

Improving Morphophysiological and Biochemical Characterizes of Tomato with Nickel Fertilization and Foliar Application of Seaweed Extract

Ali Kazem Abboud Alkhafaci¹, Abolfazl Alirezalu^{2*}, Javad Rezapour fard³, Masume Hasanalizade⁴

(Received: November, 2024 Accepted: February, 2025)

Abstract

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation is highly influenced by various environmental, physiological and agronomic factors, including soil fertility, water availability and chemical applications. In recent years, sustainable and environmentally friendly alternatives have been proposed to improve agricultural productivity and crop quality. One of these alternatives is the use of seaweed extract and micronutrients such as nickel as a bio-stimulant. Therefore, in this study, the effect of foliar application of seaweed extract (four levels: 1, 1.5, 2 mL L⁻¹ and control) with nickel fertilizer (four levels: 0.156, 0.234, 0.312 mg L⁻¹ and control) on tomato, which is one of the most important, and economical crops in the greenhouse industry, was investigated. The results of the analysis of variance of the data showed that foliar spraying of seaweed extract, and nickel irrigation fertilizer had a significant effect on all growth, and yield traits, biochemical, antioxidant, fruit pigments and fruit nutrients. The results of the data comparison showed that foliar spraying with seaweed extract and nickel irrigation fertilizer increased the growth, and yield characteristics of tomatoes (aerial part weight, fruit weight and yield traits). The highest number of biochemical traits such as total phenols (58.46 mg g⁻¹ DW), total flavonoids (41.71 mg g⁻¹ DW), anthocyanins (75.08 µg g⁻¹ DW), and antioxidant activities (82.50%) were observed in nickel treatment at 0.312 mg L⁻¹ and seaweed extract at this amount of 2 mL L⁻¹. The amount of carotenoid pigments such as lycopene (16.72 mg g⁻¹ FW), and beta-carotene (5.81 mg g⁻¹ FW) increased in the treatments with higher concentrations of seaweed extract and nickel. Also, with increasing amounts of seaweed extract and nickel, the amount of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium increased. Therefore, the use of bio stimulants can be a way to improve the quantity and quality of tomatoes, protect the environment and increase security by reducing the use of chemical fertilizers.

Key words: Antioxidant, Lycopene, Biochemical, Carotenoid, Anthocyanin.

Abboud Alkhafaci A.K. , Alirezalu A., Rezapour fard J., Hasanalizade M. 2025. Improving morphophysiological and biochemical characterizes of tomato with nickel fertilization and foliar application of seaweed extract. *Applied Soil Research*. 13(2): 38-55.

1-Ph.D. Student, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

2-Associate Professor, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

3-Assistant Professor, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

4-Ph. D student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

* Corresponding Author Email: a.alirezalu@urmia.ac.ir

بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه فرنگی با کود آبیاری عنصر نیکل و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی

علی کاظم عبود الخفاجی^۱، ابوالفضل علی رضالو^{۲*}، جواد رضاپور فرد^۳، معصومه حسنعلی زاده^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰)

چکیده

گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یکی مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین محصولات صنعت گلخانه می‌باشد که کشت آن به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی، فیزیولوژیکی و زراعی از جمله حاصلخیزی خاک، در دسترس بودن آب و استفاده از مواد شیمیایی قرار دارد. در سال‌های اخیر، محققان به جایگزین‌های پایدار و سازگار با محیط زیست برای بهبود بهره‌وری کشاورزی و کیفیت محصول روی آورده‌اند. یکی از این جایگزین‌ها استفاده از عصاره جلبک دریایی و ریز مغذی‌هایی مانند نیکل به عنوان یک محرک زیستی است. از این رو در این پژوهش اثر محلولپاشی عصاره جلبک دریایی (چهار سطح: ۱، ۱/۵، ۲ میلی لیتر در لیتر و شاهد) و کود آبیاری نیکل (چهار سطح: ۰/۱۵۶، ۰/۲۳۴، ۰/۳۱۲ میلی گرم در لیتر و شاهد) روی گوجه فرنگی بررسی شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل تأثیر معنی داری روی تمامی صفات رشدی و عملکردی، بیوشیمیایی، آنتی اکسیدانی و کیفیت میوه داشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و نیکل به‌طور معنی داری باعث افزایش خصوصیات رشدی و عملکردی گوجه فرنگی (وزن اندام رویشی، وزن ریشه و صفات عملکردی میوه) شد. بیشترین مقدار صفات بیوشیمیایی همانند فنل کل (۵۸/۴۶ میلیگرم بر گرم وزن خشک)، فلاونوئید کل (۴۱/۷۱ میلیگرم بر گرم وزن خشک)، آنتوسیانین (۷۵/۰۸ میکروگرم بر گرم وزن خشک) و فعالیت آنتی اکسیدانی (۸۲/۵۰ درصد) در تیمار نیکل با غلظت ۰/۳۱۲ میلی گرم در لیتر و عصاره جلبک دریایی با غلظت ۲ میلی لیتر در لیتر مشاهده شد. مقدار رنگیزه‌های کارتنوئیدی همانند لیکوپن (۱۶/۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) و بتاکارتن (۵/۸۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) در تیمارهایی که غلظت جلبک دریایی و نیکل بیشتر بود، افزایش یافت. همچنین با افزایش مقدار عصاره جلبک دریایی و نیکل مقدار عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم افزایش پیدا کرد. بنابراین استفاده از محرک‌های زیستی عصاره جلبک دریایی و ریز مغذی نیکل می‌تواند روشی موثر در بهبود کمیت و کیفیت گوجه فرنگی و همچنین حفظ محیط زیست و افزایش امنیت غذایی بدلیل کاهش مصرف کودهای شیمیایی باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی اکسیدان، لیکوپن، بیوشیمیایی، کارتنوئید، آنتوسیانین

عبود الخفاجی ع.ک.، علی رضالو ا.، رضاپور فرد ج.، حسنعلی زاده م. ۱۴۰۴. بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه فرنگی با کود آبیاری عنصر نیکل و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۳، شماره ۲. صفحه ۳۸-۵۵.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۴- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: a.alirezalu@urmia.ac.ir

مقدمه

ترکیبات مختلف با خواص بیولوژیکی فعال را می‌توان به عنوان محرک زیستی برای افزایش رشد و نمو گیاه در شرایط عادی و تنش‌زا استفاده کرد (Caradonia *et al*, 2021). محرک های زیستی به عنوان ترکیباتی با خواص کودی در نظر گرفته می‌شوند که قادر به تحریک فرآیندهای تغذیه گیاه بدون توجه به محتوای مواد مغذی با هدف بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی، تحمل به تنش غیرزیستی، بهبود صفات کیفی یا در دسترس بودن ریزمغذی‌ها در خاک یا ریزوسفر هستند (Shahrajabian *et al*, 2021). در سال‌های اخیر، محققان متوجه توسعه برخی کودهای کم‌هزینه و مفید شده‌اند که هیچ گونه ماهیت مختل کردن اکوسیستم طبیعی را ندارند. بنابراین ضرورت استفاده از محرک زیستی و نقش آنها در مدیریت رشد گیاه حائز اهمیت است. محرک‌های زیستی تأثیر حیاتی بر فرآیندهای متابولیک و فیزیولوژیکی گیاهان دارند؛ مانند ایجاد تغییر در مسیرهای سیگنالینگ، محافظت از دستگاه فتوسنتزی در برابر آسیب نور و تولید گونه های فعال اکسیژن، تأثیر مستقیم بر مکانیسم دفاعی آنتی اکسیدانی، افزایش تشکیل و طول ریشه، افزایش جذب عناصر غذایی، استقرار بهتر محصول، افزایش تبادل کاتیونی، سم زدایی از فلزات سنگین، بهبود مکانیسم های دخیل در هدایت روزنه ای و تحریک سیستم ایمنی گیاه در برابر عوامل استرس زا (Malik *et al*, 2021; Shahrajabian *et al*, 2021).

عصاره جلبک دریایی که از جلبک‌های دریایی به دست می‌آید، به دلیل اثرات مفیدشان بر رشد گیاه، تحمل به تنش و بهره‌وری کلی در فعالیتهای کشاورزی محبوبیت پیدا کرده است. این عصاره ها سرشار از انواع ترکیبات زیست فعال از جمله پلی ساکاریدها، اسیدهای آمینه، ویتامین ها، مواد معدنی و هورمون های رشد گیاهی مانند سیتوکینین ها، اکسین ها و جیبرلین ها هستند (Pascual *et al*, 2015). اخیراً استفاده از عصاره جلبک دریایی در کشت محصولات باغبانی نتایج امیدوارکننده‌ای را در بهبود عملکرد، صفات مورفولوژیکی (مانند ارتفاع بوته، تعداد برگ و رشد ریشه) و ویژگی‌های بیوشیمیایی (از جمله محتوای کلروفیل، فعالیت آنتی اکسیدانی و ترکیب مواد مغذی) نشان داده است. چندین مطالعه افزایش تعداد میوه در هر بوته، وزن میوه و عملکرد کلی قابل فروش را در هنگام

استفاده از عصاره جلبک دریایی گزارش کرده اند (Elansary *et al*, 2016; Shabala *et al*, 2016).

