Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research

DOI: 10.22092/ijmapr.2026.369461.3543

Vol. 42, No. 2, Page 327-346 (2026)

Evaluation of agronomic, allicin, and biochemical traits of garlic under different cultivation conditions and climatic zones in Iran

Mitra Hooshmand[1], Ahmad Asgharzadeh[2*], Maryam Tatari[3] and Susan Khosroyar[4]

1. Ph.D. student, Department of Horticultural Sciences, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran
2*. Corresponding author, Department of Agronomy, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran, E-mail: Ahmad.Asgharzadeh@iau.ac.ir
3. Department of Agronomy, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran
4. Department of Chemical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

Received: 13/05/2025 Revised: 27/06/2026 Accepted: 28/06/2026

Abstract

Background and Objective: Garlic (*Allium sativum* L.) is an important medicinal plant with valuable nutritional and therapeutic properties. It is widely used in the pharmaceutical, food, health, hygiene, and cosmetic industries. In Iran, garlic is an important agricultural and industrial crop cultivated in different geographical and climatic regions. Its antibacterial, antiviral, anti-inflammatory, and antioxidant properties make it a valuable natural source for preventing and managing various diseases. However, garlic growth, yield, and accumulation of bioactive compounds are affected by environmental conditions, soil characteristics, cultivation practices, and agricultural management. Therefore, identifying suitable regions for garlic production is important for achieving high yield and improving the production of valuable bioactive compounds. This study aimed to evaluate the agronomic characteristics, biochemical compounds, and antioxidant enzyme activities of garlic grown in different regions of Iran.

Materials and Methods: The study was conducted during the 2022–2023 growing season in three major garlic-producing provinces of Iran: Razavi Khorasan, Hamadan, and Mazandaran. In Razavi Khorasan Province, Quchan, Sabzevar, and Torbat-e Jam counties were selected. In Hamadan Province, Hamadan, Tuyserkan, and Asadabad counties were selected. In Mazandaran Province, Kelardasht, Behshahr, and Sari counties were selected. Three villages were selected from each county, and three fields were selected from each village. Thus, a total of 81 fields were sampled. The selected locations were considered treatments, and the data were analyzed using a nested design. All fields had been left fallow during the previous year without fertilizer or irrigation. Weed control was performed by hand weeding and hilling around the plants. Harvesting was performed when 60–70% of the leaves had turned yellow. After harvesting, the plants were dried under field conditions and transferred to the laboratory. The evaluated traits included bulb weight, number of cloves per bulb, clove weight, bulb yield, allicin content, total flavonoid content, catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), and superoxide dismutase (SOD) activities, DPPH radical-scavenging activity, and total phenolic content. Statistical analyses were performed with SAS 9.4 software. Means were compared using Fisher's least significant difference (LSD) test at the 5% probability level. Figures were prepared using Microsoft Excel 2017.

Results: The results showed substantial variation among the studied regions and villages in both agronomic and biochemical traits. The highest bulb weight was recorded in Sanjuzan village in

Copyright: © 2026 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Hamadan Province (59.1 g), whereas the lowest was recorded in Parkala village in Mazandaran Province (32.4 g). The difference between these values was 45%. The highest number of cloves per bulb was recorded in Bidestan village in Torbat-e Jam, Razavi Khorasan (26.8 cloves), whereas the lowest was recorded in Artiman village in Tuyserkan, Hamadan (12.1 cloves). The difference was 50%. The highest clove weight was recorded in Vafarjin and Sulan villages in Hamadan (4.28 g), whereas the lowest was recorded in Parkala (1.15 g). The difference was 73%. The highest bulb yield was recorded in Sanjuzan (17.7 t ha^{-1}), whereas the lowest yield was recorded in Parkala (9.7 t ha^{-1}). The highest allicin content was recorded in Torbat-e Jam (6.38%), whereas the lowest was recorded in Kelardasht (1.46%). The highest total flavonoid content was also recorded in Torbat-e Jam (22.2 mg g^{-1}), whereas the lowest was recorded in Kelardasht (17.0 mg g^{-1}). The mean flavonoid contents were 21.03, 19.4, and 17.1 mg g^{-1} in Razavi Khorasan, Hamadan, and Mazandaran, respectively. Akapel village in Kelardasht, Mazandaran, had the highest activities of catalase (21.5 U mg^{-1}), glutathione peroxidase (12.9 U mg^{-1}), and superoxide dismutase (103 U mg^{-1}). The lowest enzyme activities were recorded in Shurin village in Hamadan or Noorabad village in Sabzevar. The highest DPPH radical-scavenging activity was recorded in Akapel (75%), whereas the lowest was recorded in Vafarjin (52.5%).

Conclusion: The results demonstrate considerable regional variation in the growth, yield, and biochemical characteristics of garlic. Hamadan, which has a relatively cool and temperate climate, appears to be more suitable for achieving high bulb yield. In contrast, Torbat-e Jam, with its warmer and drier conditions, appears to be more suitable for the accumulation of bioactive compounds, particularly allicin and flavonoids. Therefore, the selection of the production region should be based on the intended use of garlic. Regions with suitable conditions for high yield can be selected for food production, whereas regions with greater accumulation of bioactive compounds may be preferred for medicinal and pharmaceutical purposes. These findings provide useful information for regional planning, site selection, and garlic production according to different agricultural, nutritional, medicinal, and industrial objectives.

Keywords: Solar radiation, nested design, flavonoids, phenol, catalase.

ارزیابی خصوصیات عملکردی، آلیسین و بیوشیمیایی سیر (*Allium sativum* L.) تحت شرایط کشت و اقلیم‌های مختلف در ایران

میترا هوشمند[۱]، احمد اصغرزاده[۲*]، مریم تاتاری[۳] و سوسن خسرویار[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه زراعت، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران، پست‌الکترونیک: Ahmad.Asgharzadeh@iau.ac.ir

۳- استادیار، گروه زراعت، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۳ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۵/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷

چکیده

سابقه و هدف: سیر (*Allium sativum* L.) به‌دلیل خواص دارویی و تغذیه‌ای فوق‌العاده خود، به‌عنوان یکی از گیاهان دارویی با ارزش در سراسر جهان شناخته می‌شود. این گیاه نه تنها در صنایع دارویی، بلکه در صنایع غذایی، بهداشتی و آرایشی نیز کاربرد فراوانی دارد. در ایران، سیر به‌عنوان یک محصول مهم کشاورزی و صنعتی در مناطق مختلف کشت می‌شود و نقش ویژه‌ای در تأمین سلامت جامعه و تولید محصولات دارویی ایفا می‌کند. خواص ضدباکتریایی، ضدویروسی، ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی سیر، آن را به یکی از منابع طبیعی مؤثر در پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری‌ها تبدیل کرده است. با این حال، تولید سیر در ایران تحت تأثیر عواملی مانند شرایط اقلیمی، کیفیت خاک، شیوه‌های کشت و مدیریت کشاورزی قرار دارد.

مواد و روش: این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در سه استان مهم تولید سیر، یعنی خراسان رضوی (شهرستان‌های قوچان، سبزوار و تربت‌جام)، همدان (شهرستان‌های همدان، تویسرکان و اسدآباد) و مازندران (کلاردشت، بهشهر و ساری) انجام شد. از هر استان سه شهرستان انتخاب و از هر شهرستان سه روستا انتخاب و از هر روستا سه قطعه زمین که از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و از لحاظ مدیریت مزرعه تقریباً شرایط یکسانی داشتند انتخاب شد. در مجموع ۸۱ قطعه زمین برای نمونه‌برداری انتخاب گردید. مکان‌های مورد مطالعه به عنوان تیمار در نظر گرفته شد. داده‌های جمع‌آوری شده براساس طرح آشیانه‌ای (nested) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در تمام مناطق، خاک در سال قبل آیش بود و کود و آبیاری انجام نشده بود. در همه مناطق، کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و خاک‌دهی پای بوته‌ها انجام شد. معیار برداشت، زرد شدن ۶۰ تا ۷۰ درصد برگ‌ها بود. پس از برداشت، بوته‌ها در مزرعه خشک و بعد برای آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند. صفات اندازه‌گیری شده شامل وزن سیر، تعداد سیرچه، وزن سیرچه، عملکرد سیر، آلیسین، فلاونوئید، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز، DPPH و فنل کل بود. تجزیه آماری با استفاده از برنامه آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد. شکل‌ها نیز با نرم‌افزار Excel 2017 رسم شدند.

یافته‌ها: در این مطالعه، بیشترین وزن سیر مربوط به روستای سنجوزان در استان همدان با ۵۹/۱ گرم و کمترین وزن مربوط به روستای پرکلا در استان مازندران با ۳۲/۴ گرم بود که اختلاف ۴۵ درصدی را نشان می‌دهد. از نظر تعداد سیرچه، بیشترین مقدار در روستای بیدستان (تربت‌جام، خراسان رضوی) با ۲۶/۸ عدد و کمترین در روستای آرتیمان (تویسرکان، همدان) با ۱۲/۱ عدد ثبت شد که اختلاف ۵۰ درصدی است. بیشترین وزن سیرچه در مناطق همدان (وفرجین و سولان) با ۴/۲۸ گرم و کمترین آن در پرکلا با ۱/۱۵ گرم دیده شد که اختلاف ۷۳ درصدی را نشان می‌دهد. بالاترین عملکرد نهایی (تن در هکتار) در سنجوزان با ۱۷/۷ تن و پایین‌ترین در پرکلا با ۹/۷ تن بود. از نظر ترکیبات بیوشیمیایی، بیشترین مقدار آلیسین به تربت‌جام ۶/۳۸ درصد و کمترین به کلاردشت با ۱/۴۶ درصد تعلق داشت. بیشترین میزان فلاونوئید کل نیز در تربت‌جام با ۲۲/۲ میلی‌گرم بر گرم و کمترین در کلاردشت با ۱۷ میلی‌گرم بر گرم ثبت شد؛ میانگین فلاونوئید در خراسان رضوی (۲۱/۰۳)، همدان (۱۹/۴) و مازندران (۱۷/۱) بود. در زمینه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، روستای

اکاپل (کلاردشت) بیشترین فعالیت کاتالاز (۲۱/۵ واحد/میلی‌گرم)، گلوتاتیون پراکسیداز (۱۲/۹ واحد/میلی‌گرم) و سوپراکسید دیسموتاز (۱۰۳ واحد/میلی‌گرم) را داشت، در حالی که کمترین مقادیر مربوط به روستای شورین (همدان) یا نورآباد (سبزوار) بود. بیشترین ظرفیت مهار DPPH در اکاپل (۷۵ درصد) و کمترین در وفرجین (۵۲/۵ درصد) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، این مطالعه بر اهمیت انتخاب منطقه مناسب برای کشت سیر تأکید دارد و نتایج آن نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی مختلف تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های عملکردی و بیوشیمیایی سیر دارند. به‌ویژه، برای دستیابی به بیشترین عملکرد کمی سیر، مناطق سردتر و معتدل مانند همدان به‌عنوان گزینه‌های مناسب شناخته می‌شوند. این مناطق با شرایط آب و هوایی خاص خود می‌توانند شرایط ایده‌آلی برای رشد سیر فراهم کنند و به افزایش تولید محصول کمک نمایند. از سوی دیگر، برای تولید ترکیب‌های دارویی با ارزش مانند آلیسین، مناطق گرم‌تر و خشک‌تر مانند تربت‌جام توصیه می‌شوند. این مناطق به‌دلیل شرایط محیطی خاص خود، ترکیب‌های فعال سیر را به میزان بیشتری تولید می‌کنند که این موضوع می‌تواند بر کیفیت دارویی سیر تأثیر بسزایی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تشعشع، طرح آشیانه‌ای، فلاونوئیدها، فنل، کاتالاز.

