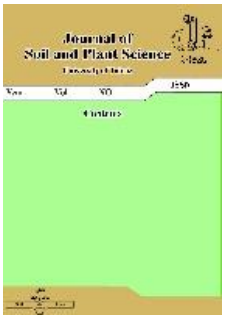
J Soil Plant Sci, 2025, 35(2): 115–131.
https://doi.org/10.22034/sps.2025.68460.1015

Journal of Soil and Plant Science

E-ISSN: 3092-6106
https://sps.tabrizu.ac.ir



Research Article

Enhancement of Bioactive Compounds Concentration in Opuntia Cactus Using Humic Acid, Seaweed Extract, and Mycorrhizal Fungi

Mitra Shafie[1], Akbar Hassani [2]✉, Mehdi Nourzadeh Hadad[3], Setareh Amanifar[4]

1-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
E-mail: m11.shafiei96@gmail.com
2-Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
E-mail: akbar.hassani@znu.ac.ir
3-Nuclear Agriculture Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj, Iran.
E-mail: m.nourzade@gmail.com
4-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: amanifar@znu.ac.ir

Received: August 4, 2025	**Revised:** September 14, 2025
Accepted: September 20, 2025	**Published:** September 20, 2025

Extended Abstract

Background and Objectives
Climate change and global warming have severely impacted agricultural productivity and crop quality worldwide, especially in arid and semi-arid regions where water scarcity, soil degradation, and increasing environmental stresses challenge sustainable farming. *Opuntia* species are recognized as strategic multipurpose crops due to their drought tolerance, nutritional and medicinal values, and ecological functions such as soil stabilization and desertification control. Among their notable traits, *Opuntia* species produce significant amounts of bioactive compounds- especially antioxidants like flavonoids, phenolics, carotenoids, and vitamin C- which are crucial for human health and plant stress resilience. Enhancement of these bioactive compounds can add substantial value to cactus products in pharmaceutical and functional food industries. Amidst efforts to improve the growth and phytochemical content of *Opuntia*, the integrated use of soil amendments including humic acid, seaweed extracts, and arbuscular mycorrhizal fungi has demonstrated promising results in various crops by improving nutrients uptake, physiological traits, and stress tolerance. However, there remain gaps in the comprehensive understanding of how these biostimulants affect the bioactive profile of *Opuntia* under controlled conditions. This study aimed to investigate the individual and combined effects of humic acid, seaweed extracts, and mycorrhizal fungi on the antioxidant capacity, flavonoid, phenol, carotenoid, and vitamin C contents of *Opuntia* plants, while also assessing related morphological and physiological parameters, to provide insights for sustainable enhancement of cactus quality and productivity.

Materials and Methods
The experiment was conducted under controlled pot culture conditions, applying a factorial design with eight treatments: 1- control (no amendment), 2- mycorrhiza inoculation (My), 3- seaweed extract application (SW), 4- humic acid use (HA), 5- HA + SW, 6- My + SW, 7- My + HA, and 8- My + HA + SW. Each treatment was applied according to standardized protocols for inoculation or soil amendment. Morphological traits including plant height, new cladode (pad) number, cladode thickness, and leaf surface area were measured. Physiological analyses encompassed chlorophyll (a, b, and total), carotenoid content, and relative water content. Bioactive compounds were quantified by spectrophotometric methods: total phenolics, total flavonoids, vitamin C content, and antioxidant capacity using DPPH radical scavenging assay. Data were statistically analyzed by SPSS software.

Results
The application of mycorrhiza, seaweed extract, and humic acid showed significant positive effects on both growth and biochemical parameters in *Opuntia* plants, with notable differences depending on individual or combined treatments. The treatment with SW induced the highest increase in plant height, up to 30% greater than the control (19.7 cm vs. 15.2 cm), and significantly increased the number of new cladodes to about 6 pads per plant, more than doubling the control number (~2.3 pads). The combied treatment of My + SW also showed synergistic benefits, especially in enhancing leaf surface area by over

80% compared to the control, indicating improved photosynthetic capacity and plant vigor. Cladode thickness was maximized under combined HA + SW, reaching a 54% increase over the control, suggesting firmer and better-developed plant structures. The chlorophyll content responded robustly to HA and SW treatments, with HA + SW combination achieving a remarkable 123% increase in total chlorophyll relative to the control. Carotenoids content, essential for photoprotection, was most elevated in mycorrhiza treated plants (84% increase), highlighting the role of symbiotic fungi in stimulating antioxidant pigment biosynthesis. The relative water content was also improved in HA + SW treatment, reflective of better water retention and stress tolerance. The total phenolic content exhibited substantial elevation in mycorrhiza inoculated plants, with nearly 49% increase compared to the control, indicating enhanced secondary metabolite production linked to plant defense and health-promoting attributes. The accumulation of flavonoids was highest in seaweed extract treated plants, with 42% higher levels than control, supporting the stimulatory role of natural biostimulants on phenolic biosynthesis. The content of vitamin C was dramatically increased (by 85%) in the My + HA treatment, suggesting synergistic enhancement of antioxidant defenses and nutrient quality when both mycorrhiza and humic acid were applied. Antioxidant capacity reflected these biochemical enhancements. Humic acid treatment exhibited the highest DPPH radical scavenging activity, exceeding the control by 5%. Combinations containing My and HA maintained elevated antioxidant activity levels, confirming the role of integrated biostimulant treatments in improving the overall defensive capacity of the plant against oxidative stress.

Conclusion

This comprehensive study demonstrates that application of humic acid, seaweed extract, and mycorrhizal fungi- either individually or combined- significantly improved the morphological development, physiological health, and bioactive compound content of *Opuntia* cactus plants. While seaweed extract promoted vegetative growth and flavonoid synthesis, humic acid primarily enhanced photosynthetic pigments and antioxidant capacity. Mycorrhizal inoculation notably increased carotenoids, total phenolics, and vitamin C content. The combined use of mycorrhiza with humic acid yielded the most pronounced increase in contents of vitamin C and phenolic compounds, indicating a synergistic effect on plant biochemical quality. These findings underscore the potential of integrated biostimulant applications as sustainable agronomic strategies to improve crop quality and stress resilience in arid and semi-arid regions where *Opuntia* spp. are cultivated. Enhancing antioxidant and bioactive compounds content not only benefits plant health but also adds value to cactus products for pharmaceutical and functional food applications. Future field studies under diverse environmental conditions are encouraged to validate these results and optimize amendment protocols for large-scale adoption.

Keywords: Antioxidant compounds, Bioactive metabolites, Humic substances, Fungi inoculation, Macroalgae extract.

