دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 35, Issue 1, 2025, Pages 25-40

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

# Evaluation of the Application of Biological, Humic acid, and Chemical Fertilizers on Some Growth, Physiological and Qualitative Traits of Rocket Leafy Vegetable (*Eruca sativa* L.)

**Serveh Tahmasebi[1], Aliakbar Mozafari[2,3*], Nasser Ghaderi[2], Behrooz Sarabi[2,3*]**

| Received: 08 August 2023 | Accepted: 08 February 2024 |
|---|---|

1-Former MSc. Student, Dept. of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.
2-Prof., Assoc. Prof., and Assist. Prof., Dept. of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.
3-Research Center of Medicinal Plants Breeding and Development, University of Kurdistan, Sanandaj, Kurdistan, Iran.
*Corresponding Author E-mail: a.mozafari@uok.ac.ir and b.sarabi@uok.ac.ir

## Abstract

**Background and Objective:** In sustainable agricultural systems, a diverse range of biofertilizers and organic fertilizers, including plant growth-promoting bacteria and humic acid, have emerged as effective alternatives to mitigate the consumption of chemical inputs. In addition to diminishing significant environmental challenges, these fertilizers can minimize adverse effects on human health. This research was designed to investigate the effect of biofertilizers, humic acid (HA) and chemical fertilizers on some growth characteristics, physiological and qualitative traits of rocket leafy vegetables.

**Materials and Methods:** At the University of Kurdistan, a completely randomized design was designed. Treatments included control (no use of fertilizer)**,** AzotoBarvar-1, PotaBarvar-2, PhosphoBarvar-2, AzotoBarvar-1 + PotaBarvar-2, AzotoBarvar-1+ PhosphoBarvar-2, PotaBarvar-2 + PhosphoBarvar-2, AzotoBarvar-1+ PotaBarvar-2 + PhosphoBarvar-2, HA and chemical fertilizer. The traits that were evaluated included yield, biomass, leaf area, photosynthetic pigments, phenol, flavonoid, vitamin C, carbohydrate, nitrate, phosphorus, and potassium content.

**Results:** The results of ANOVA showed that the effect of all fertilizer sources on the characteristics investigated was significant. Using HA resulted in the highest yield, biomass, carotenoid, phenol, vitamin C, nitrate, and potassium content. The maximum chlorophyll a and total chlorophyll were observed using the biofertilizer AzotoBarvar-1. Maximum content of carbohydrate, chlorophyll b, flavonoid, phosphorus, and leaf area was recorded in PhosphoBarvar-2, AzotoBarvar-1 + PotaBarvar-2, AzotoBarvar-1 + PhosphoBarvar-2, PotaBarvar-2 + PhosphoBarvar-2, and chemical treatments, respectively.

**Conclusion:** The positive effect of biofertilizers and HA on the improvement of rocket plants growth, physiological, and qualitative traits was observed in this research. As a result, this type of fertilizers can be used as one of the most desirable methods to substitute or reduce the use of chemical inputs with the aim of improving soil fertility, producing a healthy crop and also maintaining environmental sustainability for the production of this beneficial leafy vegetable.

**Keywords:** Biological Fertilizer, Healthy Crop, Organic Fertilizer, Plant Growth-Promoting Bacteria, Yield

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2025 Aliakbar Mozafari E-mail: a.mozafari@uok.ac.ir and E-mail:b.sarabi@uok.ac.ir Behrooz Sarabi
http://doi.org/ 10.22034/saps.2024.57922.3094

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحات ۴۰-۲۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

# ارزیابی کاربرد کودهای زیستی، اسید هیومیک و شیمیایی بر برخی صفات رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی سبزی برگی منداب (*Eruca sativa* L.)

سروه طهماسبی[۱]، علی اکبر مظفری[۲و۳*]، ناصر قادری[۲]، بهروز سرابی[۲و۳*]

| تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷ | تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹ |
|---|---|

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران
۲- استاد، دانشیار، استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران
۳- مرکز پژوهشی اصلاح و توسعه گیاهان دارویی، دانشگاه کردستان، سنندج، کردستان، ایران
* مسئول مکاتبه: a.mozafari@uok.ac.ir و E-mail: b.sarabi@uok.ac.ir

**چکیده**

**مقدمه و اهداف:** در سیستم‌های کشاورزی پایدار، انواع مختلفی از کودهای زیستی و آلی از جمله باکتری‌های محرک رشد گیاه و اسید هیومیک وجود دارند که به عنوان جایگزینی مؤثر برای کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی مطرح شده‌اند. این کودها علاوه بر کاهش مشکلات زیست‌محیطی جدی، می‌توانند آثار منفی بر سلامت انسان را نیز به حداقل برسانند. این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی، اسید هیومیک و کود شیمیایی بر برخی ویژگی‌های رشدی، صفات فیزیولوژیکی و کیفی سبزی برگی منداب طراحی گردید.

**مواد و روش‌ها:** آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار در دانشگاه کردستان اجرا گردید. تیمارها شامل شاهد (بدون مصرف کود)، ازتوبارور-۱، پتابارور-۲، فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، پتابارور- ۲ + فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، اسید هیومیک و کود شیمیایی بودند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد، بیوماس، سطح برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی، محتوای فنل، فلاونوئید، ویتامین ث، کربوهیدرات، نیترات، فسفر و پتاسیم بود.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر همه منابع کودی بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار شده است. بیشترین عملکرد، بیوماس، محتوای کاروتنوئید، فنل، ویتامین ث، نیترات و پتاسیم همراه با کاربرد اسید هیومیک بدست آمد. بیشترین محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل با استفاده از کود زیستی ازتوبارور-۱ مشاهده شد. حداکثر کربوهیدرات، کلروفیل b، فلاونوئید، فسفر و سطح برگ به ترتیب در تیمارهای فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، ازتوبارور-۱ + فسفاته-بارور-۲، پتابارور- ۲ + فسفاته‌بارور-۲ و کود شیمیایی ثبت گردید.

**نتیجه‌گیری:** در این پژوهش تاثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی و اسید هیومیک بر بهبود صفات رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی گیاهان منداب مشاهده شد. بنابراین می‌توان با کاربرد این نوع کودها به عنوان یکی از مطلوب‌ترین روش‌ها برای جایگزینی و یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی با هدف بهبود حاصلخیزی خاک، تولید محصول سالم و همچنین حفظ پایداری محیط زیست جهت تولید این سبزی برگی فراسودمند اقدام نمود.

**واژه های کلیدی:** باکتری‌های محرک رشد گیاهی، عملکرد، کود آلی، کود زیستی، محصول سالم

**مقدمه**

منداب (*Eruca sativa* L.) سبزی برگی یک ساله و متعلق به تیره براسیکاسه است. این گیاه به صورت طبیعی در جنوب اروپا، شمال آفریقا و برخی نواحی آسیا شامل ایران، پاکستان، افغانستان و سوریه وجود دارد (گلکار و بختیاری ۲۰۲۰). این گیاه از زمان‌های دور بویژه در استان‌های شرقی کشور تا مازندران کشت شده است. همچنین در سالهای اخیر کشت منداب به عنوان کود سبز برای افزایش ماده آلی خاک از سوی سازمان جهاد کشاورزی به کشاورزان توصیه گردیده است (سیفی‌پور و همکاران ۲۰۲۱). ترکیبات فیتوشیمیایی اصلی این گیاه شامل فلاونوئیدها و فنل‌ها هستند که موجب خواص آنتی اکسیدانی آن می‌شوند. منداب همچنین به عنوان منبع مهمی از ویتامین‌های ث و آ، عناصر غذایی مثل کلسیم و آهن و همچنین ترکیبات اسید فولیک، گلوکوزینولات‌ها، ایزوتیوسیانات‌ها و کاروتنوئیدها است (گارگ و شارما ۲۰۱۴). ترکیبات طبیعی موجود در منداب دارای اثرات مفیدی روی سلامتی انسان از جمله کمک به بهبود درمان بیماری‌های قلبی-عروقی، کمک به هضم غذا، تقویت قوای جسمی، فعالیت‌های ضد میکروبی و همچنین درمان تکرر ادرار هستند (شارما و همکاران ۲۰۱۷).

