Vol 28, No. 2, Summer 2026

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Evaluation of the allelopathic effects of saponin and quinoa residues on germination and development of wheat under laboratory, greenhouse and field conditions

Mansour Shakeri[1] | Hossein Shamsi Mahmoodabadi[2]✉ | Masoumeh Salehi[3] | Mohammad Ali Baghestani Meybodi[4]

1. Department of Agronomy, May.C., Islamic Azad University, Maybod, Iran. E-mail: 5519631123@iau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, May.C., Islamic Azad University, Maybod, Iran. E-mail: shamsi35@iau.ac.ir
3. National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (AREEO), Yazd, Iran. E-mail: salehim@areeo.ac.ir
4. Central Organization of Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: 350340@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 25 July 2025
Received in revised form
25 November 2025
Accepted 11 May 2026
Published online 22 June 2026

Keywords:
Allelopathy
Germination
Quinoa
Saponin
Wheat

ABSTRACT

Objective: Given the progressive salinization of water and soil resources in most plains of the country, the cultivation area of quinoa is expected to expand. Since wheat is typically grown in rotation after quinoa, investigating the allelopathic effects of quinoa residues on wheat germination, performance, and other morphophysiological traits is essential and constitutes the primary aim of this research.

Methods: The study was conducted in 2021 and 2022 at the National Salinity Research Center (Yazd) through four experiments under laboratory, greenhouse, and field conditions. Germination factorial experiments followed a completely randomized design with two factors and three replications in both the laboratory and growth chamber. Germination percentage, germination rate, mean germination time, percentage of normal seedlings, stem and root length, and seed vigor were the key parameters measured and analyzed. Additionally, factorial experiments on the effects of saponin and quinoa residues on wheat growth indices were arranged in a randomized complete block design with two factors and three replications under greenhouse and field conditions. Leaf area index (LAI), number of panicles per m², number of grains per panicle, grain yield, 1000-seed weight, dry weight, plant height, and harvest index were the principal traits measured and statistically analyzed. To distinguish the effects of osmotic pressure from those of allelochemicals in the extract solutions, a control treatment using polyethylene glycol 8000 (PEG) was included.

Results: The inhibitory effects of extracts and powders of saponin and quinoa residues were significant at the 1% probability level for most traits examined in wheat germination and growth experiments under laboratory, greenhouse, and field conditions. Treatment concentration also significantly affected all traits, with higher concentrations leading to greater inhibitory effects. The interaction between plant part and concentration was similarly significant at the 1% probability level. The inhibitory effects of saponin and different quinoa organs on wheat were weaker for most growth traits evaluated under greenhouse and field conditions compared to the germination results in the laboratory. Furthermore, abnormalities were observed in a number of germinated wheat seeds, with more severe symptoms occurring under saponin extract treatment.

Conclusion: These results confirm the allelopathic properties of quinoa saponin and residues on wheat. Therefore, if wheat is cultivated in rotation after quinoa, quinoa residues could significantly inhibit wheat germination and growth, thereby reducing grain and straw yield.

Cite this article: Shakeri, M., Shamsi Mahmoodabadi, H., Salehi, M., & Baghestani Meybodi, M. A. (2026). Evaluation of the allelopathic effects of saponin and quinoa residues on germination and development of wheat under laboratory, greenhouse and field conditions. *Journal of Crops Improvement*, 28 (2), 223-240.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.399375.2943

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.399375.2943

دوره بیست و هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

بررسی اثرات دگرآسیبی ساپونین و بقایای کینوا بر جوانه‌زنی و رشد گندم در شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه

منصور شاکری[۱] | حسین شمسی محمودآبادی[۲]✉ | معصومه صالحی[۳] | محمدعلی باغستانی میبدی[۴]

۱.گروه علمی زراعت، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران. رایانامه: 5519631123@iau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علمی زراعت، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران. رایانامه: shamsi35@iau.ac.ir

۳. مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. رایانامه: salehim@areeo.ac.ir

۴. سازمان مرکزی دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: 350340@iau.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
دگرآسیبی
جوانه‌زنی
ساپونین
کینوا
گندم

چکیده

هدف: باتوجه به شورشدن تدریجی منابع آب و خاک در بیش‌تر دشت‌های کشور، پیش‌بینی می‌شود که به‌تدریج سطح زیرکشت کینوا، به‌عنوان یک گیاه شورزیست و متحمل به تنش‌های محیطی در مزارع کشور گسترش یابد. ازآنجایی‌که معمولاً در تناوب زراعی، گندم بعد از کینوا کشت می‌شود، بررسی اثرات دگرآسیبی بقایای کینوا بر جوانه‌زنی، عملکرد و سایر صفات مرفوفیزیولوژیک گندم ضروری و هدف اصلی اجرای این پژوهش بوده است.

روش پژوهش: پژوهش حاضر طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در قالب چهار آزمایش در مرکز ملی تحقیقات شوری (یزد) و تحت شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه انجام شد. آزمایش‌های جوانه‌زنی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو عامل و سه تکرار در آزمایشگاه و اتاقک رشد اجرا شد. درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان جوانه‌زنی، درصد گیاهچه‌های نرمال، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و بنیه بذر پارامترهای موردبررسی در این آزمایش ها بود. هم‌چنین آزمایش‌ها بررسی تأثیر ساپونین و بقایای کینوا بر شاخص‌های رشد گندم به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و در سه تکرار در شرایط گلخانه و مزرعه اجرا شد. در این آزمایش‌ها، شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، عملکرد، وزن هزاردانه، وزن خشک، ارتفاع و شاخص برداشت اندازه‌گیری و موردبررسی آماری قرار گرفت. به‌منظور تفکیک اثر فشار اسمزی محلول‌های عصاره از اثر آللوکمیکال‌ها، یک شاهد با پلی‌اتیلن گلیکول ۸۰۰۰ نیز اعمال شد.

یافته‌ها: اثر بازدارندگی عصاره و پودر ساپونین و بقایای کینوا در اکثر صفات موردبررسی در آزمایش‌های جوانه‌زنی و رشد گندم در شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه، در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین میزان غلظت در تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال یک‌درصد نسبت به شاهد معنی‌دار و با افزایش غلظت میزان تأثیر تیمار افزایش داشت. اثر متقابل نوع اندام و غلظت هم بر تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثرات بازدارندگی ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا بر گندم، در اکثر صفات رشدی موردارزیابی در شرایط گلخانه و مزرعه در مقایسه با نتایج آزمایش‌های جوانه‌زنی در آزمایشگاه ضعیف‌تر بود. هم‌چنین ناهنجاری‌هایی در تعدادی از بذرهای جوانه‌زده مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: این نتایج همگی بر خاصیت دگرآسیبی ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا روی گندم دلالت دارد. لذا چنانچه در تناوب زراعی، گندم بعد از کینوا کشت شود، بقایای کینوا می‌توانند اثرات دگرآسیبی جدی بر جوانه‌زنی و رشد گندم داشته و عملکرد و تولید دانه و کاه را کاهش دهند.

استناد: شاکری، منصور؛ شمسی محمودآبادی، حسین؛ صالحی، معصومه و باغستانی میبدی، محمدعلی (۱۴۰۵). بررسی اثرات دگرآسیبی ساپونین و بقایای کینوا بر جوانه‌زنی و رشد گندم در شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۸ (۲)، ۲۲۳-۲۴۰.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2026.399375.2943

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

آللوپاتی[1] یا دگرآسیبی به اثر متقابل بیوشیمیایی تحریکی یا بازدارنده بین گیاهان و یا بین گیاهان و میکروارگانیسم‌ها اطلاق می‌گردد. دگرآسیبی یک پدیده بیولوژیکی رایج با اثرات مثبت یا منفی است (چنگ[2] و چنگ[3]، ۲۰۱۵). از یک‌طرف، از دگرآسیبی به‌عنوان روشی زیستی برای کنترل آفات و علف‌های هرز یاد می‌شود و از طرف دیگر، اعتقاد بر این است که عملکرد پایین در کاشت مجدد، ناشی از اثرات دگرآسیبی مواد می‌باشد (دی‌آلبوکرکی[4] و همکاران، ۲۰۱۱).

دگرآسیبی به مهار شیمیایی یک گونه توسط گونه دیگر اشاره دارد (ویر[5]، پارک[6] و ویوانکو[7]، ۲۰۰۴). در فرایند دگرآسیبی، ترکیبات دگرآسیب توسط یک گونه گیاهی آزاد و رشد و توسعه گیاهان مجاور، از گونه‌های دیگر را مهار می‌کند (بای[8] و همکاران، ۲۰۲۲). دگرآسیبی می‌تواند بر سایر موجودات داخل در محیط‌زیست گیاهی تأثیر بگذارد و حضور آن‌ها را تعدیل کند (شاندری[9] و بکر[10]، ۲۰۲۰). خاصیت دگرآسیبی برخی از گیاهان شناسایی شده است. از آن جمله می‌توان به یولاف[11]، سویا[12]، یونجه[13]، گندم[14]، چاودار[15]، سلمه‌تره[16]، گل‌گندم[17]، داتوره[18]، پوا[19]، مَرغ[20]، درمنه[21]، اویارسلام[22]، مریم‌گلی[23]، اسفند[24]، کَوَر[25] و کینوا[26] اشاره کرد (شاکری و همکاران، ۱۳۹۲؛ شاکری و همکاران، ۱۴۰۳).

