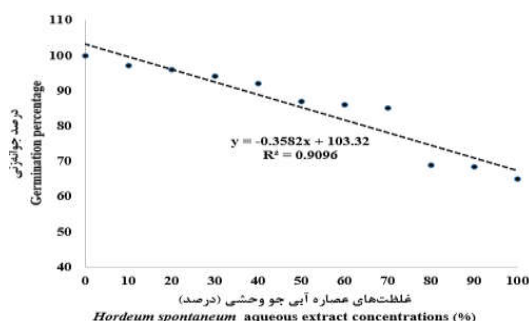
Table 1. Analysis of variance for the aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on germination and growth characteristics of cress (*Lepidium sativum*)

وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	شاخص طولی بذر	ضریب آلومتریک	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	سرعت جوانه زنی	درصد جوانه‌زنی	درجه آزادی	منابع تغییرات
Shoot dry weight	Radicle dry weight	Seed vigor length index	Alometric coefficient	Shoot length	Radicle length	Germination rate	Germination percentage	df	S.O.V
510.79**	97.22**	44.93**	0.97 ^{ns}	0.57**	14.65**	1.27**	509.74**	10	تیمار
22	5.36	1.47	0.46	0.023	0.63	0.14	48.48	22	خطا
9.87	15.60	9.85	10.98	7.59	6.55	8.10	8.17		ضریب تغییرات (درصد)
									Coefficient variance (%)

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و ^{ns}: نشان‌دهنده عدم معنی‌داری

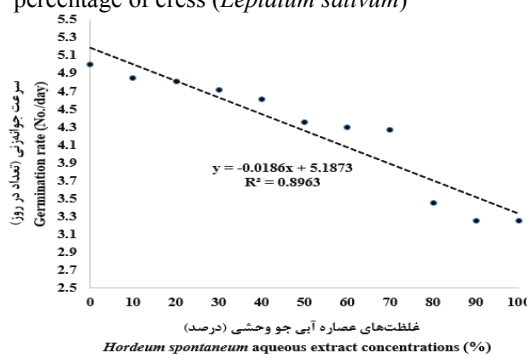
** Indicates significance at the 1% probability level, and ^{ns}: non significant

برازش مدل رگرسیونی، رابطه خطی منفی و معنی‌داری همچنین اثر کاهشی متفاوت غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی بر صفات جوانه‌زنی گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی احتمالاً می‌تواند به دلیل تفاوت در غلظت دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی موجود در جو وحشی به‌ویژه آسپاراتیک اسید در برگ (سینگ^۱ و همکاران، ۱۹۷۳) و اسیدهای فنولی (حسین‌زاده^۲ و همکاران، ۲۰۰۹) باشد. ترکیباتی مانند فنولیک اسید (بهو و ون^۳، ۱۹۹۹)، فلاونوئیدها، گلیکوزیدهای سیانوزنیک (نیلسن^۴ و همکاران، ۲۰۰۲) و پلی آمین‌ها (رایس^۵، ۱۹۸۴)، ترکیباتی می‌باشند که به‌عنوان ترکیبات شیمیایی دگرآسیب‌رسان در گیاه جو شناسایی شده‌اند. رگوسا و پدرول^۶ (۲۰۰۲) گزارش نمودند که پدیده دگرآسیبی به نوع و غلظت مواد دگرآسیب‌رسان شیمیایی و حساسیت گیاه هدف بسیار وابسته است. در آزمایشی، محمد و العشری^۷ (۲۰۱۲) گزارش نمودند که افزایش غلظت عصاره آبی خردل سیاه (*Brassica nigra* L.) از جوانه‌زنی نخود فرنگی ممانعت به‌عمل آورد. همچنین این عصاره میزان تقسیم سلولی در نخود فرنگی را کاهش و درصد بی‌نظمی‌های کروموزومی در هر دو نوع تقسیم میوز و



شکل ۲. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر درصد جوانه‌زنی شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 2. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on germination percentage of cress (*Lepidium sativum*)



شکل ۳. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر سرعت جوانه‌زنی شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 3. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on germination percentage of cress (*Lepidium sativum*)

¹ Singh

² Hosseinzadeh

³ Berhow and Vaughn

⁴ Nielsen

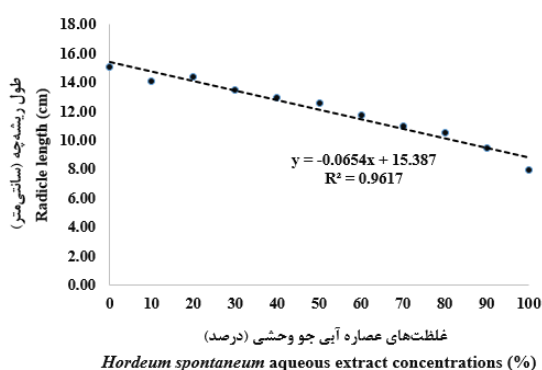
⁵ Rice

⁶ Regosa and Pedrol

⁷ Mohamed and El-Ashery

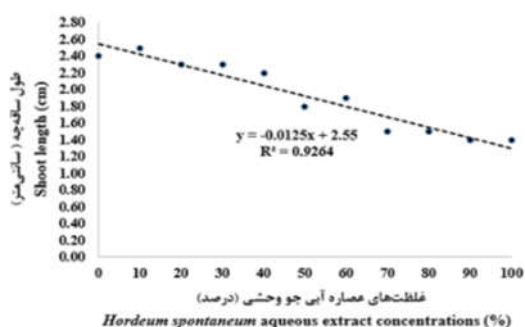
ریشه‌چه و اندام هوایی، اولین نشانه‌های قابل رویت تنش دگرآسیبی است.

روند تغییرات شاخص طولی بنیه بذر در پاسخ به غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی نیز خطی و کاهشی بود. بر این اساس، شاخص طولی بنیه بذر با افزایش هر واحد از درصد عصاره آبی به مقدار ۰/۱۱ کاهش نشان داد. به‌طورکلی این تابع ۹۸ درصد تغییرات شاخص طولی بنیه بذر شاهی تحت ترکیبات دگرآسیب موجود در عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی را توجیه می‌نماید (شکل ۴).



شکل ۴. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر طول ریشه‌چه شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 4. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on radicle length of cress (*Lepidium sativum*)



شکل ۵. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر طول ساقچه شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 5. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on shoot length of cress (*Lepidium sativum*)

میتوز را افزایش داد. فرهودی^۱ و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی جوانه‌زنی سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) در واکنش به ترکیبات آسیب جو گزارش نمودند که این ترکیبات با اثر منفی بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های علف‌هرز سلمه‌تره شد.