Author Contributions

Conceptualization, M.S. and A.H.; methodology, M.S. and S.A.; software, M.N.H; validation, M.N.H.; formal analysis, M.S. and S.A.; investigation, M.S., S.A., M.N.H., and A.H.; resources, M.N.H. and A.H.; data curation, M.S. and S.A.; writing—original draft preparation, M.N.H. and A.H.; writing–review and editing, M.N.H. and A.H.; visualization, M.N.H.; supervision, A.H.; project administration, A.H.; funding acquisition, A.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

This paper is published as a part of a Master's thesis supported by the Vice Chancellor for Research and Technology of the University of Zanjan, Zanjan, Iran. The authors are thankful to the University of Zanjan for financial supports.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Cite this article: Shafie, M., Hassani, A., Nourzadeh Hadad, M., & Amanifar, S. (2025). Enhancement of bioactive compounds concentration in opuntia cactus using humic acid, seaweed extract, and mycorrhizal fungi. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(2), 115–131.
https://doi.org/10.22034/sps.2025.68460.1015

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS JOURNALS

نشریه دانش خاک و گیاه، جلد ۳۵، شماره ۲، صفحه‌های ۱۱۵ تا ۱۳۱، تابستان ۱۴۰۴

https://doi.org/10.22034/sps.2025.68460.1015

E-ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

افزایش غلظت ترکیب‌های زیست‌فعال کاکتوس با مصرف هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریز

میترا شفیعی[۱]، اکبر حسنی[۲]✉، مهدی نورزاده حداد[۳]، ستاره امانی فر[۴]

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: m11.shafiei96@gmail.com

۲-نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: akbar.hassani@znu.ac.ir

۳-پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران. رایانامه: m.nourzade@gmail.com

٤- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: amanifar@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰۵/۱۳	**تاریخ بازنگری:** ۱٤۰٤/۰٦/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰٦/۲۹	**تاریخ انتشار:** ۱٤۰٤/۰٦/۲۹

چکیده

کاکتوس اپونتیا (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی با کاربردهای متنوع در کشاورزی پایدار و صنایع غذایی و دارویی اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر مصرف هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریز بر میزان ترکیب‌های زیست‌فعال شامل آنتی‌اکسیدان‌ها، فلاونوئیدها، کارتنوئیدها، فنل کل و ویتامین C در کاکتوس اپونتیا بود. تیمارهای آزمایش شامل ۱- شاهد، ۲- کاربرد میکوریز (M)، ۳- کاربرد هیومیک اسید (HA)، ٤- کاربرد عصاره جلبک دریایی (SW)، ٥- کاربرد میکوریز + عصاره جلبک دریایی، ٦- کاربرد میکوریز + هیومیک اسید، ۷- کاربرد هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی، ۸- کاربرد میکوریز + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید بودند. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در گلخانه دانشگاه زنجان انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از قارچ میکوریز به‌تنهایی باعث افزایش چشمگیر غلظت کاروتنوئیدها (تا ۸٤ درصد) و غلظت فنل کل (تا ٤۹ درصد) در گیاه شد. تیمارهای هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی غلظت فلاونوئیدها را به‌طور معنادار افزایش دادند، به‌طوری که تیمار عصاره جلبک دریایی سبب افزایش ٤۲ درصدی غلظت فلاونوئیدها شد. تیمار هیومیک اسید ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را تا ۷۰ درصد افزایش داد. ترکیب تیمارها اثرهای متنوعی داشت، به‌گونه‌ای که در برخی شاخص‌ها افزایش و در برخی کاهش مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریز می‌تواند به بهبود ترکیب‌های زیست‌فعال کاکتوس اپونتیا کمک نماید و به‌عنوان راهکاری مؤثر برای ارتقای ارزش تغذیه‌ای آن مطرح شود.

واژه‌های کلیدی: کاکتوس اپونتیا، هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی، میکوریز، ترکیب‌های زیست‌فعال، آنتی‌اکسیدان

استناد به این مقاله: شفیعی، م.، حسنی، ا.، نورزاده حداد، م. و امانی‌فر، س. (۱٤۰٤). افزایش غلظت ترکیب‌های زیست‌فعال کاکتوس با مصرف هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریز. *نشریه دانش خاک و گیاه*، ۳۵(۲)، ۱۳۱-۱۱۵.

https://doi.org/10.22034/sps.2025.68460.1015

مقدمه

تغییرات ایجاد شده در نظام‌های تولید محصول‌های کشاورزی بر اثر تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی[۱]سبب شده تا در بسیاری از کشورها علاوه‌بر الگوهای کشت، نوع گیاهان مورد کشت نیز تغییرات محسوسی داشته باشد. این تغییرات آنچنان ضروری به نظر می‌رسد که بدون در نظر گرفتن آن، از دست رفتن منابع آبی، تخریب خاک، طوفان‌های ریزگرد، آلودگی هوا، بیماری‌های مزمن ریوی، مهاجرت‌های گسترده، کاهش تولیدات گیاهی و در نهایت کاهش تولید غذا امری بدیهی خواهد بود (Geravandi et al. 2016; Nourzadeh Hadad et al. 2011; 2017; Shahnavaz et al. 2017& 2019; Afshari et al. 2025).

کاکتوس اپونتیا (*Opuntia* spp.) یکی از گیاهان ارزشمند مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود و نقش مهمی در کشاورزی پایدار، حفظ منابع طبیعی و اقتصاد مناطق کم‌آب دارد (Barba et al., 2017; El-Hawary et al., 2020; Shafiei et al., 2025). مقاومت به خشکی، تولید علوفه و خوراک دام ارزان و مغذی، تولید میوه و مواد غذایی با آنتی‌اکسیدان بالا، کمک به احیای زمین‌های بیابانی و جلوگیری از فرسایش خاک، دارای ارزش اقتصادی و صادراتی و نقش محیط‌زیستی مؤثر در بهبود خرداقلیم[۲]از جمله ویژگی‌های خاص این گیاه می‌باشد (Nourzadeh Hadad and Bahrami, 2015; Sabzalipour et al., 2016; Burt et al., 2017; Ghaheri et al., 2020). با توجه به تغییرات اقلیمی و مقاومت این گیاه به تنش‌های حرارتی و رطوبتی و نیز کاربردهای نوین این گیاه به‌ویژه در صنایع غذایی و دارویی، می‌توان از کاکتوس اپونتیا به عنوان یک محصول استراتژیک نام برد که در آینده اهمیت بیشتری نیز خواهد داشت (García-Sánchez, 2018; Gherguț & Ghergut, 2021).

کاکتوس اپونتیا دارای ویژگی‌های برجسته آنتی‌اکسیدانی است که آن را برای سلامت انسان بسیار مفید می‌کند. این گیاه و به‌ویژه میوه آن غنی از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی طبیعی مانند فلاونوئیدها، ویتامین C و ویتامین E است که با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، از آسیب یاخته‌ها جلوگیری کرده و روند پیری زودرس را کاهش می‌دهد (Sakihama et al., 2002; Sakhraoui et al., 2023; Hihat et al., 2024; Zaman et al., 2025). علاوه‌بر محافظت از پوست و جلوگیری از چین و چروک، خواص آنتی‌اکسیدانی کاکتوس اپونتیا به تقویت سیستم ایمنی، بهبود سلامت کبد، کاهش التهاب‌ها و اثرهای محافظتی در برابر بیماری‌های مزمن از جمله دیابت و بیماری‌های قلبی کمک می‌کند (Besné-Eseverri et al., 2024; Touati et al., 2025). به همین دلیل، در حال حاضر این گیاه بیش از آنکه در بخش کشاورزی مورد بررسی قرار گیرد، به عنوان یک ماده اولیه در تهیه محصولات پزشکی مورد توجه است. بنابراین، ضروری است که در بخش کشاورزی گیاهی با ویژگی‌ها و خواص بهتر و مفیدتر تولید گردد.