گونه‌های خانواده اسفناجیان[27] به‌واسطه دارابودن ترکیبات فعال ترپنی و فنولی اثرات دگرآسیبی دارند. کینوا[28] یکی از گیاهان متعلق به این خانواده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مواد فنولی در قسمت‌های مختلف این گیاه ۵/۵±۷۱/۷ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم است که می‌توانند اثرات دگرآسیبی داشته باشند (آلوارز- جوبته[29] و همکاران، ۲۰۱۰). کینوا به‌عنوان یک گیاه شورزیست اختیاری، در خاک‌های شور و با آب‌های نامتعارف و خیلی شور قابل‌کشت است و می‌توان برای اطمینان از امنیت غذایی جمعیت به‌سرعت در حال رشد جهان، از آن به‌عنوان یک محصول جایگزین جدید استفاده نمود (افضل[30] و همکاران، ۲۰۲۳).

تولید سالانه کینوا در جهان به حدود ۲۰۰ هزار تن می‌رسد. بولیوی با تولید سالانه ۸۰/۰۰۰ تن و پرو با ۷۰/۰۰۰ تن

1. Allelopathy
2. Cheng
3. Cheng
4. De Albuquerque
5. Weir
6. Park
7. Vivanco
8. Bai
9. Schandry
10. Becker
11. *Avena fatua*
12. *Glycine max*
13. *Medicago sativa*
14. *Triticum aestivum*
15. *Secale cereale*
16. *Chenopodium album*
17. *Centaurea cyanus*
18. *Datura stramonium*
19. *Poa* sp.
20. *Cynodon dactylon*
21. *Artemisia* sp.
22. *Cyperus rotundus*
23. *Salvia officinalis*
24. *Peganum harmala*
25. *Capparis spinosa*
26. *Chenopodium quinoa*
27. Amaranthaceae
28. *Chenopodium quinoa* Willd
29. Alvarez- Jubete
30. Afzal

در صدر قرار دارند. کینوا در سال ۱۳۸۷ وارد ایران شد و کارهای تحقیقاتی و کشت و تولید تجاری آن در تعدادی از استان‌ها، ازجمله استان یزد شروع شده و در حال گسترش است. براساس گزارش‌های پراکنده مراکز تحقیقاتی و اجرایی وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیرکشت کینوا در سال ۱۴۰۳ حدود ۵۰۰ هکتار برآورد شده است. با توجه به شورشدن تدریجی منابع آب و خاک در بیش‌تر دشت‌های کشور پیش‌بینی می‌شود که به‌تدریج کینوا، به‌عنوان یک گیاه شورزیست و متحمل به تنش‌های محیطی، با ارزش غذایی بسیار بالا، در تناوب زراعی وارد و حتی به‌عنوان یک محصول جایگزین در مزارع کشور گسترش یابد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

تاکنون خاصیت دگرآسیبی اندام‌های مختلف کینوا روی گیاهان زراعی گندم[۱]، جو[۲]، پیاز[۳]، باقلا[۴] و تعدادی از علف‌های هرز، ازجمله تاج‌خروس[۵]، یولاف[۶]، فالاریس[۷]، جودره[۸] و منداب[۹] گزارش شده است (شاه[۱۰] و خان[۱۱]، ۲۰۲۲؛ الصادق[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۷؛ بیلالیس[۱۳] و همکاران، ۲۰۱۳؛ بیانچینی[۱۴] و همکاران ۲۰۱۹؛ حسینی‌سیسی، ۱۳۹۸؛ مجید[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۲؛ منصوری و همکاران، ۱۳۹۹؛ امرایی و همکاران ۱۴۰۰؛ شاکری و همکاران، ۱۴۰۳؛ شاکری و همکاران، ۲۰۲۵).

براساس گزارش امرایی و همکاران (۱۴۰۰) غلظت‌های پایین عصاره اندام‌های کینوا (۵ و ۲۵ درصد) درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن خشک و محتوای نسبی آب گندم را بهبود بخشیدند. اما، غلظت‌های بالای عصاره کینوا، اثرات منفی بر صفات مورفولوژیک موردمطالعه روی گندم داشتند. بااین‌حال، آن‌ها در پایان نتیجه‌گیری کرده‌اند که کشت و کار کینوا، حتی در صورت باقی‌ماندن مقدار کمی بقایای ساقه و ریشه گیاه در مزرعه، نمی‌تواند اثرات منفی قابل‌توجهی بر کشت گندم داشته باشد (امرایی و همکاران، ۱۴۰۰). براساس پژوهش دیگری عصاره‌های آبی از ژنوتیپ‌های رشدیافته در شرایط دیم، فعالیت دگرآسیبی بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های رشد یافته در شرایط آبی داشت (الصادق[۱۶] و همکاران، ۲۰۱۷). منصوری، امرایی و امیدی (۱۳۹۹) اثر دگرآسیبی عصاره آبی بقایای کینوا بر نشت الکترولیت‌ها، محتوای بیوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهچه گندم نان را موردارزیابی قراردادند. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر نوع اندام بر تمام صفات موردمطالعه به‌جز پروتئین کل معنی‌دار بود (منصوری، امرایی و امیدی، ۱۳۹۹).

در هیچ‌کدام از پژوهش‌ها منتشرشده در زمینه اثرات دگرآسیبی کینوا روی محصولات مختلف، ازجمله گندم، به اثرات دگرآسیبی ساپونین کینوا اشاره نشده است. به‌نظر می‌رسد این اولین گزارش از اثرات دگرآسیبی ساپونین کینوا روی گندم باشد. البته در سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه اثرات ضد قارچ و ضد باکتری ساپونین انجام شده است (دونگ[۱۷] و

1. *Triticum aestivum*
2. *Hordeum vulgare*
3. *Allium cepa*
4. *Vicia faba*
5. *Amaranthus sp*.
6. *Avena fatua*
7. *Phalaris sp*.
8. *Hordeum spontaneum*
9. *Eruca sativa*
10. Shah
11. Khan
12. El-Sadek
13. Bilalis
14. Bianchini
15. Majeed
16. El-Sadek
17. Dong

همکاران، ۲۰۲۰). لایه بیرونی دانه کینوا را ساپونین تشکیل می‌دهد که سمی و تلخ است و در حال حاضر به‌عنوان ضایعات کارخانه‌های فراوری کینوا محسوب می‌شود. ساپونین‌ها، به‌طور عمده بخشی از سیستم‌های دفاعی ضدمیکروبی گیاهان را پوشش می‌دهند(اعظم[1] و همکاران، ۲۰۲۰) و به‌عنوان موانع شیمیایی بالقوه در برابر عوامل بیماری‌زا عمل می‌کنند (زینب[2] و همکاران، ۲۰۲۱).

ارزش غذایی بالای کینوا ازیک‌طرف و شور شدن تدریجی منابع آب‌وخاک در بیش‌تر دشت‌های کشور از طرف دیگر، جایگزینی کینوا به‌عنوان یک گیاه شورزیست و متحمل به تنش‌های محیطی و سازگار با شرایط آب‌وخاک بیش‌تر استان‌های کشور، قابل پیش‌بینی است. بدیهی است که به‌موازات این رویکرد، تحقیقات کاربردی و هدفمند در این زمینه ضروری است. از طرفی به‌طور معمول در تناوب زراعی، گندم بعد از کینوا کشت می‌شود، درنتیجه بررسی اثرات دگرآسیبی کینوا بر جوانه‌زنی بذر، عملکرد و سایر صفات مرفوفیزیولوژیک گندم دارای اهمیت است. در این پژوهش اثرات دگرآسیبی ساپونین کینوا و اندام‌های مختلف کینوا بر شاخصه‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گندم در شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه موردبررسی قرار گرفت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در قالب چهار آزمایش (بند ۳–۵ لغایت بند ۳–۸) در مرکز ملی تحقیقات شوری و تحت شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه انجام شد.

۳. ۱. محل اجرای آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در شهر یزد، با زون ۴۰ و مختصات جغرافیایی میانی ۳۵۳۴۵۴۹–۲۴۲۲۴۵ در سیستم UTM و خاک لوم شنی اجرا شد. شهر یزد با ارتفاع حدود ۱۲۱۴ متر بالاتر از سطح دریا، اقلیم بیابانی خشک، تابستان‌های گرم، بارندگی کم، نرخ تبخیر بالا، حداکثر و حداقل دمای سالانه ۴۵ و ۸– درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۶۰ میلی‌متر در مرکز جغرافیایی ایران قرار دارد.

۳. ۲. بذر، ساپونین، پودر کینوا و خاک مورداستفاده

بذر گندم مورداستفاده از بذور گواهی‌شده، رقم برزگر، تولیدی ایستگاه مرکزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد (ایستگاه فرودگاه) تأمین شد. رقم برزگر، رقم جدید گندم آبی با سازگاری و پایداری عملکرد بالا، مقاوم به خوابیدگی و ریزش دانه و کیفیت نانوایی خوب، مناسب زمین‌های شور در اقلیم معتدل کشور می‌باشد. بذرها قبل از کاشت ابتدا به‌مدت یک دقیقه با هیپوکلریت‌سدیم[3] دو درصد ضدعفونی شدند. هم‌چنین به‌منظور پیشگیری از بیماری سیاهک، بذور مورداستفاده در آزمایش‌های گلخانه و مزرعه، قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربندازیم به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. ساپونین موردنیاز از یکی از کارخانه‌های ساپونین‌گیری کینوا استان فارس (شرکت لیزر برش) تهیه و میزان ساپونین آن با روش کوزیول تعیین شد (کوزیول[4]، ۱۹۹۱). میانگین ارتفاع ساپونین در عصاره ۱۰۰ درصد این نمونه ۶/۷۵ سانتی‌متر بود. کینوای مورداستفاده هم از طریق کاشت کینوا، رقم تیتیکاکا[5] در زمین‌های ایستگاه فرودگاه مرکز ملی تحقیقات شوری (یزد) فراهم شد. بوته‌ها در مرحله

1. Azzam
2. Zaynab
3. Sodium hypochlorite
4. Koziol
5. Titicaca

تشکیل گل‌آذین برداشت و پس از تفکیک و خشک‌شدن در سایه، آسیاب شدند. خاک مورداستفاده با شوری ۲/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۷/۷۶ از زمین‌های منطقه خویدک[1] در فاصله ۲۰ کیلومتری شهر یزد تهیه شد.