همان‌طوری که در شکل ۴ مشاهده می‌شود طول ریشه‌چه شاهی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی به‌صورت خطی کاهش یافت. به‌طوری که این صفت در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد از شیب کاهشی ملایمی برخوردار بود، اما در فراتر از آن با شیب تندتری کاهش نشان داد. در مجموع این تابع، ۹۶ درصد تغییرات طول ریشه‌چه را توجیه می‌نماید. مطابق یافته‌ها، طول ساقچه‌چه شاهی در پاسخ به غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی نیز رابطه خطی کاهشی را نشان داد. طول ساقچه‌چه در غلظت ۲۰ و ۳۰ درصد در حد آستانه کاهش بود و تغییر کاهشی معنی‌داری را نشان نداد، اما در فراتر از غلظت ۳۰ درصد حد بحرانی دگرآسیبی شروع شد و در غلظت ۱۰۰ درصد میزان کاهش در طول ساقچه‌چه معادل ۴۱/۶۷ درصد بود (شکل ۵). به نظر می‌رسد تنش اکسیداتیو ناشی از مواد دگرآسیب موجود در عصاره آبی جو وحشی با کاهش در تقسیمات میتوزی و رشد طولی سلول‌ها در مریستم انتهایی ریشه و اختلال در جذب یون‌های معدنی منجر به کاهش طول ریشه‌چه و ساقچه‌چه شاهی گردید. همچنین این مطالعه نشان داد که شیب کاهش طول ریشه‌چه شاهی به‌ازای اضافه شدن یک درصد از غلظت عصاره آبی جو وحشی (۰/۰۷ سانتی‌متر) بیشتر از طول ساقچه‌چه (۰/۰۱ سانتی‌متر) بوده است. خلیلی محله‌آو همکاران (۲۰۱۴) گزارش نمودند که کاهش طول ریشه‌چه احتمالاً بیانگر این امر می‌باشد که طویل شدن سلول‌ها به‌وسیله عوامل دگرآسیب از طریق ممانعت از عمل هورمون‌های جیبرلین و ایندول استیک اسید تحت تأثیر قرار گرفته است. بوگتک^۲ و همکاران (۲۰۰۵) نیز بیان نمودند که کاهش و تأخیر جوانه‌زنی دانه، جلوگیری از رشد

¹ Farhoudi

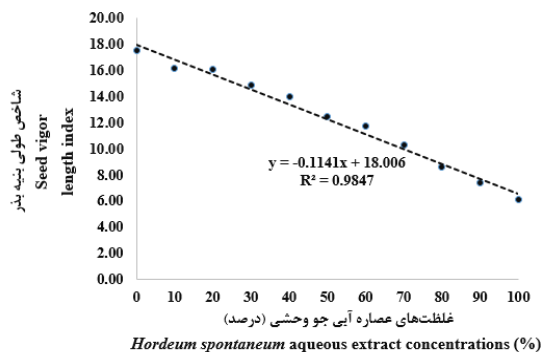
² Khalili Mahalleh

³ Bogatek

همان‌طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، وزن خشک ریشه‌چه شاهی در پاسخ به ترکیبات دگرآسیب موجود در غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی به‌صورت نمایی کاهش نشان داد. به‌طوری‌که حد بحرانی دگرآسیبی در غلظت ۱۰ درصد (۲۴/۴۸ درصد) شروع می‌شود و در غلظت کامل به حداکثر (۶۶/۴۳ درصد) می‌رسد. در مورد وزن خشک ساقه‌چه شاهی، این صفت رابطه خطی منفی و معنی‌داری را با عصاره آبی جو وحشی نشان داد، به گونه‌ای که وزن خشک ساقه‌چه شاهی به ازای هر واحد افزایش در غلظت عصاره آبی، به‌میزان ۰/۳۲ میلی‌گرم در بوته کاهش نشان داد. این رابطه، ۶۷ درصد از تغییرات وزن خشک ساقه‌چه شاهی تحت تأثیر ترکیبات دگرآسیب موجود در عصاره آبی جو وحشی را توجیه می‌نماید (شکل ۸). در این مطالعه، وزن خشک ریشه‌چه بیشتر از وزن خشک ساقه‌چه تحت تأثیر غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی قرار گرفت. با توجه به این که ریشه‌چه اولین اندامی است که ظهور می‌یابد و در معرض ترکیبات دگرآسیب قرار می‌گیرد، این امر دور از انتظار نیست. محققین بیان نمودند که ترکیبات دگرآسیب‌رسان شیمیایی، بازدارندگان بالقوه وزن خشک گیاهان می‌باشند (صدیکی و زمین^۱، ۲۰۰۵؛ هرو و کلوی^۲، ۲۰۰۳). در مطالعه‌ای دیگر، گورن و سکری^۳ (۲۰۰۹) نیز گزارش نمودند عصاره جو سبب کاهش رشد و وزن گیاهچه علف‌های هرز مرغ و یولاف وحشی شد. اختلال در تقسیم میتوز و تخریب غشاهای سلولی را از دلیل کاهش رشد گیاهچه‌های هدف بیان شد.

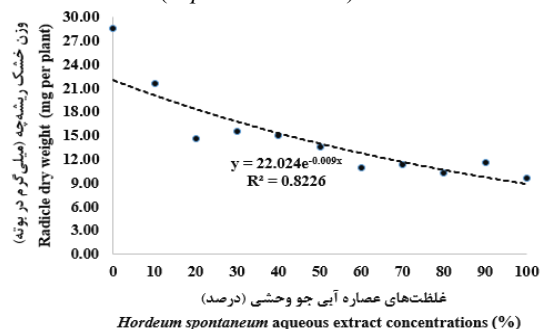
نتایج اثر عصاره آبی غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شاهی

مطابق نتایج، اثر عصاره آبی غلظت‌های مختلف علف‌هرز جو وحشی بر صفات فیزیولوژیکی نظیر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، b و کل، کارتنوئیدها، محتوای قندهای محلول، محتوای پروتئین، نشت یونی و



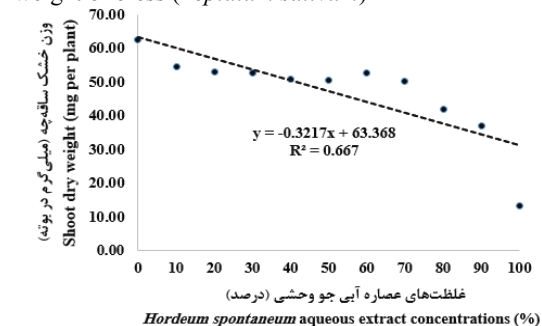
شکل ۶. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر شاخص طولی بنبه بذر شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 6. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on seed vigor length index of cress (*Lepidium sativum*)



شکل ۷. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر وزن خشک ریشه‌چه شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 7. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on radicle dry weight of cress (*Lepidium sativum*)



شکل ۸. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر وزن خشک ساقه‌چه شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 8. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on shoot dry weight of cress (*Lepidium sativum*)