پژوهش‌های گذشته ثابت نموده که مصرف کودهای آلی و زیستی، به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش تولید زیست‌توده، کیفیت و مقدار ترکیب‌های زیست‌فعال[۳]نظیر ترکیب‌های فنولی، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها در کاکتوس اپونتیا می‌شود (Ahmed et al., 2024). بنابراین، مدیریت تلفیقی خاک، برنامه تغذیه تلفیقی و استفاده از کودهای زیستی برای رسیدن به بیشینه پتانسیل بیوشیمیایی و تغذیه‌ای گیاه ضروری است (Belkhir et al., 2025). پژوهشگران با

---

[۱] Climate change and global warming

[۲] Microclimate

[۳] Bio-active

اعمال کودهای مختلف و قارچ میکوریز به این نتیجه رسیدند که میزان و نوع کوددهی بر ویژگی‌های کاکتوس مؤثر بوده به نحوی که استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی بهترین تأثیر را در بهبود ویژگی‌های کاکتوس علوفه‌ای داشته و قارچ میکوریز تأثیر محسوسی در این زمینه نداشته است (Fateminik et al., 2024). همچنین، در پژوهش‌های اخیر مشخص شد که استفاده تلفیقی از هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریز میزان جذب عناصر غذایی به‌وسیله کاکتوس افزایش یافته و حجم زیست‌توده آن نیز بیشتر شده است (Shafiei et al., 2025).

از سویی دیگر پژوهشگران اذعان داشتند که افزودن هیومیک اسید و قارچ میکوریز آربسکولار[1] باعث بهبود جذب عنصرهای غذایی، افزایش غلظت آنتوسیانین و آمینواسیدهای آزاد شده است و استفاده از مواد هیومیک به‌تنهایی یا همراه با قارچ میکوریز می‌تواند روشی مؤثر و پایدار برای بهبود تحمل کاکتوس به خشکی و بهبود کیفیت خاک باشد (Lahbuki et al., 2023). در پژوهشی مشابه، پژوهشگران ژاپنی با تلفیق هیومیک اسید، فولویک اسید و قارچ میکوریز توانستند مقاومت گیاه توت‌فرنگی به تنش خشکی را تا حد زیادی افزایش دهند به نحوی که رشد و تولید محصول آن در شرایط تنش رطوبتی و حرارتی افزایش یافت (Sawamura et al., 2024). نتایج یک بررسی دیگر مشخص نمود که استفاده از قارچ میکوریز آربسکولار به‌تنهایی نیز سبب بهبود شرایط رشد کاکتوس در تنش‌های رطوبتی شد به نحوی که میزان مواد زیست‌فعال گیاه به نحو محسوسی افزایش پیدا کرد (Kebede et al. 2024). برخی مطالعات نشان داده است که در مورد تأثیر مواد افزودنی به خاک و تأثیر آن‌ها بر میزان ترکیب‌های زیست‌فعال گیاه کاکتوس اپونتیا هنوز ابهامات زیادی وجود دارد. با توجه به اهمیت این ویژگی‌ها در صنایع غذایی و پزشکی، هدف این پژوهش، بررسی تأثیر هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و قارچ میکوریز بر ویژگی‌هایی نظیر میزان آنتی‌اکسیدان، غلظت فلاونوئیدها، کارتنوئیدها، فنل کل و ویتامین C گیاه کاکتوس اپونتیا بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار و ۳ تکرار و در مجموع ۲۴ واحد آزمایشی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۱- شاهد، ۲- کاربرد قارچ میکوریز (My)، ۳- کاربرد هیومیک اسید (HA)، ۴- کاربرد عصاره جلبک دریایی (SW)، ۵- کاربرد میکوریز + عصاره جلبک دریایی، ۶- کاربرد میکوریز + هیومیک اسید، ۷- کاربرد هیومیک اسید + عصاره جلبک دریایی، ۸- کاربرد میکوریز + عصاره جلبک دریایی + هیومیک اسید بودند (جدول ۱). هیومیک اسید مورد استفاده با آنالیز ۷۰ درصد هیومیک اسید و ۱۰ درصد پتاسیم به شکل پودری از شرکت دانش بنیان زیست‌نهاده پویا تهیه شد. برای اطمینان از کیفیت هیومیک اسید، غلظت هیومیک اسید و پتاسیم در آزمایشگاه دانشگاه زنجان دوباره به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. عصاره جلبک دریایی به شکل یک کود مایع که دارای ۲۴ درصد عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودوسوم*[2] بود. ۲۴ درصد ماده خشک عصاره جلبک دریایی و بقیه آن آب دیونیزه شده، استفاده شد. این ماده از شرکت اینترجزپال اسپانیا تهیه شد. این عصاره دارای ۰/۷۵ درصد آلژنیک اسید بود که صحت آن با آزمایش مجدد

[1] Arbuscular mycorrhizal fungi

[2] *Ascophyllum nodosum* L.

در آزمایشگاه بخش مواد کودی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور اثبات شد. تیمار قارچ میکوریز مورد استفاده در این پژوهش از گونه ریزوفاگوس[۱]بود که از بخش تحقیقاتی شرکت دانش بنیان زیست‌سپیدان حیات پایا تهیه شد.

جدول ۱-توصیف تیمارهای استفاده شده و نشانه آن‌ها

شماره تیمار	نوع تیمار	کد تیمار
۱	شاهد	B
۲	قارچ میکوریز	My
۳	عصاره جلبک دریایی	SW
٤	هیومیک اسید	HA
٥	هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی به‌صورت هم‌زمان	HA+SW
٦	قارچ میکوریز و عصاره جلبک دریایی به‌صورت هم‌زمان	My+SW
۷	قارچ میکوریز و هیومیک اسید به‌صورت هم‌زمان	My+HA
۸	قارچ میکوریز، عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید به‌صورت هم‌زمان	HA+My+SW

برای آماده‌سازی بستر کشت از گلدان کیسه‌ای نایلونی و مخلوطی از ماسه و پرلیت استفاده شد. کلادودها[۲]در کیسه‌های گلدانی نایلونی، حاوی خاک بستر کشت شدند. بستر کشت شاهد شامل ۲۵۵ گرم ماسه شسته شده، ۲۰ گرم پرلیت و ۲۵ گرم مایه تلقیح قارچ میکوریز استریل شده برای حذف اسپورها بود تا شبیه به سایر تیمارها باشد. مقدار EC عصاره گل اشباع در همه بسترها ۲/۸۲ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار pH نیز برابر با ۷/۸۰ بود. پس از طی ۲۲۰ روز از کاشت، عملیات برداشت گیاهان و بررسی صفات انجام شد.

در تیمارهای هیومیک اسید، در هر بار کوددهی ۰/۲۵ گرم هیومیک اسید در ۲۵۰ لیتر آب حل شد و به گلدان‌ها داده شد. همچنین در تیمارهای مربوط به عصاره جلبک دریایی مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب حل شد و به گلدان‌ها داده شد. غلظت فنول کل کلادودهای کاکتوس با روش فولین با ثبت جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۲۵ نانومتر تعیین شد (Singleton and Rossi, 1965). برای انجام این کار، ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر عصاره به فالکن‌ها اضافه و پس از آن ۱۰۰ میکرولیتر معرف Folin-Ciocateu رقیق شده (۵۰ درصد) و همچنین ۲ میلی‌لیتر سدیم کربنات ۲ درصد اضافه شد. مخلوط حاضر به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی باقی ماند. بعد از آن میزان جذب در طول موج ۷۲۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. از اسید گالیک به عنوان یک ترکیب فنولی

[۱] Rhizophagus

[۲] کلادود (Cladode) کاکتوس به بخش یا یکی از اعضای شاخه‌های کاکتوس گفته می‌شود. کلادودها ساختارهای پهن و مسطحی هستند که در برخی گونه‌های کاکتوس به جای برگ‌ها تشکیل می‌شوند و در فرایند فتوسنتز نقش ایفا می‌کنند.