۳. ۳. تهیه عصاره

به‌منظور تهیه عصاره مقدار ۱۰۰ گرم پودر در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر خیسانده و به‌مدت ۲۴ ساعت روی دستگاه شیکر[2] (مدل Unimax 2010 ساخت شرکت Heidolph آلمان) با ۱۳۵ دور در دقیقه (135 rpm) قرار داده و سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن[3] صاف شد. این فرایند چندین بار تکرار شد تا حجم عصاره موردنیاز فراهم و تا زمان مصرف داخل یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پودر ساپونین نیز به همین روش عصاره‌گیری و سپس در دستگاه اتوکلاو[4] مدل RT-1 ساخت شرکت ریحان‌طب- ایران، استریل و سپس غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰ درصد با استفاده از آب مقطر ساخته شد.

۳. ۴. شاهد پلی‌اتیلن گلیکول[5]

به‌منظور تفکیک اثر فشار اسمزی محلول‌های عصاره از اثر آللوکمیکال‌ها، یک شاهد با پلی‌اتیلن گلیکول ۸۰۰۰ نیز تهیه شد. به این منظور ابتدا هدایت الکتریکی عصاره‌ها اندازه‌گیری و مطابق با روش عابدی و همکاران (۱۳۸۱) با استفاده از رابطه (۱) پتانسیل اسمزی محاسبه و از طریق رابطه (۲) مقدار پلی‌اتیلن‌گلیکول ۸۰۰۰ برای هریک از عصاره‌ها محاسبه و با استفاده از آن تیمار شاهد پلی‌اتیلن‌گلیکول آماده و همراه با بقیه تیمارها موردبررسی قرار گرفت (میشل[6]، ۱۹۸۳). در این فرمول Ψ پتانسیل اسمزی و T درجه حرارت براساس کلوین می‌باشد.

رابطه ۱) $$OP = -0.036EC$$

رابطه ۲) $$[PEG] = \frac{(4-(5.16\,\Psi\,T-560\Psi+16)0.5)}{(2.58T-280)}$$

مقدار پلی‌اتیلن‌گلیکول محاسبه‌شده برای تیمارهای ساقه و برگ، ریشه، مخلوط قسمت‌های هوایی و ساپونین، به‌ترتیب ۰/۰۵۳، ۰/۰۴۷، ۰/۰۳۹ و ۰/۰۲۶ گرم بر گرم آب مقطر بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تفاوت شاخص‌های جوانه‌زنی در شاهد حاوی PEG و شاهد آب مقطر بسیار کم و درنتیجه تأثیر تعیین‌کننده‌ای روی نتایج نداشته و از این جهت نیازی به اصلاح داده‌ها نیست. به‌عنوان نمونه، داده‌های این دو شاهد در آزمایش بررسی تأثیر عصاره بقایا و ساپونین کینوا، روی جوانه‌زنی بذور گندم در شرایط آزمایشگاه به شرح جدول (۱) است.

جدول ۱. مقایسه شاخص‌های رشدی گندم در شاهد آب مقطر با شاهد PEG

	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی	درصد گیاهچه نرمال	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	بنیه بذر
میانگین شاهد PEG	۱۲/۹۳	۵۷/۱۱	۹۱/۱	۶۲/۹۲	۸۰/۹۶	۱/۱۰۳	۲۳/۲۴۹
میانگین شاهد با آب مقطر	۶۶/۹۵	۷۳/۱۱	۰۷/۲	۶۶/۹۵	۹۳/۸۸	۲۲/۱۰۴	۲۷/۲۵۸

1. Khavidac
2. Shaker
3. Watman
4. Autoclave
5. Polyethylene glycol
6. Michel

۳. ۵. بررسی تأثیر عصاره ساپونین و بقایای کینوا، بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور گندم در آزمایشگاه

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو عامل و در سه تکرار در آزمایشگاه و اتاقک رشد اجرا شد. عامل اول اندام گیاه، در پنج سطح شامل عصاره ساقه و برگ، ریشه، مخلوط اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و گل‌آذین)، ساپونین و شاهد (آب مقطر) و عامل دوم غلظت، در پنج سطح ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰ و شاهد (صفر درصد) در پتری‌دیش بود. در هر پتری حاوی دو لایه کاغذ صافی واتمن تعداد ۲۵ عدد بذر ضدعفونی‌شده با هیپوکلریت سدیم قرار داده و ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره آبی تهیه‌شده با غلظت‌های موردنظر به آن اضافه شد. به‌منظور حفظ رطوبت، همه پتری‌ها در داخل سینی‌های مخصوص قرار داده و درب سینی‌ها با نایلون پوشانده شد. سینی‌ها در اتاقک رشد با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۷۰ درصد و دوره روشنایی ۱۴ ساعت با شدت نور ۵۰۰ لوکس قرار داده شدند. یادداشت‌برداری بعد از ۴۸ ساعت شروع و به‌مدت شش روز ادامه یافت. بذوری که طول ریشه‌چه آن‌ها حداقل به ۲ میلی‌متر رسید به‌عنوان بذور جوانه‌زده در نظر گرفته شد (ایستا[1]، ۲۰۱۳).

درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، درصد گیاهچه نرمال، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر اندازه‌گیری و محاسبه شدند. درصد جوانه‌زنی از طریق معادله زیر (رابطه ۳) محاسبه شد (ایکیک[2] و همکاران، ۲۰۱۲).

رابطه ۳) $$GP = (\frac{n}{N}) \times 100$$

در این معادله، GP درصد جوانه‌زنی، n تعداد بذرهای جوانه‌زده و N تعداد کل بذر است. سرعت جوانه‌زنی از طریق معادله زیر (رابطه ۴) محاسبه شد (حسینی و همکاران، ۱۳۸۸).

رابطه ۴) $$GR = \sum \frac{Si}{di}$$

در این معادله، Si تعداد بذر جوانه‌زده در هر روز (در هر شمارش)، di تعداد روز از شروع جوانه‌زنی تا روز nام و n تعداد دفعات شمارش است. میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی (MGT) از طریق معادله زیر (رابطه ۵) محاسبه شد (ایکیک و همکاران، ۲۰۱۲).

رابطه ۵) $$MGT = \frac{\sum (ni \times di)}{\sum ni}$$

در این معادله، ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر شمارش و di تعداد روز پس از شروع جوانه‌زنی است. شاخص بنیه بذر[3] هم از معادله زیر (رابطه ۶) محاسبه شد(علیزاده و ایسوند[4]، ۱۳۸۳).

رابطه ۶) $$\text{شاخص بنیه بذر} = \frac{\text{درصد جوانه زنی} \times \text{میانگین طول گیاهچه} (\text{طول ساقه‌چه} + \text{طول ریشه چه}) \text{به میلی متر}}{100}$$

نظر به این که درصد جوانه‌زنی و به‌دنبال آن بقیه شاخص‌های جوانه‌زنی در غلظت ۱۰۰ و ۵۰ درصد عصاره و ۲۰ درصد مخلوط پودر ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا با خاک صفر شد، داده‌ها قبل از آنالیز، تبدیل شدند. به این منظور برای تبدیل داده‌های حاصل از درصد جوانه‌زنی و درصد گیاهچه نرمال از رابطه $\arcsin\sqrt{y + 0.1}$ و برای بقیه صفات (سرعت و مدت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر) از رابطه $\sqrt{y + 0.5}$ استفاده شد.

۳. ۶. بررسی تأثیر مخلوط پودر ساپونین و بقایای کینوا با خاک، بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور گندم در آزمایشگاه

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با دو عامل و در سه تکرار در آزمایشگاه و اتاقک رشد

1. ISTA
2. Ikic
3. Seed vigor
4. Isvand

شد. عامل اول نوع اندام در پنج سطح شامل پودر ساقه و برگ، ریشه، اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و گل‌آذین) و ساپونین با خاک و شاهد (فقط خاک) و عامل دوم درصد اختلاط، در ۵ سطح ۲۰، ۱۰، پنج، دو و صفر درصد بود.

در این آزمایش پودر ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا، به نسبت‌های ذکرشده با خاک مخلوط و براساس نقشه طرح، داخل سلول‌های سینی نشا با حجم هر سلول ۱۰۰ سانتی‌مترمکعب ریخته شد. سلول‌های شاهد تنها با خاک زراعی پر شد. سپس در هر سلول ۱۰ عدد بذر گندم قرار داده و روی بذرها با خاک‌های مخلوط آماده‌شده پوشانده و بعد با آب مقطر آبیاری و بعد در اتاقک رشد با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۷۰ درصد و دوره روشنایی ۱۴ ساعت با شدت نور ۵۰۰ لوکس قرار داده شد (شکل ۵). یادداشت‌برداری بعد از ۴۸ ساعت از زمان کاشت شروع و به‌مدت نُه روز ادامه یافت. درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، درصد گیاهچه نرمال، طول ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه پارامترهایی بود که اندازه‌گیری شد.