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) یکی از کهن‌ترین گیاهان زراعی با کاربرد گسترده در تغذیه، طب سنتی و صنایع دارویی است. این گیاه از خانواده Amaryllidaceae و جنس *Allium* بوده و گونه‌های متعددی مانند پیاز و موسیر را شامل می‌شود. براساس آمار سازمان FAO (۲۰۲۲)، سطح زیرکشت جهانی سیر بیش از ۱/۶ میلیون هکتار و تولید سالانه آن حدود ۲۸ میلیون تن است که چین، هند، مصر و ایران سهم مهمی از آن دارند.

موطن اصلی سیر به آسیای مرکزی و جنوب‌غربی آسیا ازجمله ایران نسبت داده می‌شود. ترکیب‌های گوگرددار به‌ویژه آلیسین، DADS و DATS مهم‌ترین عوامل خواص زیستی این گیاه هستند (Song *et al*., 2021). در ایران، سیر به‌طور گسترده در استان‌هایی مانند همدان و زنجان کشت می‌شود و محصول این مناطق به‌دلیل کیفیت بالا شهرت ملی و صادراتی دارد. بررسی‌های Silispour (۲۰۱۹) و Shemesh-Mayer و همکاران (۲۰۲۳) نشان داده است که تفاوت شرایط اقلیمی و انتخاب‌های بومی کشاورزان منجر به شکل‌گیری اکوتیپ‌های متنوع با خصوصیات مورفولوژیک، فیتوشیمیایی و مقاومت متفاوت شده است.

مطالعات متعددی بر اهمیت این تنوع تأکید کرده‌اند. Zahedi و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی ۳۹ ژنوتیپ سیر ایرانی، اختلاف معنی‌داری در ویژگی‌های مورفولوژیک پیاز و برگ آن گزارش کردند. Baghalian و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند که اکوتیپ‌های ایران از نظر میزان آلیسین و سایر ترکیب‌های ثانویه تنوع بالایی دارند. Kyung (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای روی ۱۹ ژنوتیپ سیر به این نتیجه رسید که تنوع بالایی از نظر محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میان لاین‌ها وجود دارد و همبستگی مثبتی بین آن‌ها مشاهده می‌شود. به همین ترتیب، Akbarpour و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که اکوتیپ‌های همدان و زنجان عملکرد بالاتری در صفات کمی و کیفی نسبت به سایر اکوتیپ‌ها دارند. همچنین Yaghoobi و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی کاریولوژیکی، تفاوت‌های کروموزومی قابل‌توجهی میان اکوتیپ‌های ایرانی و خارجی یافتند که بیانگر تنوع ژنتیکی ارزشمند در کشور است.

این یافته‌ها تأکید می‌کنند که شناخت و استفاده از ژنوتیپ‌های بومی می‌تواند ضمن ارتقای بهره‌وری، ارزش تغذیه‌ای و دارویی محصول را افزایش دهد و به حفظ ذخایر ژنتیکی کمک کند. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه اکوتیپ‌های مختلف سیر در استان‌های منتخب ایران از نظر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی، فیتوشیمیایی و زیستی تحت شرایط متفاوت اقلیمی انجام شد.

مواد و روش‌ها

زمان و مکان اجرای آزمایش

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در سه استان مهم تولید سیر، یعنی خراسان رضوی (شهرستان‌های قوچان، سبزوار و تربت‌جام)، همدان (شهرستان‌های همدان، تویسرکان و اسدآباد) و مازنداران (کلاردشت، بهشهر و ساری) انجام شد. موقعیت جغرافیایی و خصوصیات اقلیمی مناطق مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های محیطی و اقلیمی مکان‌های مختلف آزمایش در استان‌های خراسان رضوی، همدان و مازندران

Table 1. Environmental and climatic characteristics of different experimental locations in Razavi Khorasan, Hamadan, and Mazandaran provinces

Province	Site name	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m.a.s.l)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Average annual rainfall (mm)	Irradiance (MJ. M^{-2}.day^{-1})
Razavi Khorasan	Quchan	58.5054°	37.1008°	1350	-3.21	23.4	278	17.63
	Sabzevar	57.6678°	36.2152°	977.6	1.49	27.6	128	19.1
	Torbat-e-Jam	60.6248°	35.2431°	928	-0.505	28.3	172	19.3
Hamedan	Hamedan	48.5148°	34.7983°	1850	-0.88	24.5	348	19.34
	Tuyserkan	48.4420°	34.5532°	1784	0.252	25.2	374	19.34
	Asadabad	48.1216°	34.7825°	1607	-1.06	23.8	349	19.34
Mazandaran	Kelardasht	51.1459°	36.4980°	1250	0.014	21.1	1007	14.56
	Behshahr	53.5422°	36.6987°	20	1.92	28.2	506	15.94
	Sari	53.0586°	36.5659°	54	5.67	31.9	838	15.94

طرح و تیمارهای آزمایش

از هر استان سه شهرستان انتخاب و از هر شهرستان سه روستا انتخاب و از هر روستا سه قطعه زمین که از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و از لحاظ مدیریت مزرعه تقریباً شرایط یکسانی دارد انتخاب شد. در مجموع ۸۱ قطعه زمین برای نمونه‌برداری انتخاب گردید.

در هر سه استان عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق در تابستان، دیسک‌زنی و تسطیح قبل از کاشت بود. بستر به‌صورت جوی و پشته‌ای با فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر آماده شد و از سیرچه‌های سالم برای کاشت استفاده گردید.

الف) استان خراسان رضوی: کاشت در نیمه دوم مهرماه با تراکم حدود ۹ بوته در مترمربع انجام شد. به زمین ۲۰ تن کود دامی پوسیده در هکتار داده شد. علاوه بر آن، ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن (به صورت اوره در دو مرحله)، ۹۰ کیلوگرم فسفر (سوپر فسفات تریپل) و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم (سولفات پتاسیم) در هکتار مصرف گردید. آبیاری به روش نوبتی و با فواصل ۱۲-۱۵ روزه انجام شد (حدود ۱۰ نوبت). برداشت در نیمه دوم خرداد و با زرد شدن حدود ۷۰ درصد برگ‌ها انجام گردید.

ب) استان همدان: زمان کاشت اوایل مهر و تراکم حدود ۸ بوته در مترمربع بود. میزان مصرف کود شامل ۲۵ تن کود دامی، ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار بود. به دلیل شرایط خنک‌تر، تعداد آبیاری کمتر (۸ نوبت) ولی با حجم بیشتر و فواصل ۱۵-۱۸ روز انجام شد. برداشت در اوایل تیرماه انجام گردید.

ج) استان مازندران: به‌دلیل بارندگی بیشتر، کاشت از اواخر مهر تا اوایل آبان و با تراکم حدود ۱۰ بوته در مترمربع انجام شد. میزان مصرف کود شامل ۱۵ تن کود دامی، ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن، ۸۰ کیلوگرم فسفر و ۸۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار بود. آبیاری تکمیلی حدود ۶-۷ نوبت در طول فصل

انجام شد. برداشت در نیمه اول خرداد انجام گردید.

در همه مناطق، کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و خاک‌دهی پای بوته‌ها انجام شد. معیار برداشت، زرد شدن ۶۰ تا ۷۰ درصد برگ‌ها بود. پس از برداشت، بوته‌ها در مزرعه خشک و بعد برای آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند.

مکان‌های مورد مطالعه به‌عنوان تیمار در نظر گرفته شد. داده‌های جمع‌آوری شده براساس طرح آشیانه‌ای (nested) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در تمام مناطق خاک در سال قبل آیش بوده و کود و آبیاری انجام نشده است.

اندازه‌گیری صفات

صفات عملکردی

در هر منطقه چندین بوته به‌طور تصادفی انتخاب و شاخص‌هایی مانند تعداد سیرچه در سیر و وزن سیرچه تعیین شد. همچنین برای اندازه‌گیری عملکرد سیر، به میزان دو مترمربع از هر کرت آزمایشی برداشت و عملکرد اندازه‌گیری شد.

آلیسین

مقدار آلیسین با استفاده از دستگاه HPLC و با استاندارد داخلی بوتیل پاراهیدروکسی بنزوآت اندازه‌گیری شد. این روش مطابق با دستورالعمل فارماکوپه بریتانیا انجام گردید (British Pharmacopoeia, 2019).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب براساس روش‌های Clairbone (۱۹۸۵)، Polle و همکاران (۱۹۹۴) و Giannopolitis و Ries (۲۰۱۱) با دستگاه اسپکتروفتومتر سنجیده شد.

مهار فعالیت رادیکال DPPH

مهار فعالیت رادیکال DPPH از طریق روش Abe و همکاران (۱۹۹۸) و براساس کاهش جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد.

فنل و فلاونوئید کل

مقدار فنل کل (TPC) از طریق روش فولین‌شیکالتو (Singleton *et al*., 1999) و برحسب میلی‌گرم معادل اسید گالیک بیان شد.

همچنین فلاونوئید کل با روش رنگ‌سنجی $AlCl_3$ اندازه‌گیری و برحسب میلی‌گرم معادل کوئرستین گزارش شد (Chang *et al*., 2002).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

تجزیه آماری با استفاده از برنامه آماری SAS 9.4 و مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد انجام شد. شکل‌ها نیز با نرم‌افزار Excel 2017 رسم شدند.