این اثر مثبت به ترکیبات زیست فعال موجود در جلبک دریایی نسبت داده می‌شود که فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف را در گیاهان تحریک می‌کند. Aziz و همکاران (Aziz *et al*, 2020) نشان دادند که گیاهان گوجه فرنگی تیمار شده با عصاره جلبک دریایی وزن میوه، اندازه میوه و عملکرد کل بیشتری را نسبت به گیاهان شاهد دارا هستند. همچنین Kiani و همکاران (Kiani *et al*, 2022) گزارش دادند که کاربرد عصاره جلبک دریایی باعث بهبود طول ریشه می‌شود که منجر به استقرار بهتر و افزایش جذب مواد مغذی می‌شود. ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاهان گوجه فرنگی یکی از ویژگی های بیوشیمیایی کلیدی است که اغلب با استفاده از عصاره جلبک دریایی بهبود می‌یابد. چندین مطالعه گزارش کرده اند که کاربرد عصاره جلبک دریایی محتوای آنتی اکسیدانی گوجه فرنگی را افزایش می‌دهد، به ویژه لیکوپن، که یک کاروتنوئید مسئول رنگ قرمز گوجه فرنگی است و نشان داده شده است که فواید سلامتی مختلفی دارد (Abdel-Fattah *et al*, 2022). Sadeghi و همکاران (Sadeghi *et al*, 2024) دریافتند که تیمار عصاره جلبک دریایی به طور قابل توجهی محتوای لیکوپن را در گوجه فرنگی افزایش می‌دهد که می‌تواند ارزش غذایی میوه را افزایش دهد. عصاره جلبک دریایی همچنین می‌تواند مشخصات مواد مغذی گوجه فرنگی را بهبود بخشد. طبق تحقیقات Rezaei و همکاران (Rezaei *et al*, 2019)، محلولپاشی عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش سطوح مواد مغذی ضروری از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در گیاهان گوجه فرنگی شد. این مواد مغذی برای رشد و نمو گیاه حیاتی هستند و افزایش دسترسی آنها احتمالاً به بهبود رشد و عملکرد مشاهده شده در گیاهان تیمار شده کمک می‌کند.

گیاهان برای رشد و نمو به مواد غذایی کافی نیاز دارند و این مهم باید به نسبت مناسب در اختیار گیاه قرار گیرند. مقدار زیاد یا ناکافی یک یا چند عنصر غذایی، ممکن است رشد گیاه را مختل کند. نیکل جزو عناصر غذایی کم مصرف و ضروری برای رشد و نمو طبیعی گیاه و بخشی از چندین عملکرد بیولوژیکی است (Barker & Pilbeam, 2015). این بخشی جدایی ناپذیر از چندین آنزیم مانند گلیوکسالاز-I و اوره آز مورد نیاز برای متابولیسم نیتروژن

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ به صورت یک آزمایش گلدانی در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه (طول جغرافیایی ۳۸°۴۴'۵۸ و عرض جغرافیایی ۳۹°۳۹'۳۷) با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد روز و ۱۸ درجه سانتیگراد شب و نیز با رطوبت ۵۵٪ و شدت نور ۳۰۰۰-۲۸۰۰ فوت کندل و آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی انجام شد. این تحقیق، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کودآبیاری نیکل (بصورت نیترات نیکل؛ شرکت اسپوتا) با چهار سطح (۰/۳۱۲، ۰/۲۳۴، ۰/۱۵۶، ۰/۰۷۸ میلی‌گرم در لیتر و شاهد) و محلولپاشی عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) با نام تجاری مارمارین (ساخت شرکت IFTC اردن) در چهار سطح (۱/۵، ۱/۱ و ۲ میلی‌لیتر در لیتر و شاهد) روی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه گوجه فرنگی رقم گلخانه ای PS6515 مورد بررسی قرار گرفت. بذرها از شرکت مهندسی زرین کشت پردیس تبریز تهیه شده و در خرداد ماه در سینی‌های نشا با محیط کشت پیت ماس و پرلیت (۷۰:۳۰) کشت شدند. پس از اینکه برگهای سوم نشاها رشد کردند، به بستر کشت گلدانی با سایز ۱۰ منتقل شدند. بستر کشت مورد استفاده در این پژوهش همانند بستر کشت نشا، پیت ماس و پرلیت (۷۰:۳۰) بود. تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق دو هفته پس از انتقال گیاه به گلدان (در مرحله ۸ الی ۱۰ برگی) اعمال گردید. محلولپاشی و کود آبیاری ۵ مرتبه و هر ۱۰ روز یکبار انجام گرفت. اعمال تیمارها با نیکل شروع و سپس با فاصله پنج روزه عصاره جلبک دریایی مورد استفاده قرار گرفت. اعمال تیمارها در صبح زود انجام گرفت. جهت تغذیه گیاهان از محلول غذایی مخصوص گوجه فرنگی استفاده شده است (جدول ۱). هر واحد آزمایشی متشکل از یک گلدان و هر تیمار متشکل از سه گلدان بود؛ بنابراین در مجموع ۴۸ گلدان مورد استفاده قرار گرفت. میوه‌های گوجه فرنگی ۱۰ روز پس از آخرین تیمار در مرحله رسیدن برداشت شده و اندازه‌گیری خصوصیات رشدی و عملکردی

اندازه‌گیری خصوصیات رشدی و عملکردی

در گیاهان عالی است (Parida et al, 2003). نیکل به عنوان یک عنصر حیاتی که جدیداً به فهرست عناصر غذایی افزوده شده است (Reyhanitabar et al, 2018)، نقش مهمی در جذب نیتروژن دارد و همچنین به گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی کمک می‌کند (Barker & Pilbeam, 2015). بنابراین، کمبود نیکل در عملکرد گیاهان اختلال ایجاد می‌کند و علائمی مانند تاخیر در رشد گیاه، پیری، کاهش متابولیسم نیتروژن و کاهش جذب آهن در گیاهان دارای کمبود نیکل مشاهده خواهد شود (Chen et al, 2009). اگرچه نیکل یک عنصر ضروری است و گیاهان نمی‌توانند چرخه زندگی خود را بدون عرضه کافی نیکل تحمل کنند، اما ممکن است در غلظت‌های بالاتر باعث سمیت شود و منجر به چندین تغییر مضر در گیاهان شود (Seregin et al, 2003)؛ (Rahman et al, 2005). به عنوان ریز مغذی ضروری، نیکل (۰/۱ تا ۱۰ میکروگرم در گرم وزن خشک) برای تکمیل چرخه زندگی گیاه ضروری است (Kastori et al, 2022). گوجه فرنگی یکی از محصولات است که به طور گسترده در سطح جهان رشد کرده و به دلیل ارزش غذایی، اهمیت اقتصادی و تطبیق پذیری در صنایع غذایی مورد توجه قرار گرفته است. این گیاه حاوی ترکیبات زیست فعال مهم از جمله کاروتنوئیدها همانند لیکوپن و بتاکاروتن می‌باشد (Shi et al, 2004). کشت گوجه فرنگی به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی، فیزیولوژیکی و زراعی از جمله حاصلخیزی خاک، در دسترس بودن آب و استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی قرار دارد. در سال‌های اخیر، محققان به جایگزین‌های پایدار و سازگار با محیط زیست برای بهبود بهره‌وری کشاورزی و کیفیت محصول روی آورده‌اند. یکی از این جایگزین‌ها استفاده از عصاره جلبک دریایی و ریز مغذی‌هایی مانند نیکل به عنوان یک محرک زیستی است. اگرچه اثرات غلظت‌های مختلف نیکل و عصاره جلبک دریایی بر رشد گیاهان مختلف به طور جداگانه بررسی شده است، اما اثرات همزمان آنها بر گیاه گوجه فرنگی در شرایط هیدروپونیک مورد مطالعه قرار نگرفته است. از این رو در این پژوهش اثر محلولپاشی عصاره جلبک دریایی با کودآبیاری نیکل روی گوجه فرنگی که یکی از مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین محصولات صنعت محصولات گلخانه می‌باشد بررسی شد.

میکرولیتر عصاره به آن اضافه شد و جذب آن نیز در دو طول موج ۷۰۰ و ۵۳۰ نانومتر قرائت گردید (Chung *et al*, 2016). در نهایت از فرمول زیر برای محاسبه جذب کل هر یک از عصاره‌ها استفاده شد.

$$A = (A_{530} - A_{700}) \text{ pH} = 1 - (A_{530} - A_{700}) \text{ pH} = 4.5$$

محتوای آنتوسیانین کل بوسیله میلی گرم سیانیدین ۳- گلوکوزید معادل گرم وزن تر میوه و طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{TAC} = (A \times \text{MW} \times V \times \text{DF} \times 100) / (\varepsilon \times 100)$$

A = جذب، MW = وزن ملکولی، DF = فاکتور رقت و ε = جذب مولی

اندازه‌گیری فنل کل

اندازه‌گیری مواد فنلی با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو انجام شد. برای انجام این کار ابتدا مقدار ۵۰ میکرولیتر عصاره میوه در داخل لوله آزمایش ریخته و ۱۸۰ میکرولیتر آب مقطر به آن اضافه شد، پس از آن ۱۲۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد به آن اضافه نموده و بعد از ۵-۱۰ دقیقه، ۹۶۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه کرده و پس از قرار دادن به مدت نیم ساعت در تاریکی و در دمای اتاق با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر صورت گرفت. جهت رسم منحنی استاندارد نیز از اسید گالیک استفاده شد. میزان فنل کل عصاره‌ها بر اساس میلی گرم معادل اسید گالیک بر یک میلی لیتر عصاره میوه گزارش گردید (Ebrahimzadeh *et al*, 2008).