۳. ۷. بررسی تأثیر عصاره‌ی ساپونین و بقایای کینوا بر شاخص‌های رشد گندم در گلخانه

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و در سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا شد. عامل اول اندام گیاهی، در پنج سطح شامل عصاره ساقه و برگ، ریشه، مخلوط اندام‌های هوایی (برگ، ساقه و گل‌آذین)، ساپونین و شاهد (آب مقطر) و عامل دوم غلظت عصاره، در ۵ سطح ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰ و صفر درصد بود. ابتدا تعداد ۶۰ عدد گلدان سایز ۲۰ با خاک پُر و آب داده شد. روز بعد در هر گلدان تعداد ۱۰ عدد بذر گندم ضدعفونی‌شده کاشته شد. بعد از سبزشدن در هر گلدان تعداد سه بوته را نگه‌داشته و بقیه حذف شد. سپس در دو نوبت (۳۰ و ۵۰ روز پس از کاشت) درمجموع ۲۰ میلی‌لیتر از محلول‌های تهیه‌شده در کنار ریشه‌ها تزریق شدند (شکل ۶). شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، عملکرد دانه در مترمربع، وزن هزاردانه و وزن خشک در مترمربع صفاتی بودند که در این آزمایش اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که در گلخانه شرایط خاصی از نظر دما و رطوبت اعمال نشد. درجه حرارت و رطوبت داخل گلخانه نزدیک به شرایط مزرعه بود.

۳. ۸. بررسی تأثیر اختلاط پودر ساپونین و بقایای کینوا با خاک بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط مزرعه

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار به مرحله اجرا گذاشته شد. زمین انتخابی دارای بافت شنی لوم[1]، EC=۲/۴۴ dS/m و pH=۷/۷۶، فاقد سابقه کشت کینوا و دارای بیش از یک سال سابقه آیش بود. قبل از کاشت، با توجه به مساحت و آزمون خاک، مقدار شش کیلوگرم کود شیمیایی دی‌آمونیم‌فسفات و شش کیلوگرم سولفات‌پتاسیم به زمین داده شد. سپس برابر با نقشه کاشت، در آن تعداد ۶۰ کرتچه، در سه تکرار ۲۰تایی و به ابعاد ۲×۱ مترمربعی مشخص و تابلوگذاری شد. کرتچه‌ها با یک خط نکاشت و تکرارها با یک باند به عرض ۱ متر از یکدیگر تفکیک شدند. در هر کرتچه چهار خط کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و روی هر خط ۱۰ بوته به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شد.

برای کاشت ابتدا به‌وسیله تیشه مخصوص در طول هر کرتچه چهار شیار ایجاد و بعد در داخل شیارها، مقدار محاسبه‌شده از مخلوط ساپونین و بقایای کینوا با خاک، ریخته و روی آن‌ها بذر گندم ضدعفونی‌شده کشت و در آخر سطح شیارها با خاک مزرعه پوشانده شد. کشت به‌صورت کپه‌ای و در هر کپه سه بذر کشت و بعد از سبزشدن، در هر کپه یک بوته را نگه داشته و بقیه حذف شد. آبیاری به‌صورت غرقابی و از آب چاه کشاورزی مرکز تحقیقات با EC=۲۴۶۰ µmho/cm و pH =۷/۷۴ استفاده

1. Sandy Loam

شد (شکل ۷). نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، در اواخر اسفندماه و قبل از تشکیل سنبله انجام و سطح برگ نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه سطح‌سنج برگ اسکنری پرتابل[1] مدل AM200 ساخت شرکت ADC انگلیس اندازه‌گیری شد. در آخر، برداشت از ۱۰ بوته روی دو خط وسط صورت گرفت. شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، عملکرد، وزن هزاردانه، وزن خشک و شاخص برداشت صفاتی است که در این آزمایش اندازه‌گیری و موردبررسی و تحلیل آماری قرار گرفت.

۳. ۹. روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌ها پس از آزمون نرمال‌بودن، مورد تجزیه واریانس[2] قرار گرفت. میانگین‌ها هم با استفاده از آزمون LSD[3] مقایسه شدند. برای تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SAS[4] (نسخه V9) استفاده و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل[5] ترسیم و مقایسه اثرات متقابل با استفاده از روش استاندارد برش‌دهی فیزیکی انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

براساس تجزیه واریانس نتایج به‌دست‌آمده، اثر بازدارندگی عصاره آبی ساپونین و بقایای کینوا، بر تمام شاخص‌های جوانه‌زنی گندم شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، درصد گیاهچه نرمال، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر نوع اندام و غلظت عصاره کینوا بر شاخص‌های جوانه‌زنی گندم در شرایط آزمایشگاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	گیاهچه نرمال	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	شاخص بنیه بذر
a (اندام)	۴	۲۴۵۵/۲۴**	۱/۹۹**	۰/۱۱**	۵۶۲۲/۸۶**	۴۰/۴۸**	۷۷/۸۹**	۱۹۳/۴۴**
b (غلظت)	۴	۵۰۲۶/۰۰**	۶/۰۱**	۰/۳۳**	۱۱۲۷۷/۸۲**	۸۹/۱۳**	۱۰۰/۰۶**	۲۹۸/۹۵**
a*b	۱۶	۵۴۶/۶۲**	۰/۸۲**	۰/۲۰**	۱۳۸۲/۴۶**	۷/۵۰**	۷/۷۹**	۲۱/۸۴**
خطا	۵۰	۴۰/۷۵	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۴۲/۹۰	۰/۲۲	۰/۲۸	۱/۶۳
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۴۲	۵/۰۷	۴/۹۸	۱۲/۹۶	۶/۸۶	۸/۳۴	۱۲/۸۰

ns، **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

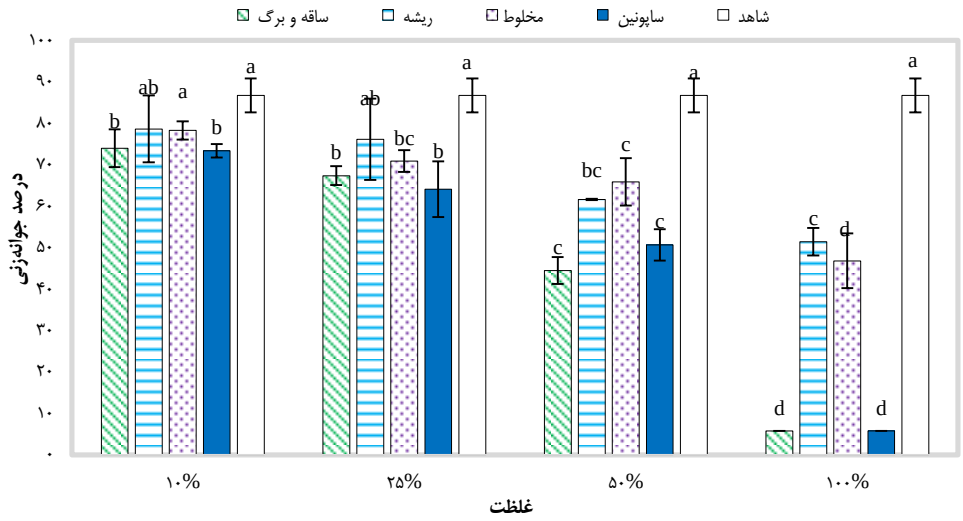
جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات عصاره ساپونین و بقایای کینوا بر شاخص‌های جوانه‌زنی گندم در شرایط آزمایشگاه

نوع اندام (عصاره)	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	گیاهچه نرمال	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر)	شاخص بنیه بذر
ساقه و برگ	۵۵/۶۳c	۲/۶۷c	۱/۴۴c	۴۶/۸۷c	۵/۷۸d	۵/۶۱c	۸/۱۰c
ریشه	۷۰/۸۸b	۳/۱۸b	۱/۶۴a	۵۴/۹۳b	۷/۵۹b	۶/۵۰b	۱۰/۳۴b
مخلوط	۶۹/۶۷b	۳/۱۴b	۱/۶۲a	۳۴/۹۱d	۶/۲۴c	۵/۲۴c	۸/۴۶c
ساپونین	۵۶/۰۸c	۲/۶۴c	۱/۴۷c	۳۴/۴۲d	۵/۴۵d	۴/۳۷d	۷/۰۰d
شاهد	۸۶/۶۸a	۳/۵۰a	۱/۵۴b	۸۱/۵۶a	۹/۴۵a	۱۰/۲۳a	۱۶/۰۴a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

1. Area Meter AM200
2. ANOVA, Analysis of variance
3. Least Significant Diffrence
4. Statistical Analysis System
5. Microsoft Excel

در این آزمایش تیمارهای ساپونین و مخلوط ساقه و برگ کینوا، در صفات درصد، سرعت و مدت‌زمان جوانه‌زنی، بالاترین بازدارندگی را داشتند و در بقیه صفات، تیمار ساپونین حائز بیش‌ترین تأثیر در بازدارندگی بود. عصاره ساپونین در شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه نرمال، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و بنیه بذر به‌ترتیب حدود ۳۵، ۲۵، ۵۸، ۴۲، ۵۷ و ۵۶ درصد نسبت به شاهد بازدارندگی داشت (جدول ۳). هم‌چنین، میزان غلظت در تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال ۱ درصد نسبت به شاهد معنی‌دار شد (جدول ۲) و با افزایش غلظت میزان تأثیر تیمار افزایش داشت. اثر متقابل نوع اندام و غلظت هم بر تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲ و شکل ۱). در غلظت ۱۰۰ درصد عصاره ساپونین و ساقه و برگ، درصد جوانه‌زنی و به‌دنبال آن بقیه صفات موردارزیابی صفر شدند.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع اندام و غلظت کینوا بر درصد جوانه‌زنی بذور گندم در آزمایشگاه.
(غلظت در هر اندام با هم مقایسه میانگین شده است و حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.)