کودهای شیمیایی از اجزای مهم در تولید محصولات کشاورزی هستند که تأثیر بسزایی بر تولید غذا در جهان دارند. اگرچه استفاده از کودهای شیمیایی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده مواد غذایی در جهان اجتناب ناپذیر است، اما وابستگی بیش از حد به کودهای شیمیایی برای تولید بیشتر محصولات زراعی، مشکلات جدی زیست محیطی و اثرات منفی بر سلامت انسان را به دنبال دارد (ماهانتی و همکاران ۲۰۱۷). به‌کارگیری اصول کشاورزی پایدار در اکوسیستم‌های زراعی از جمله راهکارهای کاهش مشکلات ناشی از کاربرد بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی می‌باشد و در حال حاضر رویکرد جهانی برای تولید گیاهان، استفاده از روش‌های مدیریتی پایدار و ارگانیک می‌باشد. در این راستا انواع مختلفی از کودهای آلی و زیستی وجود دارند که در سیستم‌های کشاورزی پایدار به عنوان جایگزینی برای کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی معرفی شده‌اند (نصیری و قادری ۲۰۲۳).

کاربرد کودهای ارگانیک از جمله کودهای زیستی که شامل باکتری‌های محرک رشد گیاهی[1] (PGPR) هستند و همچنین کود آلی اسید هیومیک می‌تواند به عنوان یک راهبرد در جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار در نظر گرفته شود. باکتری‌های موجود در کودهای زیستی از جمله باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و باکتری‌های حل کننده پتاسیم و فسفات سبب افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیزم‌های خاک، افزایش دسترسی به عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر و در نتیجه افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان می‌گردند (لی و همکاران ۲۰۲۳). اسید هیومیک یکی از مهمترین مواد آلی تشکیل دهنده خاک می‌باشد که در چرخه عناصر غذایی و کارکردهای اکولوژیکی خاک نقش مهمی دارد. همچنین اسید هیومیک بر روند تنفس سلولی، اسیدهای آمینه، محتوای کربوهیدرات و متابولیسم نیترات در گیاه تأثیر داشته و به دلیل دارا بودن فعالیت‌های شبه‌هورمونی، بر روند رشد و نمو در سلول‌های گیاهی دارای اثرات تحریک کننده می‌باشد. اسید هیومیک بر بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک از جمله بهبود ساختمان خاک و افزایش حلالیت ریز مغذی‌ها در خاک نیز موثر می‌باشد. اثرات مستقیم اسید هیومیک از طریق تأثیر روی فیزیولوژی گیاه از جمله تغییر در خصوصیات ریخت‌شناسی ریشه، بزرگ‌شدن سلول‌ها، رشد اندام‌ها، تحریک پمپ $H^+$-ATPases ریشه به منظور ایجاد شیب الکتروشیمیایی برای جهت عناصر صورت می‌گیرد (کانلاس و همکاران ۲۰۱۵).

تاثیر کودهای زیستی بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهان مختلف بررسی شده است. به عنوان مثال، نصیری و قادری (۲۰۲۳) بهبود عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی بادرشبی را با کاربرد کود زیستی

1. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

سوپرنیتروپلاس و اسید هیومیک گزارش کردند. امین-بیگی و همکاران (۲۰۲۳) نیز با کاربرد کودهای زیستی (فسفونیتروکارا + پتابارور-۲) افزایش قابل ملاحظه عملکرد خشک علوفه و همچنین میزان اسیدهای چرب دانه کاملینا را مشاهده کردند. به علاوه کارایی مصرف نیتروژن با استفاده از باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن همراه با کود دامی در کشت مخلوط شوید – شنبلیله افزایش نشان داده است (باباخانی و همکاران ۲۰۲۳). آختیاموا و همکاران (۲۰۲۳) هم با تلقیح ناحیه ریشه گیاهان گندم با باکتری‌های باسیلوس و سودوموناس، افرایش بیوماس، سطح برگ و محتوای کلروفیل را مشاهده کردند. پرز-گارسیا و همکاران (۲۰۲۳) نیز با تیمار بذرهای خیار با باکتری‌های محرک رشد گیاه از جمله باسیلوس و سودوموناس افزایش درصد جوانه-زنی، بنیه دانهال، طول ریشه‌چه و همچنین ترکیبات فیتوشیمیایی از جمله فنل‌ها و ظرفیت ضد اکسایشی را گزارش کردند.

اثرات مثبت کاربرد اسید هیومیک بر ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاهان مختلفی بررسی شده است. به عنوان مثال، الگوهری و همکاران (۲۰۲۳) بهبود صفات رشدی، ترکیب اسانس، عملکرد و تعداد شاخه را در دو واریته ریحان با کاربرد برگساره‌ای اسید هیومیک گزارش کردند. این نویسندگان نتیجه گرفتند که استفاده از این ماده آلی به عنوان یک کود سازگار با محیط زیست در تولید ریحان امیدبخش است. سیار و همکاران (۲۰۲۳) هم بهبود وزن تر و خشک بوته و همچنین ترکیبات اسانس را با کاربرد اسید هیومیک در ریحان مشاهده کردند. کاظمی و همکاران (۲۰۲۳) نیز گزارش کردند که استفاده از اسید هیومیک موجب افزایش تولید ترکیبات آلکالوئیدی در گیاه دارویی عروسک پشت پرده شده است. وفاعهد و همکاران (۲۰۲۴) هم افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک، عملکرد روغن و ارتفاع بوته را با استفاده از اسید هیومیک در گیاه دارویی سیاهدانه مشاهده کردند. این نویسندگان استفاده از این کود آلی را به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی توصیه نمودند. افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، کلسیم، آهن، محتوای کلروفیل کل، طول برگ، وزن تر و خشک ریشه در گل نرگس همراه با کاربرد اسید هیومیک نیز گزارش شده است (اکبرپور و همکاران ۲۰۲۲).

با توجه به اینکه این محصول به عنوان یک سبزی برگی پرطرفدار در کشورهای اروپایی شناخته شده است و همچنین در اقلیم کردستان عراق هم مورد مصرف قرار می‌گیرد، لذا می‌توان با ترویج و معرفی کشت این گیاه در میان کشاورزان کشور در جهت افزایش سطح زیر کشت، مصرف داخلی و همچنین صادرات و ارزآوری این سبزی فراسودمند اقدام نمود. همچنین با در نظر گرفتن اثرات منفی مصرف نهاده‌های شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی و آسیب‌های زیست محیطی آن، کاربرد نهاده‌های زیستی و آلی از جمله باکتری‌های محرک رشد و اسید هیومیک مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش، بررسی اثر کاربرد منابع مختلف کودی شامل کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، باکتری‌های حل کننده پتاسیم و فسفات و همچنین اسید هیومیک و کود شیمیایی بر رشد و برخی صفات فیزیوژیک و کیفی گیاه منداب در راستای تحقق اهداف کشاورزی پایدار بود.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان اجرا شد. در این آزمایش بذرهای گیاه منداب از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید. بذرهای منداب در جعبه‌های کشت با ابعاد ۱۵×۳۰×۲۰ سانتیمتر حاوی خاک کشت گردیدند. بستر مورد استفاده از عمق ۲۰-۰ سانتیمتری خاک باغچه تهیه گردید. بافت خاک به صورت لومی‌شنی، pH ۷/۱، هدایت الکتریکی ۱/۹ دسی زیمنس بر متر و حاوی ۰/۰۸ درصد نیتروژن، ۱۵ پی‌پی‌ام فسفر و ۱۶۴ پی‌پی‌ام پتاسیم بود. گیاهان در گلخانه تحت نور طبیعی و دمای روز و شب ۳۰-۱۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی روز و شب بین ۵۵ و ۷۵ درصد و طول روز طبیعی رشد کردند.