اندازه‌گیری فلاونوئید کل

برای سنجش میزان فلاونوئید کل، ۵۰ میکرولیتر از عصاره میوه را داخل لوله آزمایش ریخته و به آن ۱۵۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵٪ اضافه گردید، پس از ۵ دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰٪ اضافه نموده و بعد از ۱۰-۵ دقیقه، ۱۰۰۰ میکرولیتر سود ۱ نرمال را به محلول حاصل اضافه نموده و با آب مقطر به حجم ۵ میلی لیتر رسانده شد و جذب مخلوط حاصل در طول موج ۳۸۰ نانومتر نسبت به شاهد قرائت گردید. برای رسم منحنی استاندارد نیز از کوئرستین استفاده شد. میزان فلاونوئید کل عصاره‌ها براساس میلی گرم معادل کوئرستین بر یک میلی لیتر عصاره میوه گزارش گردید (Chang *et al*, 2002).

اندازه‌گیری رنگیزه‌های میوه

خصوصیات رشدی و عملکردی همانند وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک پیکر رویشی، وزن تازه میوه، طول میوه و قطر میوه در زمان برداشت میوه‌ها با استفاده از کولیس دیجیتالی و یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

جدول ۱- فرمولاسیون محلول غذایی تهیه شده برای تغذیه گیاه گوجه فرنگی

Table 1- Formulation of nutrient solution prepared for tomato plant nutrition

Element	Nutrient values mg/L	Fertilizer sources
N	200	Ca(NO ₃) ₂ .NH ₄ .H ₂ O NH ₄ HPO ₄ (NH ₄) ₂ SO ₄
P	50	NH ₄ HPO ₄
K	360	K ₂ SO ₄
Ca	185	Ca(NO ₃) ₂ .NH ₄ .H ₂ O
Mg	44	MgSO ₄
Fe	2.1	Fe-EDDHA
Zn	0.12	ZnSO ₄
Mn	0.6	MnSO ₄
B	0.39	H ₃ BO ₃
Mo	0.018	Na ₂ MoO ₄

عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی

۰/۲ گرم از هر نمونه گیاهی، بوسیله ازت مایع پودر و در فالکن ۵۰ سی سی ریخته و ۵ سی سی متانول ۸۰٪ به آن اضافه شد. در ادامه نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در دستگاه اولتراسونیک با دمای ۳۰ درجه سانتیگراد جهت عصاره‌گیری قرار گرفتند. نمونه‌ها پس از فیلتراسیون جهت اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی (آنتوسیانین، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی) مورد استفاده قرار گرفتند.

اندازه‌گیری آنتوسیانین کل

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین کل از روش اختلاف pH ها استفاده شد. برای این منظور ابتدا دو بافر با pH های ۱ و ۴/۵ تهیه شد، سپس ۲/۵ میلی لیتر از بافر یک در لوله آزمایش ریخته بعد از آن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره به محلول موجود در لوله آزمایش اضافه کرده و جذب در دو طول موج ۷۰۰ و ۵۳۰ نانومتر قرائت شد، سپس ۲/۵ میلی لیتر از بافر دو (pH = ۴/۵) را در لوله آزمایش دیگر ریخته و ۱۰۰

کج‌دال، عنصر پتاسیم با دستگاه فیلم فتومتر، عنصر فسفر به روش زرد، کلسیم هم به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (Gregory et al, 1979). از بافت برگی خشک شده برای اندازه‌گیری عناصر غذایی استفاده گردید و واحدها بر حسب درصد بیان شد.

آنالیز آماری

این تحقیق، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کودآبیاری نیکل و محلولپاشی عصاره جلبک دریایی در چهار سطح بود. داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری پارامترهای مختلف، با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز شده و آزمون چند دامنه ای دانکن برای مقایسه میانگین داده ها استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات رشدی و عملکردی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد روی تمامی صفات رشدی و عملکردی داشت. همچنین اثر متقابل محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل روی صفات رشدی و عملکردی گوجه‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل به‌طور معنی‌داری باعث افزایش وزن تر و خشک گوجه فرنگی شد. به‌طوری‌که بیشترین وزن تر پیکر رویشی (۳۴۱/۴ گرم) مربوط به تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل ۰/۳۱۲ میلی‌گرم در لیتر بوده و کمترین وزن تر (۲۴۲/۴۳ گرم) مربوط در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن خشک پیکر رویشی (۱۷۹/۴ گرم) مربوط به تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و ۰/۳۱۲ میلی‌گرم در لیتر کود آبیاری نیکل بوده و کمترین وزن خشک (۸۰/۴۳ گرم) مربوط به تیمار شاهد می باشد (جدول ۳). وزن تر و خشک پیکر رویشی گیاهان به عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی رشد و سلامت گیاهان مورد توجه قرار دارد.

جهت اندازه گیری میزان کارتنوئید کل و همچنین بتاکاروتن میزان ۵۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به ۰/۱ گرم از هر نمونه اضافه شد. محلول بدست آمده به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. فاز رویی جداسازی و جذب محلول در طول موج‌های ۶۶۶، ۶۵۳ و ۴۷۰ نانومتر نسبت به شاهد (استون ۸۰ درصد) اندازه گیری شد. کارتنوئید کل و بتاکاروتن برای هر عصاره با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Dere et al, 1998).

$$\text{Carotenoids} = 1000 \text{ A}_{470} - 2.860 \text{ Ca} - 129.2 \text{ Cb} / 245$$

$$\beta\text{-Carotene} = ((0.854 \text{ A}_{470}) - (0.312 \text{ A}_{645}) + (0.039 \text{ A}_{662}) - 0.005)$$

برای اندازه‌گیری میزان لیکوپن از روش اسپکتروفتومتری (Barba et al, 2006) استفاده شد. ۰/۵ گرم از نمونه توزین شده و در یک هاون چینی به طور کامل ساییده شد. ۴ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و به مدت یک دقیقه توسط همزن مغناطیسی همزده شد. سپس حلالهای هگزان، استون و اتانول (هر سه بطور مطلق) به ترتیب با نسبت (۲/۱/۱) به آن افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی به طور یکنواخت همزده شد. سپس نمونه‌ها را در لوله‌ی آزمایش ریخته و آن را ثابت قرار داده تا سه لایه از هم تفکیک شوند، در نهایت از لایه ی زرد رنگ بالایی که حاوی لیکوپن است توسط سمپلر با دقت مقداری را برداشته و جذب آن در ۵۲۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر قرائت گردید.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی اکسیدانی

جهت سنجش فعالیت آنتی اکسیدانی به روش DPPH میزان ۳ میکرولیتر از عصاره استخراجی میوه به ۲ میلی‌لیتر محلول DPPH اضافه شد. محلول حاصل با دور متوسط هم زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. قرائت جذبی محلول مورد نظر در طول موج ۵۱۷ نانومتر نسبت به شاهد (Blank) قرائت شد (Nakajima et al, 2004). جهت محاسبه فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH از فرمول زیر استفاده شد.

$$\text{RSA} = \frac{(\text{Abs control}) - (\text{Abs sample})}{(\text{Abs control})} \times 100$$

اندازه‌گیری عناصر غذایی

عناصر غذایی پرمصرف ضروری شامل نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم شد. عنصر نیتروژن به روش

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کودآبیاری نیکل بر خصوصیات رشدی و عملکردی
Table 2 . Analysis of variance for effect of different levels of seaweed extract and nickel fertilizer on growth and yield characteristics

S. O. V	df	Mean square						
		Fruit diameter	Fruit length	Fruit weight	Aerial part FW	Aerial part DW	Root FW	Root DW
Nickel (N)	3	1.60 **	0.52 **	806.40 **	5148.50 **	474.55 **	319.26 **	245.36 **
Seaweed E (SE)	3	3.95 **	0.60 **	3367.41 **	1539.97 **	247.37 **	116.36 **	87.33 **
N×SE	9	2.34 **	0.85 **	1708.37 **	194.03 **	24.43 **	10.44 **	5.43 **
Error	31	0.03	0.02	14.07	4.45	3.47	0.23	0.21
CV (%)		3.35	4.32	5.04	0.63	1.43	0.40	0.90

**Significant at 1% probability level

۳. وزن تر و خشک ریشه یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی رشد و توسعه گیاهان زراعی، به‌ویژه گوجه‌فرنگی است. ریشه‌ها به عنوان سیستم جذب آب و مواد مغذی عمل کرده و در نهایت بر رشد پیکر هوایی و تولید میوه تأثیر می‌گذارند. استفاده از عصاره جلبک دریایی و کود نیکل به‌عنوان روش‌های تقویتی، می‌تواند به بهبود وزن ریشه در گوجه‌فرنگی کمک کند (Espinosa-Antón *et al*, 2023). مطالعات نشان می‌دهند که عصاره جلبک دریایی به دلیل غنی بودن از هورمون‌های گیاهی و مواد معدنی، می‌تواند به افزایش رشد ریشه و بهبود وزن آن کمک کند. تحقیقاتی که توسط (Aziz *et al*, 2019) انجام شد، نشان داد که محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی در غلظت‌های مختلف، منجر به افزایش معنادار وزن ریشه در گوجه‌فرنگی گردید. این افزایش وزن تر به دلیل بهبود جذب مواد مغذی و تقویت فعالیت‌های متابولیکی ریشه‌ها است. همچنین، نیکل به‌عنوان یک ریز مغذی، در غلظت‌های مناسب می‌تواند به بهبود رشد ریشه کمک کند. پژوهشی که توسط (Farooq *et al*, 2023) انجام شد، نشان داد که آبیاری با نیکل تأثیر مثبتی بر وزن ریشه گوجه‌فرنگی داشته و موجب افزایش جذب آب و مواد مغذی توسط ریشه‌ها می‌شود. نیکل می‌تواند جذب عناصر غذایی کلیدی مانند نیتروژن و پتاسیم را افزایش دهد که این عناصر برای رشد ریشه و توسعه گیاه ضروری هستند. همچنین، نیکل می‌تواند تأثیرات مثبتی بر فعالیت آنزیم‌ها و فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط با رشد ریشه‌ها داشته باشد (Farooq *et al*, 2023).