استاندارد برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. ارائه گزارش غلظت فنول کل عصاره‌ها بر اساس میلی‌گرم معادل اسید گالیک بر گرم وزن تر گیاه کاکتوس انجام شد.

همچنین، تعیین غلظت فلاونوئید کل کلادودهای کاکتوس طبق روش اتانول اسیدی انجام شد (Hasani and Nourzadeh Hadad, 2017). در این روش ۰/۱ گرم از نمونه گیاهی را در هاون کوبیده و به فالکن‌ها منتقل و ۱۰ میلی‌لیتر اتانول اسیدی (اتانول و اسید استیک به نسبت ۹۹ به ۱) اضافه کرده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. محلول روشناور به فالکن جدیدی منتقل شده و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آبگرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از طی این مرحله میزان جذب در طول موج‌های ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۳۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. از اتانول اسیدی به عنوان شاهد دستگاه استفاده شد. در نهایت میانگین سه اندازه‌گیری بر حسب درصد گزارش شد. غلظت فلاونوئید کل با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$A = \varepsilon bc \qquad (۱)$$

ε: ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰۰ مول بر سانتی‌متر

b: عرض کوت برابر یک سانتی‌متر

c: غلظت فلاونوئید کل بر حسب مول بر گرم

A: مقدار جذب

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl) طبق روش Balian et. Al. (2022) انجام شد. برای انجام این کار، ابتدا محلول DPPH با انحلال ۷/۸۹ میلی‌گرم DPPH در ۲۰۰ میلی‌لیتر متانول خالص تهیه شد. سپس حجم ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی به فالکون منتقل شد و بعد از آن ۳۸۰۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد وآن مخلوط حاصل شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس محیط آزمایشگاه در تاریکی نگهداری شد. در پی آن جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. جذب نمونه شاهد تهیه شده با استفاده از همان مقدار متانول و محلول DPPH برای واسنجی دستگاه و کنترل منفی استفاده شد. فعالیت مهار DPPH به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$I(\%) = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$$ رابطه (۲)

A_0= جذب عصاره گیاهی

A_1= جدب DPPH

همچنین، برای اندازه‌گیری و سنجش غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها از روش استون استفاده شد (Bayat et al. 2025). قرائت میزان جذب محلول شناور در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر برای کلروفیل و در طول موج‌های ٤٨٠ و ٥١٠ نانومتر برای کارتنوئیدها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. در نهایت برای گزارش غلظت آن‌ها بر حسب میکروگرم بر گرم از روابط زیر استفاده شد:

$$\text{Chlorophyll a} = (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645}) \times (V/W)$$ رابطه (۳)

$$\text{Chlorophyll b} = (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663}) \times (V/W)$$ رابطه (٤)

$$\text{Carotenoids} = (7.6 \times A_{480} - 1.49 \times A_{510}) \times (V/W)$$ رابطه (٥)

در این معادلات A_{645} و A_{663} به‌ترتیب مقدار جذب در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر، A_{480} و A_{510} به‌ترتیب مقدار جذب در طول موج‌های ٤٨٠ و ٥١٠ نانومتر، V حجم نهایی نمونه به میلی‌لیتر و W وزن تر برگ به گرم است.

برای اندازه‌گیری ویتامین C (غلظت آسکوربیک اسید)، از محلول متافسفریک یک درصد استفاده شد. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد. نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که بیشترین غلظت کلروفیل a (شکل ۱)، کلروفیل b (شکل ۲) و کلروفیل کل (شکل ۳) مربوط به تیمار ٥ بوده است. غلظت کلروفیل کل تیمارHA+SW با میانگین ۱۷۱,۷٦ میکروگرم بر گرم، نسبت به شاهد (۷۷ میکروگرم بر گرم) افزایش بیش از ۱۲۳ درصدی را نشان داد (جدول ۲). این افزایش می‌تواند باعث بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه شود. همچنین، کمترین غلظت کلروفیل نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. بر همین اساس می‌توان گفت که اعمال هر یک از تیمارها باعث افزایش غلظت کلروفیل گیاه نسبت به شاهد شد. در پژوهشی دیگر، استفاده از عصاره جلبک دریایی به تنهایی و به صورت محلول‌پاشی در افزایش کلروفیل گیاه شنبلیله مؤثر بود (Mafakheri and Asghari, 2018). همچنین پژوهشگران دیگری (Safarzadeh Shirazi et al., 2020) اذعان داشتند که مصرف هیومیک اسید به میزان ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط تنش شوری باعث افزایش ۲۹ درصدی غلظت کلروفیل در آلوئه‌ورا شد.

همانطور که در شکل ٤ مشخص است بیشترین غلظت کاروتنوئیدها (۷/۲۱ میکروگرم بر گرم) در تیمار My و کمترین مقدار آن نیز در تیمار SW اندازه‌گیری شد. همچنین در تیمارهای My+SW، My+HA و HA+My+SW که حاوی قارچ میکوریز بوده‌اند، میزان کارتنوئید نسبت به تیمار شاهد افزایش معناداری داشت در حالی‌که بقیه تیمارها تغییر محسوسی نسبت به تیمار شاهد (۳/۹۲ میکروگرم بر گرم) نداشتند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که میزان کاروتنوئیدهای کاکتوس با اعمال میکوریز تا ٨٤ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۲). سایر پژوهشگران (Kheiri et al., 2020) گزارش دادند که مصرف قارچ میکوریز باعث افزایش کاروتنوئید در گیاه همیشه بهار شد. همچنین، مصرف این قارچ سبب افزایش ٦٨ درصدی غلظت کلروفیل کل این گیاه شد. در این مورد نتایج مشابهی برای گیاه دارویی گل مخروطی [۱]به‌وسیله پژوهشگران گزارش شده است (Khara et al., 2023).