به منظور بررسی اثر انواع مختلف کودهای زیستی، اسید هیومیک و کود شیمیایی بر گیاه منداب آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار و در سه تکرار (هر

تکرار شامل چهار جعبه کشت) طراحی گردید. هر جعبه کشت هم دارای ۱۵ بوته بود (۶۰ بوته به ازای هر تیمار) . تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (بدون مصرف کودهای زیستی، آلی و کود شیمیایی)، ازتوبارور-۱، پتابارور-۲، فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، پتابارور- ۲ + فسفاته‌بارور-۲، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته-بارور-۲، اسید هیومیک و کود شیمیایی بودند. در این پژوهش کودهای زیستی (شرکت زیست فناور سبز) شامل ازتوبارور-۱، پتابارور-۲ و فسفاته بارور-۲ به دو صورت تلقیح بذر (بذر مال) قبل از کشت و همچنین به‌صورت کود آبیاری به میزان ۱۰۰ گرم در هکتار (بر اساس غلظت‌های توصیه شده توسط شرکت سازنده) اعمال گردیدند. بر این اساس کودهای زیستی در ۴ مرحله در اختیار گیاهان قرار گرفتند. مرحله‌ی اول به صورت بذر مال، مرحله‌ی دوم همراه با ظهور ۲ برگ حقیقی، مرحله‌ی سوم همراه با ظهور ۴ برگ حقیقی و مرحله‌ی چهارم همراه با ظهور ۶ برگ حقیقی اعمال گردید (پرچیانلو و همکاران ۲۰۱۹، باباخانی و همکاران ۲۰۲۳). اسید هیومیک (شرکت Eurosolids، هلند) نیز به‌صورت کود آبیاری به غلظت ۳۰۰ پی‌پی‌ام در سه نوبت و بعد از ظهور دو برگ حقیقی در اختیار گیاهان قرار گرفت. ترکیب اسید هیومیک مورد استفاده به صورت ٪۶۰< اسید هیومیک، ۳-۱ درصد اسید فولویک، ۷/۵ درصد اکسید پتاسیم، ۲/۲-۱/۲ درصد نیتروژن آلی و ٪۴۰< خاکستر بود. استفاده از کودهای شیمیایی بر اساس نتایج آنالیز خاک و توصیه کودی از منابع اوره، سوپرفسفات تریپل و نیترات پتاسیم صورت گرفت. کودهای فسفره (۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و پتاسیم (۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در مرحله آماده سازی بستر به خاک اضافه شدند. کود اوره (۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) هم در دو نوبت (زمان آماده سازی و دو هفته بعد از کشت بذرها) مصرف شد.

ارزیابی صفات رشدی، فیزیولوژیکی و کیفی گیاهان قبل از ورود به مرحله گلدهی (۳۵ روز بعد از کشت بذر) انجام گردید. در این زمینه، اندام هوایی همراه با ریشه به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک و بعد از توزین به عنوان وزن بیوماس در نظر گرفته شد. سطح برگ بوته‌ها نیز با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل Lam 2000) تعیین گردید. عملکرد هم با توزین وزن تازه اندام هوایی شامل برگ و دمبرگ بدست آمد.

جهت اندازه گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش لیچتنتالر و بوشمن (۲۰۰۱) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد. بدین منظور میزان جذب عصاره استونی برگ‌ها در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ قرائت و محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید بر اساس فرمول‌های مربوطه محاسبه گردید. محتوای کربوهیدارت‌های محلول کل برگ به روش ایریگوین و همکاران (۱۹۹۲) در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت و با استفاده از منحنی استاندارد بدست آمده از غلظت‌های مشخص گلوکز بر حسب میلی‌گرم در گرم بافت تازه برگ بیان گردید. جهت سنجش محتوای فنل کل از روش فولین – سیکالتیو استفاده گردید و به وسیله منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مشخص اسید گالیک، غلظت فنل کل در طول موج ۷۵۰ نانومتر قرائت گردید (اسلینکارد و سینگلتون ۱۹۷۷). میزان فلاونوئید نیز بر اساس رنگ-سنجی کلرید آلومینیوم و در طول موج ۵۱۰ نانومتر بر اساس غلظت‌های مختلف کوئرستین و روش پارک و همکاران (۲۰۰۸) محاسبه شد. اندازه‌گیری نیترات بر اساس روش کاتالدو و همکاران (۱۹۷۵) و با استفاده از اسید سولفوسالیسیلیک – سود انجام گردید. مقدار جذب عصاره بدست آمده در طول موج ۴۱۰ نانومتر قرائت شد. برای تعیین غلظت فسفر نمونه‌ها از معرف نیتروواناداومولیبدات استفاده گردید و میزان فسفر در طول موج ۴۳۰ نانومتر و با استفاده از غلظت‌های مختلف پتاسیم‌دی‌هیدروژن فسفات قرائت شد (امامی ۱۹۹۶). برای تعیین غلظت پتاسیم نیز بعد از هضم خاکستر نمونه‌ها با استفاده از اسید کلریدریک دو نرمال، از دستگاه شعله‌سنجی استفاده شد (علائی و تفضلی ۲۰۱۲). تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد

و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### خصوصیات رشد

تاثیر کاربرد کودهای مختلف بر بیوماس، سطح برگ و عملکرد گیاهان منداب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده بود و افزایش معنی‌دار در این صفات همراه با استفاده از کودهای زیستی، اسید هیومیک و شیمیایی در مقایسه با شرایط شاهد مشاهده گردید (جدول ۱). حداکثر افزایش معنی‌دار بیوماس گیاهان به ترتیب تحت تیمارهای اسید هیومیک (۵۸/۴ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ و همچنین ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۵/۹-۴۴/۷ درصد) در مقایسه با شرایط شاهد ثبت شد. حداکثر افزایش سطح برگ به ترتیب با استفاده از کود شیمیایی (۵۰/۹ درصد) و اسید هیومیک (۴۷/۵ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد گزارش گردید. بیشترین افزایش معنی‌دار عملکرد هم به ترتیب با استفاده از اسید هیومیک (۹/۱ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۵/۹ درصد) نسبت به شرایط شاهد مشاهده شد.

مواد هیومیکی به عنوان بخش آلی مهم خاک اثرات مثبتی بر رشد ریشه و اندام هوایی، بیوماس و عملکرد گیاهان دارند. این ترکیبات از نظر شیمیایی فعال بوده و به دلیل ظرفیت بالای تبادل کاتیونی نقش مهمی در تامین عناصر غذایی برای گیاهان دارند. در این راستا یک مطالعه مروری، افزایش جذب عناصر معدنی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در تعداد زیادی از گیاهان را همراه با کاربرد اسید هیومیک نشان داد (ورلیندن و همکاران ۲۰۰۹). د کاسترو و همکاران (۲۰۲۱) هم گزارش کردند که گروه‌های آروماتیک و آلیفاتیک موجود در اسید هیومیک موجب افزایش جذب نیتروژن، قندهای محلول و افزایش عملکرد برنج شده است.

استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاهی به عنوان یک راهکار مناسب برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان در نظر گرفته می‌شود، چرا که این میکروارگانیسم‌ها تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را کنترل می‌کنند، موجب حل شدن عناصر رسوب یافته می‌شوند. در گیاهان تیمار شده با کودهای زیستی بهبود فتوسنتز، افزایش هدایت روزنه‌ای و تحریک سنتز روبیسکو دیده شده است که در نهایت موجب افزایش کارایی استفاده از دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای و کربوکسیلاسیون می‌گردد. این میکروارگانیسم‌ها به احتمال زیاد موجب توسعه بیشتر ریشه، جذب بیشتر آب، بهبود روابط آبی گیاه و همچنین جذب عناصر ضروری می‌شوند (ویتال و همکاران ۲۰۲۳). ساغر و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند که افزایش رشد و عملکرد ناشی از کود زیستی ازتوباکتر می‌تواند ناشی از بیوسنتز مواد فعال بیولوژیکی، تحریک میکروارگانیسم‌های ناحیه ریشه، تولید مهارکننده‌های پاتوژن گیاهی و بهبود دسترسی عناصر معدنی از طریق معدنی شدن مواد آلی خاک باشد. پن و همکاران (۲۰۲۳) نیز با کاربرد دو سویه از باکتری‌های باسیلوس، افزایش قابل توجه رشد، بیوماس و عملکرد را در برنج گزارش کردند. این نویسندگان همچنین افزایش دسترسی فسفر و منیزیم ناحیه ریزوسفر و فراوانی ریزوباکتری‌های مفید را مشاهده و نتایج بدست آمده را ناشی از توانایی این باکتری‌ها در ترشح هورمون‌های گیاهی و آنزیم‌های خاک بیان کردند. لیو و همکاران (۲۰۲۲) هم با استخراج یک محرک رشد گیاهی به اسم گوورمکتین[1] از باکتری‌های محرک رشد گیاهی، افزایش رشد ریشه و عملکرد برنج را ثبت نمودند.