مطالعات نشان داده‌اند که وزن گیاه می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع خاک، مقدار آب و مواد مغذی، و شرایط محیطی مانند دما و نور قرار گیرد. تحقیقات نشان می‌دهد که عصاره جلبک دریایی به دلیل داشتن هورمون‌های گیاهی و مواد مغذی، می‌تواند به تحریک رشد و توسعه اندام هوایی کمک کند (Ali *et al*, 2019). در مطالعه‌ای که توسط (Tumbare *et al*, 2004) انجام شد، نتایج نشان داد که افزایش غلظت عصاره جلبک دریایی تا ۲ میلی لیتر در لیتر و همچنین استفاده از نیکل در غلظت‌های مشخص، باعث افزایش وزن پیکر رویشی در گوجه‌فرنگی می‌شود. در این تحقیق، ترکیب بهینه عصاره جلبک و نیکل به افزایش قابل توجهی در صفات مورفولوژیکی مانند ارتفاع گیاه، تعداد برگ و وزن تر منجر شد. در پژوهشی که توسط (Khan *et al*, 2021) انجام شد، مشخص شد که آبیاری با نیکل در غلظت‌های ۱۵۶ و ۲۳۴ میلی‌گرم در لیتر تأثیر مثبتی بر وزن خشک پیکر رویشی گوجه‌فرنگی دارد و می‌تواند منجر به بهبود شرایط رشد گیاه شود.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل به‌طور معنی‌داری باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه شد؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان وزن تر (۱۲۸/۴۲ گرم) و خشک ریشه (۶۳/۴۲ گرم) مربوط به تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و ۰/۳۱۲ میلی‌گرم در لیتر کود آبیاری نیکل بوده و کمترین مقدار وزن تر (۱۰۹/۵ گرم) و خشک ریشه (۴۴/۵ گرم) مربوط در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول

جدول ۳- تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کودآبیاری نیکل بر خصوصیات رشدی و عملکردی

Table 3. Effect of different levels of seaweed extract and nickel fertilizer on growth and yield characteristics

Treatments	Fruit diameter(cm)	Fruit length (cm)	Fruit weight (g)	Aerial part FW (g)	Aerial part DW (g)	Root FW (g)	oot DW (g)
SE ₁ (Ctrl)	N1 (Ctrl)	3.55 g	3.10 g	38.63 i	242.43 j	80.43 j	109.50 k
	N ₂	4.40 f	3.26 fg	51.32 gh	277.80 g	115.80 g	114.72 h
	N ₃	4.84 de	3.56 ef	69.88 de	292.36 e	130.36 e	114.30 hi
	N ₄	4.13 f	3.35 fg	43.33 hi	299.71 cd	137.71 cd	121.75 d
SE ₂	N1 (Ctrl)	5.00 d	3.80 de	51.32 gh	260.90 i	98.89 i	112.10 j
	N ₂	4.86 de	3.46 e-g	55.28 g	285.76 f	123.76 f	116.35 g
	N ₃	4.86 de	4.00 cd	65.91 ef	292.99 e	130.99 e	115.42 gh
	N ₄	4.53 ef	3.46 e-g	57.54 fg	301.80 c	139.80 c	123.80 c
SE ₃	N1 (Ctrl)	5.13 d	4.10 b-d	53.63 g	271.63 h	109.63 h	113.35 i
	N ₂	6.40 ab	4.33 a-c	97.69 c	292.02 e	130.02 e	116.55 g
	N ₃	6.00 bc	4.46 ab	91.14 c	298.19 cd	136.19 e	120.47 e
	N ₄	4.46 ef	3.80 de	77.22 d	321.27 b	159.27 b	127.53 a
SE ₄	N1 (Ctrl)	5.93 c	4.13 b-d	108.77 a	282.32 f	120.32 f	116.55 g
	N ₂	6.50 a	4.50 ab	99.22 bc	296.10 de	134.10 de	118.20 f
	N ₃	6.16 a-c	4.60 a	107.75 ab	298.18 cd	136.18 cd	126.37 b
	N ₄	6.56 a	4.60 a	110.70 a	341.40 a	179.40 a	128.42 a

N: Nickel, A: SE: Seaweed extract. SE1, SE2, SE3, SE4 shows 0, 1, 1.5 and 2 mL L⁻¹, respectively. N1, N2, N3, N4 shows 0, 0.156, 0.234 and 0.312 mg L⁻¹, respectively.

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P < 0.05

رنگیزه‌های میوه گوجه فرنگی

تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند، به‌طوری که با افزایش غلظت تیمارها، یک روند افزایشی در میزان کاروتنوئید میوه قابل مشاهده است. از بین تمامی غلظت‌ها، بیشترین میزان کاروتنوئید (۲/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، لیکوپن (۱۶/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و بتاکاروتن (۵/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و ۰/۳۱۲ میلی‌گرم در لیتر کود آبیاری نیکل مشاهده شد (جدول ۵).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی رنگیزه‌های میوه گوجه فرنگی داشت. همچنین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل روی رنگیزه‌های میوه گوجه فرنگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثرات محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان کاروتنوئید نشان داد که تمامی

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کودآبیاری نیکل بر رنگدانه‌های میوه

Table 4 . Analysis of variance for effect of different levels of seaweed extract and nickel fertilizer on fruit pigments

S. O. V	df	Mean square		
		Carotenoids	Lycopene	β-Carotene
Nickel (N)	3	1.93 **	223.48 **	0.73 **
Seaweed E (SE)	3	0.75 **	64.70 **	2.22 **
N*SE	9	0.56 **	57.08 **	2.77 **
Error	31	0.14	0.80	0.93
CV (%)		29	9.26	4.22

**Significant at 1% probability level

بیشترین میزان کاروتنوئید (۲/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، لیکوپن (۱۶/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و بتاکاروتن (۵/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و ۰/۳۱۲ میلی‌گرم در لیتر کود آبیاری نیکل مشاهده شد (جدول ۵).

مقایسه میانگین اثرات محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان کاروتنوئید نشان داد که تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند، به‌طوری که با افزایش غلظت تیمارها، یک روند افزایشی در میزان کاروتنوئید میوه قابل مشاهده است. از بین تمامی غلظت‌ها،

(Zodape et al, 2011). ژرانیل ژرانیل دی فسفات (GGPP) پیش ساز کاروتنوئیدها است و از ایزوپنتیل دی فسفات (IPP) تشکیل می شود. تیمارهای عصاره جلبک دریایی سنتز GGPP را تقویت می کند و آن را به بیوسنتز کاروتنوئید به جای سایر مسیرهای رقیب مانند سنتز کلروفیل هدایت می کند. همچنین مطالعات نشان داده اند که محرک های زیستی مانند عصاره جلبک دریایی می توانند بیان ژن های کد کننده آنزیم ها را در مسیر ایزوپرنوئید تنظیم کنند که منجر به افزایش سنتز کاروتنوئیدها می شود (Ali et al, 2016). عصاره جلبک دریایی حاوی فیتوهورمون هایی مانند سیتوکینین ها، اکسین ها و جیبرلین ها و همچنین ترکیبات هورمون مانند از جمله بتائین و براسینوستروئیدها است. این فیتوهورمون ها نقش مهمی در تنظیم بیوسنتز کاروتنوئید دارند. سیتوکینین ها تقسیم سلولی و توسعه کلروپلاست را تقویت می کنند که منجر به افزایش ظرفیت تولید کاروتنوئید می شود. همچنین اکسین ها بر رشد میوه، بلوغ و سنتز متابولیت های ثانویه از جمله کاروتنوئیدها تأثیر می گذارد (Khan et al., 2009). در کل اثرات هورمونی عصاره جلبک دریایی تضمین می کند که گیاهان منابع بیشتری را به تولید متابولیت های ثانویه، از جمله کاروتنوئیدها، به ویژه در مراحل رشد و رسیدن میوه اختصاص می دهند.