نتایج

صفات کمی و عملکردی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل استان تأثیر معنی‌داری بر بیشتر صفات مورد بررسی داشت؛ به‌طوری‌که اثر آن بر عملکرد، وزن سیرچه، تعداد سیرچه و وزن سیر ($P\leq0.01$) معنی‌دار بود. عامل شهر درون استان آشیانه شده برای عملکرد، تعداد سیرچه و وزن سیر ($P\leq0.01$) و وزن سیرچه نیز در سطح پنج درصد ($P\leq0.05$) معنی‌دار بود. اثر روستا درون شهر و استان نیز برای عملکرد، وزن سیرچه، تعداد سیرچه و وزن سیر ($P\leq0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محل کشت بر صفات عملکردی سیر

Table 2. ANOVA of cultivation site effects on garlic yield traits

S.O.V.	d.f.	M.S.			
		Garlic weight	Number of bulblets	Bulblet weight	Yield
Province	2	1714**	1280**	52.3**	154**
City (Province)	6	124**	60.0**	0.343*	11.2**
Village (Province * City)	18	30.6**	11.8**	0.087**	2.76**
Experimental error	54	4.94	1.58	0.009	0.445
C.V. (%)		4.75	6.38	3.51	4.75

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر محل کشت بر صفات عملکردی سیر

Table 3. Mean comparison of cultivation site effects on garlic yield traits

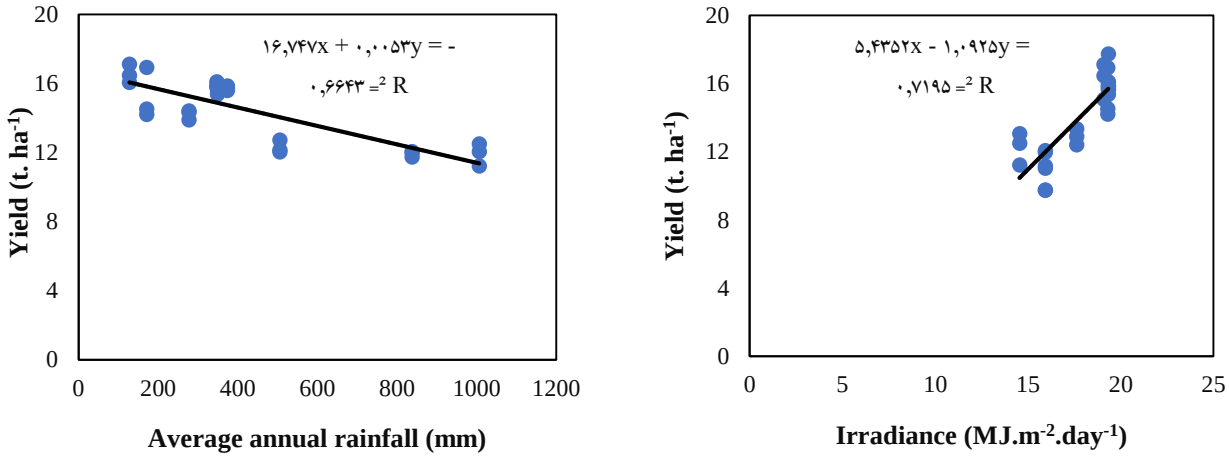
Province	City	Village	Garlic weight (g)	Number of bulblets	Bulblet weight (g)	Yield ($t.ha^{-1}$)
Razavi Khorasan	Torbat-e-Jam	Chaharsouq	$43^{i-k}\pm1.81$	$15.3^{g}\pm1.15$	$2.81^{d}\pm0.1$	$12.9^{i-k}\pm0.54$
	Quchan	Shamkhal	$44.4^{hi}\pm1.78$	$16.5^{g}\pm1.23$	$2.7^{de}\pm0.12$	$13.3^{hi}\pm0.53$
		Qareh Cheh	$41.3^{i-k}\pm0.4$	$13.2^{hi}\pm0.4$	$3.13^{c}\pm0.07$	$12.4^{i-k}\pm0.12$
		Cheshmeh Sir	$50.2^{e-g}\pm1.22$	$19.6^{f}\pm1.3$	$2.57^{ef}\pm0.13$	$15.1^{e-g}\pm0.36$
	Sabzevar	Abaresh	$54.9^{b-d}\pm2.71$	$24.4^{e}\pm2$	$2.25^{hi}\pm0.08$	$16.5^{b-d}\pm0.81$
		Nurabad	$57^{ab}\pm1.21$	$24.6^{e}\pm0.76$	$2.32^{gh}\pm0.03$	$17.1^{ab}\pm0.36$
		Bidestan	$56.4^{a-c}\pm0.61$	$26.8^{a-d}\pm0.79$	$2.11^{i}\pm0.05$	$16.9^{a-c}\pm0.18$
	Torbat-e-Jam	Hasan Abad	$47.3^{gh}\pm1.7$	$18.7^{f}\pm1.9$	$2.54^{f}\pm0.17$	$14.2^{gh}\pm0.51$
		shahabad	$48.4^{fg}\pm6.27$	$19.9^{f}\pm4.75$	$2.46^{fg}\pm0.24$	$14.5^{fg}\pm1.88$
Hamedan	Hamedan	Vafrejin	52.8de±0.7	$12.3^{i}\pm0.25$	$4.28^{a}\pm0.04$	$15.8^{de}\pm0.21$
		shorin	53.6b-e±0.5	$12.7^{i}\pm0.25$	$4.23^{a}\pm0.05$	$16.1^{b-e}\pm0.15$
		Solulan	$52.6^{de}\pm0.99$	$12.3^{i}\pm0.36$	$4.28^{a}\pm0.05$	$15.8^{de}\pm0.3$
	Tuyserkan	Artiman	$52^{de}\pm0.96$	$12.1^{i}\pm0.36$	$4.3^{a}\pm0.05$	$15.6^{de}\pm0.29$
		Korzan	$52.9^{c-e}\pm0.6$	$12.4^{i}\pm0.35$	$4.25^{a}\pm0.07$	$15.9^{c-e}\pm0.18$
		Sanjuzan	$59.1^{a}\pm6.5$	$14.9^{gh}\pm2.11$	$3.97^{b}\pm0.13$	$17.7^{a}\pm1.95$
	Asadabad	Aq Bolagh	$53.4^{c-e}\pm0.2$	$12.8^{i}\pm0.31$	$4.19^{a}\pm0.11$	$16^{c-e}\pm0.06$
		Bujin	$51.2^{ef}\pm0.72$	$12.2^{i}\pm0.25$	$4.19^{a}\pm0.06$	$15.4^{fe}\pm0.22$
		Virai	$52.2^{de}\pm0.55$	$12.5^{i}\pm0.26$	$4.17^{a}\pm0.06$	$15.7^{de}\pm0.17$
Mazandaran	Kelardasht	Akapel	$41.6^{i-k}\pm1.17$	$25.5^{c-e}\pm0.59$	$1.64^{jk}\pm0.08$	$12.5^{i-k}\pm0.35$
		Peyambur	$37.4^{l}\pm2.06$	$26.2^{a-e}\pm0.2$	$1.43^{lm}\pm0.09$	$11.2^{l}\pm0.62$
		Telochal	$43.5^{ij}\pm0.98$	$24.8^{de}\pm0.31$	$1.75^{j}\pm0.06$	$13.1^{ij}\pm0.3$
	Behshahr	Par Kola	$32.4^{m}\pm1.57$	$28.1^{a}\pm0.36$	$1.15^{n}\pm0.07$	$9.7^{m}\pm0.47$
		Kava Darreh	$37.2^{l}\pm1.88$	$27.5^{a-c}\pm0.31$	$1.35^{m}\pm0.08$	$11.2^{l}\pm0.56$
		Abbasabad	$36.8^{l}\pm1.5$	$27.4^{a-c}\pm0.42$	$1.34^{m}\pm0.08$	$11^{l}\pm0.45$
	Sari	Baba Kola	$39.9^{kl}\pm1.4$	$24.8^{de}\pm0.53$	$1.61^{jk}\pm0.09$	$12^{kl}\pm0.42$
		Par Kuh	$40.2^{j-l}\pm1.4$	$26^{b-e}\pm0.15$	$1.55^{kl}\pm0.06$	$12.1^{j-k}\pm0.42$
		Kheyarabad	$32.5^{m}\pm3.01$	$27.9^{ab}\pm0.31$	$1.16^{n}\pm0.12$	$9.74^{m}\pm0.9$

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

براساس نتایج مقایسه میانگین صفات در مناطق مختلف، بیشترین وزن سیر مربوط به روستای سنجوزان از استان همدان با میانگین ۵۹/۱ گرم بود، در حالی که کمترین وزن سیر در روستای پرکلا از شهرستان بهشهر در استان مازندران

با میانگین ۳۲/۴ گرم به‌دست آمد. این اختلاف نشان‌دهنده تفاوتی نزدیک به ۴۵ درصد بین بهترین و ضعیف‌ترین منطقه از نظر وزن سیر است. از نظر تعداد سیرچه نیز بیشترین مقدار در روستای بیدستان (تربت‌جام، خراسان رضوی) با ۲۶/۸ عدد و کمترین در روستای آرتیمان (تویسرکان، همدان) با ۱۲/۱ عدد ثبت شد که نشان‌دهنده اختلافی بیش از ۵۰ درصد است. وزن سیرچه نیز در مناطق همدان مانند وفرجین و سولان با میانگین ۴/۲۸ گرم به بالاترین مقدار رسید، در حالی که کمترین مقدار در پرکلا (بهشهر) با ۱/۱۵ گرم دیده شد که این اختلاف بیش از ۷۳ درصد است و حکایت از برتری چشمگیر مناطق همدان در این صفت دارد. از نظر عملکرد نهایی (تن در هکتار)، بالاترین مقدار در روستای سنجوزان با ۱۷/۷ تن و پایین‌ترین مقدار در پرکلا با ۹/۷ تن به‌دست آمد که معادل ۴۵ درصد اختلاف است. به‌طورکلی، مناطق مختلف استان همدان در بیشتر صفات از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار بودند، در حالی که مناطق استان مازندران، به‌ویژه بهشهر، کمترین مقادیر را در بیشتر صفات نشان دادند (جدول ۳).

ویژگی‌های کمی و کیفی سیر به شرایط محیطی، کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک تولید شده در فرایند فتوسنتز بستگی دارد. براساس مقایسه میانگین‌ها، سیر تولیدی در تویسرکان و سبزوار عملکرد بالاتری نسبت به سایر مناطق داشت. با این حال، تحلیل داده‌ها نشان داد که میزان تشعشع تابشی لزوماً با بیشترین عملکرد سیر همخوانی کامل ندارد؛ به‌طوری‌که تربت‌جام بیشترین تشعشع را داشت ولی عملکرد آن کمتر از تویسرکان و سبزوار بود. تحلیل رگرسیون نشان داد که عملکرد سیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تابش (R^2=0.72) و بارش (R^2=0.66) قرار دارد و کاهش تابش و افزایش بارش اثر منفی و معنی‌داری بر عملکرد سیر داشت (شکل ۱).