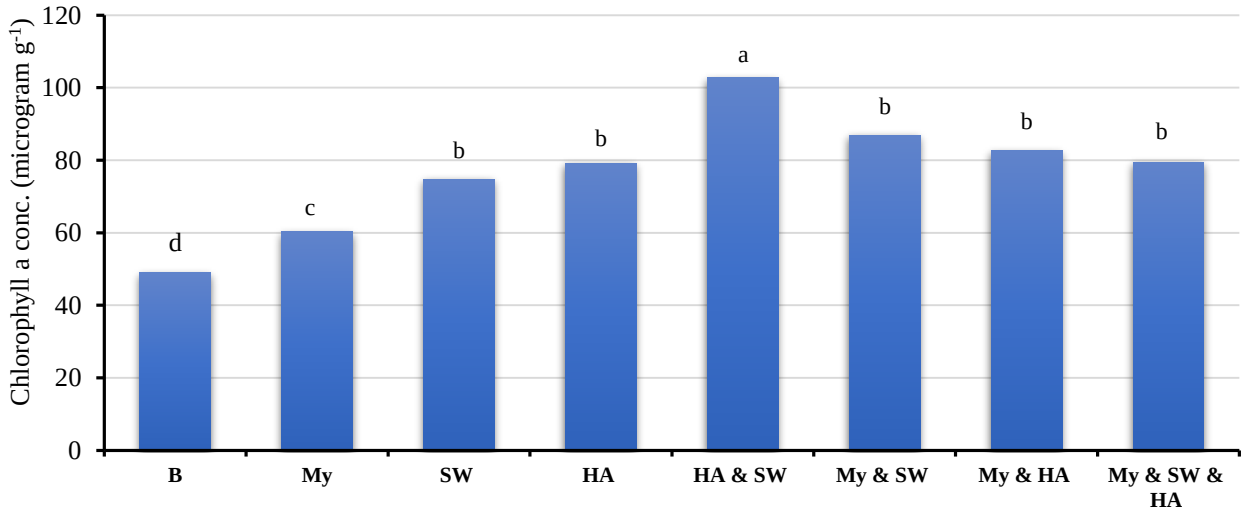
همانطور که در شکل ٥ مشخص است ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کاکتوس در تیمار HA حدود ۷۰ درصد بوده و با اختلاف معناداری نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته است. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی (تیمارهای HA و SW) باعث افزایش معنادار (در سطح احتمال یک درصد) میزان فلاونوئیدها در کاکتوس نسبت به سایر تیمارها شده است. این افزایش در تیمار SW به میزان ٤٢ درصد است (جدول ۲- شکل ٦). این در حالیست که اعمال سایر تیمارها تفاوت معنی داری در میزان فلاونوئید گیاه نسبت به تیمار شاهد نداشته است. با افزایش فلاونوئیدها در گیاه، محافظت گیاه در برابر آسیب‌های اکسیداتیو افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای My و HA بیشترین میزان فنل کل را داشتند و با سیار تیمارها اختلاف معنی دار آماری را نشان دادند

[۱]Cone flower

(شکل ۷). این در حالیست که اعمال تیمار My+SW سبب کاهش فنل کل نسبت به تیمار شاهد شد. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که میزان فنل کل در کاکتوس اپونتیا با اعمال میکوریز تا حدود ۴۹ درصد افزایش یافته است (جدول ۲). این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده افزایش متابولیت‌های ثانویه محافظتی باشد. سایر پژوهش‌ها (Lahbuki et al., 2023) نیز موید افزایش میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئید و فنل کل گیاه کاکتوس با اعمال هیومیک اسید بود.

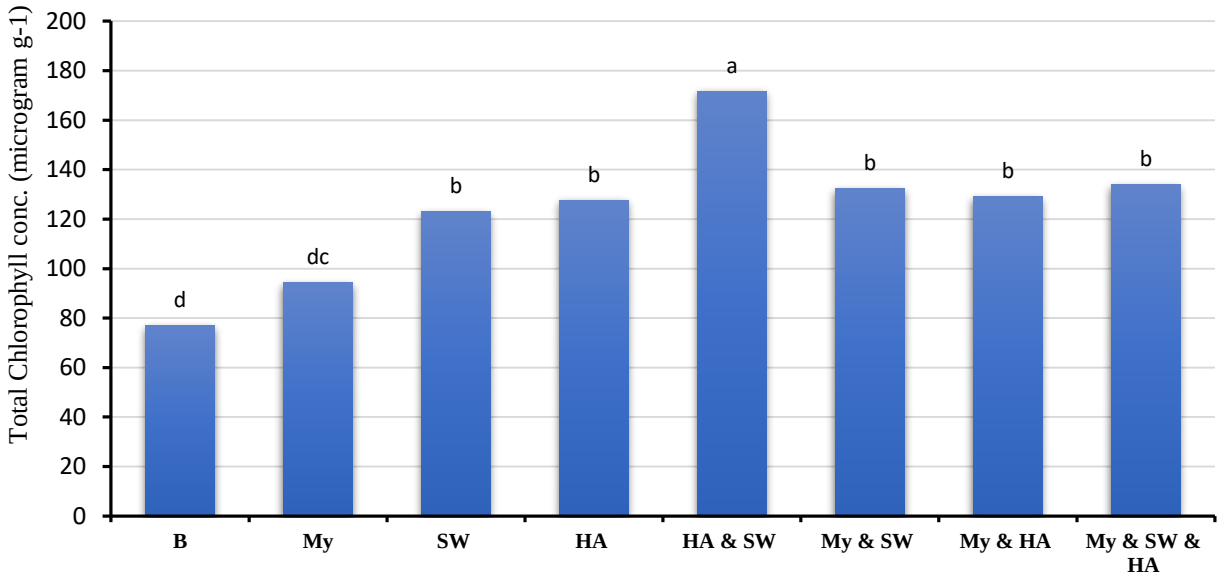
همچنین، اندازه‌گیری میزان ویتامین C در گیاه نشان داد که در تیمار My+HA و My+SW میزان این ماده افزایش یافته به نحوی که تیمار My+HA نسبت به تیمار شاهد بیش از ۸۵ درصد ویتامین C بیشتری داشت (جدول ۲). این موضوع حاکی از بهبود محسوس کیفیت محصول تولیدی باشد. همچنین، سایر تیمارها تأثیر محسوسی بر افزایش میزان ویتامین C نداشتند (شکل ۸). علاوه‌بر این نتایج حاکی از آن بود که درصد فنل کل در تیمارهای SW، HA+SW، My+SW، My+HA و HA+My+SW کمتر از مقدار این ماده در تیمار شاهد بوده است. همانطور که در جدول ۲ مشخص است تیمار SW سبب کاهش میزان کاروتنوئید، فنل کل و ویتامین C نسبت به تیمار شاهد در کاکتوس شده است. شکل (۹) کاکتوس‌های تیمار شده در حال رشد در محیط گلخانه را نشان می‌دهد.

در پژوهش‌ها نسبتا مشابهی که سایر پژوهشگران (Kebede et al., 2024) انجام دادند مشخص شد استفاده از قارچ میکوریز آربسکولار سبب غنی‌تر شدن گیاه از نظر میزان آنتی‌اکسیدان‌ها و پروتئین تا ۲۰ درصد شد. همچنین بیوماس و مقاومت کاکتوس نسبت به تنش خشکی به ترتیب ۲۲ و ۳۵ درصد افزایش یافت. دیگر پژوهشگران (Lahbuki et al., 2023) در پژوهش‌ها خود با استفاده از قارچ میکوریز و هیومیک اسید به صورت منفرد و توامان به این نتیجه رسیدند که استفاده توامان این مواد باعث بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش تحمل کاکتوس به خشکی و افزایش ۴۵ درصدی آنتی‌اکسیدان در محصول شده است. این در حالیست که (El Gammal et al., 2022) نیز در نتایجی مشابه اذعان داشتند که استفاده از هیومیک اسید به میزان ۲۰ گرم برای هر گیاه باعث بهبود کیفیت کاکتوس از نظر میزان ویتامین C شد به‌طوری‌که میزان ویتامین C در کلادودها تا ۳۲ درصد افزایش یافت.