در گوجه فرنگی، کاروتنوئیدها به ویژه بتاکاروتن و لیکوپن، نقش کلیدی در تعیین رنگ و ارزش غذایی میوه دارند. بررسی تأثیر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان کاروتنوئیدهای گوجه فرنگی رقم PS می تواند به بهبود کیفیت و عملکرد این گیاه کمک کند. مطالعه ای توسط (Khan et al, 2020) نشان داد که محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش معنادار محتوای کاروتنوئیدهای گوجه فرنگی شد. این افزایش ممکن است به دلیل وجود هورمون های گیاهی و عناصر غذایی موجود در عصاره جلبک باشد که به تحریک سنتز کاروتنوئیدها کمک می کند. نیکل نیز به عنوان یک ریزمغذی تأثیر مثبتی بر سنتز کاروتنوئیدها دارد. در تحقیقی مشخص گردید که آبیاری با نیکل موجب افزایش محتوای کاروتنوئید در گوجه فرنگی گردید. این افزایش می تواند ناشی از بهبود فرآیندهای متابولیکی و افزایش مقاومت به تنش های محیطی باشد. کاروتنوئیدها، از جمله لیکوپن و بتاکاروتن، از طریق مسیر بیوسنتزی ایزوپرنوئید (یا ترپنوئید) سنتز می شوند. عصاره جلبک دریایی این مسیر را تحت تأثیر قرار می دهد. عصاره جلبک دریایی فعالیت آنزیم های حیاتی در مسیر بیوسنتزی کاروتنوئید مانند فیتوئن سنتاز، فیتوئن دساتوراز و لیکوپن بتا سیکلاز را افزایش می دهد. این فعال سازی ممکن است به دلیل اثرات هورمونی یا افزایش در دسترس بودن مواد مغذی باشد

جدول ۵. تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر رنگدانه های میوه

Table 5. Effect of different levels of seaweed extract and nickel fertilizer on fruit pigments

Treatments	Carotenoids (mg/g fw)	Lycopene (mg/g fw)	β-Carotene (mg/g fw)
SE ₁ (Ctrl)	N1 (Ctrl) 0.63 d	0.99 i	1.11 e
	N ₂ 0.80 b-d	4.24 h	2.48 de
	N ₃ 1.34 a-d	9.15 e-g	4.34 c
	N ₄ 1.31 a-d	12.78 bc	4.07 cd
SE ₂	N1 (Ctrl) 0.58 d	3.03 h	1.87 e
	N ₂ 1.09 b-d	7.27 g	3.39 d
	N ₃ 1.50 a-d	9.81 de	5.45 ab
	N ₄ 1.51 a-d	13.9 b	4.97 c
SE ₃	N1 (Ctrl) 0.79 b-d	4.76 h	4.71 c
	N ₂ 1.28 a-d	9.6 d-f	3.66 d
	N ₃ 1.63 a-d	11.56 cd	5.62 ab
	N ₄ 1.75 ab	14.92 ab	5.50 ab
SE ₄	N1 (Ctrl) 1.003 b-d	7.61 fg	5.77 a
	N ₂ 1.59 a-d	11.50 cd	5.40 ab
	N ₃ 1.77 ab	13.61 bc	5.69 ab
	N ₄ 2.11 a	16.72 a	5.81 a

N: Nickel, A; SE: Seaweed extract. SE₁, SE₂, SE₃, SE₄ shows 0, 1, 1.5 and 2 mL L⁻¹, respectively. N₁, N₂, N₃, N₄ shows 0, 0.156, 0.234 and 0.312 mg L⁻¹, respectively.

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P < 0.05

خصوصیات بیوشیمیایی میوه (ترکیبات فنلی)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد روی خصوصیات بیوشیمیایی میوه گوجه فرنگی داشت. همچنین اثر متقابل محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل روی خصوصیات بیوشیمیایی میوه گوجه فرنگی در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین اثرات محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان خصوصیات بیوشیمیایی نشان داد که تمامی تیمارها اختلاف معنی داری با شاهد دارند، به طوری که با افزایش غلظت تیمارها، یک روند افزایشی در میزان خصوصیات بیوشیمیایی قابل مشاهده است. بیشترین میزان آنتوسیانین ($58/46$ میکروگرم بر گرم وزن خشک)، فنول کل ($41/71$ میلیگرم بر گرم وزن خشک) و فلاونوئید کل ($0/312$ میلیگرم بر گرم وزن خشک) در تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و $0/312$ میلیگرم در لیتر کود آبیاری نیکل مشاهده شد و کمترین مقدار خصوصیات بیوشیمیایی مربوط به تیمار شاهد بود (شکل‌های ۱-۳).

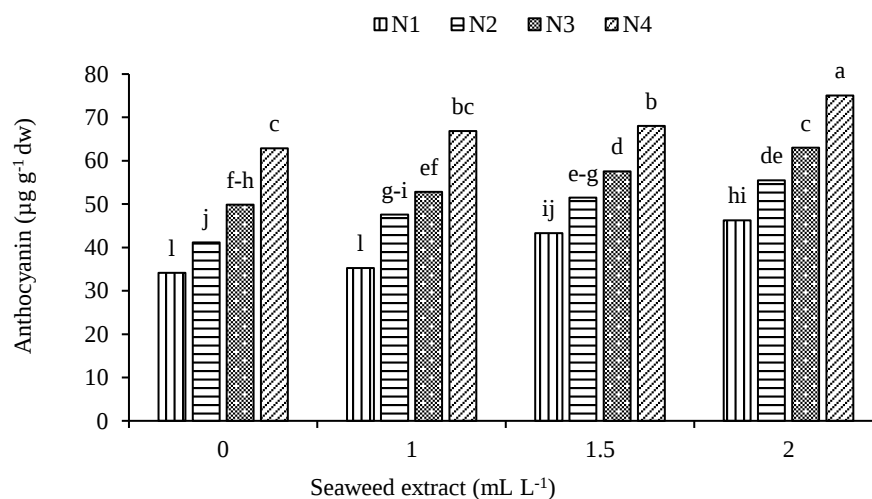
اندازه‌گیری محتوای کل پلی‌فنل‌ها در گوجه‌فرنگی یک فرآیند مهم برای ارزیابی خواص آنتی‌اکسیدانی و کیفیت تغذیه‌ای این میوه است. پلی‌فنل‌ها به عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در گیاهان نقش مهمی دارند و می‌توانند به بهبود کیفیت و سلامت محصولات کشاورزی کمک کنند. استفاده از عصاره جلبک دریایی و کود نیکل می‌تواند تأثیر مثبتی بر محتوای پلی‌فنل‌ها داشته باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که نیکل می‌تواند به عنوان محرک تولید ترکیبات فنلی عمل کند و به بهبود این ترکیبات در گیاهان منجر شود (Zheng et al., 2020). مسیر فنیل پروپانویید مسیر متابولیک مرکزی برای سنتز ترکیبات فنلی است و تنظیم آن جنبه مهمی از پاسخ‌های گیاه به محرک‌های محیطی است. محلولپاشی عصاره جلبک دریایی می‌تواند مستقیماً بر این مسیر تأثیر بگذارد و منجر به افزایش تولید ترکیبات فنلی شود. مسیر فنیل پروپانویید با تبدیل اسید آمینه فنیل آلانین به اسید سینامیک شروع می‌شود که توسط فنیل آلانین آمونیاک لیا (PAL) کاتالیز می‌شود. این واکنش مرحله محدود کننده سرعت در بیوسنتز فنلی است. مطالعات نشان داده‌اند که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی می‌تواند فعالیت PAL را تنظیم کند و در نتیجه تولید

ترکیبات فنلی را تسریع کند (Ali et al., 2021). علاوه بر PAL، سایر آنزیم‌های درگیر در مسیر فنیل پروپانویید، مانند سینامات-۴-هیدروکسیلاز (C4H) و لیگاز ۴-کومارات (CoA (4CL)، نیز تحت تأثیر کاربرد عصاره جلبک دریایی قرار می‌گیرند. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها منجر به افزایش سنتز اسیدهای فنلی، فلاونوئیدها و لیگنان‌ها می‌شود. عصاره جلبک دریایی همچنین برای تحریک تولید سایر ترکیبات زیست فعال، مانند پلی ساکاریدها و پپتیدهای جلبکی، که ممکن است به طور غیرمستقیم از مسیر فنیل پروپانویید پشتیبانی کند، شناخته شده است. با ارائه پیش سازها و کوفاکتورهای اضافی، عصاره جلبک دریایی می‌تواند بیوسنتز ترکیبات فنلی را افزایش داده و در نتیجه تجمع آنها را در بافت‌های گیاهی افزایش دهد.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر خصوصیات بیوشیمیایی و آنتی اکسیدانی
Table 6 - Analysis of variance for effect of different treatments on biochemical and antioxidant properties

S. O. V	df	Mean square			
		TPC	TFC	Anthocyanin	DPPH
Nickel (N)	3	1144.38 **	707.76 **	1641.86 **	2200.63**
Seaweed E (SE)	3	475.77 **	126.14 **	361.001 **	356.10**
N*SE	9	48.96 **	5.95 **	399.56 **	16.44**
Error	31	3.03	1.19	3.49	2.86
CV (%)		5.17	3.90	3.56	2.90