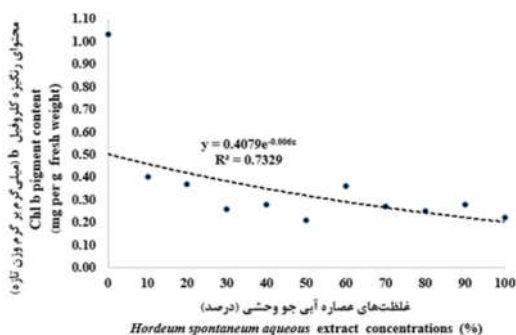
¹ Siddiqui and Zaman

² Herro and Callaway

³ Goran and Sakri

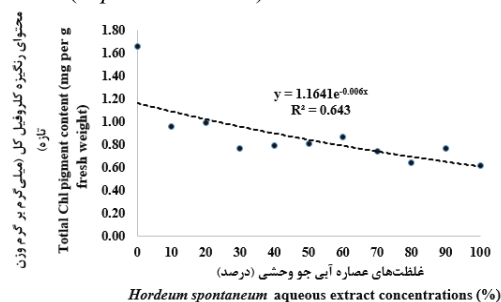
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر صفات صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شاهی (*Lepidium*Table 2. Analysis of variance of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on physiological and biochemical characteristics of cress (*Lepidium sativum*)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای کلروفیل a Chl a content	محتوای کلروفیل b Chl b content	محتوای کلروفیل کل Total Chl content	محتوای کاروتنوئیدها Carotenoids content	محتوای قندهای محلول Soluble sugars content	محتوای پرولین Proline content	نشت یونی Ion leakage	فعالیت کاتالاز Catalase activity	فعالیت گایاکول پراکسیداز Guaiacol peroxidase activity	غلظت مالون دی آلدهید Malondialdehyde concentration	محتوای ترکیبات فنولی Phenolic compounds content
تیمار Treatment	10	0.21**	0.16**	0.24**	0.05**	1395.00**	2.40**	306.00*	4.00**	4.62*	0.02**	47.52**
خطا Error	22	0.002	0.004	0.005	0.003	280.99	0.26	110.76	19.00	1.08	0.001	1.73
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient variance (%)		9.24	18.57	7.87	10.21	26.85	23.43	17.42	7.97	14.71	12.09	8.01



شکل ۱۰. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر محتوای رنگیزه کلروفیل b شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 10. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on chlorophyll b pigment content of cress (*Lepidium sativum*)



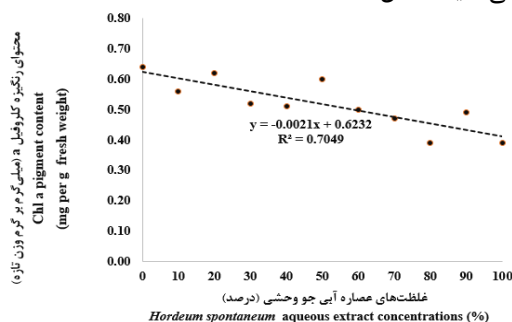
شکل ۱۱. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر محتوای رنگیزه کلروفیل کل شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 11. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on total chlorophyll pigment content of cress (*Lepidium sativum*)

در مجموع محتوای رنگیزه کلروفیل کل شاهی در پاسخ به ترکیبات دگرآسیب موجود در غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی به صورت نمایی کاهش نشان داد. بر این اساس، برازش مدل رگرسیونی نمایی، ۶۴ درصد از واریانس و تغییرات محتوای کلروفیل کل شاهی را توجیه می‌نماید (شکل ۱۱). همان‌طوری که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود بین محتوای رنگیزه کاروتنوئیدهای شاهی و غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی رابطه درجه ۲ برقرار بود. به‌طوری‌که صفت مورد بررسی دارای شیب کاهشی تندی در غلظت ۱۰

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز، غلظت مالون دی آلدهید و بیوشیمیایی ترکیبات فنولی معنی‌دار بود (جدول ۲).

بررسی روند تغییرات محتوای رنگیزه کلروفیل a شاهی در پاسخ به غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی نشان داد که با افزایش غلظت عصاره، این رنگیزه به صورت خطی کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که به ازای هر واحد افزایش غلظت در عصاره آبی، محتوای کلروفیل a به میزان ۰/۰۰۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه نمونه کاهش نشان داد. به‌طور کلی این رابطه ۷۰ درصد تغییرات در محتوای کلروفیل a را توجیه می‌نماید (شکل ۹). نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که محتوای رنگیزه حفاظتی کلروفیل b شاهی در واکنش به ترکیبات دگرآسیب‌رسان شیمیایی موجود در غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی به صورت نمایی کاهش نشان داد. به‌طوری‌که محتوای کلروفیل b در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد عصاره آبی با شیب تندی در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد، اما در فراتر از غلظت ۲۰ درصد، شیب کاهش این رنگیزه به‌طور تقریبی یکنواخت شد. به‌طور کلی این تابع ۷۳ درصد تغییرات محتوای رنگیزه کلروفیل b را توجیه می‌نماید (شکل ۱۰).

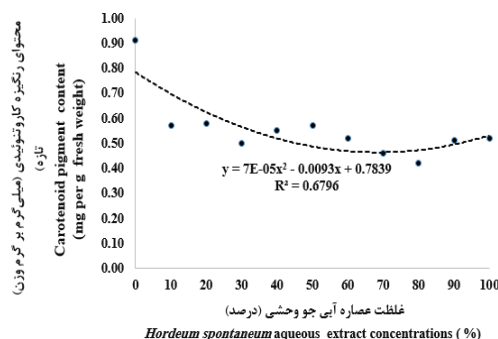


شکل ۹. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر محتوای رنگیزه کلروفیل a شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 9. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on chlorophyll a pigment content of cress (*Lepidium sativum*)

ملکولی آن‌ها باشد. در حقیقت کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی احتمالاً ناشی از فعال شدن مسیر کاتابولیسمی است. ابو-رحمن^۱ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند که کاهش سطح کلروفیل کل مربوط به کاهش فتوسنتز و یا افزایش تجزیه این رنگدانه ها می‌باشد. همچنین بابو و کندسامی^۲ (۱۹۹۷) گزارش نمودند که کاهش مقدار رنگیزه کلروفیل می‌تواند در اثر افزایش فرآیندهای سوخت و ساز مربوط به سنتز رنگدانه های فتوسنتزی جدید باشد. علاوه بر این، کاهش کلروفیل ممکن است ناشی از آسیب‌هایی باشد که به سامانه‌های فتوسنتزی وارد شده است؛ دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی ممکن است مسیر بیوسنتز کلروفیل را بلوکه و یا مسیر تخریب کلروفیل را تحریک نمایند. همچنین دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی می‌توانند هر دوی این عمل را با هم انجام دهند. چی-منگ^۳ و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که کاهش محتوای کاروتنوئیدی احتمالاً به دلیل فرونشانی غیر فتوشیمیایی کلروفیل‌های برانگیخته توسط کاروتنوئیدها و در نتیجه، برهم ریختن ساختار ملکولی کاروتنوئیدها می‌باشد. در گزارش السانت^۴ و همکاران (۲۰۱۳)، تغییر در غلظت رنگیزه‌های کلروفیلی را به‌عنوان شاخصی برای دگرآسیبی معرفی نمودند. در مجموع نتایج این آزمایش به‌طور مشخص نشان داد که غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی، رنگیزه‌های کلروفیلی را در گیاهچه‌های شاهی کاهش می‌دهند که نتیجه این امر موجب کاهش معنی‌دار رشد و نمو گیاهچه‌ها می‌باشد.