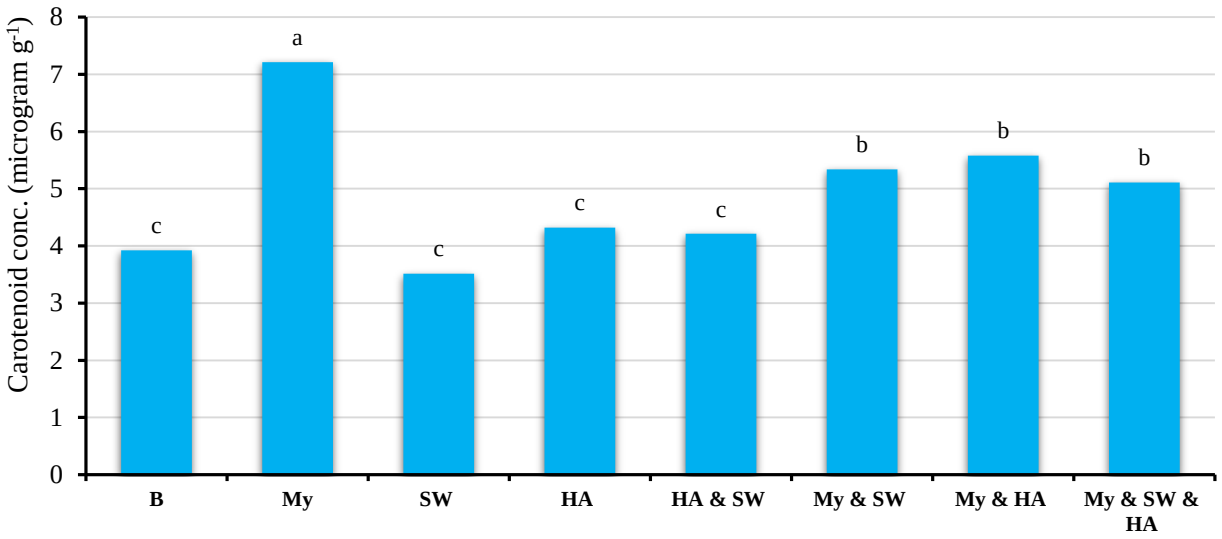


شکل ۱- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت کلروفیل a گیاه کاکتوس.

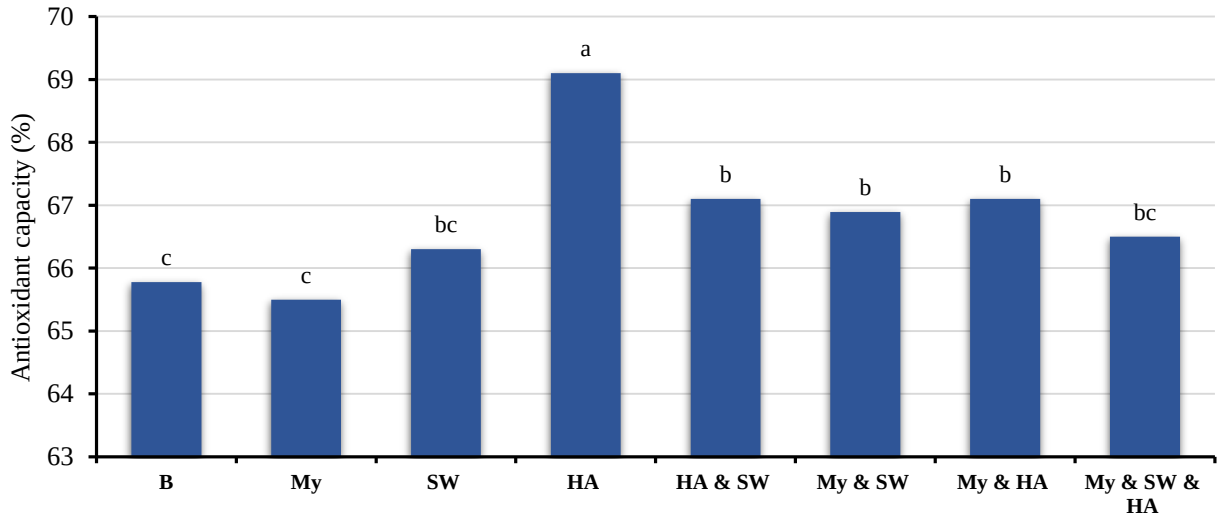
شکل ۲- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت کلروفیل b گیاه کاکتوس.



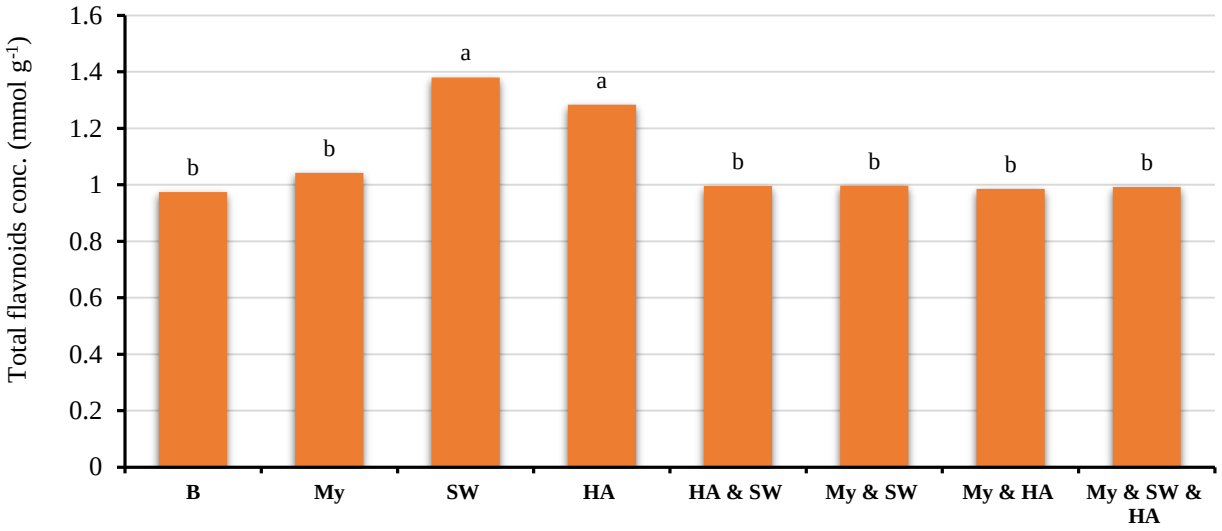
شکل ۳- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت کلروفیل کل گیاه کاکتوس.



شکل ۴- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت کاروتنوئید گیاه کاکتوس.