اثر بازدارندگی مخلوط پودر ساپونین و بقایای کینوا (ساپونین، ساقه و برگ، ریشه، مخلوط ساقه و برگ و گل‌آذین) با خاک، درصد اختلاط و اثر متقابل آن‌ها هم بر تمام شاخص‌های جوانه‌زنی گندم (درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، درصد گیاهچه نرمال، طول ساقه‌چه و وزن خشک) در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۴ و شکل ۲).

جدول ٤. تجزیه واریانس اثر نوع اندام و درصد اختلاط بقایای کینوا با خاک بر شاخص‌های جوانه‌زنی گندم در شرایط آزمایشگاه

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	گیاهچه نرمال	طول ساقه‌چه	وزن خشک
a (اندام)	۴	۵۵۳۵/۴۱**	۱/۲۲**	۲/۰۹**	۵۸۲۹/۷۳**	۸۵/۰۵**	۰/۰۴۵۵**
b (غلظت)	۴	۶۸۳۸/۳۵**	۱/۴۰**	۱/۴۵**	۶۵۶۱/۱۳**	۱۰۳/۹۶**	۰/۰۴۵۵**
a*b	۱۶	۱۰۵۷/۷۸**	۰/۲۴**	۰/۷۵**	۹۶۳/۳۹**	۱۷/۳۴**	۰/۰۱۱۹**
خطا	۵۰	۲۶/۲۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۱۶/۸۱	۰/۳۲	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۴۳	۴/۷۰	۷/۵۱	۶/۳۰	۶/۷۶	۱/۸۵

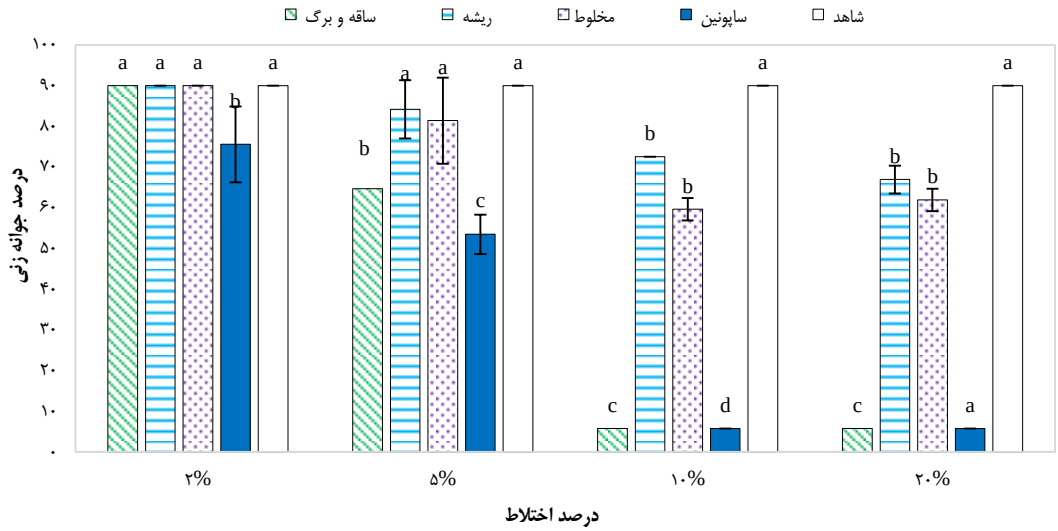
ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اختلاط ساپونین و بقایای کینوا با خاک بر شاخص‌های جوانه‌زنی گندم در شرایط آزمایشگاه

نوع اندام (پودر)	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	میانگین مدت زمان جوانه‌زنی	گیاهچه نرمال	طول ساقه‌چه (میلی‌متر)	وزن خشک (گرم)
ساقه و برگ	۵۱/۲۴d	۱/۳۹d	۱/۳۱c	۴۹/۰۶d	۶/۵۸d	۰/۸۴۴c
ریشه	۸۰/۷۳ b	۱/۸۲b	۱/۹۷ a	۷۸/۴۵b	۹/۶۹b	۰/۹۴۰b
مخلوط	۷۶/۵۹c	۱/۶۷c	۲/۰۵a	۹۵/۰۳c	۸/۷۴c	۰/۹۳۳b
ساپونین	۴۶/۱۰e	۱/۲۸e	۱/۴۶b	۴۲/۷۶e	۵/۵۲e	۰/۸۴۴c
شاهد	۹۰/۰۰a	۱/۹۵a	۱/۲۶c	۹۰/۰۰a	۱۱/۴۵a	۰/۹۵۷a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در این آزمایش تیمار ساپونین در تمام صفات موردبررسی، به‌استثنای میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، بیش‌ترین تأثیر در بازدارندگی داشت. عصاره خاکی ساپونین، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه نرمال، طول ساقه‌چه و وزن خشک را به‌ترتیب حدود ۴۹، ۳۴، ۵۲، ۵۲ و ۱۲ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۵). تیمارهای ۲۰ و ۱۰ درصد اختلاط پودر ساپونین و ساقه و برگ با خاک و به‌تبع آن بقیه صفات موردارزیابی صفر شد. این نتایج شاهدی بر خاصیت شدید دگرآسیبی بقایای کینوا بر جوانه‌زنی بذور گندم است. در این آزمایش تیمارهای "پودر ساپونین" و "پودر ریشه"، در تمام صفات موردبررسی، به‌استثنای میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر در بازدارندگی داشتند.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع اندام و درصد اختلاط کینوا با خاک بر درصد جوانه‌زنی بذور گندم در آزمایشگاه.
(غلظت‌ها در هر اندام با هم مقایسه میانگین شده است و حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.)

در آزمایش گلدانی، اثر بازدارندگی عصاره آبی ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا، روی صفات شاخص سطح برگ، عملکرد دانه در مترمربع و وزن خشک در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶ و شکل ۳).

در این آزمایش، تزریق عصاره آبی ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا کنار ریشه گیاه زراعی گندم، در بالاترین درجه تأثیر شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، عملکرد دانه در مترمربع، وزن هزاردانه، وزن خشک و ارتفاع بوته را به‌ترتیب حدود ۲۵، ۶، ۶، ۹، ۱، ۱۰ و ۳ درصد کاهش داد (جدول ۷). این نتیجه در مقایسه با نتایج آزمایش‌های جوانه‌زنی در آزمایشگاه ضعیف‌تر است.

جدول ٦. تجزیه واریانس اثر نوع اندام و غلظت عصاره کینوا بر شاخص‌های جوانه‌زنی گندم در شرایط گلخانه

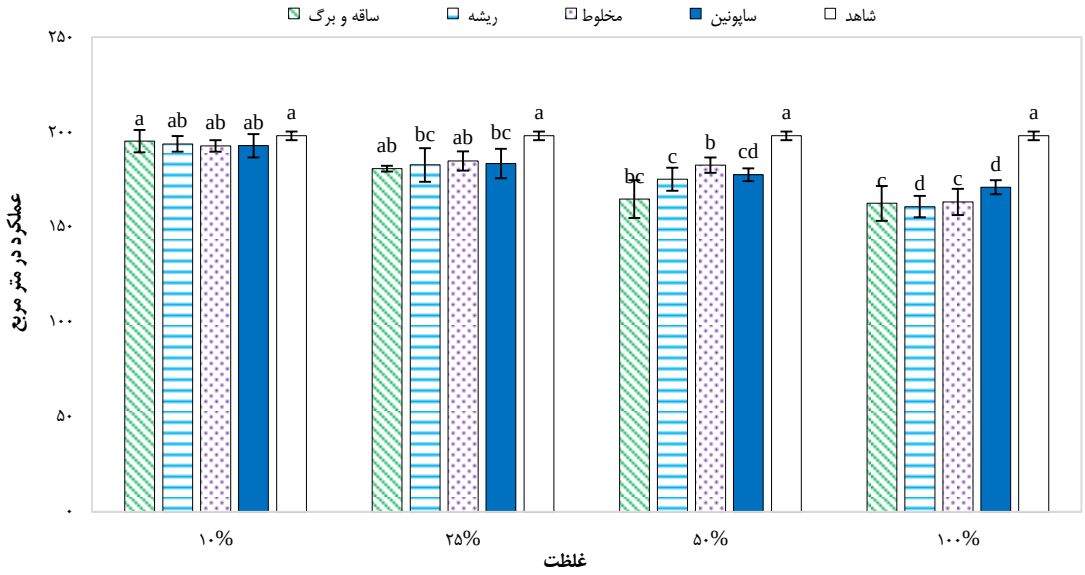
منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	عملکرد دانه در متر مربع	وزن هزاردانه	وزن خشک در متر مربع	ارتفاع
تکرار (بلوک)	۲	۰/۰۳۲ns	۲۱۹/۷۲ns	۴۴/۶۱ns	۹۸/۹۷ns	۲۵۰/۰۴**	۳۸۴/۴۹ns	۲۴۹/۷۶**
a (اندام)	۴	۰/۱۶**	۳۷/۱۵ ns	۱۸/۹۲ns	۷۴۲/۶۶**	۴/۲۱ ns	۳۵۱۵/۸۹**	۲۳/۶۵ns
b (غلظت)	۴	۰/۱۷**	۷۴/۶۵ns	۳۲/۸۴ns	۱۸۰۰/۷۱ns	۱۱/۴۸ ns	۷۵۸۲/۵۱**	۱۴۸/۲۱**
a*b	۱۶	۰/۰۱۶ns	۷/۴۸ns	۵/۳۳ns	۱۴۷/۱۱**	۴/۰۶ ns	۶۸۹/۵۹ns	۱۳/۰۸ns
خطا	۴۸	۰/۰۰۷	۴۶/۳۴	۱۵/۹۳	۵۰/۳۳	۱۲/۲۶	۳۳۹/۸۵	۶/۹۴
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۵۳	۱۰/۴۸	۷/۸۷	۳/۸۲	۶/۱۴	۴/۹۶	۲/۹۶

ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۷. مقایسه میانگین تأثیر عصاره ساپونین و نوع اندام کینوا بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط گلخانه

نوع اندام (عصاره)	شاخص سطح برگ	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	عملکرد دانه در مترمربع (گرم)	وزن هزاردانه (گرم)	وزن خشک در مترمربع (گرم)	ارتفاع (میلی‌متر)
ساقه و برگ	۰/۹۱b	۶۴/۵۳a	۴۹/۷۴a	۱۸۰/۲۱b	۵۶/۲۹a	۳۵۵/۴۸c	۸۷/۸۰b
ریشه	۰/۸۶b	۶۴/۵۳a	۴۹/۵۹a	۱۸۲/۰۶b	۵۷/۱۶a	۳۷۰/۸۸b	۸۸/۰۷b
مخلوط	۰/۸۶b	۶۴/۵۳a	۵۰/۷۲a	۱۸۴/۲۵b	۵۶/۸۶a	۳۶۸/۵۰bc	۸۸/۳۳b
ساپونین	۰/۸۰c	۶۳/۵۳a	۵۰/۶۹a	۱۸۴/۵۴b	۵۷/۷۶a	۳۶۶/۸۵bc	۸۹/۷۳ab
شاهد	۱/۰۷a	۶۷/۶۷a	۵۲/۵۵a	۱۹۸/۰۰a	۵۶/۹۷a	۳۹۷/۰۰a	۹۰/۶۷a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع اندام و غلظت کینوا بر عملکرد گندم در شرایط گلخانه.
(غلظت‌ها در هر اندام با هم مقایسه میانگین شده است و حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.)

براساس نتایج آزمایش مزرعه‌ای، اثر بازدارندگی اختلاط پودر ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا با خاک بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط مزرعه، بر صفات شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، عملکرد دانه در هکتار، وزن خشک در هکتار و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اما تیمارهای تعداد دانه در خوشه و وزن هزاردانه معنی‌دار نشد (جدول ۸ و شکل ۴).

جدول ۸. تجزیه واریانس اثرات نوع اندام و درصد اختلاط بقایای کینوا با خاک بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط مزرعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	عملکرد دانه در هکتار	وزن هزاردانه	وزن خشک در هکتار	شاخص برداشت
تکرار (بلوک)	۲	۰/۰۰۱ns	۳۱۷/۲۸ns	۱۵/۸۴ns	۵۶۰۵۹/۵۶ns	۱۲/۹۶ns	۲۷۸۸۰۱/۳۳ ns	۰/۰۰۰۰۵۲ns
a (اندام)	۴	۰/۲۱**	۲۲۳۳/۲۵**	۴۰/۱۸ns	۱۸۴۶۳۱۵/۳۲**	۸/۴۲ns	۸۳۰۷۸۶۲/۸۲**	۰/۰۰۱۰۳۲**
b (غلظت)	۴	۰/۲۳**	۲۷۰۹/۳۵**	۵۳/۳۶ns	۲۳۸۶۴۰۷/۵۹**	۵/۶۴ns	۱۰۰۱۵۸۴۸/۱۵**	۰/۰۰۳۰۲۲**
a*b	۱۶	۰/۰۲**	۱۸۶/۴۴**	۸/۹۳ns	۱۶۶۴۴۰/۴۶**	۴/۴۴ns	۶۸۷۰۵۹/۴۱ns	۰/۰۰۰۵۴۵**
خطا	۴۸	۰/۰۰۰۵	۳۸/۰۲	۸/۰۳	۳۸۶۵۱/۸۲	۴/۲۸	۱۹۸۷۸۲/۶۷	۰/۰۰۰۱۱
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۹۰	۶/۹۳	۵/۹۲	۸/۶۴	۳/۹۰	۸/۴۶	۲/۵۱

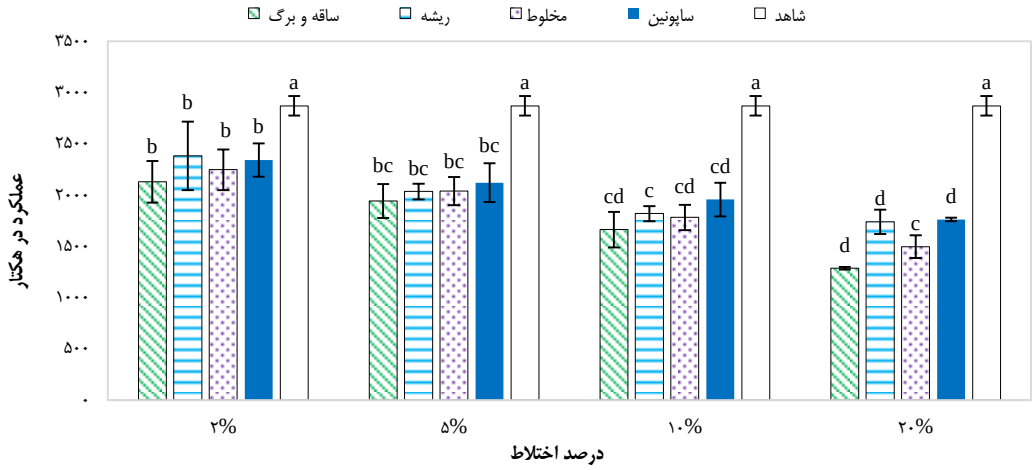
ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۹. مقایسه میانگین تأثیر پودر ساپونین و نوع اندام کینوا بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط مزرعه

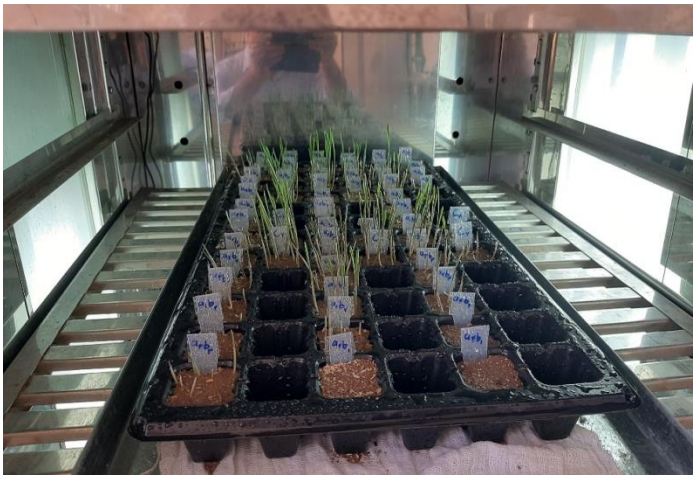
نوع اندام (پودر)	شاخص سطح برگ	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه در خوشه	عملکرد دانه در هکتار (کیلوگرم)	وزن هزاردانه (گرم)	وزن خشک در هکتار (کیلوگرم)	شاخص برداشت
ساقه و برگ	۰/۳۹b	۷۹/۶۷d	۴۶/۴۴b	۱۹۷۹/۰۷c	۵۲/۹۷ab	۴۶۹۹/۱c	۰/۴۱۹d
ریشه	۰/۳۶c	۸۵/۱۳bc	۴۷/۸۹b	۲۱۷۰/۲۰b	۵۳/۱۷ab	۵۰۶۷/۱b	۰/۴۲۹bc
مخلوط	۰/۳۰e	۸۱/۸۰dc	۴۸/۱۹b	۲۰۸۷/۶۷bc	۵۲/۷۴ab	۴۹۰۵/۳bc	۰/۴۲۳dc
ساپونین	۰/۳۳d	۸۸/۲۰b	۴۶/۵۵b	۲۲۱۰/۸۷b	۵۴/۰۸a	۵۱۱۳/۰۷b	۰/۴۳۲b
شاهد	۰/۶۰a	۱۱۰/۰۰a	۵۰/۴۸a	۲۸۷۱/۰۰a	۵۲/۰۱b	۶۵۷۰/۳a	۰/۴۴۰a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