بررسی روند تغییرات محتوای قندهای محلول شاهی، یک رابطه درجه دو از محتوای قندهای محلول با غلظت‌های مختلف علف‌هرز جو وحشی را نشان داد. بر اساس رابطه و ضرایب آن غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد تأثیر افزایشی معنی‌داری بر این اسمولیت‌سازی نداشتند، اما در فراتر از ۸۰ درصد از شیب افزایشی تندی برخوردار بود (شکل ۱۳). در مقابل روند تغییرات محتوای پرولین در پاسخ به



شکل ۱۲. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر محتوای رنگیزه کاروتنوئیدی شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 12. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on carotenoids pigment content of cress (*Lepidium sativum*)

درصد از عصاره آبی جو وحشی بود. اما شیب کاهش محتوای کاروتنوئیدهای شاهی در غلظت‌های بیش از ۱۰ درصد به‌طور تقریبی متوقف شد. به‌طور کلی این تابع ۶۸ درصد تغییرات این صفت تحت غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی را توجیه می‌نماید. روند تغییرات کاهشی محتوای رنگیزه‌های حفاظت کننده نوری کلروفیلی نظیر b و کاروتنوئیدها و به‌دنبال آن محتوای کلروفیل a و کل شاهی تحت غلظت‌های ۱۰ تا ۱۰۰ درصد عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی را می‌توان به شدت بالای تنش اکسیداتیو ناشی از عصاره جو وحشی و عدم واکنش مناسب این رنگیزه‌های حفاظتی مرتبط دانست، به گونه‌ای که ترکیبات دگرآسیب جو وحشی این رنگیزه‌ها را هدف‌گذاری نموده و سبب برانگیخته شدن کلروفیل a (تشکیل تریپلت کلروفیل) می‌گردند. در غیاب حفاظت کننده‌های نوری، مقادیر رادیکال‌های آزاد نظیر آب اکسیژنه، سوپر اکسید، اکسیژن یکتایی و هیدروکسی به‌شدت افزایش و در نتیجه منجر به افزایش چشمگیر پراکسیداسیون چربی‌های روی غشای سلولی خواهند شد. در این مطالعه، افزایش درصد نشت یونی و غلظت مالون دی‌آلدهید شاهی تحت غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی مؤید این امر می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که کاهش در محتوای رنگیزه‌های فرعی کلروفیل b و کاروتنوئیدها می‌تواند به دلیل اکسیده شدن آن‌ها توسط رادیکال‌های آزاد و به‌مراتب تخریب ساختار

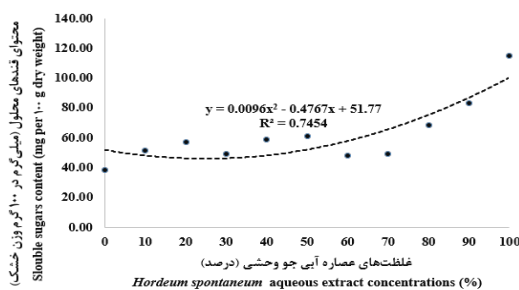
¹ Abu-Romman

² Babu and Kandasamy

³ Chi-Ming

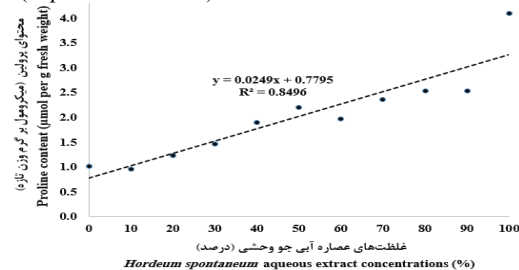
⁴ Elisante

جو وحشی می‌باشد، در نتیجه، مصرف قندها و پروتئین‌های محلول در گیاه تحت تیمار شاهی کاهش و این کاهش موجب افزایش سطح ترکیبات قندهای محلول و پرولین می‌شود. سینگ^۱ و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند که اصولاً تنش‌های زیستی و غیرزیستی موجب می‌شوند که گلوتامات که پیش‌ساز مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر سنتز کلروفیل وارد شود. در حقیقت، پرولین یکی از اسید آمینه‌های فعال در پدیده تنظیم اسمزی است که در ایجاد و حفظ فشار اسمزی درون سلولی گیاه نقش به سزایی دارد (باندیگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۶) و در تعدادی از گونه‌ها همبستگی بالایی در تحمل به تنش‌ها دارد (آذرپناه^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). تحقیقات نشان داد که افزایش قندهای محلول در برگ و ریشه گیاهان تحت تنش ترکیبات دگرآسیب احتمالاً به علت مهار آنزیم‌های تنفسی، مهار تجزیه قندهای محلول و کاهش سطح انرژی سلول می‌باشد (اسیغه و بدرآزم^۴، ۲۰۱۴؛ ایون^۵ و همکاران، ۲۰۰۶). چاپارزاده^۶ و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش نمودند که گیاهانی که قندهای محلول را در پاسخ به تنش تولید و ذخیره می‌نمایند از تنظیم اسمزی بهتری برخوردار می‌باشند. قربانی^۷ و همکاران (۲۰۱۸) بیان نمودند که شرایط محیطی تنش‌زا می‌تواند باعث تجمع ترکیبات محلول سازگاری مانند پرولین، قندها و گلاسیسین بتائین در گیاهان شود که افزایش این ترکیبات یکی از راهبردهای مهم گیاهان برای سازگاری و تحمل به شرایط تنش‌زا می‌باشد. کلانتر و نقشبندی^۸ (۲۰۰۸) گزارش نمودند که مواد دگرآسیب موجود در برگ گیاه آفتاب‌پرست موجب افزایش معنی‌داری در محتوای پرولین گیاه تربچه گردید. همان‌طوری که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، با افزایش در غلظت عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی و تنش ناشی از آن نشت غشای سلولی به صورت خطی و



شکل ۱۳. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر محتوای قندهای محلول شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 13. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on soluble sugars content of cress (*Lepidium sativum*)



شکل ۱۴. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر محتوای پرولین شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 14. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on proline content of cress (*Lepidium sativum*)

غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی به صورت خطی بود. به‌طوری‌که به ازای هر یک درصد از افزایش در غلظت عصاره آبی، محتوای پرولین به میزان ۰/۰۲ میکرومول بر گرم وزن تازه افزایش یافت. این تابع، ۸۵ درصد تغییرات محتوای پرولین شاهی تحت غلظت‌های مختلف عصاره آبی را توجیه می‌نماید (شکل ۱۴). در این مطالعه، با افزایش در محتوای اسمولیت‌های سازشی شاهی به‌ویژه محتوای پرولین تحت غلظت‌های مورد بررسی، محتوای رنگیزه کلروفیل کل و به‌دنبال آن خصوصیات جوانه‌زنی آن کاهش نشان داد. این امر احتمالاً به واسطه غیر فعال شدن فعالیت آنزیم‌های تنفسی توسط ترکیبات دگرآسیب موجود در علف‌هرز