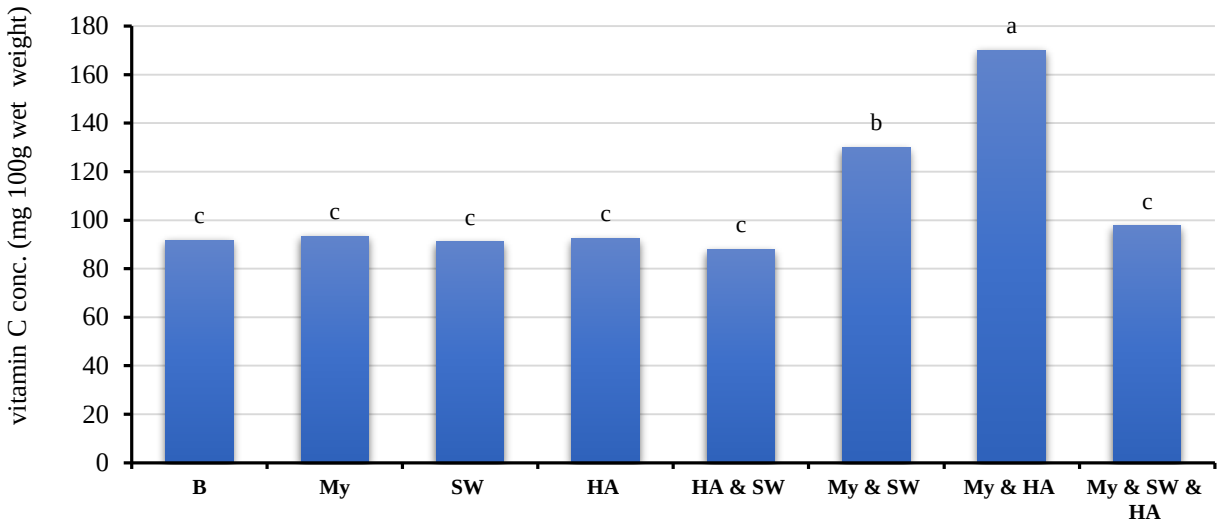


شکل ۵- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه کاکتوس.



شکل ۶- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت فلاونوئید کل گیاه کاکتوس.

شکل ۷- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت فنل کل گیاه کاکتوس.



شکل ۸- تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت ویتامین C گیاه کاکتوس.

شکل ۹- نمایی از وضعیت رشد گیاهان کاکتوس در تیمارهای مختلف در شرایط گلخانه‌ای

جدول ۲- درصد تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده کاکتوس اپونتیا نسبت به تیمار شاهد

تیمار	درصد افزایش کلروفیل کل	درصد افزایش کاروتنوئیدها	درصد افزایش فنل کل	درصد افزایش فلاونوئیدها	درصد افزایش ویتامین C
My	۲۲/۳	۸٤	٤۸/۹	۷	۱/۸
SW	۵۹/۷	-۱۰	-۱۵/۹	٤۲	-۰/۷
HA	٦۵/۸	۱۰/۲	۳۷/٤	۸,۳۱	۰/۷
HA+SW	۱۲۳	۷/٤	-۲۳/۳	۲/۲	-٤/۲
My+SW	۷۱/۹	۳۱/۱	-٤۱	۲/۳	٤۱/۸
My+HA	۷٦/٦	٤۲/۳	-۲۹/۷	۱	۸۵/٤
HA+My+SW	۷٤	۳۰/٦	-٦/۹	۱/۸	٦/۵

نتیجه‌گیری

افزایش جذب عنصرهای غذایی با مصرف هیومیک اسید، عصاره جلبک دریایی و میکوریز می‌تواند به تقویت تولید ترکیب‌های زیست‌فعال در گیاه کاکتوس کمک کند. وجود مواد آلی در خاک باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود و در پایداری گیاه و جذب بهتر عناصر غذایی به‌وسیله گیاه نقش مهمی دارد. وجود ترکیب‌هایی همچون هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی در کنار میکوریز سبب افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی و جذب راحت‌تر و بیشتر آن به‌وسیله گیاه می‌شود. این روند در نهایت سبب افزایش ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و فنول در گیاه کاکتوس شده و باعث افزایش کیفیت و بازارپسندی محصول تولید شده می‌شود. بر اساس نتایج حاصل شده در این پژوهش، تیمار قارچ میکوریز سبب افزایش ۵۰ درصدی غلظت فنل کل گیاه شد. همچنین استفاده از قارچ میکوریز و قارچ میکوریز + هیومیک اسید باعث افزایش معنادار غلظت کاروتنوئیدها و ویتامین C در گیاهان کاکتوس اپونتیا شد. این در حالی است که استفاده از عصاره جلبک دریایی به تنهایی سبب کاهش غلظت کاروتنوئیدها، فنل کل و ویتامین C نسبت به تیمار شاهد در کاکتوس شد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه شرایط اقلیمی و تنش‌های محیطی، بر ساخت این مواد در گیاه تأثیر سوء دارند؛ نیاز به انجام پژوهش‌های بیشتر در این مورد ضروری به نظر می‌رسد.

منابع مورد استفاده

References

Afshari, Gh., Gholami, A., Goosheh, M. & Nourzadeh Hadad, M. (2025). Comparison of water-performance production functions in normal and saline soils under wheat cultivation (Case study: Khouzestan province). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 1, 23-31. (in Persian with English abstract)

Ahmed, F. A., Ibrahim, M. A., El-Azab, M. M., Fahmy, W. G. E., & Fahmy, D. M. (2024). A review: *Opuntia ficus-indica* as a source of bioactive compound ingredients for functional foods, nutrition, human disease and health. *Universal Journal of Pharmaceutical Research, 9*(1), 52–61. http://doi.org/10.22270/ujpr.v9i1.1061

Baliyan, S., Mukherjee, R., Priyadarshini, A., Vibhuti, A., Gupta, A., Pandey, R.P. & Chang, C.M. (2022). Determination of Antioxidants by DPPH radical scavenging activity and quantitative phytochemical analysis of *Ficus religiosa*. *Molecules,* 27(4), 1326. https://doi.org/10.3390/molecules27041326

Bayat, M., Hassani, A., Nourzadeh Hadad, M. (2025). 'Improving the Characteristics of Tomato Seedlings by Integrated Application of Humic Acid, Auxin, and Phosphoric Acid', *Journal of Soil and Plant Science*, 35(1), pp. 51-65. (in Persian with English abstract) http://doi: 10.22034/sps.2025.66358.1003

Barba, F. J., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Poojary, M. M., Roohinejad, S., Lorenzo, J. M., & Koubaa, M. (2017). Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: From preservation of beverages to valorization of by-products. *Trends in Food Science & Technology, 67*, 260–270. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.012

Belkhir, S., Abdessemed, D. & Refas, I. (2025). Impact of drying methods on physicochemical properties, bioactive content, and antioxidant activity of *Opuntia ficus-indica* fruits. *Journal of Food Quality and Hazards Control, 12*, 46–60. http://dx.doi.org/10.18502/jfqhc.12.1.18366

Burt, A. J., & Garcia, D. R. (2017). *Opuntia* spp.: A versatile cactus for arid land restoration and sustainable agriculture. *Agronomy*, 7(3), 62. https://doi.org/10.3390/agronomy7030062

El Gammal, O. H. M. & Salama, A. S. M. (2022). Effect of organic manure and humic acid on productivity and fruit quality of cactus pear. *Egyptian Journal of Dermatology and Venereology*, 42(3), 335–348. https://doi.org/10.21608/ejdr.2022.109766.1091

El-Hawary, S. S., Sobeh, M., Badr, W. K., Abdelfattah, M. A. O., Ali, Z. Y., El-Tantawy, M. E., Rabeh, M. A. & Wink, M. (2020). HPLC-PDAMS/MS profiling of secondary metabolites from *Opuntia ficus-indica* cladode, peel and fruit pulp extracts and their antioxidant, neuroprotective effect in rats with aluminum chloride induced neurotoxicity. *Saudi Journal of Biological Sciences, 27*, 2829–2838. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.07.003

Fateminick, F., Azizi, K., Ghasemi, S. & Akbarpoor, O. A. (2024). Study the effect of the use of mycorrhiza and different levels of manure and chemical fertilizers on some traits of forage cactus (*Opuntia ficus-indica* L.). *Crop Science Research in Arid Regions, 6*(2), 467–486. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/csrar.2023.357410.1269