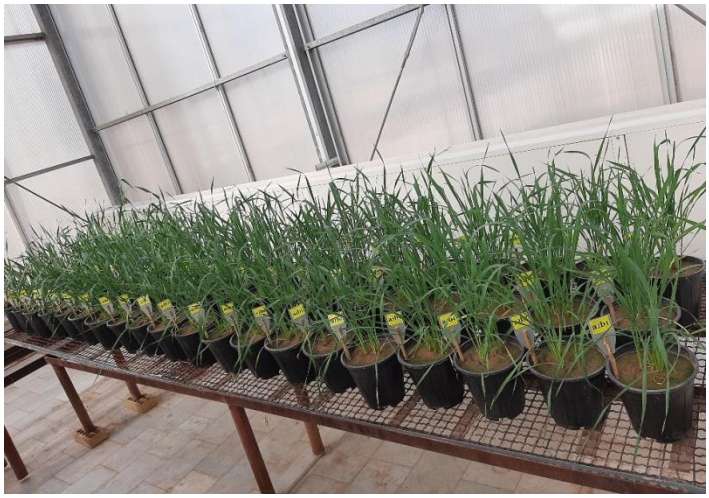
درصد اختلاط ساپونین و بقایای کینوا با خاک هم در تمام صفات موردبررسی، به‌استثنای تعداد دانه در خوشه و وزن هزاردانه در سطح احتمال ۱ درصد نسبت به شاهد معنی‌دار و با افزایش درصد اختلاط پودر با خاک، میزان تأثیر تیمار افزایش یافت. اثر متقابل نوع اندام و درصد اختلاط در صفات شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، عملکرد دانه در هکتار و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد نسبت به شاهد معنی‌دار شد. در این آزمایش تیمار ساقه و برگ با درصد اختلاط ۲۰ درصد، در تمام صفات موردبررسی بیش‌ترین دگرآسیبی داشت. براساس نتایج مقایسه میانگین تأثیر نوع اندام بر شاخص‌های رشد گندم در مزرعه تیمارهای کاربرد خاکی پودر ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا، در بالاترین درجه تأثیر، صفات شاخص سطح برگ، تعداد خوشه در مترمربع، عملکرد دانه در هکتار، وزن خشک و شاخص برداشت را به‌ترتیب حدود ۵۰، ۲۸، ۳۱، ۲۸ و ۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (جدول ۹).



شکل ٤. مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع اندام و درصد اختلاط کینوا با خاک بر شاخص عملکرد گندم در شرایط رشدی مزرعه.
(غلظت‌ها در هر اندام با هم مقایسه میانگین شده است و حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.)



شکل ۵. آزمایش بررسی تأثیر ساپونین و بقایای کینوا بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور گندم داخل اتاقک رشد



شکل ٦. آزمایش بررسی تأثیر ساپونین و بقایای کینوا بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط گلخانه

شکل ۷. آزمایش بررسی تأثیر ساپونین و بقایای کینوا بر شاخص‌های رشد گندم در شرایط مزرعه

۵. بحث

در این پژوهش، نتایج آزمایش‌های جوانه‌زنی و رشد گندم در شرایط آزمایشگاه، گلخانه و مزرعه، همگی بر خاصیت دگرآسیبی ساپونین[1] و اندام‌های مختلف کینوا شامل ساقه و برگ، ریشه و مخلوط قسمت‌های هوایی (ساقه و برگ و گل‌آذین) روی جوانه‌زنی بذور و رشد گندم دلالت دارند. در این پژوهش برای اولین‌بار، اثرات دگرآسیبی ساپونین کینوا روی گندم موردبررسی قرار گرفت. این ماده سمی و تلخ که در لایه بیرونی بذر کینوا قرار دارد و در حال حاضر به‌عنوان ضایعات کارخانه‌های ساپونین‌گیری محسوب می‌شود. ساپونین در اکثر صفات موردبررسی، حائز بالاترین اثر بازدارندگی بود. هم‌چنین درصد جوانه‌زنی و به‌دنبال آن بقیه صفات موردارزیابی در تیمار ساپونین با غلظت ۱۰۰ درصد عصاره و تیمارهای ۲۰ و ۱۰ درصد اختلاط پودر ساپونین با خاک و به‌تبع آن بقیه صفات موردارزیابی صفر شد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده خاصیت شدید دگرآسیبی بقایای کینوا، به‌ویژه ساپونین کینوا، بر جوانه‌زنی بذور گندم است. هرچند این نتیجه برای تولید محصول استراتژیک گندم ناخوشایند است و لازم است با مدیریت مناسب از میزان خسارت آن کاست، اما در صورت تأثیر مشابه این مواد، به‌ویژه ساپونین، روی علف‌های هرز گرامینه و شاید روی سایر علف‌های هرز، بتوان از این ماده برای کنترل زیستی علف‌های هرز بهره جست. پژوهش‌های تکمیلی در این زمینه‌ها توصیه می‌شود.

در آزمایش اختلاط ساپونین و بقایای کینوا، تیمارهای کاربرد "پودر ساپونین" و "پودر ریشه"، در تمام صفات موردبررسی، به‌استثنای میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر در بازدارندگی داشتند. احتمالاً این تفاوت به‌دلیل تفاوت در غلظت ترکیبات دگرآسیب در این اندام‌هاست. هم‌چنین نتایج این پژوهش حاکی از وجود رابطه مستقیم بین غلظت و میزان بازدارندگی بود. میزان غلظت در تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال یک درصد نسبت به شاهد معنی‌دار و با افزایش غلظت میزان تأثیر تیمار افزایش داشت. به‌عنوان مثال، در غلظت ۱۰۰ درصد عصاره ساپونین و عصاره مخلوط ساقه و برگ، درصد جوانه‌زنی و به‌دنبال آن بقیه صفات موردارزیابی صفر شد. اثر متقابل نوع اندام و غلظت هم بر تمام صفات موردبررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

همان‌طوری‌که در پیشینهٔ پژوهش اشاره شد، پیش از این خاصیت دگرآسیبی اندام‌های مختلف کینوا روی گیاهان زراعی گندم، جو، پیاز، باقلا و علف‌های هرز از جمله تاج‌خروس، یولاف و فالاریس گزارش شده است. اما، گزارشی از بررسی اثرات دگرآسیبی ساپونین کینوا، روی گندم مشاهده نشد. هرچند در پژوهش حاضر، اثرات بازدارندگی ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا بر گندم، در اکثر صفات جوانه‌زنی و رشد معنی‌دار شد. اما میزان تأثیر بازدارندگی در صفات رشدی، در مقایسه با نتایج آزمایش‌های جوانه‌زنی ضعیف‌تر بود. در گزارش ویر[2] و همکاران (۲۰۰۴) هم آمده که معمولاً اثر آللوکمیکال‌ها[3] روی جوانه‌زنی بیش‌تر از تأثیر آن‌ها بر روی رشد است. شاید به همین دلیل، بیش‌تر پژوهش‌هایی که در زمینه دگرآسیبی صورت گرفته در مورد اثر آللوکمیکال‌ها بر جوانه‌زنی و رشد دانه‌ها بوده است (ویر[4] و همکاران، ۲۰۰۴). این نتیجه ممکن است ناشی از کاهش غلظت مواد دگرآسیب در بقایای کینوا یا تجزیه مواد آللوکمیکال، در فاصله زمان برداشت کینوا تا کشت گندم باشد. نکته آخر این‌که، براساس مشاهدات و بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش، رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه تعدادی از بذورِ جوانه‌زده، متوقف یا کند، ریشه‌ها کوتاه، مجعد و نوک آن‌ها قهوه‌ای و نکروزه شد. این علائم در تیمار عصاره ساپونین شدیدتر بود. این گیاهچه‌های غیرطبیعی[5] را باید ازجمله آثار دگرآسیبی ساپونین و بقایای اندام‌های مختلف کینوا روی گندم قلمداد نمود.

1. Saponin
2. Weir
2. Allelochemical
4. Weir
5. Abnormal

اثرات قوی ساپونین کینوا روی جوانه‌زنی بذر و اثرات بالقوه آن در برابر عوامل بیماری‌زا از یک طرف و تولید روزافزون آن به‌دلیل افزایش سطح زیر کشت و تولید کینوا از طرف دیگر، چشم‌انداز روشن و امیدبخشی پیشِ روی پژوهش‌گران می‌گشاید تا با گنجاندن این فرآورده جنبی و ارزان فرایند پوست‌گیری در برنامه‌های پژوهشی مدیریت تلفیقی علف‌های هرز و عوامل بیماری‌زا، به دستاوردهای علمی و کاربردی جدیدی در جهت کاهش مصرف سموم شیمیایی، به‌ویژه علف‌کش‌ها دست یابند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

براساس نتایج پژوهش حاضر، اثرات بازدارندگی ساپونین و اندام‌های مختلف کینوا بر گندم، در اکثر صفات موردبررسی در مراحل جوانه‌زنی و رشد معنی‌دار بود. لذا چنانچه در تناوب زراعی، گندم بعد از کینوا کشت شود، ساپونین و دیگر بقایای کینوا می‌توانند اثرات دگرآسیبی جدی بر جوانه‌زنی و رشد گندم داشته و عملکرد و تولید دانه و کاه را کاهش دهند. عملیات شخم و آماده‌سازی زمین، فاصله زمان برداشت کینوا تا زمان کاشت گندم، رقم کینوا، رقم گندم، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شیوه آبیاری ازجمله عواملی هستند که ممکن است بر میزان این خسارت تأثر بگذارند. در مقابل به‌نظر می‌رسد با مدیریت بقایای کینوا، تنظیم تراکم و تاریخ کاشت، می‌توان اثرات منفی ساپونین و دیگر بقایای کینوا را کاهش داد. ضمن آن‌که اثرات مثبت دگرآسیبی بقایای کینوا روی کنترل علف‌های هرز را هم نباید نادیده گرفت. انجام پژوهش‌های تکمیلی در این زمینه‌ها، به‌ویژه در خصوص میزان پایداری اثرات بقایای کینوا در خاک توصیه می‌شود.