¹ Singh

² Bundig

³ Azarpanah

⁴ Aasifa and Badruzzaman

⁵ Ivan

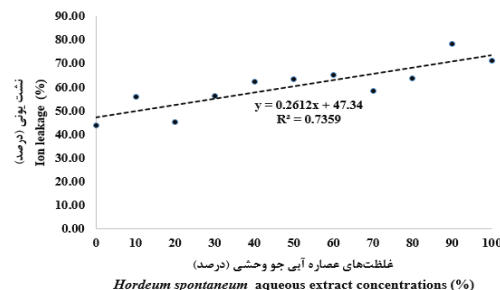
⁶ Chaparzadeh

⁷ Ghorbani

⁸ Kalantar and Naghashbandi

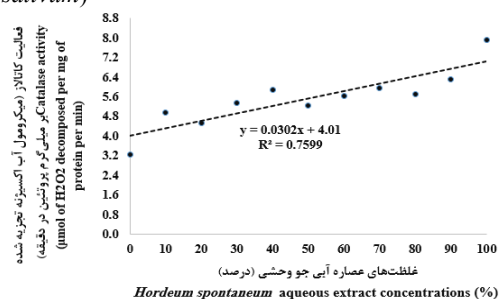
گزارش نمودند که تخریب غشای فسفولیپیدی سلول موجب افزایش اسیدهای چرب و کاهش اسیدیته سلول می‌شود که این امر موجب تخریب غشاء و اندامک‌های درون سلول می‌گردد. تحقیقات نشان داد که کاربرد ترکیبات دگرآسیب عصاره جو (فرهودی^۲ و همکاران، ۲۰۱۴) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (فرهودی و لی^۳، ۲۰۱۲) سبب تخریب غشای سلولی گیاهان سلمه تره (*Cenopodium album*) و خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) شد، زیرا ترکیبات دگرآسیب با ایجاد تنش اکسیداتیو سبب تخریب لیپیدهای غشاء در گیاهچه‌های هدف می‌شوند. لورنزو^۴ و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده نمودند که محلول پاشی عصاره گیاه آکاسیا موجب کاهش آنزیم‌های پاداکسیدانی، تخریب غشای سلولی گیاهچه و در انتها کاهش وزن تر آن می‌گردد.

برازش مدل رگرسیونی بیانگر رابطه خطی مثبت و معنی‌دار بین فعالیت آنزیم کاتالاز در شاهی با عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی بود. به‌طوری‌که به ازای هر واحد افزایش در غلظت عصاره آبی، فعالیت آنزیم کاتالاز به میزان ۰/۳ میکرومول آب اکسیژنه تجزیه شده بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه افزایش نشان داد. در این مطالعه، بیشترین افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز تحت کاربرد غلظت کامل به‌دست آمد (شکل ۱۶). مطابق نتایج، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شاهی در پاسخ به تنش دگرآسیب ناشی از غلظت‌های مختلف علف‌هرز جو وحشی نیز به‌صورت خطی افزایش یافت. نکته قابل توجه این است که گایاکول پراکسیداز و کاتالاز در شاهی از شیب افزایشی معنی‌دار یکسانی برخوردار بودند (شکل ۱۷). افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نشان‌دهنده تنش اکسیداتیو بالای ترکیبات دگرآسیب ناشی از علف‌هرز جو وحشی در مهار رادیکال‌های آزاد می‌باشد.



شکل ۱۵. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر نشت یونی شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 15. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on ion leakage of cress (*Lepidium sativum*)



شکل ۱۶. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر فعالیت آنزیم کاتالاز شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 16. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on catalase enzyme activity of cress (*Lepidium sativum*)

معنی‌دار افزایش نشان داد. به‌طوری‌که میزان نشت یونی در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد با شیب ملایم و در تیمارهای فراتر از غلظت ۸۰ درصد با شیب تندتری افزایش نشان داد. بیشترین مقدار افزایش مربوط به غلظت ۹۰ درصد به میزان ۷۷/۸۷ درصد در مقایسه با شاهد بود، به‌گونه‌ای که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با غلظت ۱۰۰ درصد نشان نداد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد تنش اکسیداتیو ناشی از ترکیبات دگرآسیب موجب اکسید شدن و تخریب غشای فسفولیپیدی (زنجیره اسیدهای چرب) سلول‌ها شده است. بوگتک و نیازدوسکا^۱ (۲۰۰۷)

² Farhoudi

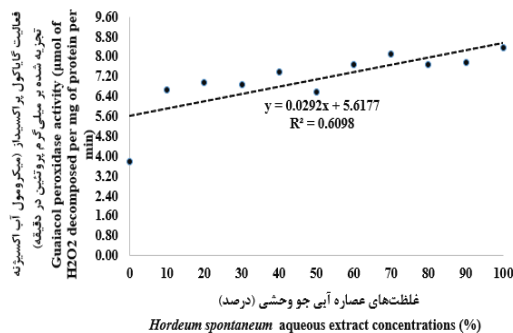
³ Farhoudi and Lee

⁴ Lorenzo

¹ Bogatek and Gniazdowska

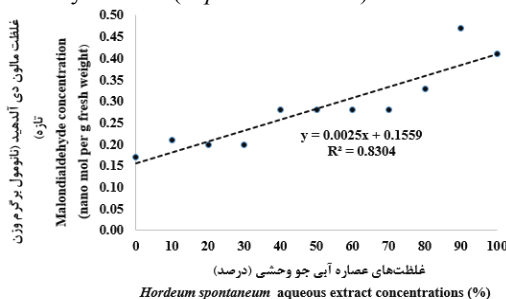
عصاره جو باعث افزایش میزان آنزیم پراکسیداز در گیاهان چچم و یولاف وحشی شد (مکی‌زاده تفتی و فرهودی^۳، ۲۰۱۷). حاتمی همپا^۴ و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش نمودند که عصاره آبی سورگوم (*Sorghum bicolor*) و تلخه (*Acroptilon repens*) فعالیت آنزیم کاتالاز را در گندم (*Triticum aestivum*)، چغندر قند (*Beta vulgaris*)، سلمه تره (*Cenopodium album*) و تاج خروس (*Amaranthus retroflex*) افزایش داد. اصولاً فعالیت‌های ترکیبات دگرآسیب باعث افزایش گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهچه می‌گردد که به دنبال آن گیاه برای حفاظت از خود میزان آنزیم‌های پاداکسیدانی را افزایش می‌دهد. پراکسیداز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های پاداکسیدانی است که آب اکسیژنه تولید شده در گیاه را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند (دیکست^۵ و همکاران، ۲۰۰۱). بس^۶ و همکاران (۲۰۰۳) بیان نمودند که عدم فعالیت یا کمبود فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانی مانند کاتالاز سبب آسیب به رشته‌های DNA و لیپیدهای غشاء توسط گونه‌های فعال اکسیژن شده و پاشیدگی سلول را در پی خواهد داشت. گزارش‌ها نشان می‌دهد که ترکیبات دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی به علت تنوع ساختمانی به نظر نمی‌رسد که آثار 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 برگیرند. این امر موجب تغییرات برخی از پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی شده که در نهایت کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها را سبب می‌گردند (انتشاری و اهرابی^۷، ۲۰۱۱).

همان‌طوری که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود بین غلظت‌های مختلف عصاره آبی جو وحشی و غلظت مالون دی‌آلدئید یک رابطه خطی مثبت و معنی‌دار برقرار بود، به‌طوری که حد بحرانی افزایش در غلظت مالون دی‌آلدئید از غلظت ۱۰ درصد شروع شد و در غلظت ۹۰ درصد (۴۷ نانومول بر گرم وزن تازه) به حداکثر مقدار خود رسید که از لحاظ آماری با غلظت ۱۰۰ درصد



شکل ۱۷. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 17. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on guaiacol peroxidase enzyme activity of cress (*Lepidium sativum*)



شکل ۱۸. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر غلظت مالون دی‌آلدئید شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure 18. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on malondialdehyde concentration of cress (*Lepidium sativum*)

گزارش شده است که سمیت‌زدایی مواد گراآسیب جذب شده توسط سلول‌های گیاهی منجر به افزایش آنزیم‌های پاداکسیدان می‌شود (ضیاء ابراهیمی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷؛ مهدوی کیا^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین برخی از مواد دگرآسیب‌رسان شیمیایی به‌طور مستقیم در تولید گونه‌های فعال اکسیژن دخالت دارند و افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانی می‌تواند پاسخ ثانویه در برابر افزایش رادیکال‌های آزاد باشد (مهدوی کیا و همکاران، ۲۰۱۷). در تحقیقی گزارش شده است که