García-Sánchez, F. (2018). Phenolic compounds in prickly pear (*Opuntia* spp.) and their antioxidant properties: Potential applications in food and pharmaceutical industries. *Food Research International, 105*, 522–531. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.022

Ghaheri, M., Tavakkoli, E., Borji, H. & Soltani, S. (2020). Nutritional, medicinal, and economic value of *Opuntia ficus-indica* in arid and semi-arid regions. *Frontiers in Plant Science, 11*, 1020. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01020

Geravandi, S. A., Zalaghi, E., Goudarzi, G., Mohammadi, M. J., Babaei, A. A., Yari, A. R. & Nourzadeh Hadad, M. (2016). Exposure to particulate matter of less than 10 microns and its effect on respiratory and cardiovascular diseases in Isfahan, Iran in 2013. *Health System Research, 11*(4), 725–730. https://sid.ir/paper/192444/en

Gherguț, A. & Gherguț, C. (2021). Prickly pear cactus as a climate-resilient crop: Adaptation, economic perspectives, and environmental impact. *Sustainability, 13*(10), 5633. https://doi.org/10.3390/su13105633

Hasani, A., & Nourzadeh Haddad, M. (2017). Effect of ammonium nitrate and free amino acids on the nitrate accumulation in radish. *Water and Soil Science*, 26(4.1), 67-78. (In Persian with English abstract).

Hihat, S., Touati, N., Sellal, A. & Madani, K. (2024). Response surface methodology: An optimal design for maximising the efficiency of microwave-assisted extraction of total phenolic compounds from *Coriandrum sativum* leaves. *Processes, 12*, 1031. https://doi.org/10.3390/pr12051031

Kheiri, Z., Moghaddam, M. & Moradi, M. (2020). Study the effect of different mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoids and carotenoid content of pot marigold flower. *Horticultural Plants Nutrition, 3*(1), 37–50. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5007.1061

Kebede, T. G., Birhane, E., Ayimut, K. M. & Egziabher, Y. G. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi increased biomass, nutritional value, and cochineal resistance of *Opuntia ficus-indica* plants. *BMC Plant Biology, 24*(1), 706. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05432-7

Khara, M., Shirvani, M. & Beheshti, A. (2023). Application of mycorrhiza and phosphorus improve the phosphorus uptake, physiological characteristics and growth of coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Monch) under drought stress. *Journal of Forest and Park Management, 41*(1), 53–68. https://doi.org/10.22092/jofpm.2023.131628

Lahbouki, S., Fernando, A. L., Rodrigues, C., Ben-Laouane, R., Ait-El-Mokhtar, M., Outzourhit, A. & Meddich, A. (2023). Effects of humic substances and mycorrhizal fungi on drought-stressed cactus: Focus on growth, physiology, and biochemistry. *Plants, 12*(24), 4156. https://doi.org/10.3390/plants12244156

Mafakheri, S., & Asghari, B. (2018). Effect of seaweed extract, humic acid and chemical fertilizers on morphological, physiological and biochemical characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. *Journal of Agricultural Science and Technology, 20*, 1505–1516. (In Persian with English abstract).

Nefzaoui, A. & Ben Salem, H. (2019). *Opuntia* spp. cactus in animal feed and ecosystem restoration: A sustainable model. *Journal of Arid Environments, 163*, 54–61. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.03.003

Nourzadeh, M., Mahdian, M. H., Malakouti, M. J., & Khavazi, K. (2011). Investigation and prediction spatial variability in chemical properties of agricultural soil using geostatistics. *Archives of Agronomy and Soil Science, 58(5), 461–475.* https://doi.org/10.1080/03650340.2010.532124

Nourzadeh haddad, M., hasani, A., karami mighadam, M. (2017). 'Comparison the Efficiency of Aquasorb and Accepta Superabsorbent Polymers in Improving Physical, Chemical, and Biological Properties of Soil and Tomato Turnover under Greenhouse Condition', *Water and Soil*, 31(1), pp. 156-167. (In Persian with English abstract). https://doi: 10.22067/jsw.v31i1.53226

Sabzalipour, S., Nourzadeh Haddad, M. & Zallaghi, E. (2016). A survey of cardiovascular and respiratory diseases attributable to PM10 pollutant in the western half of Iran (Ahwaz, Bushehr and Kermanshah provinces) with use of AIRQ model. *Der Pharmacia Lettre, 8*(11), 17–23.

Safarzadeh Shirazi, S., Kavyan, S. & Gholami, H. (2020). Effect of humic acid on some morphological and biochemical properties and nutrients concentration of *Aloe vera* under salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 21*(4), 429–438. (In Persian with English abstract). http://journal-irshs.ir/article-1-397-en.html

Sakhraoui, A., Touati, N. & Hihat, S. (2023). Effect of time and temperature storage on the quality of unpasteurized prickly pear juice enriched with hydrosoluble *Opuntia ficus-indica* seeds extract. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 11*, 1817–1824. https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i10.1817-1824.5968

Sakihama, Y., Cohen, M. F., Grace, S. C. & Yamasaki, H. (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: Phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology, 177*(1), 67–80. https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00196-8

Sawamura, S., Matsubara, Y., Terai, N., Takeshita, Y. & Nakano, S. (2024). Effect of humic substances and mycorrhizal symbiosis on growth and heat stress tolerance in everbearing strawberry. *Acta Horticulturae, 1404*, 1121–1126. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1404.154

Shafie, M., Hassani, A., Amanifar, S. & Nourzadeh Hadad, M. (2025). Improving uptake of nitrogen, phosphorus, and potassium and growth of *Opuntia* cactus by integrated application of humic acid,

mycorrhiza, and seaweed extract. *Journal of Soil and Plant Science, 35*(1), 1–13. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/sps.2025.66187.1002

Shahnavaz, M., Nourzadeh Haddad, M., Gholami, A. & Panahpour, E. (2019). Investigation of the efficiency of soil stabilizers against soil loss and their effects on chemical properties of soil. *Arid Land Research and Management, 33*(2), 119–135. https://doi.org/10.1080/15324982.2018.1531324

Shahnavaz, M., Nourzadeh Haddad, M., Gholami, A. & Panahpoor, I. (2017). Study of performance polymer and plant mulch to reduce soil loss in areas prone to wind erosion in Khuzestan. *Iranian Journal of Soil and Water Research, 48*(3), 651–658. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.134302.667320

Tomehzadeh, J., Gholami, A., Nourzadeh Hadad, M., Hasani, A. & Mohsenifar, K. (2021). The effect of humic acid concentration on alkalinity and soil elements release, germination and growth index in lawn. *Journal of Environmental Science and Technology, 22*(9), 87–99.

Touati, N., Sakhraoui, A., Hihat, S. & Blando, F. (2025). Phytochemicals, antioxidant properties and anti-inflammatory capacity of hydro-soluble seed extract of *Opuntia ficus-indica* L. *Egyptian Journal of Botany, 65*(2), 241–248. https://doi.org/10.21608/ejbo.2024.286760.2829

Zaman, R., Tan, E. S. S., Bustami, N. A., et al. (2025). Assessment of *Opuntia ficus-indica* supplementation on enhancing antioxidant levels. *Scientific Reports, 15*, 3507. https://doi.org/10.1038/s41598-025-19731-0