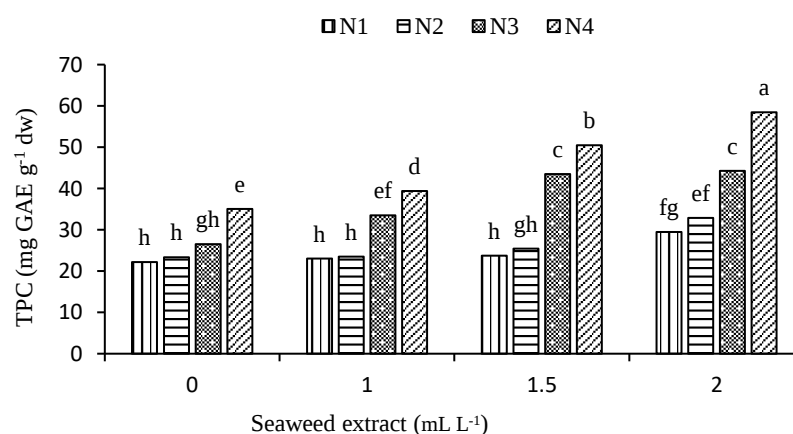
**Significant at 1% probability level



شکل ۱- اثرات محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان آنتوسیانین

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

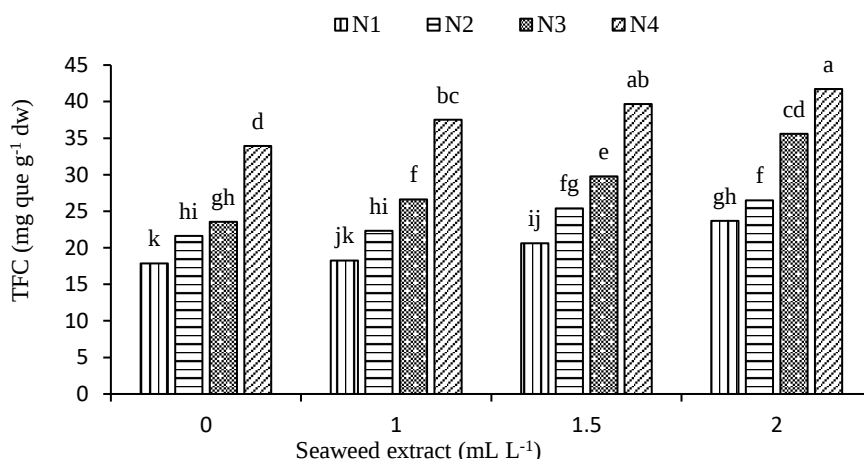
Figure 1. Effects of foliar application of seaweed extract and nickel fertilizer on anthocyanin content
Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$



شکل ۲- اثرات محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان فنل کل

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2. Effects of foliar application of seaweed extract and nickel fertilizer on total phenol (TPC)
Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$



شکل ۳- اثرات محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان فلاونوئید کل

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 3. Effects of foliar application of seaweed extract and nickel fertilizer on total phenol (TFC)

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$

کمک کند. تحقیقات نشان داده‌اند که عصاره جلبک دریایی می‌تواند به‌طور قابل توجهی فعالیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد. در مطالعه‌ای توسط (Shah *et al*, 2021) مشخص شد که محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش معنادار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گوجه‌فرنگی شد. این افزایش ممکن است به دلیل وجود ترکیبات فعال زیستی و ویتامین‌ها در عصاره جلبک باشد که به کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه کمک می‌کند. نیکل نیز به‌عنوان یک ریزمغذی، می‌تواند بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر مثبت بگذارد. ترکیبات فنلی نقش مهمی در دفاع گیاه، به ویژه در مبارزه با استرس اکسیداتیو ناشی از عوامل استرس‌زای محیطی مانند اشعه ماوراء بنفش، دمای بالا، خشکسالی و فلزات سنگین ایفا می‌کنند. یکی از مکانیسم‌های اولیه ای که از طریق آن محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش ترکیبات فنلی می‌شود، تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه است. عصاره جلبک دریایی حاوی چندین ترکیب فعال زیستی است که به عنوان آنتی اکسیدان عمل می‌کنند، مانند پلی فنل‌ها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها. این ترکیبات می‌توانند به طور مستقیم گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را که در طول استرس اکسیداتیو تولید می‌شوند، از بین ببرند. علاوه بر این، عصاره جلبک دریایی برای تنظیم مثبت فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی درون زاء، مانند

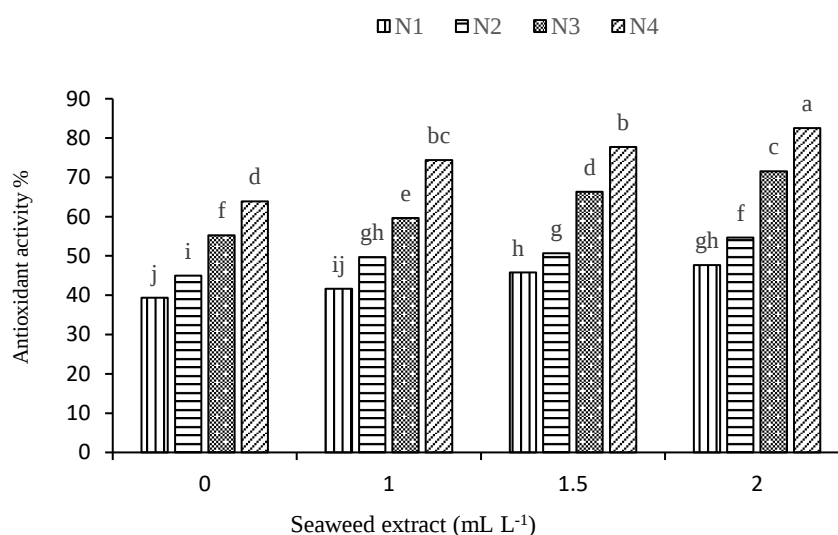
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی فعالیت آنتی اکسیدانی میوه گوجه‌فرنگی داشت. همچنین اثر متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل روی فعالیت آنتی اکسیدانی میوه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد اثر محلول‌پاشی سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد دارند، به‌طوری‌که با افزایش غلظت تیمارها، یک روند افزایشی در میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل مشاهده است. به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با میانگین (۸۲/۵۰ درصد) مربوط به تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و ۰/۳۱۲ میلی‌گرم در لیتر کود آبیاری نیکل بوده و کمترین مقدار (۳۹/۴۰ درصد) مربوط به تیمار شاهد می‌باشد (شکل ۴). فعالیت آنتی‌اکسیدانی یکی از ویژگی‌های مهم در ارزیابی کیفیت و ارزش غذایی محصولات کشاورزی است. بررسی تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) در گوجه‌فرنگی رقم PS می‌تواند به بهبود کیفیت این گیاه

عمل می کنند. مطالعات نشان داده اند که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی می تواند فعالیت آنزیم های کلیدی درگیر در بیوسنتز فنلی مانند فنیل آلانین آمونیاک لیاژ (PAL)، آنزیم مسئول شروع مسیر فنیل پروپانویید را افزایش دهد (Ali et al, 2021). این مسیر مسیر اصلی برای بیوسنتز اسیدهای فنلی، فلاونوئیدها و لیگنان ها است و فعال شدن آن به افزایش تولید ترکیبات فنلی در پاسخ به استرس کمک می کند.

سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز شناخته شده است (Hassan et al, 2021). با افزایش فعالیت این آنزیم های آنتی اکسیدانی، عصاره جلبک دریایی به کاهش آسیب اکسیداتیو به بافت های گیاهی کمک می کند. این سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی تقویت شده می تواند منجر به افزایش تولید ترکیبات فنلی شود. بیوسنتز ترکیبات فنلی ارتباط نزدیکی با توانایی گیاه در مدیریت استرس اکسیداتیو دارد، زیرا بسیاری از این ترکیبات خود به عنوان آنتی اکسیدان



شکل ۴- اثرات محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی

میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، به روش آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 4. Effects of foliar application of seaweed extract and nickel fertilizer on antioxidant activity
Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P < 0.05$

برگ های گوجه فرنگی داشت. همچنین اثر متقابل محلول - پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل در سطح احتمال یک درصد بر میزان نیتروژن، فسفر، منیزیم و کلسیم و پنج درصد پتاسیم معنی دار شد (جدول ۷).

عناصر غذایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد روی عناصر غذایی

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل بر خصوصیات عناصر غذایی

Table 7 Analysis of variance for effect of different levels of seaweed extract and nickel fertilizer on nutrients elements

S. O. V	df	Mean square				
		Nitrogen	Phosphorus	Potassium	Calcium	Magnesium
Nickel (N)	3	0.97 **	0.032 **	6.99 **	0.098 **	0.032 **
Seaweed E (SE)	3	0.79 **	0.008 **	0.67 **	0.054 **	0.008 **
N×SE	9	0.37 **	0.004 **	0.007 *	0.004 **	0.004 **
Error	31	0.04	0.001	0.003	0.001	0.002
CV (%)		15.81	3.52	2.01	2.54	2.58

and * Significant at 1% and 5 % probability level, respectively **

مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل باعث افزایش معنی‌دار تمامی عناصر غذایی نسبت به تیمار شاهد شد؛ به‌طوری‌که بیشترین مقدار نیتروژن (۲/۱۳ درصد)، فسفر (۰/۲۷ درصد)، پتاسیم (۴/۰۶ درصد)، کلسیم (۰/۷ درصد) و منیزیم (۰/۳۴ درصد) برگ در تیمار ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره جلبک دریایی و ۰/۳۱۲ میلی‌گرم در لیتر کود آبیاری نیکل بدست آمد و کمترین مقدار این عناصر در شاهد مشاهده شد (جدول ۸).