شکل ۱- رابطه رگرسیونی عملکرد سیر با بارندگی (**A**) و تابش (**B**)

Figure 1. Regression relationship of garlic yield with rainfall (A) and radiation (B)

آلیسین و صفات بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس به روش آشیانه‌ای نشان داد که عامل استان تأثیر معنی‌داری بر اغلب صفات بیوشیمیایی مورد بررسی داشت؛ به‌طوری‌که بر میزان آلیسین، مقدار فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ($P\leq0.01$)، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز ($P\leq0.05$) اثر معنی‌دار نشان داد، در حالی‌که بر میزان فلاونوئیدها اثری غیرمعنی‌دار داشت. عامل شهر که درون استان آشیانه شده بود،

بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز، کاتالاز ($P\leq0.05$) و آلیسین و فلاونوئید ($P\leq0.01$) اثر معنی‌دار داشت و بر صفات فنل و DPPH اثر معنی‌داری نداشت. اثر روستا که درون ساختار شهر و استان آشیانه شده بود، برای صفات فنل، DPPH، سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز ($P\leq0.01$) معنی‌دار بود، اما بر میزان آلیسین و فلاونوئیدها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محل کشت بر صفات فیتوشیمیایی و بیوشیمیایی سیر

Table 5. ANOVA for the effect of cultivation site on phytochemical and biochemical traits of garlic

S.O.V.	d.f.	M.S.						
		Allicin	Flavonoids	Catalase	Glutathione peroxidase	Superoxide dismutase	DPPH	Phenols
Province	2	102^{**}	55.7^{ns}	321^{*}	89.4^{*}	3370^{**}	1239^{**}	252^{**}
City (Province)	6	6.96^{**}	16.5^{**}	34.8^{*}	11.7^{*}	292^{*}	103^{ns}	18.4^{ns}
Village (Province * City)	18	0.239^{ns}	2.21^{ns}	17.5^{**}	4.63^{**}	172^{**}	62.2^{**}	15.2^{**}
Experimental error	54	0.174	2.11	1.50	0.672	21.3	10.5	4.46
C.V. (%)		10.8	7.60	8.10	8.90	5.52	5.09	9.07

$^{n.s.}$, *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

براساس نتایج جدول مربوط به آلیسین در نمونه‌های سیر مناطق مختلف، اختلافات قابل توجهی میان استان‌ها و شهرها مشاهده شد. بیشترین مقدار آلیسین به تربت‌جام با میانگین ۶/۳۸ درصد تعلق داشت و کمترین آن در کلاردشت با ۱/۴۶ درصد مشاهده شد که بیانگر افزایش بیش از سه برابری در تربت‌جام نسبت به کلاردشت است (جدول ۶). همچنین، براساس نتایج حاصل از بررسی محتوای فلاونوئید کل در سیر مناطق مختلف، تفاوت‌های قابل توجهی میان استان‌ها مشاهده شد. بیشترین میزان فلاونوئید به استان خراسان رضوی تعلق داشت، به‌ویژه در سیر جمع‌آوری‌شده از تربت‌جام (۲۲/۲ میلی‌گرم بر گرم) که بالاترین مقدار را در بین تمامی مناطق دارا بود. در مقابل، کمترین مقدار در استان مازندران و در منطقه کلاردشت با ۱۷ میلی‌گرم بر گرم ثبت گردید. اختلاف فلاونوئید بین این دو منطقه برابر با ۵/۲ میلی‌گرم بر گرم است که به‌صورت نسبی معادل حدود ۳۰/۶ درصد بیشتر در تربت‌جام نسبت به کلاردشت می‌باشد. میانگین فلاونوئید در خراسان رضوی برابر با ۲۱/۰۳ میلی‌گرم بر گرم، در همدان برابر با ۱۹/۴ میلی‌گرم بر گرم و در مازندران برابر با ۱۷/۱ میلی‌گرم بر گرم بود. بر این اساس، می‌توان گفت سیرهای تولیدشده در استان خراسان رضوی دارای غلظت فلاونوئید بالاتری نسبت به همدان (۸/۲ درصد) و مازندران (۲۲/۸ درصد) هستند (جدول ۵).

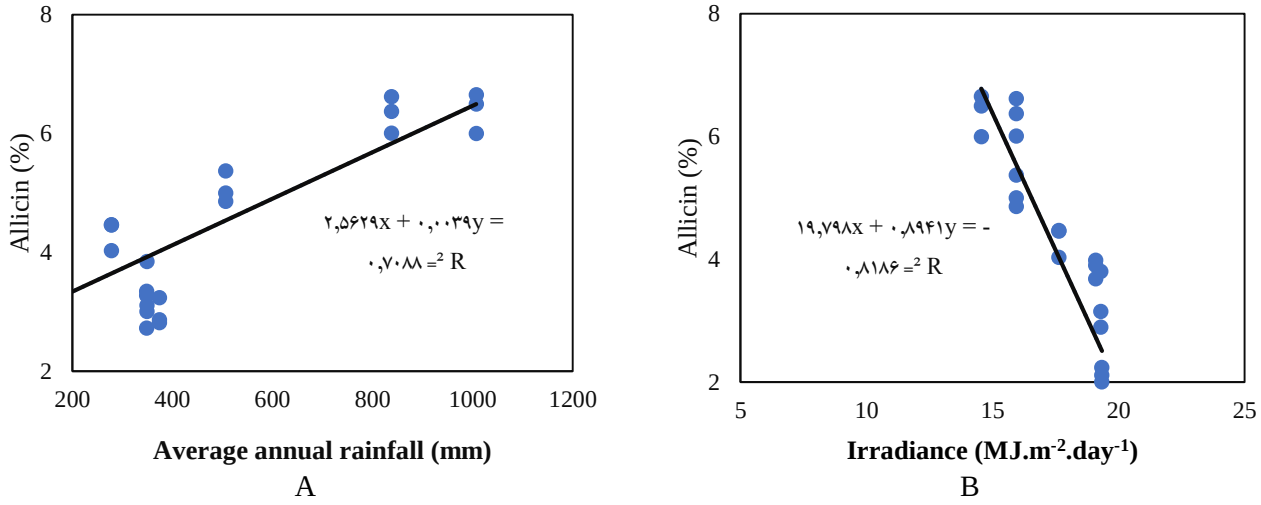
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محل کشت بر محتوای آلیسین و فلاونوئید سیر

Table 6. Mean comparison of allicin and flavonoid contents in garlic under different cultivation sites

Province	City	Allicin (%)	Flavonoids (mg.g^{-1})
Razavi Khorasan	Quchan	$4.32^{c}\pm0.522$	$19.7^{bc}\pm1.54$
	Sabzevar	$6.33^{a}\pm0.500$	$21.2^{a}\pm1.33$
	Torbat-e-Jam	$6.38^{a}\pm0.557$	$22.2^{a}\pm1.78$
Hamedan	Hamedan	$5.08^{b}\pm0.575$	$20.5^{ab}\pm0.35$
	Tuyserkan	$3.86^{d}\pm0.352$	$19.4^{bc}\pm1.90$
	Asadabad	$3.28^{e}\pm0.478$	$18.4^{cd}\pm1.62$
Mazandaran	Kelardasht	$1.46^{g}\pm0.258$	$17.0^{e}\pm1.33$
	Behshahr	$1.98^{f}\pm0.315$	$17.1^{de}\pm1.10$
	Sari	$1.99^{f}\pm0.169$	$17.3^{de}\pm1.59$

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

متغیرهای اقلیمی مانند تابش و بارش به‌طور قابل توجهی بر محتوای آلیسین در سیر تأثیر گذاشتند. کاهش شدت تابش (R^2=0.82) و افزایش بارش (R^2=0.71) با افزایش مقدار آلیسین در سیر مرتبط بودند (شکل ۲).



شکل ۲- رابطه رگرسیونی آلیسین سیر با بارندگی (**A**) و تابش (**B**)

Figure 2. Regression relationship of garlic allicin with rainfall (A) and radiation (B)

براساس نتایج به‌دست‌آمده، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای ترکیب‌های فنلی در نمونه‌های سیر جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف دارای تفاوت قابل‌توجهی بود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در روستاهای استان مازندران مشاهده شد، به‌طوری‌که روستای اکاپل در کلاردشت با ۲۱/۵ واحد در میلی‌گرم و روستای خیرآباد در ساری با ۲۰/۸ واحد در میلی‌گرم دارای بالاترین مقدار بودند. در مقابل، کمترین میزان این آنزیم مربوط به روستای شورین در همدان (۹/۵ واحد در میلی‌گرم) بود که نسبت به اکاپل حدود ۵۵/۸ درصد کمتر است. برای آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز نیز بیشترین مقدار در اکاپل (۱۲/۹ واحد در میلی‌گرم) و کمترین آن در روستای شورین (۶/۲ واحد در میلی‌گرم) ثبت شد که اختلاف آن‌ها حدود ۱۰۸ درصد است. فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نیز در استان مازندران بیشتر از سایر مناطق بود، به‌ویژه در اکاپل (۱۰۳ واحد در میلی‌گرم)، در حالی که کمترین مقدار این آنزیم در روستای نورآباد در سبزوار (۷۹/۸ واحد در میلی‌گرم) مشاهده شد که تفاوتی برابر با ۲۹/۱ درصد دارد. از نظر ظرفیت مهار رادیکال آزاد DPPH نیز روستای اکاپل با ۷۵ درصد بیشترین مقدار و روستای وفَرجین در همدان با ۵۲/۵ درصد کمترین مقدار را داشت که اختلاف آن‌ها برابر با ۴۲/۹ درصد می‌باشد. در رابطه با میزان ترکیب‌های فنلی، بیشترین مقدار در خیرآباد ساری (۲۹ میلی‌گرم معادل اسید گالیک در هر گرم) و کمترین مقدار در روستای شورین (۱۸/۹ میلی‌گرم معادل اسید گالیک در هر گرم) مشاهده شد. مقدار ترکیب‌های فنولی در خیرآباد نسبت به شورین حدود ۵۳/۴ درصد بیشتر بود. به‌طورکلی، روستاهای استان مازندران به‌ویژه در مناطق کلاردشت و ساری عملکرد بهتری از نظر شاخص‌های آنتی‌اکسیدانی و فنلی نسبت به سایر مناطق کشور داشتند (جدول ۶).

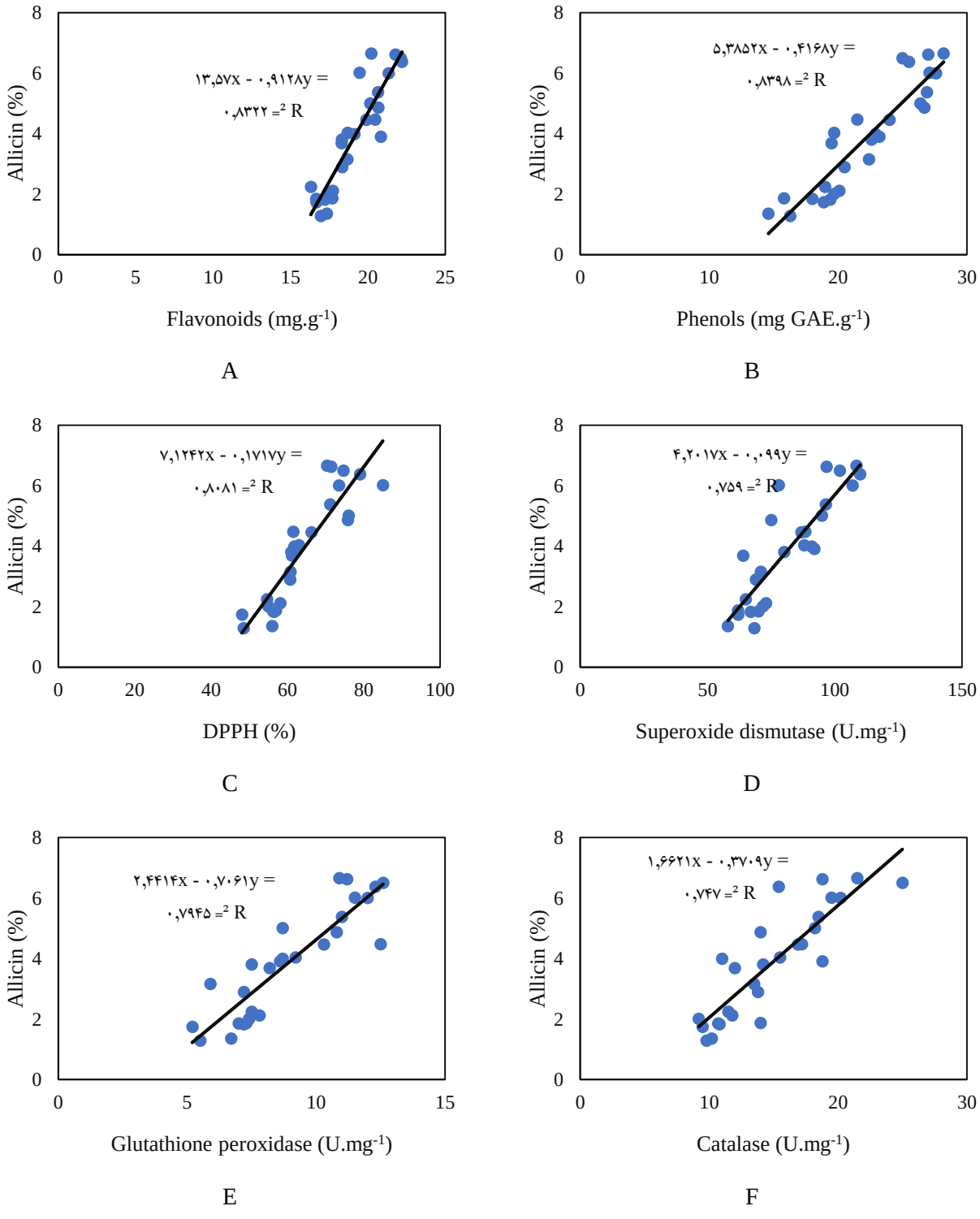
جدول ۶- مقایسه میانگین اثر محل کشت بر صفات بیوشیمیایی سیر