³ Makizadeh Tafti and Farhodi

⁴ Hatami Hampa

⁵ Dixit

⁶ Bais

⁷ Enteshari and Ahrabi

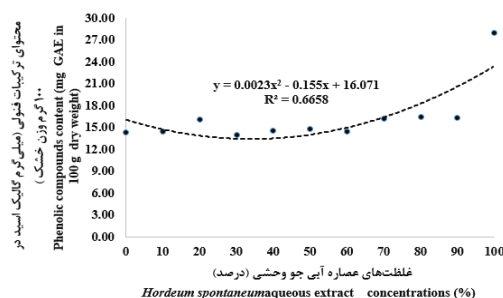
¹ Ziaebrahimi

² Mahdavia

شود (عسگرانی و براتی^۲، ۲۰۱۹). کوهلی^۳ و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که در میان دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی، ترکیبات حلقوی نظیر فنول‌ها، کومارین‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها، مشتقات سینامیک اسید و کوئینون‌ها به‌عنوان مهم‌ترین مواد دگرآسیب‌مطرح می‌باشند. به‌طوری‌که فنول‌ها، تانن‌ها، فلاونوئیدها و گلیکوزیدها را به‌عنوان ترکیب‌های بازدارنده جوانه‌زنی معرفی نمودند. الشورا و عبد الکاواد (۲۰۱۵) گزارش نمودند که تأثیرات شناخته شده دگرآسیب‌رسان‌های شیمیایی شامل ناهنجاری‌های ساختمانی و کاهش در جذب آب، جوانه‌زنی و رشد گیاهان می‌باشد، به‌گونه‌ای که میزان بازدارندگی این مواد بسته به غلظت عصاره آبی گیاه مورد آزمایش می‌باشد. میقانی^۴ (۲۰۰۳) گزارش نمود که اسیدهای فنولی، فعالیت آنزیم اکسین اکسیداز را تنظیم می‌نمایند. همچنین در تحقیق دیگر گزارش شده است که ترکیبات فنولی از طریق کاهش سنتز کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و یا از طریق تأثیر بر فرآیندهایی مانند تقسیم سلولی، جذب عناصر غذایی و سایر فرآیندهای بیوسنتزی در رشد و نمو گیاه دخالت می‌نمایند (تریپاتی^۵ و همکاران، ۱۹۹۹؛ میرسکی^۶ و همکاران، ۲۰۱۳).

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر، غلظت‌های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی، خصوصیات جوانه‌زنی، رشد گیاهچه‌ای، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه محک و حساس به دگرآسیب‌رسان شیمیایی شاهی را تحت تأثیر قرار دادند. مطابق یافته‌ها، اثر کاهشی غلظت‌های مختلف بر خصوصیات جوانه‌زنی، محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی و کاروتنوئیدی شاهی یکسان نبوده و بسته به حد آستانه غلظت ترکیبات دگرآسیب‌رسان شیمیایی حاصل از عصاره آبی در غلظت‌های مختلف علف‌هرز جو وحشی متفاوت بود. کاهش معنی‌دار خصوصیات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای شاهی علی‌رغم افزایش



شکل ۱۹. برازش مدل رگرسیونی پتانسیل دگرآسیبی غلظت‌های عصاره آبی جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) بر محتوای ترکیبات فنولی شاهی (*Lepidium sativum*)

Figure. 19. Regression model fitting for allelopathic potential of aqueous extract concentrations of wild barley (*Hordeum spontaneum*) on total phenolic content of cress (*Lepidium sativum*)

عصاره آبی (۴۱ نانومول بر گرم وزن تازه) اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. روند تغییرات رگرسیونی، رابطه درجه ۲ بین محتوای ترکیبات فنولی شاهی با غلظت های مختلف عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی را نشان داد، به‌طوری‌که غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد تأثیر افزایشی معنی‌داری بر محتوای فنولی در مقایسه با شاهد نشان ندادند، اما محتوای فنولی تنها در غلظت ۱۰۰ درصد عصاره آبی از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار بود. به‌طورکلی این تابع ۶۷ درصد تغییرات محتوای فنولی شاهی را توجیه می‌نماید (شکل ۱۹).

اصولاً فنول‌ها از ترکیبات مؤثر در پدیده دگرآسیبی هستند که در ساختمان شیمیایی خود واجد یک حلقه آروماتیک همراه یک یا چند عامل هیدروکسیل می‌باشند. ترکیب‌های ثانویه مشتق از گیاهان مانند ترکیبات فنولی و فلاونوئید نام‌دارای پتانسیل قوی برای پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌باشند که در تمام قسمت‌های مختلف گیاهی مانند برگ، میوه، دانه، ریشه و پوست حضور دارند (سترو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، گزارش‌ها نشان می‌دهد که غلظت بالای ترکیبات فنولی سبب مهار جوانه‌زنی بذر، ممانعت از رویش گیاهان و جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها می

² Asgarani and Brati

³ Kohli

⁴ Mighani

⁵ Tripathi

⁶ Mirsky

¹ Sottero

وحشی و سپس اجرای آزمایش‌هایی روی سایر گونه‌ها می‌باشد. به‌طور کلی با توجه به اثبات اثر دگرآسیبی علف‌هرز جو وحشی و زیست توده مناسب آن در مزارع شاید بتوان از ترکیبات زیست فعال موجود در این گیاه به‌عنوان علفکش سازگار با محیط زیست و یا حتی پتانسیلی برای تولید فرمولاسیون جدید علفکش‌های سنتزی در صورت اثبات اثر مثبت آن بر روی سایر گونه‌ها معرفی نمود.

معنی‌دار اسمولیت‌های سازشی نظیر قندهای محلول، پرولین و فعالیت آنزیمی کاتالاز و گایاکول پراکسیداز نشان‌دهنده تنش اکسیداتیو بالای ترکیبات دگرآسیب حاصل از عصاره آبی علف‌هرز جو وحشی می‌باشد، به‌طوری‌که افزایش نسبی پراکسیداسیون غشای سلولی (مالون دی‌آلدهید)، نشت یونی و ترکیبات فنولی مؤید این امر می‌باشد. بنابراین با توجه به اثبات اثر دگرآسیبی جو وحشی بر گیاه شاهی، نیازمند شناسایی و استخراج پروفایل کامل ترکیبات ثانویه موجود در علف‌هرز جو