1. Guvermectin

**جدول ۱ - مقایسه میانگین مربوط به اثر منابع مختلف کودی بر سطح برگ، بیوماس، عملکرد، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید گیاهان منداب**

| تیمار | سطح برگ ($cm^2$/plant) | بیوماس (g/plant) | عملکرد ($g/m^2$) | کلروفیل a (mg/g FW) | کلروفیل b (mg/gFW) | کلروفیل کل (mg/g FW) | کاروتنوئید (mg/g FW) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | ۲۰/۷۵ g | ۲/۰۳ d | ۳۶۶/۱ e | ۰/۴۱۴ e | ۰/۱۲۶ e | ۰/۵۴ g | ۰/۳۳ d |
| T2 | ۳۴/۹۶ bc | ۳/۴۸ bc | ۳۸۲/۵ bc | ۰/۸۳۲ a | ۰/۲۶۴ ab | ۱/۰۹۵ a | ۰/۶۶ ab |
| T3 | ۲۴/۴۷ ef | ۲/۹۶ c | ۳۷۱/۹ de | ۰/۴۳۷ de | ۰/۱۴۱ e | ۰/۵۷۳ g | ۰/۳۹ cd |
| T4 | ۲۶/۹۹ ef | ۳/۲۴ bc | ۳۸۲/۳ bc | ۰/۶۶۱ c | ۰/۲۰۹ bc | ۰/۸۷۱ cd | ۰/۵۲ bc |
| T5 | ۳۳/۲ cd | ۳/۷۴ b | ۳۸۹/۳ b | ۰/۶۸۴ bc | ۰/۲۸۱ a | ۰/۹۶۵ bc | ۰/۶۶ ab |
| T6 | ۲۶/۳۸ ef | ۳/۶۷ b | ۳۸۲/۸ bc | ۰/۶۱۳ c | ۰/۱۵۴ de | ۰/۷۶۷ ef | ۰/۵۳ a-c |
| T7 | ۲۳/۶۵ f | ۲/۲ d | ۳۷۰/۱ de | ۰/۶۸۲ bc | ۰/۲۰۴ cd | ۰/۸۸۶ cd | ۰/۵۹ ab |
| T8 | ۲۸/۷۷ de | ۲/۴ d | ۳۷۳/۵ de | ۰/۶۰۵ c | ۰/۲۱۹ bc | ۰/۸۲۴ de | ۰/۴۹ b-d |
| T9 | ۳۹/۵۴ ab | ۴/۸۷ a | ۴۰۲/۷ a | ۰/۷۶۳ ab | ۰/۲۲۵ bc | ۰/۹۸۷ b | ۰/۷۱ a |
| T10 | ۴۲/۲۳ a | ۳/۰۴ c | ۳۷۷/۴ cd | ۰/۵۰۸ d | ۰/۱۹۸ cd | ۰/۷۰۵ f | ۰/۴۰ cd |
| سطح معنی‌داری | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| ضریب تغییرات (٪) | ۹/۹۶ | ۹/۹۳ | ۷/۳ | ۸/۵۶ | ۱۶ | ۶/۷۶ | ۱۹/۵۶ |

T1: شاهد، T2: ازتوبارور-۱، T3: پتابارور-۲، T4: فسفاته‌بارور-۲، T5: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، T6: ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، T7: پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، T8: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته¬بارور-۲، T9: اسید هیومیک، T10: کود شیمیایی. میانگین صفات که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

**رنگیزه‌های فتوسنتزی**

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها، تاثیر معنی‌دار کاربرد منابع مختلف کودی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۱). منابع مختلف کودی موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به شرایط شاهد شده بودند. بر این اساس بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل a به ترتیب همراه با کاربرد ازتوبارور-۱ (۵۰/۲ درصد) و اسید هیومیک (۴۵/۷ درصد) ثبت گردید. بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل b هم به ترتیب با استفاده از کودهای ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۵۵/۲ درصد) و ازتوبارور-۱ (۵۲/۳ درصد) بدست آمد. همچنین حداکثر افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل هم به ترتیب در تیمارهای ازتوبارور-۱ (۵۰/۷ درصد) و اسید هیومیک (۴۵/۳ درصد) مشاهده شد. با کاربرد اسید هیومیک (۵۲/۹ درصد)، ازتوبارور-۱ (۴۹/۶ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۴۹/۶ درصد) و پتابارور-۲ + فسفاته-بارور-۲ (۴۳/۸ درصد) هم بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئید ثبت گردید.

مواد هیومیکی با افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در مسیر آسیمیلاسیون نیتروژن می‌توانند موجب بهبود جذب نیتروژن به عنوان یکی از عناصر دخیل در بیوسنتز کلروفیل شوند (هرناندز و همکاران، ۲۰۱۵). در یک بررسی مشابه، اسید هیومیک با افزایش جذب عنصر نیتروژن موجب افزایش کلروفیل برگ خیار گردیده است (دا بینگ و همکاران ۲۰۱۲). همچنین فن و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش محتوای کلروفیل و بهبود ساختار تیلاکوئیدها در گیاه گل داوودی شده است که در نهایت افزایش نسبت جذب فوتون، انتقال و تبدیل آن در کلروپلاست و همچنین افزایش میزان فتوسنتز را به دنبال داشته است. این نویسندگان بیان نمودند که مکانیسم‌های مرتبط با بهبود محتوای کلروفیل و همچنین ساختار کلروپلاست ناشی از کاربرد اسید هیومیک هنوز به خوبی شناخته نشده است و نیازمند مطالعات بیشتر برای درک بهتر است. بر اساس مطالعات مختلف، باکتری‌های موجود در کودهای زیستی موجب تولید مقادیر قابل توجهی اکسین و سیتوکینین

می‌شوند که موجب گسترش ریشه، افزایش سطح ریشه-های موئین و جذب بیش‌تر عناصر غذایی از جمله عناصر مورد نیاز در بیوسنتز کلروفیل (آهن، منیزیم و نیتروژن) از خاک می‌شوند (ساغر و همکاران ۲۰۲۲). مشابه با نتایج تحقیق فعلی، اثرات مثبت کاربرد کودهای زیستی در افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در محصولات گوناگون گزارش شده است. به عنوان مثال، پرچیانلو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تیمار تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوسولفور حداکثر محتوای کلروفیل a را در برگ‌های عروسک پشت‌پرده مشاهده نمودند. ساغر و همکاران (۲۰۲۲) هم بیان نمودند که کود زیستی حاوی ازتوباکتر توانایی حل نمودن پتاسیم خاک و جذب آن توسط گیاه را نیز دارد. نجفی زیلایی و همکاران (۲۰۲۳) نیز افزایش محتوای کلروفیل کل را در سه گونه گیاه بیابانی (*H. aphyllum*، *N. schoberi* و *S. rosmarinus*) همراه با کاربرد دو سویه از باکتری-های محرک رشد گیاهی (*B. pumilus* و *Z. halotolerans*) گزارش کردند. این محققین بیان نمودند که افزایش محتوای کلروفیل ممکن است به دلیل توانایی این باکتری‌ها برای تولید سیدروفورها، اکسین و همچینن توانایی آنها برای افزایش جذب عناصر مورد نیاز در ساختار کلروفیل مثل منگنز و منیزیم باشد. گزارش شده است که سیدروفورها تمایل زیادی برای جذب آهن سه ظرفیتی که یک عنصر ضروری برای ساختار کلروفیل است، دارند (سانتویو و همکاران ۲۰۱۹).