Table 6. Mean comparison of biochemical traits in garlic under different cultivation sites

Province	City	Village	Catalase ($U.mg^{-1}$)	Glutathione peroxidase ($U.mg^{-1}$)	Superoxide dismutase ($U.mg^{-1}$)	DPPH (%)	Phenols (mg $GAE.g^{-1}$)
Razavi Khorasan	Quchan	Chaharsouq	$17.2^{e-g}\pm0.66$	$10.5^{e}\pm1.08$	$88.4^{cd}\pm3.52$	$67.1^{c-e}\pm2.33$	$24.5^{b-d}\pm2.62$
		Shamkhal	$16.9^{fg}\pm0.87$	$10.3^{ef}\pm0.79$	$86.9^{de}\pm3.93$	$66.3^{d-f}\pm2.62$	$24^{cd}\pm1.75$
		Qareh Cheh	$15.5^{gh}\pm0.72$	$9.2^{fg}\pm1.28$	$83.5^{d-f}\pm3.91$	$63^{e-g}\pm2.35$	$22.7^{de}\pm2.16$
		Cheshmeh Sir	$14.8^{hi}\pm0.66$	$8.6^{g-i}\pm1.08$	$81^{d-f}\pm3.52$	$62.5^{e-g}\pm3.58$	$23.2^{d}\pm1.91$
	Sabzevar	Abaresh	$15^{hi}\pm0.87$	$8.7^{gh}\pm0.79$	$81.5^{d-f}\pm3.42$	$61.8^{f-h}\pm3.86$	$22.9^{d}\pm1.75$
		Nurabad	$14^{hi}\pm1.59$	$8.2^{g-k}\pm1.28$	$79.8^{e-g}\pm3.72$	$61.2^{g-i}\pm4.14$	$22.5^{d-f}\pm1.64$
		Bidestan	$13.5^{ij}\pm0.66$	$7.9^{h-l}\pm0.26$	$78.5^{f-i}\pm3.52$	$60.8^{g-j}\pm1.9$	$22.4^{d-g}\pm1.91$
	Torbat-e-Jam	Hasan Abad	$14.2^{hi}\pm0.87$	$8.5^{g-j}\pm0.36$	$80.2^{e-g}\pm3.93$	$61^{g-j}\pm2.12$	$22.6^{de}\pm1.75$
		shahabad	$13.8^{hi}\pm0.72$	$8.2^{g-k}\pm0.36$	$79^{f-h}\pm4.23$	$60.7^{g-j}\pm2.35$	$22.5^{d-f}\pm1.64$
Hamedan	Hamedan	Vafrejin	$9.8^{lm}\pm0.61$	$6.5^{mn}\pm0.53$	$68.4^{j}\pm2.33$	$52.5^{l}\pm1.14$	$19.3^{h}\pm1.05$
		shorin	$9.5^{m}\pm0.79$	$6.2^{n}\pm0.82$	$67.1^{j}\pm3.86$	$54.5^{kl}\pm3.49$	$18.9^{h}\pm0.95$
		Solulan	$10.2^{k-m}\pm1.28$	$6.7^{l-n}\pm0.92$	$69.2^{j}\pm4.14$	$56^{j-l}\pm2.04$	$19.6^{h}\pm0.98$
	Tuyserkan	Artiman	$11.5^{kl}\pm1.08$	$7.5^{h-m}\pm0.53$	$71.5^{ij}\pm3.58$	$54.7^{kl}\pm1.14$	$19^{h}\pm1.05$
		Korzan	$10.8^{k-m}\pm0.79$	$7.2^{k-n}\pm0.26$	$70.1^{j}\pm3.86$	$56.5^{i-l}\pm3.49$	$19.4^{h}\pm1.42$
		Sanjuzan	$11^{k-m}\pm1.28$	$7.3^{j-n}\pm0.92$	$71^{j}\pm4.14$	$57^{h-l}\pm3.76$	$19.8f^{-h}\pm0.98$
	Asadabad	Aq Bolagh	$11.2^{k-m}\pm1.08$	$7.4^{i-n}\pm0.53$	$71.8^{h-j}\pm3.58$	$55^{kl}\pm1.14$	$19.7^{gh}\pm2.63$
		Bujin	$11.8^{jk}\pm0.96$	$7.8^{h-l}\pm0.92$	$73^{g-j}\pm4.14$	$58.1^{g-k}\pm3.76$	$20.1^{e-h}\pm2.44$
		Virai	$10.7^{k-m}\pm0.79$	$7^{k-n}\pm0.82$	$70^{j}\pm3.86$	$56.2^{i-l}\pm3.49$	$19^{h}\pm0.95$
Mazandaran	Kelardasht	Akapel	$21.5^{a}\pm1.73$	$12.9^{a}\pm1.08$	$103^{a}\pm6.38$	$75^{a}\pm3.58$	$28^{a}\pm2.62$
		Peyambur	$21^{ab}\pm1.42$	$12.6^{ab}\pm0.79$	$102^{ab}\pm7.41$	$75^{a}\pm3.86$	$28^{a}\pm2.81$
		Telochal	$20.2^{a-c}\pm1.75$	$12^{a-d}\pm0.36$	$100^{ab}\pm6.64$	$74^{ab}\pm4.14$	$28^{a}\pm2.16$
	Behshahr	Par Kola	$18^{d-f}\pm1.73$	$10.8^{de}\pm0.26$	$95.2^{bc}\pm4.95$	$70.8^{a-d}\pm3.58$	$26.7^{a-c}\pm4.39$
		Kava Darreh	$18.5^{c-e}\pm1.42$	$11^{de}\pm0.79$	$96.5^{ab}\pm5.11$	$71.2^{a-d}\pm3.86$	$26.9^{ab}\pm2.38$
		Abbasabad	$18.2^{d-f}\pm1.75$	$10.7^{e}\pm0.36$	$95^{bc}\pm5.7$	$70.2^{b-d}\pm4.14$	$26.4^{a-c}\pm2.16$
	Sari	Baba Kola	$19.5^{b-d}\pm1.95$	$11.5^{b-e}\pm1.08$	$98^{ab}\pm6.38$	$72^{a-c}\pm3.58$	$27.1^{ab}\pm2.62$
		Par Kuh	$18.8^{c-e}\pm1.42$	$11.2^{c-e}\pm0.79$	$96.8^{ab}\pm3.86$	$71.5^{a-c}\pm3.86$	$27^{ab}\pm2.38$
		Kheyarabad	$20.8^{ab}\pm1.57$	$12.3^{a-c}\pm1.28$	$101^{ab}\pm6.64$	$74^{ab}\pm4.14$	$29^{a}\pm2.16$

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

علاوه بر این، مطالعه نشان می‌دهد که رابطه‌ای مثبت و قابل توجه بین محتوای آلیسین سیر و فلاونوئیدها (R^2=0.83)، فنل (R^2=0.84)، DPPH (R^2=0.81)، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (R^2=0.76)، فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (R^2=0.80) و فعالیت آنزیم کاتالاز (R^2=0.75) آن وجود دارد.



شکل ۳- رابطه رگرسیونی آلیسین سیر با فلاونوئید (**A**)، فنل (**B**)، **DPPH** (**C**) و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز (**D**)، گلوتاتیون پراکسیداز (**E**) و کاتالاز (**F**)

Figure 3. Regression relationship of garlic allicin with flavonoids (A), phenols (B), DPPH (C), and activities of superoxide dismutase (D), glutathione peroxidase (E), and catalase (F)

جدول ۷- ماتریس همبستگی پیرسون صفات سیر

Table 7. Pearson's correlation matrix of garlic traits

	Garlic weight	Number of bulblets	Bulblet weight	Yield	Allicin	Flavonoids	Catalase	Glutathione peroxidase	Superoxide dismutase	DPPH	Phenols
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	H
A	1										
B	0.66**	1									
C	0.38*	0.64**	1								
D	-0.25ns	-0.29ns	-0.73**	1							
E	-0.84**	-0.79**	-0.61**	0.27ns	1						
F	-0.84**	-0.76**	-0.64**	0.38*	0.92**	1					
G	-0.84**	-0.74**	-0.64**	0.32*	0.96**	0.93**	1				
H	-0.83**	-0.78**	-0.61**	0.32*	0.93**	0.91**	0.92**	1			
I	-0.87**	-0.72**	-0.50**	0.35*	0.80**	0.88**	0.81**	0.80**	1		
J	0.72**	0.82**	0.74**	-0.49**	-0.80**	-0.78**	-0.79**	-0.80**	-0.78**	1	
H	-0.92**	-0.59**	-0.39*	0.25ns	0.78**	0.80**	0.83**	0.78**	0.83**	-0.64**	1