منابع

- Aasifa, G. and Badruzzaman, S.M. 2014. Evaluation of allelopathic effect of *Eclipta alba* (L.) Hassk. on biochemical activity of *Amaranthus spinosus* L., *Cassia tora* L. and *Cassia sophera* L. African Journal of Environmental Science and Technology, 8(1): 1-5. <https://doi.org/10.5897/AJEST2013.1617>
- 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>
- Abu-Romman, S., Shatnawi, M. and Shibli, R. 2010. Allelopathic effects of spurge (*Euphorbia hierosolymitana*) on wheat (*Triticum durum*). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 7(3): 298-302.
- Aebi, H.E. 1984. Catalase in vitro. Method in enzymology, 105: 121-126. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
- 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>
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Asgarani, E. and Barati, F. 2019. Review of technology for recovery and removal of phenolic compounds from olive wastewater. Journal of Water and Sustainable Development, 5(2): 37-48. [In Persian]
- Asgarpour, R., Khajeh-Hosseini, M. and Khorramdel, S. 2015. Effect of aqueous extract concentrations of saffron organs on germination characteristics and preliminary growth of three weed species. Journal of Saffron Research, 3(1): 81-96. [In Persian]
- Ashraf, R., Sultana, B., Yaqoob, S. and Iqbal, M. 2017. Allelochemicals and crop management: a review. Current Science, 3(1): 1-13.
- Ataei, A., Gholamalipour Alamdari, E., Avarseji, Z. and Rahemi Karizaki, A. 2021. Study of allelopathic effect of aqueous extract of various organs of *Fumaria parviflora* on morphological, physiological and biochemical characteristics of *Lolium rigidum*. Journal of Applied Biology, 34(4): 94-112. [In Persian]
- Azarpanah, A., Alizadeh, O. and Dehghanzadeh, H. 2013. Investigation on proline and carbohydrates accumulation in *Zea mays* L. under water stress condition. Extreme life, biospeology and asterobiology. International Journal of the Bioflux Society, 5(1): 47-54.
- Babu, R.C. and Kandasamy, O.S. 1997. Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus* Labill on *Cyperus rotundus* L. and *Cynodon dactylon* L. Pers. Journal of Agronomy and Crop Science, 179(2): 123-126. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1997.tb00507.x>

- Bais, H.P., Epechedu, R.V., Gilroy, S., Callaway, R.M. and Vivanco, J.M. 2003. Allelopathy and extract plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science* 301: 1377-1380. <https://doi.org/10.1126/science.1083245>
- Bates, L.S., Walderen, R.D. and Taere, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Berhow, M.A. and Vaughn, S.F. 1999. Higher plant flavonoids: biosynthesis and chemical ecology. In: principles and practices in plant ecology. CRC Press, Pp. 423-438. <https://doi.org/10.1201/9780203742181-31>
- Bogatek, R. and Gniazdowska, A. 2007. ROS and phytohormones in plant-plant allelopathic interaction. *Plant Signaling and Behavior*, 2(4): 317-318. <https://doi.org/10.4161/psb.2.4.4116>
- Bogatek, R., Gniazdowska, A., Stepień, J. and Kupidłowska, E. 2005. *Convolvulus arvensis* allelochemicals mode of action in germination wheat seeds. Proceedings of the 4th world Congress on Allelopathy, (August, 11-14), Wagga, Pp. 263-266.
- Bundig, C., Vu, T.H., Meise, P., Seddig, S., Schum, A. and Winkelmann, T. 2016. Variability in osmotic stress tolerance of starch potato genotypes (*Solanum tuberosum* L.) as revealed by an in vitro screening: role of proline, osmotic adjustment and drought response in pot trials. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203: 206-218. <https://doi.org/10.1111/jac.12186>
- Caceres, A. 2000. Calidad de la material prima para la elaboracion de productos fitofarmacéuticos. Primer Congreso Internacional FITO 2000 Por la investigacion, conservacion y diffusion del conocimiento de las plantas medicinales 27-30 de septiembre, Lima, Peru.
- Chance, B. and Maehly, A. 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods in enzymology*, 2: 764-775. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
- Chaparzadeh, N., Najjar- Khodabakhsh, A., Pazhang, M. and Zarandi- Miandoab, L. 2015. Effect of salinity and ascorbic acid on growth, water and osmotic relations of *Lepidium sativum*. *Iranian Journal of Plant Biology*, 7(24): 1-4. [In Persian]
- Cheng, F. and Cheng, Z. 2015. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6: e 1020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
- Chi-Ming, Y., Chyong-Ni, L. and Chang-Hung, C. 2002. Effect of three allelopathic phenolics on chlorophyll accumulation of rice (*Oryza sativa*) seedling: I. Inhibition of supply-orientation. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 43: 299-304.
- De Mattos Ribeiro, V., Spiassi, A., Marcon, T.R., de Lima, G.P., Corsato, J.M. and Fortes, A.M.T. 2017. Antioxidative enzymes of *Cucumis sativus* seeds are modulated by *Leucaena leucocephala* extracts. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 39(3): 373-380. <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v39i3.34801>
- Dixit, V., Pandey, V. and Shyam, R. 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum* cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*, 52(358): 1101-1109. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.358.1101>
- El- Shora, H.M. and Abd El- Gawad, A.M. 2015. Physiological and biochemical responses of *Cucurbita pepo* L. mediated by *Portulaca oleracea* L. allelopathy. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24: 386-393.
- Elisante, F., Tarimo, M.T. and Ndakidemi, P.A. 2013. Allelopathic effect of seed and leaf aqueous extracts of *Datura stramonium* on leaf chlorophyll content, shoot and root elongation of *Cenchrus ciliaris* and *Neonotonia wightii*. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 2332-2339. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412289>
- 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]
- FAO. 2010. The Lurking menace of weeds. <http://www.fao.org/news/story/en/item/29402/icode/.30>. (Web site)

- Farhoudi, R. and Lee, D.J. 2012. Evaluation of safflower (*Carthamus tinctorius* L. cv. Koseh) extract on germination and induction of α -amylase activity of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) seeds. *Seed Science and Technology*, 40: 2-6. <https://doi.org/10.15258/sst.2012.40.1.17>
- Farhoudi, R., Modhej, A. and Alavi, R. 2014. Effects of allelochemical compounds of barley (*Hordeum vulgare* L.) on seed germination, seedling growth and some antioxidant activities of *Chenopodium album*. *Journal of Plant Protection*, 28(2): 234-241. [In Persian]
- Ghareman, A. 1996. General code of families and genera of flora of Iran. Publications of the Iran-Research Institute of Forests and Rangelands, 222 p. [In Persian]
- Gholami, Sh. and Amini Dehaghi, D. 2022. The effect of priming with different concentrations of selenium on germination indices of quinoa seeds and seedlings. *Journal of Crops Improvement*, 24(1): 85-95. [In Persian]
- Ghorbani, A., Razavi, S.M., Ghasemi Omran, V.O. and Pirdashti, H. 2018. *Piriformospora indica* inoculation alleviates the adverse effect of NaCl stress on growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Plant Biology*, 20(4): 729-736. [In Persian] <https://doi.org/10.1111/plb.12717>
- Goran, Y.A.R. and Sakri, F.A. 2009. Allelopathic effect of barley (*Hordeum vulgare* L.) water extract of shoot, root and soil beneath plants on seed germination and seedlings of wheat, barley cultivars and some weeds. *Journal of Pure and Applied Sciences*, 21(4): 10-19:4.
- Gulzar, A. and Siddiqui, M.B. 2017. Allelopathic effect of *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. on g growth and antioxidant activity of *Brassica oleracea* var. Botrytis. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4): 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.12.003>
- Hamidi, R. 2007. The effects of wild leaf and stem saps on germination and seedling growth of winter wheat. 2nd Iranian Weed Science Conference, Mashhad. [In Persian]
- 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*, 85(3): 379- 390. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.1076>
- Harlan J.R. 1992. Crops and man. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin Press.
- Hatami Hampa, A., Javanmard, A., Alebrahim, M. and Sofalian, O. 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. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 32(1): 101-119. [In Persian]
- Heivachi, M., Gholamalipour Alamdari, E., Avarseji, Z. and Habibi, M. 2023. Effect of the *Lactuca serriola* L. extract on the cytogenetic behaviors of *Crocus sativus* L. roots and its allelopathic potential. *South African Journal of Botany*, 160: e 525-534. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.07.026>
- Herro, J.L. and Callawa, R.M. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and Soil*, 256: 29-39. <https://doi.org/10.1023/A:1026208327014>
- Hosseinzadeh, M., Kiarostami, Kh., Ilkhanizadeh, M. and Saboora, A. 2009. A study on allelopathic compounds derived from *Hordeum spontaneum* on carbohydrates, proteins and some enzyme of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Researches (Iranian Journal of Biology)*, 22(3): 392-406. [In Persian]
- Ivan, C., Sulmon, C., Gwenola, G. and Amrani, A. 2006. Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany*, 57(3): 449-459. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj027>
- Kala, S. 2015. Effect of NaCl salt stress on antioxidant enzymes of isabgol (*Plantago ovata* forsk.) genotypes. *International Journal of Food Science and Technology Research*, 4(2): 40-43.
- Kalantar, A. and Naghashbandi, N. 2008. Chemical stress induced by heliotrope (*Helitropium europaeum* L.) allelochemicals and increased activity of antioxidant enzymes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(6): 915- 919. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.915.919>