**ویژگی‌های کیفی**

تاثیر تیمارهای مورد استفاده بر محتوای کربوهیدرات، فنل، فلاونوئید و ویتامین ث برگ‌های منداب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شده بود (جدول ۲ و شکل ۱). همراه با کاربرد انواع کودها، افزایش محتوای این ترکیبات نسبت به شرایط شاهد مشاهده گردید. بر این اساس، حداکثر افزایش معنی‌دار محتوای فنل به ترتیب با استفاده از اسید هیومیک (۴۶/۹ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۴/۳ درصد)، کود شیمیایی (۴۳/۹ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۴۰ درصد) اتفاق افتاده بود. بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای کربوهیدرات به ترتیب در تیمارهای فسفاته‌بارور-۲ (۴۱/۸ درصد)، پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۳۹ درصد) و ازتوبارور-۱ + فسفاته-بارور-۲ (۲۴/۳ درصد) در مقایسه با شرایط شاهد مشاهده شد. همچنین به غیر از تیمار پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، در همه تیمارهای کودی افزایش معنی-دار محتوای فلاونوئید نسبت به شرایط شاهد بدست آمد. به نحوی که ترکیب ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲ (۶۳ درصد)، اسید هیومیک (۵۹/۶ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۹/۳ درصد) بیشترین افزایش محتوای فلاونوئید را در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. بیشترین افزایش معنی‌دار محتوای ویتامین ث هم به ترتیب همراه با کاربرد اسید هیومیک (۴۶/۶ درصد)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۴۴/۵ درصد)، کود شیمیایی (۳۶/۲ درصد)، ازتوبارور-۱ (۳۵/۸ درصد) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۳۴/۹ درصد) نسبت به تیمار شاهد ثبت گردید. گزارش شده است که ترکیبات هیومیکی به عنوان پیش‌ساز یا فعال-کننده تولید ترکیبات ثانویه در گیاهان عمل می‌کنند و در نتیجه می‌توانند موجب افزایش تولید ترکیبات پلی‌فنلی گردند (نارگی و همکاران ۲۰۲۲). ترکیبات فنلی از مسیر فنیل پروپانوئید تشکیل می‌شوند که آغازگر این مسیر آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز[1] (PAL) است. یکی از کارکردهای ترکیبات هیومیکی افزایش بیان ژن آنزیم PAL می‌باشد (شیاوون و همکاران ۲۰۱۰). مشابه با نتایج مطالعه حاضر، افزایش محتوای فنل، فلاونوئید و ویتامین ث در منداب همراه با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است (سرابی و همکاران ۲۰۲۲).

همان طور که بیان شد همراه با کاربرد کود شیمیایی افزایش قابل ملاحظه در محتوای کربوهیدرات، فنل، فلاونوئید و ویتامین ث در گیاهان منداب اتفاق افتاده بود. در این راستا، ملکوتی (۲۰۰۰) بیان نمود که کودهای شیمیایی قادر هستند عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را بهتر و آسانتر از سایر کودها در اختیار گیاهان قرار دهند. در این زمینه، فسفر نقش مهمی در تنظیم فتوسنتز، فرآیند تولید و انتقال انرژی دارد و پتاسیم نیز تقریباً در بیشتر فرآیندهای متابولیسمی گیاه دارای نقش‌های متعددی از جمله فعال کردن آنزیم‌ها (به عنوان کوآنزیم)، حرکات روزنه‌ای، فتوسنتز و تعادل یونی است. همچنین به دلیل اینکه عمده ترکیبات رنگیزه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند، به این دلیل استفاده از

1. Phenylalanine Ammonia-Lyase

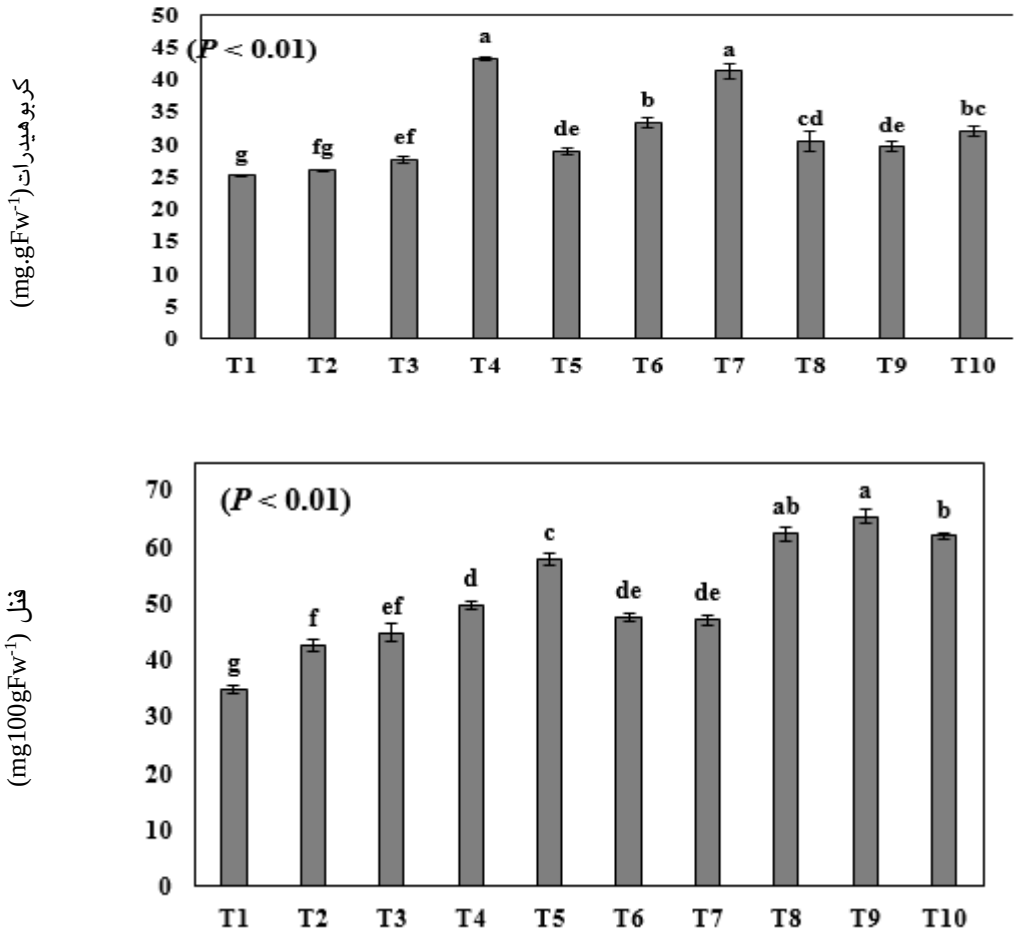
کودهای نیتروژن می‌توانند تا حد زیادی منجر به افزایش محتوای آنها و در نهایت افزایش فتوسنتز در گیاه گردد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با کاربرد کودهای شیمیایی افزایش محتوای کربوهیدرات‌ها به عنوان محصول اولیه فتوسنتز افزایش پیدا کند.

در این آزمایش محتوای فنل، فلاونوئید و ویتامین ث برگ‌های منداب همراه با استفاده از کودهای زیستی به صورت مجزا و یا ترکیبی نیز افزایش قابل توجهی یافته بود. در بررسی مشابهی افزایش محتوای فنل و آنتوسیانین در گیاه دارویی عروسک پشت پرده همراه با کاربرد کود زیستی نیتروکسین (حاوی باکتری ازتوباکتر) گزارش شده است (پرچیانلو و همکاران ۲۰۱۹). همچنین کرمی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از کودهای زیستی ازتوبارور + پتابارور افزایش محتوای قندهای احیاکننده را در برگ‌های توتون نرعقیم گزارش کردند. بلندنظر و همکاران (۲۰۱۹) هم تاثیر مثبت کودهای زیستی بر خصوصیات کیفی تره ایرانی از جمله محتوای پلی‌فنل‌ها و ویتامین ث را گزارش کردند. در توجیه این نتایج می‌توان بیان نمود که این باکتری‌ها در محیط ریشه توانایی ساخت و ترشح مواد زیستی فعال از جمله ویتامین‌ها و محرک‌های رشد گیاهی را دارند که این ترکیبات در توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و بهبود جذب آب، عناصر غذایی، فتوسنتز و در نهایت افزایش محتوای ماده آلی از جمله کربوهیدرات‌ها در گیاه نقش دارند. از آنجایی که کربوهیدرات‌ها از واحدهای ساختمانی مورد نیاز برای سنتز ترکیبات فنلی هستند، افزایش مقدار آنها می‌تواند به معنای افزایش محتوای ترکیبات فنلی باشد (نرگسی و همکاران ۲۰۲۲). در این راستا، یک رابطه رگرسیونی مثبت میان افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل با ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و ویتامین ث تحت کاربرد منابع مختلف کودی مشاهده گردید (شکل ۲). بنابراین افزایش این ترکیبات در تیمارهای کودی مورد استفاده در این بررسی می‌تواند در نتیجه افزایش کربوهیدرات‌های محلول کل باشد.