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

همبستگی صفات

نتایج حاصل از ماتریس همبستگی صفات نشان داد که عملکرد بیولوژیکی گیاه یا زیست توده تأثیر و رابطه مثبت و بالایی با وزن سیر دارد (r = 0.98). این یافته با گزارش‌های قبلی هم‌راستا است که بیان کرده‌اند ویژگی‌های کمی مانند وزن بوته یا اندام‌های اقتصادی، ارتباط مستقیم با عملکرد دارند (Pączka *et al*., 2021؛ Parreño *et al*., 2023). افزایش وزن سیر احتمالاً نتیجه بهبود وضعیت فتوسنتزی و بهره‌وری از عناصر غذایی در طول دوره رشد بوده که نهایتاً در عملکرد بالاتر منعکس شده است. از سوی دیگر، آلیسین که یکی از مهم‌ترین ترکیب‌های گوگردی ثانویه با نقش در مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی است، همبستگی منفی معناداری با عملکرد (r = -0.92) نشان داد. این یافته می‌تواند بیانگر یک رابطه معکوس بین تولید ترکیب‌های دفاعی ثانویه و رشد گیاه باشد؛ به‌گونه‌ای که افزایش سنتز آلیسین ممکن است به‌عنوان یک سازوکار هزینه‌بر (metabolic cost) عمل کرده و از منابع گیاه برای رشد و نمو بکاهد (Savairam *et al*., 2023). به‌طور مشابه، برخی مطالعات نشان داده‌اند که در شرایط تنش‌زا یا تحریک تولید ترکیب‌های فنلی و گوگردی، بخشی از منابع فتوسنتزی به جای اختصاص به رشد، صرف مسیرهای متابولیکی ثانویه می‌شود (Reshi *et al*., 2023). از سوی دیگر، همبستگی مثبت فلاونوئیدها با عملکرد (r = 0.89) یافته‌ای جالب توجه است، زیرا برخلاف آلیسین، به نظر می‌رسد که تجمع این ترکیب‌ها نه‌تنها مانعی برای رشد نیست، بلکه ممکن است نقش حفاظتی غیر هزینه‌برتری داشته باشند. فلاونوئیدها ازجمله ترکیب‌های فنلی هستند که توانایی خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و محافظت از سلول‌ها در برابر اکسیداسیون را دارند و از این طریق می‌توانند به حفظ پایداری فیزیولوژیکی گیاه در طول فصل رشد کمک کنند (Zahra *et al*., 2024). در زمینه آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، همبستگی مثبت بین فعالیت کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز (r = 0.86) نشان‌دهنده همکاری این آنزیم‌ها در حذف پراکسید هیدروژن و مقابله با تنش‌های اکسیداتیو است. از سوی دیگر، همبستگی بسیار قوی بین فعالیت SOD و توان مهار DPPH (r = 0.97) حکایت از همزمانی سازوکارهای دفاع آنزیمی و غیرآنزیمی در گیاه سیر دارد. چنین الگوهایی پیش‌تر توسط Hazarika و همکاران (۲۰۲۴) در گیاهان مختلف گزارش شده است که نقش مکمل سیستم‌های دفاعی را در بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و محیطی برجسته می‌سازند. در نهایت، همبستگی مثبت میان فلاونوئیدها و فنل‌ها (r = 0.92) احتمالاً نشان‌دهنده وابستگی زیست‌سنتزی این دو ترکیب به مسیر فنیل‌پروپانوئید است (جدول ۷). این همبستگی می‌تواند بیانگر هماهنگی در فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند PAL و CHS در سنتز ترکیبات فنلی باشد (لاتانزیو، ۲۰۱۹).

بحث

صفات کمی و عملکردی

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد و وزن پیاز سیر به‌طور معناداری تحت تأثیر منطقه رویش قرار دارد، به‌طوری‌که اختلاف‌های مشهودی بین مناطق مطالعه‌شده مشاهده شد. نتایج پژوهش نشان داد که عملکرد و وزن پیاز سیر به‌طور معناداری تحت تأثیر منطقه رویش است و اختلاف‌های قابل توجهی بین مناطق مشاهده شد. بررسی دقیق‌تر شرایط اقلیمی نشان می‌دهد که تویسرکان و سبزوار با میزان تابش بالا (۱۹/۳۴ و ۱۹/۱ MJ/m²/day) و بارش متوسط (۳۷۴ و ۱۲۸ میلی‌متر) بیشترین عملکرد و وزن پیاز را داشتند. تابش کافی و دمای مناسب روزانه در این مناطق می‌تواند موجب افزایش فتوسنتز و تولید کربوهیدرات و افزایش وزن پیاز شود. در حالی که تربت‌جام تابش مشابهی (۱۹/۳ MJ/m²/day) داشت اما بارش نسبتاً کمتر (۱۷۲ میلی‌متر) و اختلاف دمای پایین (۰/۵۰۵- سانتی‌گراد) باعث شد عملکرد متوسط‌تری نسبت به تویسرکان و سبزوار داشته باشد. مناطق همدان و اسدآباد با تابش مشابه تویسرکان (۱۹/۳۴ MJ/m²/day) اما بارش بیشتر (۳۴۸ و ۳۴۹ میلی‌متر) و دمای پایین‌تر، عملکرد متوسطی از نظر وزن پیاز نشان دادند. در استان مازندران (کلاردشت، بهشهر، ساری) میزان تابش به‌طور قابل توجهی کمتر (۱۵/۹۴-۱۴/۵۶ MJ/m²/day) و بارش بسیار بالا (۱۰۰۷-۵۰۶ میلی‌متر) بود. این شرایط سبب کاهش فتوسنتز روزانه و افزایش رطوبت خاک شد که ممکن است رشد پیاز را محدود کرده و منجر به کاهش عملکرد و وزن پیاز گردید. در این راستا، یافته‌های Abbasifar و همکاران (۲۰۱۷) مؤید این موضوع است که تنوع بالایی میان توده‌های مختلف سیر ایران وجود دارد. در مطالعه آن‌ها، توده سیر همدان بیشترین وزن پیاز و پیازچه را به‌دلیل شرایط آب‌وهوایی سرد و خاک‌های غنی منطقه دارا بود؛ در حالی که توده سیر اهواز که در اقلیم گرم و نسبتاً شور کشت شده بود، بیشترین تعداد پیازچه و درصد ماده خشک را تولید کرد. این ویژگی‌ها می‌تواند حاصل نوعی سازگاری فیزیولوژیک با شرایط تنش‌زای محیطی باشد، زیرا در محیط‌های گرم، گیاهان گرایش به تولید اندام‌های تکثیری کوچک‌تر ولی بیشتر با ماده خشک بالاتر دارند. همچنین، توده سیر تفرش در آن مطالعه، بیشترین صفات رشدی ازجمله تعداد برگ، ارتفاع بوته و سطح برگ را نشان داد که بیانگر رشد رویشی قوی در مرحله پیش از غده‌زایی بود (Abbasifar *et al*., 2017).

به‌عنوان نمونه‌ای دیگر از تحقیقات مشابه، Alemkhoumaram و همکاران (۲۰۱۹) طی بررسی ۱۸ توده بومی سیر در منطقه همدان گزارش کردند که توده‌های با منشأ کوهستانی نسبت به توده‌های جلگه‌ای، نه‌تنها از عملکرد بالاتری برخوردار بودند، بلکه غلظت بالاتری از ترکیب‌های آلی گوگرددار مانند آلیسین نیز داشتند که اهمیت دارویی و تغذیه‌ای سیر را افزایش می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب توده مناسب براساس منطقه اقلیمی و اهداف زراعی (مثلاً تولید انبوه یا کیفیت دارویی) می‌تواند تأثیر چشمگیری در موفقیت کشت داشته باشد (Alemkhoumaram *et al*., 2019). در پژوهشی که به‌منظور بررسی تنوع بیوشیمیایی و مورفولوژیکی میان توده‌های بومی سیر ایران انجام شد، سه توده از مناطق اراک، همدان و طارم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه مغان کشت شدند. نتایج نشان داد که بین توده‌ها از نظر صفاتی مانند تندی، عملکرد، تعداد سیرچه، وزن پیاز و طول برگ تفاوت معنی‌داری وجود دارد. توده اراک دارای بیشترین تندی ولی کمترین عملکرد بود، در حالی که توده‌های همدان و طارم عملکرد بالا و تندی کمتری داشتند. بر این اساس، توده‌های همدان و طارم به‌عنوان گزینه‌های مناسب برای تولید سیر با عملکرد بالا و تندی متوسط معرفی شدند (Lotfi *et al*., 2013).

از سوی دیگر، Atif و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که بارش سالانه و تابش از میان عوامل محیطی بیشترین تأثیر را بر کشت سیر داشتند که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی داشت. محققان بیان کردند که طولانی‌تر بودن مدت زمان نور (۱۴ یا ۱۶ ساعت) و دمای بالاتر (۲۵ یا ۳۰ درجه سلسیوس) به‌طور معنی‌داری قطر حداکثری، ارتفاع، عملکرد و کوتاه‌ترین دوره

رشدی را بهبود می‌بخشد. با این حال، مدت زمان نور ۱۲ ساعت منجر به کمترین وزن سیر شد (Atif *et al*., 2020). علاوه بر این، اثر ترکیبی بارش و تابش بر عملکرد سیر می‌تواند پیچیده باشد و سطوح بهینه هر عامل با توجه به شرایط خاص رشد ممکن است متفاوت باشد. مطالعات نشان داده‌اند که رابطه بین بارش، تابش و عملکرد سیر غیرخطی است و بارش و تابش ناکافی یا بیش از حد می‌تواند به کاهش عملکرد منجر شود (Hanson *et al*., 2013).

آلیسین

نتایج بدست آمده از مقایسه میزان آلیسین در نمونه‌های سیر از مناطق مختلف ایران، نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجه در ترکیب‌های بیوشیمیایی و خصوصیات ضد میکروبی سیر در مناطق مختلف است. بیشترین مقدار آلیسین در تربت‌جام با میانگین ۶/۳۸ درصد مشاهده شد که نشان‌دهنده ظرفیت بالای این منطقه در تولید آلیسین است، در حالی که کمترین مقدار آلیسین در کلاردشت (۱/۴۶ درصد) گزارش شد. این اختلاف نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی و خاکی تأثیر قابل توجهی در تولید ترکیب‌های فعال بیوشیمیایی در گیاهان دارند. تحقیقات قبلی نیز نشان داده‌اند که آلیسین، به‌عنوان یک ترکیب گوگردی اصلی در سیر، تحت تأثیر عواملی مانند دما، رطوبت و نوع خاک قرار می‌گیرد (Chen *et al*., 2017). در این راستا، به‌طورکلی، مناطق با شرایط گرم‌تر و خشک‌تر ممکن است تولید آلیسین بیشتری داشته باشند، زیرا گیاه سیر برای مقابله با تنش‌های محیطی ترکیب‌های آلی گوگردی بیشتری تولید می‌کند.

قرار گرفتن در معرض تابش ممکن است تأثیر قابل توجهی بر محتوای آلیسین سیر داشته باشد که می‌تواند بر فواید بالقوه سلامتی آن تأثیر بگذارد. تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که قرار گرفتن در معرض پرتوهای گاما و تابش UV-C می‌تواند منجر به کاهش محتوای آلیسین در سیر شود (Park & Kim, 2015) و میزان کاهش بستگی به عواملی مانند نوع و دوز تابش و مدت زمان قرارگیری در معرض تابش دارد (Sarvizadeh *et al*., 2021). یک مطالعه دیگر نشان داد که محتوای آلیسین در سیر در دوزهای ۵-۲۰ کیلوگری پرتو گاما به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (Sharma *et al*., 2020). البته سازوکاری که تابش بر محتوای آلیسین در سیر تأثیر می‌گذارد هنوز به‌طور کامل مشخص نشده است، اما تصور می‌شود که آسیب به آنزیم‌های مسئول تولید آلیسین، منجر به کاهش تولید آن می‌گردد (Borlinghaus *et al*., 2014). علاوه بر این، برخی از محققان پیشنهاد کرده‌اند که تابش ممکن است مستقیماً مولکول‌های آلیسین را تجزیه کرده و با افزایش تابش، محتوای آلیسین کاهش یابد (Sarvizadeh *et al*., 2021).