نیتروژن یکی از عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاهان است و نقش کلیدی در متابولیسم گیاهی و تولید پروتئین‌ها دارد. بهینه‌سازی منابع نیتروژن در زراعت می‌تواند به بهبود عملکرد و کیفیت محصول کمک کند. استفاده از عصاره جلبک دریایی و نیکل به عنوان ریزمغذی‌ها می‌تواند بر جذب و متابولیسم نیتروژن تأثیرگذار باشد. عصاره جلبک دریایی حاوی ترکیباتی مانند هورمون‌ها و مواد معدنی است که می‌توانند به بهبود جذب نیتروژن کمک کنند. مطالعات نشان داده‌اند که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی می‌تواند منجر به افزایش فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با متابولیسم نیتروژن و در نتیجه افزایش غلظت نیتروژن در گیاهان شود. در تحقیقی نشان داده شد که عصاره جلبک دریایی باعث بهبود جذب نیتروژن و افزایش کیفیت میوه‌ها در گوجه‌فرنگی شد (Hatamzadeh et al, 2020). نیکل به عنوان یک ریزمغذی، نقش مهمی در متابولیسم نیتروژن ایفا می‌کند. در غلظت‌های مناسب، نیکل می‌تواند به بهبود فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط با نیتروژن کمک کند و به افزایش کارایی استفاده از نیتروژن در گیاهان منجر شود. مطالعات نشان داده‌اند که نیکل می‌تواند فعالیت آنزیم‌های مرتبط با نیتروژن را افزایش دهد و در نتیجه جذب نیتروژن را بهبود بخشد (Zhao et al, 2023). عصاره جلبک دریایی

حاوی ترکیباتی است که می‌توانند به افزایش جذب فسفر کمک کنند. این عصاره می‌تواند با بهبود فعالیت ریشه‌ها و افزایش جذب مواد مغذی، به بهبود محتوای فسفر در گیاهان منجر شود. در یک مطالعه، نشان داده شده که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی می‌تواند باعث افزایش غلظت فسفر در گیاهان گوجه‌فرنگی شود (Hatamzadeh et al, 2020). نیکل به عنوان یک ریزمغذی، در متابولیسم فسفر و جذب آن توسط گیاهان نقش دارد. تحقیقات نشان داده‌اند که نیکل می‌تواند به بهبود فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین‌های مرتبط با متابولیسم فسفر کمک کند. به عنوان مثال، مطالعه‌ای نشان داده که نیکل می‌تواند جذب فسفر را در گیاهان بهبود بخشد و در نتیجه عملکرد و کیفیت میوه‌ها را افزایش دهد (Zhao et al, 2023). تحقیقات نشان داده‌اند که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش فعالیت ریشه‌ها و بهبود ساختار خاک می‌شود، که این عوامل می‌توانند به بهبود جذب پتاسیم منجر شوند. در مطالعه‌ای نشان داده شد که استفاده از عصاره جلبک دریایی می‌تواند غلظت پتاسیم در گیاهان گوجه‌فرنگی را افزایش دهد (Hatamzadeh et al, 2020). نیکل به عنوان یک ریزمغذی در متابولیسم پتاسیم و جذب آن توسط گیاهان نقش دارد. در غلظت‌های مناسب، نیکل می‌تواند به بهبود فعالیت آنزیم‌ها و پروتئین‌های مرتبط با متابولیسم پتاسیم کمک کند. مطالعات نشان می‌دهند که نیکل می‌تواند جذب پتاسیم را در گیاهان بهبود بخشد و در نتیجه عملکرد و کیفیت میوه‌ها را افزایش دهد (Zhao et al, 2023). در یک مطالعه، استفاده از عصاره جلبک دریایی منجر به افزایش غلظت کلسیم در گیاهان گوجه‌فرنگی گردید (Hassan et al, 2021). نیکل به عنوان یک ریزمغذی، نقش مهمی در متابولیسم کلسیم دارد. در غلظت‌های مناسب، نیکل می‌تواند جذب کلسیم را تسهیل کند و به بهبود کارایی

استفاده از این عنصر کمک نماید. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که نیکل می‌تواند تأثیر مثبت بر جذب و متابولیسم کلسیم در گیاهان داشته باشد (Zhao et al, 2023). منیزیم یکی از عناصر ضروری برای گیاهان است و در فرآیندهای متابولیکی مانند فتوسنتز و تولید کلروفیل نقش کلیدی دارد. بهینه‌سازی جذب منیزیم می‌تواند به بهبود رشد و کیفیت محصولات کمک کند. استفاده از عصاره جلبک دریایی و نیکل به عنوان ریزمغذی‌ها می‌تواند بر جذب و متابولیسم منیزیم تأثیر بگذارد. عصاره جلبک دریایی حاوی ترکیبات مفیدی است که می‌توانند به بهبود جذب منیزیم

کمک کنند. این عصاره می‌تواند با تحریک فعالیت ریشه‌ها و بهبود ساختار خاک، جذب منیزیم را افزایش دهد. در یک مطالعه، نشان داده شد که استفاده از عصاره جلبک دریایی می‌تواند غلظت منیزیم در گیاهان را افزایش دهد (Ali et al, 2022). نیکل به عنوان یک ریزمغذی، در متابولیسم منیزیم و جذب آن نقش دارد. در غلظت‌های مناسب، نیکل می‌تواند به بهبود جذب منیزیم و فعالیت آنزیم‌های مرتبط کمک کند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که نیکل می‌تواند به بهبود کارایی جذب منیزیم در گیاهان منجر شود (Zhao et al, 2023).

جدول ۸. تأثیر سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و کودآبیاری نیکل بر عناصر غذایی گوجه فرنگی

Table 8. Effect of different levels of seaweed extract and nickel fertilizer on tomato nutrients

Treatments		Nitrogen (%)	Phosphorus (%)	Potassium (%)	Calcium (%)	Magnesium (%)
SE ₁ (Ctrl)	N1 (Ctrl)	0.75 g	0.1bj	1.85 l	0.35 e	0.17 j
	N ₂	0.83 fg	0.13 hi	2.03 k	0.4 d	0.2 hi
	N ₃	1.2 c-g	0.18 e	2.83 g	0.4 d	0.25 e
	N ₄	1.33 b-f	0.24 c	3.63 c	0.5 c	0.31 c
SE ₂	N1 (Ctrl)	0.9 e-g	0.12 i	2.03 k	0.4 d	0.19 i
	N ₂	1.3 b-g	0.15 g	2.23 j	0.4 d	0.22 g
	N ₃	1.3 b-g	0.17 ef	3.06 f	0.5 c	0.24 ef
	N ₄	1.5 b-d	0.25 bc	3.76 b	0.6 b	0.32 bc
SE ₃	N1 (Ctrl)	1.1 d-g	0.14 gh	2.23 j	0.5c	0.21 gh
	N ₂	1.43 b-e	0.16 fg	2.43 i	0.4 d	0.23 fg
	N ₃	1.46 b-d	0.21 d	3.26 e	0.5 c	0.28 d
	N ₄	1.76 ab	0.26 ab	3.83 b	0.7 a	0.33 ab
SE ₄	N1 (Ctrl)	1.16 d-g	0.17 e	2.46 i	0.5 c	0.24 e
	N ₂	1.56 b-d	0.2 d	2.63 h	0.5 c	0.27 d
	N ₃	1.73 a-c	0.26 ab	3.46 d	0.6 b	0.33 ab
	N ₄	2.13 a	0.27 a	4.06 a	0.7 a	0.34 a

N: Nickel, A; SE: Seaweed extract. SE1, SE2, SE3, SE4 shows 0, 1, 1.5 and 2 mL L⁻¹, respectively. N1, N2, N3, N4 shows 0, 0.156, 0.234 and 0.312 mg L⁻¹, respectively.

Means followed by the same superscript letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P < 0.05

نتیجه گیری کلی

اگرچه اثرات غلظت‌های مختلف نیکل و عصاره جلبک دریایی بر رشد گیاهان مختلف به طور جداگانه بررسی شده است، اما اثرات همزمان آنها بر گیاه گوجه فرنگی در شرایط هیدروپونیک مورد مطالعه قرار نگرفته بود. از این رو در این پژوهش اثر محلولپاشی عصاره جلبک دریایی با کودآبیاری نیکل روی گوجه فرنگی که یکی مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین محصولات صنعت محصولات گلخانه می‌باشد، بررسی شد. نتایج نشان داد که محلولپاشی عصاره جلبک دریایی و کود آبیاری نیکل تأثیر معنی داری روی تمامی صفات رشدی، عملکردی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گوجه فرنگی داشت. همچنین اثر متقابل محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و

کود آبیاری نیکل روی تمامی صفات موثر بود. بنابراین استفاده از محرک‌های زیستی عصاره جلبک دریایی و ریز مغذی نیکل (مخصوصاً تیمار نیکل با غلظت ۰/۳۱۲ میلی گرم در لیتر و عصاره جلبک دریایی با غلظت ۲ میلی لیتر در لیتر) می‌تواند روشی مؤثر در بهبود کمیت و کیفیت گوجه فرنگی و همچنین حفظ محیط زیست و افزایش امنیت و ارزش غذایی به دلیل کاهش مصرف کودهای شیمیایی باشد.