- Khalili Mahalleh, J., Jalili, F. and Hosseini, N. 2014. Effect of four kinds of allelopathic weed on the germination and growth of forage sorghum. *Journal of Research in Crop Science*, 5(20): 107-122. [In Persian]
- Khandakar, A.L. and Bradbeer, J.W. 1983. Jute seed quality. Dhaka, Bangladesh Agricultural Research Council. Dhaka, Bangladesh.
- Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric acid method. *Handbook of Phycological Methods: Physiological and Biochemical Methods*, Cambridge University Press.
- Kohli, R.K., Singh, H.P. and Batish, D.R. 2001. Allelopathy in agro-ecosystems. Food Products Press, USA, 447 p.
- Kremer, R.J. and Ben-Hammouda, M. 2009. Allelopathic plants. 19. Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Allelopathy Journal*, 24(2): 225-242.
- Lorenzo, P., Palomera-Pe'rez, A., Reigosa, M.J. and Gonza'lez, L. 2011. Allelopathic interference of invasive *Acacia dealbata* Link on the physiological parameters of native understory species. *Journal of Plant Ecology*, 212:403-411. <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9831-9>
- Macias, F.A. 1995. Allelopathy in the search for natural herbicides models. In: *allelopathy. Organisms, Processes and Applications* (eds.), American Chemical Society, pp: 310-329. <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0582.ch023>
- Mahdaviakia, F., Saharkhiz, M.J. and Karami, A. 2017. Defensive response phenolic compounds 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>
- Makizadeh Tafti, M. and Farhodi, R. 2017 Investigating the allelopathic effect of aqueous extract of barley on seedling growth and cell membrane stability of wild oat and rye weeds. *Journal of Plant Production Science*, 7(1): 65-72. [In Persian]
- Malick, C.P. and Singh, M.B. 1980. In plant enzymology and histo enzymology. Kalyani Publishers, New Dehli, 286 p.
- Mighani, F. 2003. Allelopathy. Pajouhesh and Sazandegi Publisher, 256 p. [In Persian]
- Mirsky, S.B., Ryan, M.R., Teasdal, J.R., Curran, W.S., Reberg-Horton, C.S., Spargo, J.T., Wells, M.S., Keene, C.L. and Moyer, J.W. 2013. Overcoming weed management challenges in cover crop-based organic rotational no-till soybean production in the eastern United States. *Journal of Weed Technology*, 27: 193-200. <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00078.1>
- Mohamed, F.I. and El-Ashery, Z.M. 2012. Cytogenetic effect of allelochemicals of *Brassica nigra* extract on *Pisum sativum*. *World Applied Sciences Journal*, 20(3): 344-353.
- Moradi, A., Hoseini-moghadam, M. and Piri, R. 2018. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on some germination, biochemical indices and element contents of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(3): 151-165. [In Oersian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.247787.654420>
- Nielsen, K.A., Olsen, C.E. Pontoppidan, K. and Moller, B.L. 2002. Leucine- derived cyano glucosides in barley. *Journal of Plant Physiology*, 129(3): 1066-1075. <https://doi.org/10.1104/pp.001263>
- Regosa, M. and Pedrol, N. 2002. Allelopathy from molecules to ecosystems. Science publishers' GNC. NH. USA, pp. 12-195.
- Rice, E.L. 1984. Allelopathy. 2nd Edition, Academic Press, New York, 422 p.
- Safahani, A.R. and Ghooshchi, F. 2014. Allelopathic effects of aqueous and residue of different weeds on germination and seedling growth of wheat. *The Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(1): 100-109. [In Persian]
- Siddiqui, Z.S. and Zaman, A.U. 2005. Effects of *Capsicum* leachates on germination, seedling growth and chlorophyll accumulation in *Vigna radiata* L. Wilczek seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 37: 941-947.

- Singh, A., Singh, D. and Singh, N.B. 2009. Allelochemical stress produced by aqueous leachate of *Nicotiana plumbaginifolia* Viv. Plant Growth Regulation, 58: 163-171. <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9364-1>
- Singh, T.N., Paleg, I.G. and Aspinall, D. 1973. Stress metabolism I. Nitrogen metabolism and growth in the barley plant during water stress. Australian Journal of Biological Sciences, 26(1): 45-56. <https://doi.org/10.1071/B19730045>
- Sottero, B., Leonarduzzi, G., Testa, G., Gargiulo, S., Poli, G. and Biasi, F. 2019. Lipid oxidation derived aldehydes and oxysterols between health and disease. European Journal of Lipid Science and Technology, 121(1): e 1700047. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700047>
- Tripathi, S., Tripathi, A. and Kori, D.C. 1999. Allelopathic evaluation of Tectona grandis leaf, root and soil aqueous extracts on soybean. Indian Journal of Forestry, 22(4): 366-374.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L. and Gasparikora, O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize. Plant Soil Environment, 52(4):186-191. <https://doi.org/10.17221/3364-PSE>
- Verdeguer, M., García- Rellán, D., Boira, H., Pérez, E., Gandolfo, S. and Blázquez, M.A. 2011. Herbicidal activity of *Peumus boldus* and *Drimys winterii* essential oils from Chile. Molecules, 16: 403-411. <https://doi.org/10.3390/molecules16010403>
- Wang, C., Liu, J. and Zhou, J. 2017. N deposition affects allelopathic potential of *Amaranthus retroflexus* with different distribution regions. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 89(2): 919-926. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160513>
- Yaghoobi, M., Sanikhani, M., Samimi, Z. and Kheiry, A. 2022. Selection of a suitable solvent for bioactive compounds extraction of myrtle (*Myrtus communis* L.) leaves using ultrasonic waves. Journal of Food Processing and Preservation, 46(3): e16357. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16357>
- Ziaebrahimi, L., Khavari- Nejad, R.A., Fahimi, H. and Nejadstari, T. 2007. Effects of aqueous eucalyptus extracts on seed germination, seedling growth and activities of peroxidase and polyphenoloxidase in three wheat cultivar seedlings (*Triticum aestivum* L.). Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(19): 3415-3419. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.3415.3419>