بارش نقش حیاتی در تعیین رشد و ترکیب شیمیایی سیر، ازجمله محتوای آلیسین آن، ایفا می‌کند. با وجود اینکه این عامل محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است، رابطه بین بارش و محتوای آلیسین همچنان پیچیده و به‌طور کامل درک نشده است. در حالی که برخی مطالعات پیشنهاد کرده‌اند که بارش مناسب می‌تواند تأثیر مثبتی بر محتوای آلیسین از طریق تأمین رطوبت لازم برای رشد و توسعه بهینه داشته باشد. برخی دیگر اشاره کرده‌اند که شرایط تنش آبی ممکن است به افزایش غلظت ترکیب‌های سولفوری که مسئول تولید آلیسین هستند منجر شود (Nguyen *et al*., 2022؛ Bhatwalkar *et al*., 2021). با این حال، تحقیقات بیشتری لازم است تا رابطه واضحی بین بارش و محتوای آلیسین تعیین شود. علاوه بر این، این مطالعه نشان می‌دهد که بارش‌های مشاهده‌شده در ساری، بهشهر و کلاردشت می‌تواند تأثیر مثبتی بر رشد و توسعه سیر داشته باشد و احتمالاً منجر به افزایش محتوای آلیسین شود. در حالی که هنوز میزان دقیق این رابطه تعیین نشده است.

صفات بیوشیمیایی

محتوای فلاونوئید در سیر نمونه‌برداری شده از استان‌های مختلف به‌طور قابل‌توجهی متغیر بود. بیشترین میزان فلاونوئید در سیرهای برداشت‌شده از تربت‌جام در استان خراسان رضوی با مقدار ۲۲/۲ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد که

نشان‌دهنده کیفیت بالای سیر در این منطقه است. این میزان بیشتر از سیرهای برداشت‌شده در سایر مناطق، به‌ویژه مازندران و همدان بود. این تفاوت‌ها می‌تواند به‌ویژه ناشی از شرایط اقلیمی و نوع خاک منطقه باشد. به‌طورکلی، در مناطقی که دارای دما و تابش بیشتر هستند، گیاهان معمولاً به تولید ترکیب‌های فعال بیوشیمیایی ازجمله فلاونوئیدها متمایل‌تر می‌شوند، زیرا این ترکیب‌ها به‌عنوان دفاع گیاهی در برابر تنش‌های محیطی عمل می‌کنند (Mierziak *et al.*, 2014). بنابراین، سیرهای تولیدی در استان خراسان رضوی که دارای تابش خورشید بالا و شرایط اقلیمی خاصی هستند، ممکن است برای تولید فلاونوئیدهای بیشتری انتخاب شده باشند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، گلوتاتیون پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در نمونه‌های سیر مناطق مختلف تفاوت‌های چشمگیری نشان داد. به‌ویژه در استان مازندران، روستاهای اکاپل و خیرآباد در کلاردشت و ساری، به‌ترتیب بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز را داشتند. این نتایج تأکید می‌کنند که شرایط اقلیمی، به‌ویژه رطوبت بالا در این مناطق، می‌تواند نقش مؤثری در تحریک فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی داشته باشد. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌ویژه در مناطق مرطوب به دلیل نیاز گیاهان به مقابله با استرس‌های اکسیداتیو و کاهش آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد است (Maury *et al.*, 2020). این موضوع در مورد فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نیز صدق می‌کند که بالاترین مقدار آن در اکاپل مشاهده شد.

ترکیب‌های فنلی که نقش مهمی در خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی دارند نیز در مناطق مختلف تفاوت‌های قابل‌توجهی نشان دادند. بیشترین مقدار ترکیب‌های فنلی در خیرآباد ساری (۲۹ میلی‌گرم معادل اسید گالیک در هر گرم) ثبت شد و کمترین مقدار در روستای شورین همدان با ۱۸/۹ میلی‌گرم بود. این اختلاف به‌ویژه در میزان ۵۳/۴ درصد بیشتر بودن ترکیب‌های فنلی در خیرآباد نسبت به شورین، نشان‌دهنده تأثیرات اقلیمی و شرایط خاص خاکی بر تولید ترکیب‌های فنلی است. ترکیب‌های فنلی در گیاهان معمولاً در پاسخ به تنش‌های محیطی تولید می‌شوند (Kumar *et al.*, 2023) و از آنجا که این ترکیب‌ها خواص آنتی‌اکسیدانی دارند، احتمالاً مناطق با شرایط مرطوب و اقلیم معتدل‌تر مانند مازندران، برای تولید ترکیب‌های فنلی بیشتر مناسب‌تر هستند.

از سوی دیگر، فلاونوئیدها گروهی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که فعالیت‌های زیستی متنوعی ازجمله خواص ضد میکروبی را نشان می‌دهند (Roy *et al.*, 2022). فلاونوئیدهای سیر، ازجمله کوئرستین، کایمفرول و آپی‌ژنین، نشان داده شده است که فعالیت ضد میکروبی قوی‌ای علیه باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها دارند؛ این فعالیت از طریق تخریب غشاهای سلولی، مهار آنزیم‌ها و جلوگیری از تکثیر DNA انجام می‌شود (Periferakis *et al.*, 2022). این مطالعه نشان داد که رابطه‌ای مثبت و قابل توجه (R^2=0.83) بین محتوای فلاونوئیدها و سطوح آلیسین در سیر وجود دارد. تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که فلاونوئیدها، ازجمله کوئرستین، کایمفرول و آپی‌ژنین موجود در سیر می‌توانند پایداری آلیسین را افزایش داده و از تجزیه آن جلوگیری کنند (Beigoli *et al.*, 2021). آلیسین، ترکیبی فرار و بسیار واکنش‌پذیر است که تحت شرایط مختلف به سرعت تجزیه می‌شود. با این حال، فلاونوئیدها ممکن است به‌عنوان عوامل محافظ عمل کرده و از تجزیه سریع آلیسین جلوگیری کنند و بدین ترتیب آثار مفید آن را طولانی‌تر کنند (Bhatwalkar *et al.*, 2021). برای نمونه، یک مطالعه توسط El-Saber Batiha و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کرد که کوئرستین می‌تواند پایداری آلیسین را تا ۹۰ درصد افزایش دهد. علاوه بر این، فلاونوئیدهای موجود در سیر نشان داده‌اند که آثار هم‌افزایشی با سایر ترکیب‌های ضد میکروبی مانند آلیسین دارند. Soleymanzadeh moghadam و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که ترکیب فلاونوئیدها و آلیسین اثر ضد میکروبی قوی‌تری نسبت به هریک از ترکیب‌ها به‌طور جداگانه دارد.

براساس نتایج این مطالعه، رابطه مثبتی بین محتوای آلیسین و دیگر ترکیب‌های بیوشیمیایی سیر ازجمله ترکیب‌های فنلی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی (DPPH، فعالیت آنزیم‌های

سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز) مشاهده شد. این همبستگی‌ها نشان می‌دهند که آلیسین، به‌عنوان ترکیبی فرار و حساس به شرایط محیطی، می‌تواند تحت تأثیر دیگر ترکیب‌های فعال موجود در سیر مانند ترکیب‌های فنلی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی قرار گیرد. ترکیب‌های فنلی موجود در سیر که شامل اسیدهای فنولیک و دیگر ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی هستند، به‌طور قابل توجهی با آلیسین همبستگی دارند و می‌توانند به حفظ پایداری آن کمک کنند (Rababah *et al*., 2025). این ترکیب‌ها قادرند خواص آنتی‌اکسیدانی خود را در کنار آلیسین به نمایش بگذارند و در مهار رادیکال‌های آزاد و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو مؤثر باشند (Rababah *et al*., 2025).

علاوه بر این، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌هایی مانند سوپراکسید دیسموتاز، گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز نیز ارتباط قابل توجهی با محتوای آلیسین دارند. این آنزیم‌ها در کاهش استرس اکسیداتیو نقش حیاتی دارند و می‌توانند از تجزیه آلیسین جلوگیری کرده و آثار درمانی آن را تقویت کنند. ترکیب این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با آلیسین در سیر به‌عنوان یک راهبرد دفاعی علیه رادیکال‌های آزاد و آسیب‌های اکسیداتیو عمل می‌کند که می‌تواند باعث افزایش آثار دارویی سیر در برابر بیماری‌های مختلف شود (Savairam *et al*., 2023). این یافته‌ها تأکید می‌کنند که آلیسین و سایر ترکیب‌های فعال بیوشیمیایی سیر می‌توانند به‌طور هم‌افزایشی آثار درمانی و محافظتی خود را تقویت کنند و به‌ویژه در برابر بیماری‌هایی که به استرس اکسیداتیو و فعالیت‌های میکروبی مربوط هستند، مؤثرتر عمل نمایند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شرایط محیطی، به‌ویژه اقلیم، نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین عملکرد کمی و کیفی سیر در مناطق مختلف کشور دارد. در این میان، استان همدان به‌ویژه روستاهایی مانند سنجوزان، وفرجین و آرتیمان در بسیاری از صفات کمی مانند وزن و اندازه سیرچه و عملکرد نهایی، برتری قابل توجهی نسبت به سایر مناطق نشان دادند. این برتری احتمالاً ناشی از شرایط مساعد فیزیولوژیکی رشد در این منطقه شامل تعادل مناسب بین دما، تابش و توزیع بارندگی بوده است که فرایند فتوسنتز و تجمع مواد خشک را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، در حوزه کیفیت بیوشیمیایی، استان خراسان رضوی، به‌ویژه شهرستان تربت‌جام، بیشترین مقادیر آلیسین را ثبت کرد. این موضوع نشان می‌دهد که شرایط خاص اقلیمی این منطقه (مانند شدت تابش بالا و رطوبت کمتر) احتمالاً موجب تحریک سازوکارهای دفاعی گیاه و تولید بیشتر ترکیبات گوگردی فعال مانند آلیسین شده است. در مقابل، مناطق شمالی کشور به‌ویژه استان مازندران و شهرستان‌هایی مانند بهشهر و کلاردشت، با وجود داشتن خاک‌های حاصلخیز و رطوبت بالا، عملکرد کمی و کیفی نسبتاً پایین‌تری را از خود نشان دادند. این یافته‌ها گویای آن است که رطوبت بیش از حد و تابش کم می‌تواند منجر به کاهش تجمع ترکیب‌های مؤثر ثانویه و نیز کاهش عملکرد کمی در گیاه سیر گردد. در مجموع، این مطالعه بر اهمیت انتخاب منطقه مناسب برای کشت سیر تأکید دارد و نشان می‌دهد که برای دستیابی به بیشترین عملکرد کمی، مناطق همدان و برای تولید ترکیبات دارویی با ارزش، مناطق گرم‌تر و خشک‌تر مانند تربت‌جام توصیه می‌شوند. این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های زراعی و انتخاب ارقام و مناطق مناسب برای کشت سیر با اهداف متنوع (خوراکی، دارویی، صنعتی) نقش کلیدی ایفا کند.