References

- Abdel-Fattah S.S., Khedr F.G., and Metwally, A.G. 2022. Changes in the nutritional values of pea (*Pisum sativum* L.) grains under the effect of biostimulant application. *Agrochimica: International Journal of Plant Chemistry*, 66 (1): 43-59.
- Ali H.A., and Mohamed, M.A.K. 2016. Effect of fruiting spur length and spraying seaweed extract on yield and berries quality of Early sweet grapevines. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 47(6-2): 504-517.
- Ali O., Ramsubhag A., and Jayaraman J. 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3): 531.
- Ali O., Ramsubhag A., and Jayaraman, J. 2019. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *PLOS One*, 14(5): 0216710.
- Ali O., Ramsubhag A., Farrell A.D., and Jayaraman J. 2022. Foliar application of seaweed extracts influences the phytomicrobiome dynamics in tomato and sweet pepper plants. *Journal of Applied Phycology*, 34(6): 3219-3235.
- Aziz A., and Alfasane M.A. 2020. New records of seaweeds from southeastern coasts of Cox's Bazar district, Bangladesh. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*, 27(2): 335.
- Barba A.O., Hurtado M.C., Mata M.S., Ruiz V.F., and De Tejada M.L.S. 2006. Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β -carotene in vegetables. *Food chemistry*, 95(2): 328-336.
- Barker A.V., and Pilbeam D.J. 2015. Handbook of plant nutrition. CRC press. *Boca Raton*, 773p.
- Caradonia F., Ronga D., Tava A., and Francia E. 2021. Plant biostimulants in sustainable potato production: an overview. *Potato Research*, 10(3): 1-22.
- Chang A., Lim M.H., Lee S.W., Robb E.J., and Nazar R.N. 2008. Tomato phenylalanine ammonia-lyase gene family, highly redundant but strongly underutilized. *Journal of Biological Chemistry*, 283(48): 33591-33601.
- Chen C., Huang D., and Liu, J. 2009. Functions and toxicity of nickel in plants: recent advances and future prospects. *Clean - soil, air, water*, 37(4 - 5): 304-313.
- Chung S.W., Yu D.J., and Lee, H.J. 2016. Changes in anthocyanidin and anthocyanin pigments in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* cv. Bluecrop) fruits during ripening. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57: 424-430.
- Dere Ş., Güneş T., and Sivaci R. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish journal of Botany*, 22(1): 13-18.
- Ebrahimzadeh M.A., Pourmorad F., and Bekhradnia A.R. 2008. Iron chelating activity, phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. *African journal of Biotechnology*, 7(18): 3188-3192.
- Elansary H.O., Yessoufou K., Abdel-Hamid A.M.E., El-Esawi M.A., Ali H., and Elshikh M.S. 2017. Seaweed extracts enhance salam turfgrass performance during prolonged irrigation intervals and saline shock. *Frontiers in plant science*, 28659932.
- Espinosa-Antón A.A., Zamora-Natera J.F., Zarazúa-Villaseñor P., Santacruz-Ruvalcaba F., Sánchez-Hernández C.V., Águila Alcántara E., Torres-Morán M.I., Velasco-Ramírez A.P., and Hernández-Herrera, R.M. 2023. Application of seaweed generates changes in the substrate and stimulates the growth of tomato plants. *Plants*, 12(7): 1520.
- Farooq Z., Shahzadi I., Haider A., Alhummiyany H., Ul-Hamid A., Nabgan W., Bajaber M.A., Imran M., and Ikram, M. 2023. Effective catalytic and antimicrobial performance of multiple phase AgBr and polyacrylic acid doped nickel oxide nanostructures with In Silico molecular docking study. *Surfaces and Interfaces*, 43: 103489.
- Gregory P.J., Crawford D.V., and McGowan M. 1979. Nutrient relations of winter wheat: 1. Accumulation and distribution of Na, K, Ca, Mg, P, S and N. *The Journal of Agricultural Science*, 93(2): 485-494.
- Hassan S.M., Ashour M., Sakai N., Zhang L., Hassanien H.A., Gaber A., and Ammar G. 2021. Impact of seaweed liquid extract biostimulant on growth, yield, and chemical composition of cucumber (*Cucumis sativus*). *Agriculture*, 11(4): 320.
- Khan S., Lu F., Kashif M., and Shen, P. 2021. Multiple effects of different nickel concentrations on the stability of anaerobic digestion of molasses. *Sustainability*, 13(9): 4971.

- Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J., Prithiviraj B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 45(2): 112-134.
- Kiani H.S., Ali A., Zahra S., Hassan Z.U., Kubra K.T., Azam M., and Zahid H.F. 2022. Phytochemical composition and pharmacological potential of lemongrass (*Cymbopogon*) and impact on gut microbiota. *Applied Chemistry*, 2(4): 229-246.
- Malik A., MorV.S., Tokas J., Punia H., Malik S., Malik K., and Karwasra A. 2021. Biostimulant treated seedlings under sustainable agriculture: A global perspective facing climate change. *Agronomy*, 11(1): 14-38.
- Nakajima J.I., Tanaka I., Seo S., Yamazaki M., and Saito, K. 2004. LC/PDA/ESI - MS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *BioMed Research International*, 2004(5): 241-247.
- Parida B.K., Chhibba I.M., and Nayyar V.K. 2003. Influence of nickel-contaminated soils on fenugreek (*Trigonella corniculata* L.) growth and mineral composition. *Scientia horticulturae*, 98(2): 113-119.
- Pascual P.R.L., Carabio D.E., Rondina M.E., Abello N.F.H., and Pascual V.U. 2020. Fermented Seaweed (*Kappaphycus Alvarezii*) By-Product Promotes Growth and Development of Lettuce (*Lactuca Sativa* Var. Curly Green). *Plant Cell Biotechnology and Molecular*, 21(7): 208-214.
- Rahman H., Sabreen S., Alam S., and Kawai, S. 2005. Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution. *Journal of plant nutrition*, 28(3): 393-404.
- Reyhanitabar, A., 2018. Study on the Interaction Effects of Ni and Fe Co-Application on their Uptake by Corn Plant (*Zea mays* L.) in a Calcareous Soil. *Applied Soil Research*, 6(1), pp.37-50.
- Rezaei M., Abdollahi F., Dastjerdi A., and Yousefzadi, M. 2019. Role of seaweed (*Ulva flexuosa* Wulfen) extract in improvement of postharvest quality of Washington navel orange fruits. *Iran Agricultural Research*, 38(2): 111-118.
- Sadeghi A., Rezaei M., Pezeshk S., and Gharib Heidari M. 2024. The Role of Ultrasound Cavitation Combined with Alcalase Enzyme in Improving the Structural and Antioxidant Attributes of Sulfated Polysaccharide from Yellowfin (*Thunnus albacares*) Skin. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 33(2): 177-193.
- Seregin I.V., Kozhevnikova A.D., Kazyumina E.M., and Ivanov V.B. 2003. Nickel toxicity and distribution in maize roots. *Russian Journal of Plant Physiology*, 50: 711-717.
- Shah Y., Yadav A., Kumar, M.A., Kavale M.G., Prasad K., and Mantri, V.A. 2021. 'Proof of concept' of how tube-net diameter affects growth and agar content in industrially important farmed red seaweed *Gracilaria dura*. *Journal of Applied Phycology*, 33: 2349-2358.
- Shahrajabian M.H., Chaski C., Polyzos N., and Petropoulos S.A. 2021. Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. *Biomolecules*, 11(5): 698-721.
- Shi J., Qu Q., Kakuda Y., Yeung D., and Jiang, Y. 2004. Stability and synergistic effect of antioxidative properties of lycopene and other active components. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(7-8): 559-573.
- Sohrabi O., Hatamzadeh, A., Ghasemnezhad, A., Samizadeh, H. and Erfani-moghadam, V., 2023. Development of a novel protocol for enhanced tomato callus formation and growth through the use of medicinal Plant extracts. 28 June 2023, Preprint (Version 1) available at *Research Square* [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3054989/v1>]
- Tumbare M.J. 2008. "Managing Lake Kariba sustainably: threats and challenges". *Management of Environmental Quality*, 19(6): 731-739.
- Werner F.J., Graiff A., and Matthiessen, B. 2016. Temperature effects on seaweed-sustaining top-down control vary with season. *Oecologia*, 180: 889-901.
- Zhao W., Subbiah V., Xie C., Yang Z., Shi L., Barrow C., Dunshea F., and Suleria, H.A. 2023. Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in seaweed. *Food Reviews International*, 39(8): 5729-5760.
- Zheng L.X., Chen X.Q., and Cheong, K.L. 2020. Current trends in marine algae polysaccharides: The digestive tract, microbial catabolism, and prebiotic potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151: 344-354.

- Zhou X., Zhang H., Zheng S., Xing W., Yang H., and Zhao, Y. 2023. A study on the transmission of trade behavior of global nickel products from the perspective of the industrial chain. *Resources Policy*, 81:103376.
- Zodape S.T., Gupta A., Bhandari S.C., Rawat U.S., Chaudhry D.R., Eswaran K., and Chikara, J. 2011. Foliar Application of Seaweed Sap as Biostimulant for Enhancement of Yield and Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Scientific and Industrial Research*, 70: 215-219.