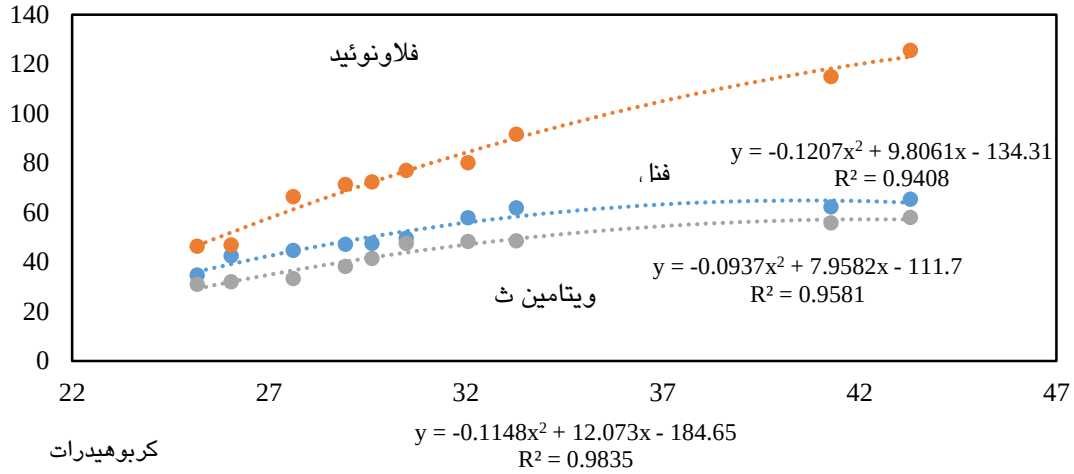
**جدول ۲ – مقایسه میانگین مربوط به اثر منابع مختلف کودی بر محتوای فلاونوئید، ویتامین ث، نیترات، فسفر و پتاسیم گیاهان منداب**

| تیمار | فلاونوئید ($mg.100gFW^{-1}$) | ویتامین ث (mg/kg) | نیترات (mg/kg) | فسفر (g/kg) | پتاسیم (g/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| T1 | ۴۶/۴۸ g | ۳۱ d | ۹۵۰/۸ g | ۲/۰۵ f | ۱۷/۳۲ g |
| T2 | ۷۱/۴۵ ef | ۴۸/۳ ab | ۲۷۲۶/۸ c | ۲/۲ ef | ۱۷/۵۹ g |
| T3 | ۷۷/۱ de | ۴۱/۵ b-d | ۱۱۸۴/۴ f | ۲/۳۷ ef | ۲۶/۰۳ c |
| T4 | ۶۶/۴۳ f | ۳۲ d | ۱۱۹۳/۲ f | ۲/۹۶ d | ۲۱/۱۹ f |
| T5 | ۷۲/۴۲ ef | ۴۷/۶ a-c | ۲۵۱۰/۸ d | ۲/۲۲ ef | ۳۱/۴۳ b |
| T6 | ۱۲۵/۶ a | ۳۸/۳ b-d | ۱۳۱۲ e | ۲/۴۹ e | ۱۷/۵ g |
| T7 | ۴۶/۹۳ g | ۳۳/۳ cd | ۱۳۵۱/۶ e | ۳/۷۱ a | ۲۶/۱۴ c |
| T8 | ۹۱/۷۱ c | ۵۵/۹ a | ۲۹۱۲ b | ۳/۲۵ c | ۲۲/۱ e |
| T9 | ۱۱۴/۹۲ b | ۵۸ a | ۳۶۶۵/۶ a | ۳/۵۶ b | ۳۷/۲۲ a |
| T10 | ۸۰/۲ d | ۴۸/۶ ab | ۱۳۷۴ e | ۲/۳۸ ef | ۲۲/۴۹ d |
| سطح معنی‌داری | ** | ** | ** | ** | ** |
| ضریب تغییرات (٪) | ۵/۵۷ | ۱۹/۴۸ | ۳/۰۶ | ۸/۴۸ | ۸/۳ |

T1: شاهد، T2: ازتوبارور-۱، T3: پتابارور-۲، T4: فسفاته‌بارور-۲، T5: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، T6: ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، T7: پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، T8: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته¬بارور-۲، T9: اسید هیومیک، T10: کود شیمیایی. میانگین صفات که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.




**شکل ۱- مقایسه میانگین مربوط به اثر منابع مختلف کودی بر روی محتوای کربوهیدرات‌های محلول و فنل گیاهان مناداب**. T1: شاهد، T2: ازتوبارور-۱، T3: پتابارور-۲، T4: فسفاته‌بارور-۲، T5: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲، T6: ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲، T7: پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲، T8: ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته¬بارور-۲، T9: اسید هیومیک، T10: کود شیمیایی. ستون‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.




**شکل ۲ – رابطه رگرسیونی محتوای کربوهیدرات با محتوای فنل، فلاونوئید و ویتامین ث گیاهان مناداب تحت تیمارهای مختلف کودی**

**محتوای نیترات، فسفر و پتاسیم**

تحت تیمارهای استفاده شده، محتوای نیترات، فسفر و پتاسیم در مقایسه با شرایط شاهد افزایش یافته بود (جدول ۲). بیشترین افزایش محتوای نیترات به ترتیب در تیمارهای اسید هیومیک (۳/۹ برابر)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۳/۱ برابر)، ازتوبارور-۱ (۲/۹ برابر) و ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۲/۶ برابر) نسبت به شرایط شاهد مشاهده شد (معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد). بیشترین افزایش محتوای فسفر به ترتیب در تیمارهای پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۸۱ برابر)، اسید هیومیک (۱/۷۴ برابر)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۵۹ برابر)، فسفاته-بارور-۲ (۱/۴۴ برابر) و ازتوبارور-۱ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۲۱ برابر) ثبت گردید (معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد). بیشترین افزایش محتوای پتاسیم هم به ترتیب در تیمارهای اسید هیومیک (۲/۱۵ برابر)، ازتوبارور-۱ + پتابارور-۲ (۱/۸۱ برابر)، پتابارور-۲ + فسفاته‌بارور-۲ (۱/۵۱ برابر) و پتابارور-۲ (۱/۵ برابر) بدست آمد (معنی-دار در سطح احتمال ۹۹ درصد).

در این آزمایش کاربرد اسید هیومیک به صورت قابل توجهی موجب افزایش محتوای نیترات، فسفر و پتاسیم برگ‌های منداب گردیده بود. مواد هیومیکی در بهبود حاصلخیزی، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک نقش دارند. از مهم‌ترین اثرات این محرک زیستی می‌توان به بهبود تغذیه ریشه از طریق مکانیسم‌های مختلف اشاره نمود. یکی از این مکانیسم‌ها افزایش جذب عناصر ماکرو و میکرو به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (ناشی از ویژگی پلی‌آنیونی اسید هیومیک) و همچنین افزایش دسترسی فسفر ناشی از تداخل این ماده آلی در جلوگیری از تشکیل رسوب فسفات کلسیم است. نقش دیگر مواد هیومیکی در تغذیه ریشه، به دلیل تحریک پمپ $H^+$-ATPase غشای پلاسمایی است که انرژی ناشی از هیدرولیز ATP را به پتانسیل الکتروشیمیایی برای ورود عناصر غذایی تبدیل می‌کند (کانلاس و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعات مشابهی، کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش محتوای نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گوجه‌فرنگی (اسری و همکاران ۲۰۱۵) و محتوای پتاسیم در توت‌فرنگی (سیدیمرادی و همکاران ۲۰۱۹) شده است که با نتایج بدست آمده در این پژوهش مطابقت می‌کند.