References

- Abbasifar, A.R., Dorry, H.R. and Asadi, B., 2017. Investigation of quantitative and qualitative in 25 garlic cloves in three regions of Markazi province. Fifth Congress of Iranian Horticultural Science. Shiraz University, Shiraz, 2-5 September: 72p. (In persian) https://hsc.areeo.ac.ir/articles?vi=151&_vi
- Abe, N., Murata, T. and Hirota, A., 1998. Novel 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl-radical scavengers, bisorbicillin and demethyltrichodimerol, from a fungus. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 62(4): 661-666.

https://doi.org/10.1271/bbb.62.661
- Akbarpour, A., Kavoosi, B., Hosseinifarahi, M., Tahmasebi, S. and Gholipour, S., 2021. Evaluation of yield and phytochemical content of different Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. International Journal of Horticultural Science and Technology, 8(4): 385-400. https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.303657.373
- Alemkhoumaram, M.H., Keshtkar, A.H. and Mirzaei Asl, A., 2019. Evaluation of morphological and physiological diversity and path analysis of bulb yield and allicin content in local Iranian garlic ecotypes in Hamedan region. Journal of Horticultural Sciences, 33(3): 481-497. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i3.77676
- Atif, M.J., Amin, B., Ghani, M.I., Ali, M., Zhang, S. and Cheng, Z., 2020. Effect of photoperiod and temperature on garlic (*Allium sativum* L.) bulbing and selected endogenous chemical factors. Environmental and Experimental Botany, 180: 104250. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104250
Atif, M.J., Amin, B., Ghani, M.I., Hayat, S., Ali, M., Zhang, Y. and Cheng, Z., 2019. Influence of different photoperiod and temperature regimes on growth and bulb quality of garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. Agronomy, 9(12): 879. https://doi.org/10.3390/agronomy9120879
- Baghalian, K., Ziai, S., Naghavi, M. and Naghdi Badi, H., 2005. Pre-planting evaluation of allicin content and botanical traits in Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. Journal of Medicinal Plants, 4(13): 50-59. http://jmp.ir/article-1-718-fa.html
- Beigoli, S., Behrouz, S., Memar Zia, A., Ghasemi, S.Z., Boskabady, M., Marefati, N., Kianian, F., Khazdair, M.R., El-Seedi, H. and Boskabady, M.H., 2021. Effects of *Allium cepa* and its constituents on respiratory and allergic disorders: A comprehensive review of experimental and clinical evidence. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021: 5554259. https://doi.org/10.1155/2021/5554259
- Bhatwalkar, S.B., Mondal, R., Krishna, S.B.N., Adam, J.K., Govender, P. and Anupam, R., 2021. Antibacterial properties of organosulfur compounds of garlic (*Allium sativum*). Frontiers in Microbiology, 12: 613077. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.613077
- Borlinghaus, J., Albrecht, F., Gruhlke, M.C., Nwachukwu, I.D. and Slusarenko, A.J., 2014. Allicin: Chemistry and biological properties. Molecules, 19(8): 12591-12618. https://doi.org/10.3390/molecules190812591
- Chen, Z., Xu, M.J., Wang, C., Zhou, H., Fan, L. and Huang, X., 2017. Thermolysis kinetics and thermal degradation compounds of alliin. Food Chemistry, 223: 25-30. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.011
- Clairbone, A., 1985. Catalase activity: 283-284. In: Greenwald, R.A., (Ed.). Handbook of Methods for Oxygen Radical Research. CRC Press, Boca Raton, 447p. https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=796054
- El-Saber Batiha, G., Magdy Beshbishy, A.G., Wasef, L., Elewa, Y.H.A.A., Al-Sagan, A., Abd El-Hack, M.E., Taha, A.E.M., Abd-Elhakim, Y. and Devkota, H.P., 2020. Chemical constituents and pharmacological activities of garlic (*Allium sativum* L.): A review. Nutrients, 12(3): 872. https://doi.org/10.3390/nu12030872
- FAO, 2022. Garlic; An ancient crop to contribute to world food security. 63p. https://openknowledge.fao.org
- Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K., 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. Plant Physiology, 59(2): 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309
- Hanson, B., May, D., Voss, R., Cantwell, M. and Rice, R., 2013. Response of garlic to irrigation water. Agricultural Water Management, 58(1): 29-43. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00076-8
- Hazarika, P., Singh, H.R., Das, D.K. and Das, S., 2024. Priming of plant's immune system: The future sustainable approach for tea improvement. Discover Plants, 1: 31. https://doi.org/10.1007/s44372-024-00035-w
- Kumar, K., Debnath, P., Singh, S. and Kumar, N., 2023. An overview of plant phenolics and their involvement in abiotic stress tolerance. Stresses, 3: 570-585. https://doi.org/10.3390/stresses3030040
- Kyung, K.H., 2012. Antimicrobial properties of *Allium* species. Current Opinion in Biotechnology, 23(2): 142-147. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.004
- Lotfi, A., Kashi, A. and Alizadeh Askoi, P., 2013. Evaluation of taste, pungency, and some morphological traits in three Iranian local garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamedan, 1-8. (In Persian) https://civilica.com/doc/241379
- Maury, G.L., Rodríguez, D.M., Hendrix, S., Arranz, J.C.E., Boix, Y.F., Pacheco, A.O., Díaz, J.G., Morris-Quevedo, H.J., Dubois, A.F., Aleman, E.I., Beenaerts, N., Méndez-Santos, I.E., Ratón, T.O., Cos,

P. and Cuypers, A., 2020. Antioxidants in plants: A valorization potential emphasizing the need for the conservation of plant biodiversity in Cuba. Antioxidants, 9(11): 1048. https://doi.org/10.3390/antiox9111048
- Mierziak, J., Kostyn, K. and Kulma, A., 2014. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment. Molecules, 19(10): 16240-16265. https://doi.org/10.3390/molecules191016240
- Nguyen, B.T., Harper, S.M., O'Hare, T.J., Menzies, N.W. and Wehr, B., 2022. Sulfur nutrition affects garlic bulb yield and allicin concentration. Plants, 11: 2571. https://doi.org/10.3390/plants11192571
- Pączka, G., Mazur-Pączka, A., Garczyńska, M., Kostecka, J. and Butt, K.R., 2021. Garlic (*Allium sativum* L.) cultivation using vermicompost-amended soil as an aspect of sustainable plant production. Sustainability, 13(24): 13557. https://doi.org/10.3390/su132413557
- Park, M.H. and Kim, J.G., 2015. Low-dose UV-C irradiation reduces the microbial population and preserves antioxidant levels in peeled garlic (*Allium sativum* L.) during storage. Postharvest Biology and Technology, 100: 109-112. https://www.aminer.cn/pub/5ff1daf619519e9c3974ab89
- Parreño, R., Rodríguez-Alcocer, E., Martínez-Guardiola, C., Carrasco, L., Castillo, P., Arbona, V., Jover-Gil, S. and Candela, H., 2023. Turning garlic into a modern crop: State of the art and perspectives. Plants, 12(6): 1212. https://doi.org/10.3390/plants12061212
- Periferakis, A., Periferakis, K., Badarau, I.A., Petran, E.M., Popa, D.C., Caruntu, A., Costache, R.S., Scheau, C., Caruntu, C. and Costache, D.O., 2022. Kaempferol: Antimicrobial properties, sources, clinical, and traditional applications. International Journal of Molecular Sciences, 23(23): 15054. https://doi.org/10.3390/ijms232315054
- Polle, A., Otter, T. and Seifert, F., 1994. Apoplastic peroxidases and lignification in needles of Norway spruce (*Picea abies* L.). Plant Physiology, 106(1): 53-60. https://doi.org/10.1104/pp.106.1.53
- Rababah, T., Al-U'datt, M., Angor, M., Alsaad, A., Akkam, Y., Gammoh, S. and Magableh, G., 2025. Fresh crushed garlic exhibits superior allicin and pyruvic acid stability, while fresh sliced garlic leads in phenolic and antioxidant content. Applied Food Research, 5(1): 100850. https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100850
- Reshi, Z.A., Ahmad, W., Lukatkin, A.S. and Javed, S.B., 2023. From nature to lab: A review of secondary metabolite biosynthetic pathways, environmental influences, and in vitro approaches. Metabolites, 13(8): 895. https://doi.org/10.3390/metabo13080895
- Roy, A., Khan, A., Ahmad, I., Alghamdi, S., Rajab, B.S., Babalghith, A.O., Alshahrani, M.Y., Islam, S. and Islam, M.R., 2022. Flavonoids: A bioactive compound from medicinal plants and its therapeutic applications. BioMed Research International, 2022: 5445291. https://doi.org/10.1155/2022/5445291
- Sarvizadeh, M., Hasanpour, O., Naderi Ghale-Noie, Z., Mollazadeh, S., Rezaei, M., Pourghadamyari, H., Masoud Khooy, M., Aschner, M., Khan, H., Rezaei, N., Shojaie, L. and Mirzaei, H., 2021. Allicin and digestive system cancers: From chemical structure to its therapeutic opportunities. Frontiers in Oncology, 11: 650256. https://doi.org/10.3389/fonc.2021.650256
- Savairam, V.D., Patil, N.A., Borate, S.R., Ghaisas, M.M. and Shete, R.V., 2023. Allicin: A review of its important pharmacological activities. Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine, 8: 100283. https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100283.
Sharma, P., Sharma, S.R., Dhall, R.K., Mittal, T.C. and Bhatia, S., 2020. Physio-chemical behavior of γ-irradiated garlic bulbs under ambient storage conditions. Journal of Stored Products Research, 87: 101629. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101629
- Shemesh-Mayer, E., Faigenboim, A., Sherman, A., Gao, S., Zeng, Z., Liu, T. and Kamenetsky-Goldstein, R., 2023. Deprivation of sexual reproduction during garlic domestication and crop evolution. International Journal of Molecular Sciences, 24: 16777. https://doi.org/10.3390/ijms242316777
- Silispour, M., 2019. Integrated management of soil fertility and plant nutrition in garlic cultivation. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Soil and Water Research Institute, 75p. (In persian) https://ucms.areeo.ac.ir/file/download/download/1752042246-686e0b06a8b1a-559-.pdf?language=fa&subdomain=swri
- Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M., 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent: 152-178. In: Walker, A., (Ed.). Methods in Enzymology: Computational Approaches to Natural Products Discovery, Elsevier, 732p. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1
- Soleymanzadeh Moghadam, S., Mazar Atabaki, S., Ebrahimnejad, P., Mohammadi, Z. and Nobakht, M., 2023. Anti-bacterial property and cytotoxicity of

Allium sativum and *Myrtus communis* extracts against nosocomial bacterial infections. Iranian Journal of Toxicology, 17(1): 71-78. (In persian) http://dx.doi.org/10.32598/IJT.17.1.1048.1

- Song, X., Yue, Z., Nie, L., Zhao, P., Zhu, K. and Wang, Q., 2021. Biological functions of diallyl disulfide, a garlic-derived natural organic sulfur compound. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021: 5103626. https://doi.org/10.1155/2021/5103626
- Yaghoobi, E., Malek Zadeh, S. and Farsi, M., 2022. Karyological comparison between Iranian garlic (*Allium sativum*) ecotypes and foreign specimens. Agricultural Biotechnology Journal, 14(3): 21-40. https://doi.org/10.22103/jab.2022.19436.1401
- Zahedi, B., Kashi, A.K., Zamani, Z., Mosahebi, G.H. and Hassani, M., 2017. Evaluation of Iranian garlic (*Allium sativum* L.) genotypes using multivariate analysis methods based on morphological characteristics. Biotechnology, 6(3): 353-356. https://doi.org/10.3923/biotech.2007.353.356
- Zahra, M., Abrahamse, H. and George, B.P., 2024. Flavonoids: Antioxidant powerhouses and their role in nanomedicine. Antioxidants, 13(8): 922. https://doi.org/10.3390/antiox13080922