۷. تشکر و قدردانی

از همکاری شایسته رئیس و کارکنان محترم مرکز ملی تحقیقات شوری، به‌ویژه رئیس و پرسنل آزمایشگاه شوری، هم‌چنین از رئیس و کارکنان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

امرایی، نسیم؛ منصوری، علی و امیدی، حشمت (۱۴۰۰). بررسی اثرات دگرآسیبی بقایای کینوا برجوانه‌زنی و صفات مرفوفیزیولوژیک گندم. *علوم و تحقیقات بذر ایران*، ۸(۱)، ۴۴-۲۹.

حسینی‌سیسی، سیده زهرا (۱۳۹۸). تأثیر بازدارندگی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) بر جوانه‌زنی و رشد تاج خروس (*Amaranthus powellii*). دومین کنفرانس بین‌المللی و ششمین کنفرانس ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل.

حسینی، مجتبی؛ زمانی، غلامرضا و خزاعی، مسعود (۱۳۸۸). بررسی واکنش جوانه‌زنی بذر جودره (*Hordeum spontaneum* Koch) به تنش شوری و خشکی ناشی از غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، (۱)، ۷۲-۶۵.

شاکری، منصور؛ سودایی‌زاده، حمید و حکیمی، محمدحسین (۱۳۹۲). اثرات آللوپاتی و نماتدکشی عصاره آبی گیاه مرتعی کور (*Capparis spinosa* L.) روی خصوصیات رشد خیار و گوجه فرنگی. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۳(۲).

شاکری، منصور؛ شمسی، حسین؛ صالحی، معصومه و باغستانی، محمدعلی (۱۴۰۳). بررسی اثرات آللوپاتیکی عصاره آبی ساپونین و بقایای کینوا (*Chenopodium quinoa*) بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور جودره (*Hordeum spontaneum*) در آزمایشگاه. بیست‌وپنجمین کنگره گیاهپژشکی ایران، تهران.

شاکری، منصور؛ شمسی، حسین؛ صالحی، معصومه و باغستانی، محمدعلی (۱۴۰۳). بررسی اثرات آللوپاتیکی عصاره آبی ساپونین و بقایای کینوا (*Chenopodium quinoa*) بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذور منداب (*Eruca sativa*) در آزمایشگاه. بیست و پنجمین کنگره گیاهپژشکی ایران، تهران.

عابدی، محمدجواد؛ نیریزی، سعید و ابراهیمی بیرنگ، نادر (۱۳۸۱). استفاده از آب‌های شور در کشاورزی پایدار. تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکش ایران.

علیـزاده، محمدعلی و عیسـوند، حمیدرضا (۱۳۸۳). درصد، سـرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه دو گونه گیاه دارویی (*Anthemis altissima* L.) و (*Eruca sativa* L.) تحت شرایط سردخانه و انبارداری خشک. *فصلنامه پژوهشی گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۰(۳)، ۳۰۷-۳۰۱.

منصوری، علی؛ امرایی، نسیم و امیدی، حشمت (۱۳۹۹). اثرات دگرآسیبی بقایای کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) بر نشت الکترولیت‌ها، محتوای بیوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گندم (*Triticum aestivum* L.). *فرایند کارکرد گیاهی*، ۹(۳۹).

References

Abedi, M. J., Neyrizi, S., Ebrahimi Birang, N., Mahrani, M., Mehrdadi, M., Khaledi, H., & Cheraghi, A. (2002). The use of saline waters in sustainable agriculture. *Iranian National Irrigation and Drainage Committee*, 240 pages. (In Persian).

Afzal, I., Haq, M. Z. U., Ahmed, S., Hirich, A., & Bazile, D. (2023). Challenges and perspectives for integrating quinoa into the agri-food system. *Plants*, *12*(19), 3361.

Alizadeh, M. A., & Isvand, H.R. (2004). Evaluation and the study of germination potential, speed of germination and vigor index of the seeds of two species of medicinal plants (*Eruca sativa* Lam., *Anthemis altissima* L.) under cold room and dry storage condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *20* (3), 301-307. (In Persian).

Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, *119*(2), 770-778.

Amraie, N., Mansouri, A., & Omidi, H. (2021). Evaluation of the allopathic effects of quinoa residues on germination and morphophysiological traits of wheat. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, *8*(1), 29-44. (In Persian).

Azzam, C. R., Abd El-Naby, Z. M., Abd El-Rahman, S. S., Omar, S. A., Ali, E. F., Majrashi, A., & Rady, M. M. (2022). Association of saponin concentration, molecular markers, and biochemical factors with enhancing resistance to alfalfa seedling damping-off. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*(4), 2148-2162.

Bai, S. K., Ashwini, R., & Geetha, K. (2022). Allelopathy in Weed Management-A Review. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 56*(*3).

Bianchini, A., Moraes, P. V. D. d., Jakubski ,J. D., Rankrape, C. B., Gadyel, E., Schuster, M. C., & Rossi, P. (2019). Allelopathy of cover crops on the germination and initial development of *Euphorbia heterophylla*. *Journal of Agricultural Science*, *11*(14), 74.

Bilalis, D. J., Travlos, I. S., Karkanis, A., Gournaki, M., Katsenios, G., Hela, D., & Kakabouki, I. (2013). Evaluation of the allelopathic potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Nardi Fundulea, Romanian Agricuiteral Research*, *30*.

Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 1020.

De Albuquerque, M. B., Dos Santos, R. C., Lima, L. M., Melo Filho, P. d. A., Nogueira, R. J. M. C., Da Câmara, C. A. G., & de Rezende Ramos, A. (2011). Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *31*, 379-395.

Dong, S., Yang, X., Zhao, L., Zhang, F., Hou, Z., & Xue, P. (2020). Antibacterial activity and mechanism of action saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. husks against foodborne pathogenic bacteria. *Industrial Crops and Products*, *149*, 112350 .

El-Sadek, A., Balah, M., Romani, A., Francesca Ieri, F., Vignolini, P., Salem, E., Virtuosi, I. (2017). Allelopathic potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes on the germination and initial development of some weeds and crops. *Egyptian Journal of Desert Research*, *67*(1), 25-45.

Hosseini Cici, S. Z. (2019). Allelopathic potential of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) on the germination and development of Pigweed (*Amaranthus powellii*). Paper presented at the The second international *conference and the 6th National conference on organic and Conventional Agriculture*, Ardabil, Iran. (In Persian).

Hosseini, M., Zamani, G. R., & Khazaei, M. (2009). Germination response of wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) to salt and drought stress in different concentration of sodium chloride and polyethylene glycol 6000. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *2*(1),65-72. (In Persian).

Ikic, I., Maricevic, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Satovic, Z., & Sarcevic, H. (2012). The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. *Euphytica*, *188*, 25-34.

ISTA. (2013). Germination Committee. *Committee report* 2010-2013.

Koziol, M. J. (1991). Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *54*(2), 211-219.

Majeed, A., Chaudhry, Z., & Muhammad, Z. (2012). Allelopathic assessment of fresh aqueous extracts of *Chenopodium album* L. for growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *44*(1), 165-167.

Mansouri, A., Amraie, N., & Omidi, H. (2020). Allopathic effects of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) residues on electrolyte leakage, biochemical content, antioxidants and photosynthetic pigments of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Process and Function*, *9*(39) 15-28 (In Persian).

Michel, B. E. (1983). Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant physiology*, *72*(1), 66-70.

Schandry, N., & Becker, C. (2020). Allelopathic plants: models for studying plant–interkingdom interactions. *Trends in Plant Science*, *25*(2), 176-185.

Shah, S., & Khan, Y. (2022). Allelopathic potential, nutritional qualities, and responses of *Chenopodium quinoa* (Willd.) to abiotic stress conditions-a review. *Turkish Journal of Botany*, *46*(6), 553-566.

Shakeri, M., Shamsi, H., Salehi, M., & Baghestani, M. A. (2025). Allelopathic effects of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) residues on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum* C. Koch). *Allelopathy Journal*, *66* (1), 47-58.

Shakeri, M., Shamsi, H., Salehi, M., & Baghestani, M. A. (2024). Evaluation of the allelopathic effects of saponin and Quinoa (*Chenopodium quinoa*) residues extract on germination indexes of *Hordeum spontaneum* in laboratory condition. *Paper presented at the 25th Iranian Plant Protection Congress*, Tehran, Iran.

Shakeri, M., Sodaizadeh, H., & Hakimi, M. H. (2013). Allelopathic and nematodicidal effects of capparis spinosa aqueous extract on growth parameters of cucumber and tomato. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Peoduction*, *23*(2), 97-111. (In Persian).

Weir, T. L., Park, S.-W., & Vivanco, J. M. (2004). Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology*, *7*(4), 472-479.

Zaynab, M., Sharif, Y., Abbas, S., Afzal, M. Z., Qasim, M., Khalofah, A., & Li, S. (2021). Saponin toxicity as key player in plant defense against pathogens. *Toxicon*, *193*, 21-27.