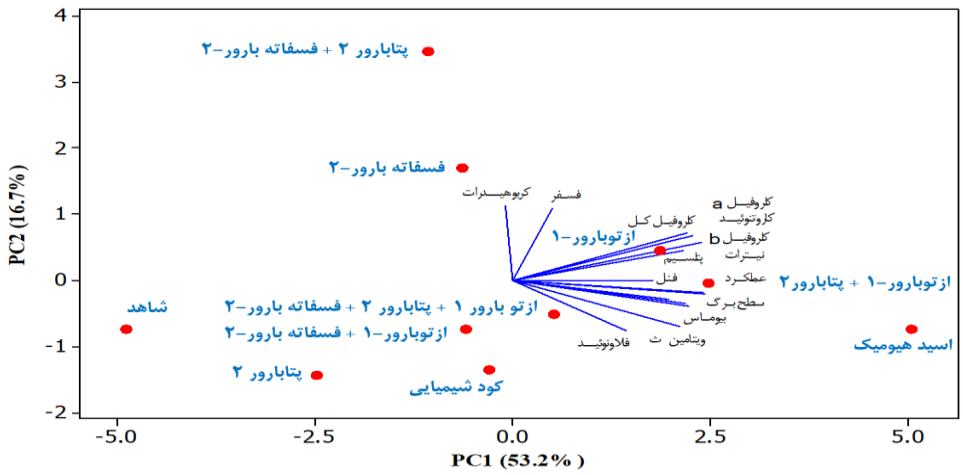
گزارش شده است که میکروارگانیسم‌های زنده موجود در کودهای زیستی از طریق تثبیت نیتروژن و وآزادسازی عناصر مورد نیاز گیاه از جمله فسفر و پتاسیم از ترکیبات نامحلول آن‌ها در خاک، مواد غذایی را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (راشل و سیریشا ۲۰۱۶). همچنین این باکتری‌ها از طریق آزادسازی هورمونهای گیاهی شامل اسید جیبرلیک، سیتوکینین و همچنین اکسین، ترشح مواد بیولوژیکی فعال از جمله ویتامین‌های گروه B، بیوتین و اسیدپنتوتنیک زمینه گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه را فراهم کرده که در نهایت افزایش جذب عناصر غذایی، فتوسنتز و رشد را باعث می‌شوند (برومند و همکاران ۲۰۲۰). در بررسی-های مشابهی، سهیل و همکاران (۲۰۲۳) با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Bacillus subtilis* and *Bacillus velezensis*) در گیاه خردل تحت تنش خشکی، افزایش نیتروژن، پتاسیم و فسفر را مشاهده نمودند. همچنین آدیکاری و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از ریزوباکتریوم *Pseudomonas* افزایش کارایی مصرف فسفر را در سویا گزارش کردند. داسگان و همکاران (۲۰۲۲) هم افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و برخی عناصر غذایی دیگر را با استفاده از کودهای زیستی (حاوی باکتری‌های *Bacillus* و *Pseudomonas*، میکروجلبک و مایکوریزا) در ریحان و تحت کشت هیدروپونیک (به صورت کشت شناور) ثبت کردند.

با توجه به اینکه منداب از سبزی‌های برگی است که تجمع نیترات بالایی در آن اتفاق می‌افتد و اینکه مصرف محصولات با محتوای بالای نیترات می‌تواند برای سلامتی انسان مشکلات جدی را ایجاد کند، ولی در آزمایش فعلی محتوای نیترات برگ‌های منداب تحت کاربرد منابع مختلف کودی، در رنج ۳۶۶۵/۶-۹۵۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر بود. در این راستا، حداکثر مجار محتوای نیترات برگ‌های منداب بر اساس استاندارد

اتحادیه اروپا (شماره ۱۲۵۸/۲۰۱۱) در رنج ۶۰۰۰ میلی-گرم در کیلوگرم وزن تر (برای کشت‌های بهاره) و ۷۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر (برای کشت‌های زمستان) تعیین شده است (کلا و همکاران ۲۰۱۸). پس می‌توان نتیجه گرفت که با کاربرد همه منابع کودی مورد مطالعه در این آزمایش و در شرایط کشت مشابه، این سبزی ارزشمند را می‌توان به عنوان یک محصول سالم در اختیار مصرف‌کننده قرار داد و همچنین در جهت صادرات آن بر اساس استانداردهای موجود اقدام نمود.

نمودار بای‌پلات صفات مورد بررسی بر اساس آنالیز چند متغیره تجزیه به عامل‌ها رسم گردید. در این تجزیه چهار عامل اصلی و مستقل که مقادیر ویژه آنها بیشتر از یک بودند، توانستند مجموعا ۸۷/۹ درصد کل واریانس را توجیه کنند که سهم عامل اول و دوم به ترتیب ۵۳/۲ و ۱۶/۷ بود (شکل ۳). در این نمودار جهت‌گیری صفات نسبت به منابع کودی مختلف مشخص می‌باشد. بر این اساس می‌توان بیان نمود که تیمارهای اسید هیومیک، ازتوبارور-۱، ازتوبارور-۱ + پتابارور ۲ و ازتوبارور-۱ + پتابارور ۲ + فسفاته بارور-۲ به عنوان منابع کودی برتر در بهبود بیشتر صفات رشدی، فیزیولوژیک و کیفی در گیاهان مناب می‌باشند.

## تجزیه به عامل‌ها




**شکل ۳ - نمودار بای پلات صفات مورد بررسی و منابع کودی مختلف در گیاهان مناب**

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمارهای کودی مورد مطالعه بر صفات بررسی شده گیاهان مناب تاثیر مثبتی داشته‌اند، اما تاثیر مثبت اسید هیومیک و کودهای زیستی چشمگیرتر بود. بر این اساس می‌توان پیشنهاد داد که با استفاده از این کودهای ارگانیک برای تولید مناب به عنوان یک سبزی برگی فراسودمند و در جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار اقدام نمود.

## سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه کردستان که هزینه‌های انجام این پژوهش را تامین نموده است، سپاسگزاری می‌گردد.

## منابع مورد استفاده

Adhikari A, Khan MA, Lee KE, Kang SM, Dhungana SK, Bhusal N and Lee IJ. 2020. The halotolerant rhizobacterium—*Pseudomonas koreensis* MU2 enhances inorganic silicon and phosphorus use efficiency and augments salt stress tolerance in soybean (*Glycine max* L.). *Microorganisms*, 8(9): 1256. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091256

Akbarpour M, Karimi M and Jalili B. 2022. Morphological and physiological response of daffodil (*Narcissus jonquilla* cv. German) to water hyacinth compost and humic acid. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(4):129–142. 10.22034/SAPS.2022.47818.2731

Akhtyamova Z, Martynenko E, Arkhipova T, Seldimirova O, Galin I, Belimov A, Vysotskaya L and Kudoyarova G. 2023. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on the formation of apoplastic barriers and uptake of water and potassium by wheat plants. Microorganisms, 11: 1227. https://doi.org/10.3390/microorganisms11051227

Alaei S and Tafazoli E. 2012. Effects of salinity and plant growth regulators on ions accumulation (Na, K) in olive (*Olea europaea* cv.Roughani). Journal of Horticultural Science, 26(2): 123–131. (In Persian) 10.22067/jhorts4.v0i0.14661

Aminbaigi A, Jalilian J, Chaghazardi H, Kahrizi D and Khlilzadeh R. 2023. Evaluation of different fertilizer sources effect on yield, forage quality and oil of camelina (*Camelina sativa* L.) under water deficit stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(2): 1–14. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.50509.2831

Asri FO, Demirtas EI and Ari N. 2015. Changes in fruit yield, quality and nutrient concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21(3): 585–591.

Babakhani V, Tohidi-Nejad E, Khajoei-Nejad G and Ghanbari J. 2023. Biomass production and nitrogen use efficiency in dill-fenugreek intercropping in response to biofertilizers and manure. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(4): 1–18. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.48673.2759

Bolandnazar S, Karimi K and Sarikhani MR. 2019. Effect of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) on physiological traits of Tareh Irani (*Allium ampeloprasum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1): 121–136. (In Persian)

Bromand Sivieri M, Heidary M. Gholami A and Ghorbani H. 2020. Effects of biofertilizers and foliar application of nano iron oxide on quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 35 (6): 1017–1027. (In Persian) https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.125999.2542

Canellas LP, Olivares FL, Aguiar NO, Jones DL, Nebbioso A, Mazzei P and Piccolo A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196: 15-27. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013

Colla G, Kim HJ, Kyriacou MC and Rouphael Y. 2018. Nitrate in fruits and vegetables. Scientia Horticulturae, 237: 221–238. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.016

Da-Bing X, Qiu-Jun WANG, Yun-Cheng WU, Guang-Hui YU, Qi-Rong SHEN and Huang QW. 2012. Humic-like substances from different compost extracts could significantly promote cucumber growth. Pedosphere, 22(6): 815–824. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60067-8

Dasgan HY, Aldiyab A, Elgudayem F, Ikiz B and Gruda NS. 2022. Effect of biofertilizers on leaf yield, nitrate amount, mineral content and antioxidants of basil (*Ocimum basilicum* L.) in a floating culture. Scientific Reports, 12: 20917. https://doi.org/10.1038/s41598-022-24799-x

de Castro TAVT, Berbara RLL, Tavares OCH, da Graca Mello DF, Pereira EG, de Souza CDCB, Espinosa LM and Garcia AC. 2021. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants. Plant Physiology and Biochemistry, 162: 171–184. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.043

El Gohary AE, Hendawy SF, Hussein MS, Elsayed SI, Omer EA and El-Gendy AE. 2023. Application of humic acid and algal extract: an eco-friendly strategy for improving growth and essential oil composition of two basil varieties under salty soil stress conditions. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 26(1): 32–44. https://doi.org/10.1080/0972060X.2023.2173023

Emami A. 1996. Methods of plant analysis. Soil and Water Research Institute. 1(982): 128. (In Persian)

Fan HM, Wang XW, Sun X, Li YY, Sun XZ and Zheng CS. 2014. Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in chrysanthemum. Scientia Horticulturae, 177: 118–123. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.010

Garg G and Sharma V. 2014. *Eruca sativa* (L.): botanical description, crop improvement, and medicinal properties. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 20(2): 171–182. https://doi.org/10.1080/10496475.2013.848254

Golkar P and Bakhtiari MA. 2020. Evaluation of genetic diversity in the world collection of *Eruca sativa* L. using oil content, fatty acids and molecular markers. Industrial Crops and Products, 148: 112280. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112280

Hernandez OL, Calderín A, Huelva R, Martínez-Balmori D, Guridi F, Aguiar NO, Olivares FL and Canellas LP. 2015. Humic substances from vermicompost enhance urban lettuce production. Agronomy for Sustainable Development, 35(1): 225–232. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0221-x

Irigoyen JJ, Einerich DW and Sánchez-Díaz M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84(1): 55–60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x

Karami R, Majidian M and Moshtaghi M. 2020. Integrated application of biofertilizers and chemical N and P on quantitative and qualitative characteristics of male-streile tobacco (*Nicotiana tabacum* L. cv. PVH19). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(3): 113–131. (In Persian) 20.1001.1.24764310.1399.30.3.7.2

Kazemi S, Pirmoradi MR, Karimi HR, Raghami M, Rahimi A, Kheiry A and Malekzadeh MR. 2023. Effect of foliar application of humic acid and zinc sulfate on vegetative, physiological, and biochemical characteristics of *Physalis alkekengi* L. under soilless culture. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1–12. https://doi.org/10.1007/s42729-023-01305-4

Li N, Wen J, Wu R, Hu D, Zhang L, Zhang W and Zhang M. 2023. Dual effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the Moso bamboo-soil system: Plant growth promotion and microbial community stability. Industrial Crops and Products, 203: 117151. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117151

Lichtenthaler HK and Buschmann C. 2001. Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. Food Analytical Chemistry. 1(1): F4–2. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0402s01

Liu C, Bai L, Cao P, Li S, Huang SX, Wang J, Li L, Zhang J, Song J, Sun P, Zhang Y, Zhang H, Guo X, Yang X, Tan X, Liu W, Wang X and Xiang W. 2022. Novel plant growth regulator guvermectin from plant growth-promoting rhizobacteria boosts biomass and grain yield in rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 70(51): 16229–16240. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c07072

Mahanty T, Bhattacharjee S, Goswami M, Bhattacharyya P, Das B, Ghosh A and Tribedi P. 2017. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. Environmental Science and Pollution Research, 24: 3315–3335. https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0

Malakouti MJ. 2000. Sustainable agriculture and yield increase trough balanced fertilization. Publication of agricultural education, Karaj-Iran, Pp. 494. (In Persian)

Najafi Zilaie M, Mosleh Arani A and Etesami H. 2023. The importance of plan growth-promoting rhizobacteria to increase air pollution tolerance index (APTI) in the plants of green belt to control dust hazards. Frontiers in Plant Science, 14: 1098368. 10.3389/fpls.2023.1098368

Nargesi MM, Sedaghathoor S and Hashemabadi D. 2022. Effect of foliar application of amino acid, humic acid and fulvic acid on the oil content and quality of olive. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(5): 3473–3481. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.034

Nasiri Y and Ghaderi T. 2023. Evaluation of the effect of biological, organic and chemical nutrition on some morphological traits, dry matter yield and essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33(2): 15–33. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.49964.2812

Pan JY, Wang CB, Nong JL, Xie QL and Shen TM. 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria are important contributors to rice yield in karst soils. 3 Biotech 13: 158. 10.1007/s13205-023-03593-0

Parchianlou S, Kheiri A and Arghavani M. 2019. Biofertilizers effects on quality and quantity characteristics of winter cherry (*Physalis alkekengi* L.) medicinal plant. Plant Process and Function, 8 (29): 273–286. (In Persian) 20.1001.1.23222727.1398.8.29.10.2

Park YS, Jung ST, Kang SG, Heo BG, Arancibia-Avila P, Toledo F, Drzewiecki J, Namiesnik J and Gorinstein S. 2008. Antioxidants and proteins in ethylene-treated kiwifruits. Food Chemistry, 107(2): 640–648. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.070

Pérez-García LA, Sáenz-Mata J, Fortis-Hernández M, Navarro-Muñoz CE, Palacio-Rodríguez R and Preciado-Rangel P. 2023. Plant-growth-promoting rhizobacteria improve germination and bioactive compounds in cucumber seedlings. Agronomy, 13: 315. https://doi.org/10.3390/agronomy13020315

Rachel KV and Sirisha GV. 2016. Effect of bio-fertilizers application on qualitative, quantitative yield of phytochemicals in three divergent groups of plants and their antioxidant activities. Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences, 2(3): 56–77. 10.26479/2016.0203.06

Sagar A, Sayyed RZ, Ramteke PW, Ramakrishna W, Poczai P, Al Obaid S and Ansari MJ. 2022. Synergistic effect of azotobacter nigricans and nitrogen phosphorus potassium fertilizer on agronomic and yield traits of maize (*Zea mays* L.). Frontiers in Plant Science, 13: 952212. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.952212

Saidimoradi D, Ghaderi N and Javadi T. 2019. Salinity stress mitigation by humic acid application strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae, 256: 108594. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108594

Santoyo G, Sanchez-Yañez JM and de los Santos-Villalobos S. 2019. Methods for detecting biocontrol and plant growth-promoting traits in rhizobacteria. Methods in rhizosphere biology research. Springer Singapore, Pp. 133–149. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5767-1_8

Sarabi B, Ghaderi N and Ghashghaie J. 2022. Light-emitting diode combined with humic acid improve the nutritional quality and enzyme activities of nitrate assimilation in rocket (*Eruca sativa* (Mill.) Thell.). Plant Physiology and Biochemistry, 187: 11–24. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.035

Sayarer M, Aytaç Z and Kürkçüo˘glu M. 2023. The Effect of irrigation and humic acid on the plant yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) with mulching application under semi-arid ecological conditions. Plants, 12: 1522. https://doi.org/10.3390/plants12071522

Schiavon M, Pizzeghello D, Muscolo A, Vaccaro S, Francioso O and Nardi S. 2010. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). Journal of chemical ecology, 36(6): 662–669. 10.1007/s10886-010-9790-6

Seyfipour E, Gholami H, Azizian A, Yarami N. 2021. *Eruca sativa* L. response to planting method and irrigation frequency under saline water application. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. Volume 15(5): 1141–1152. (In Persian) 20.1001.1.20087942.1400.15.5.13.1

Sharma N, Pant BD, and Srivastava J. 2017. *Eruca Sativa*- a pharmacological review. The Journal of Indian Botanical Society. 96 (3&4): 260–265.

Slinkard K and Singleton VL. 1977. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture, 28: 49–55. 10.5344/ajev.1977.28.1.49

Suhail F, Afzal A, Naseer L, Pervaiz A, Ikram M, Shaheen S, Islam, Y and Khan N. 2023. Influence of phosphate solubilizing bacteria on the growth of mustard grown under drought stress conditions. Agricultural Research, 1–12. https://doi.org/10.1007/s40003-023-00656-9

Vafaahd F, Khalesro S, Zareei S and Heidari G. 2024. Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to digested fertilizer and humic acid in the sustainable agricultural system. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, In press. (In Persian) 10.22034/SAPS.2022.51374.2867

Verlinden G, Pycke B, Mertens J, Debersaques F, Verheyen K, Baert G, Bries J and Haesaert G. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. Journal of Plant Nutrition, 32: 1407–1426. https://doi.org/10.1080/01904160903092630

Vitale L, Vitale E, Francesca S, Lorenz C and Arena C. 2023. Plant-growth promoting microbes change the photosynthetic response to light quality in spinach. Plants, 12: 1149. https://doi.org/10.3390/plants12051149