Publisher: Soil Science Society of Iran

Journal of Soil Research

(Soil and Water Sci.)

https:// srjournal.areeo.ir/

The Effect of Foliar Application of Seaweed Extract and NPK Chemical Fertilizer on Enhancing Yield and Improving Yield Components of Rice (*Oryza sativa* L.)

Mohammad Ali Bahmanyar[a*], Seyed Mostafa Emadi[a], Mehdi Hosseini[b], and Feizollah Azizzad Firouzi[a]

[a] Department of Soil Science, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

[b] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tehran Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Article Info

Article Type
Research Article

Received
June 23, 2026
Revised
September 16, 2026
Accepted
September 22, 2026
Published online
November 16, 2026

Keywords
Seed and straw yield
Filled grains
Foliar application
Ascophyllum nodosum
NPK fertilizer

***Corresponding author's email**
mali.bahmanyar@gmail.com

Extended Abstract

Background and Objectives: Rice is considered one of the most important staple foods worldwide, and ensuring adequate nutrition is essential to prevent yield reduction. Given its central role in the global food basket, the demand for rice continues to rise steadily. Therefore, identifying scientific and practical strategies to enhance rice production—especially in response to rapid population growth—is crucial. This study was conducted to investigate the effects of foliar application of seaweed extract and NPK chemical fertilizer on rice yield and its components.

Materials and Methods: This study was conducted during the 2024 growing season at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, using a split-plot design based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plot treatments consisted of different concentrations (0, 2:1000, and 4:1000) of seaweed extracts from *Ascophyllum nodosum* and *Ecklonia maxima*. The subplot treatments included varying concentrations (0, 2:1000, 4:1000, and 6:1000) of two chemical fertilizers: 20-20-20 and 12-12-36 (NPK). Foliar application of the seaweed extract and chemical fertilizer was carried out at key physiological stages: stem elongation, flowering, and the grain dough stage. In this study, the following traits were measured: seed yield, straw yield, biomass yield, harvest index, panicle length, plant height, number of effective tillers per hill, number of filled and unfilled seeds, and thousand-seed weight.

Results: The results revealed that the simple effects of fertilizer and seaweed foliar application, as well as their interactions, had a significant impact on rice yield and its components. The highest seed yield was obtained from the treatment with a 4:1000 concentration of *Ascophyllum nodosum* combined with a 6:1000 concentration of (12-12-36) fertilizer (6314.1 kg ha^{-1}), which represented a 71.49% increase compared to the control. Straw yield increased by 67.44% with the 4:1000 concentration of *Ascophyllum nodosum* compared to the control treatment. The maximum values for thousand-grain weight and biomass yield were observed with the 4:1000 concentration of *Ascophyllum nodosum* in combination with the 0.002 and 0.006 concentrations of (12-12-36) fertilizer, respectively. These represented an increase of 8.33% and 70.52% compared to the control, respectively. The highest number of filled grains per panicle was associated with the treatment combining the 4:1000 concentration of *Ascophyllum nodosum* and the 4:1000 concentration of (12-12-36) fertilizer.

Conclusion: The combined application of seaweed extract and chemical fertilizer increased seed and biomass yield. The highest straw yield was associated with the 0.004 concentration of *Ascophyllum nodosum*; however, foliar application of chemical fertilizer alone did not result in a significant increase in straw yield. Therefore, this study found that the application of *Ascophyllum nodosum* extract at an appropriate concentration, alongside a high-potassium fertilizer, had the greatest impact on enhancing yield and improving yield components. The seaweed *Ascophyllum nodosum* demonstrated superior results compared to *Ecklonia maxima*, suggesting its potential as a nutritional supplement for promoting rice growth in the paddy fields of northern Iran.

Cite this article: Bahmanyar, M.A., Emadi, S.M., Hosseini, M., Azizzad Firouzi, F., 2026. The Effect of Foliar Application of Seaweed Extract and NPK Chemical Fertilizer on Enhancing Yield and Improving Yield Components of Rice (*Oryza sativa* L.). Research Article, *Journal of Soil Research*, 40 (3), pp 377-402.

DOI: https://doi.org/10.22092/ijsr.2026.373279.823
Publisher: Soil Science Society of Iran

Publisher: Soil Science Society of Iran

نشریه پژوهش‌های خاک

(علوم خاک و آب)

https:// srjournal.areeo.ir/

تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK بر افزایش عملکرد و بهبود اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.)

محمد علی بهمنیار[1*]، سید مصطفی عمادی[1]، مهدی حسینی[2] و فیض‌اله عزیز زاد فیروزی[1]

[1] گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲ گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۲۵

واژه‌های کلیدی

آسکوفیلوم نودازوم

برنج

محلول‌پاشی

عملکرد دانه و کاه

کود NPK

***ایمیل نویسنده مسئول**

mali.bahmanyar@gmail.com

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج، به صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳ انجام شد. تیمارهای اصلی شامل غلظت‌های (صفر، ۲ و ۴ در هزار (حجمی/حجمی)) جلبک‌های *آسکوفیلوم نودازوم* و اکلونیاماکسیما و تیمار فرعی کود NPK با غلظت‌های (صفر، ۲، ۴ و ۶ در هزار (وزنی/حجمی)) کودهای (۲۰-۲۰-۲۰) و (۳۶-۱۲-۱۲) بود. محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی در مراحل فیزیولوژی ساقه‌روی، آبستنی و خمیری شدن دانه انجام شد. نتایج نشان داد که اثرات متقابل محلول‌پاشی کود و جلبک بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* به همراه غلظت شش در هزار (وزنی/حجمی) کود (۳۶- ۱۲- ۱۲) (۶۳۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار) بود که به میزان ۷۱/۴۹ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. عملکرد کاه در غلظت چهار در هزار (حجمی/حجمی) *آسکوفیلوم نودازوم*، نسبت به شاهد، ۶۷/۴۴ درصد افزایش یافت. بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد بیوماس در غلظت چهار در هزار (حجمی/حجمی) *آسکوفیلوم نودازوم* به‌ترتیب همراه با غلظت‌های دو و شش در هزار (وزنی/حجمی) کود (۳۶-۱۲-۱۲) حاصل شد که نسبت به شاهد ۸/۳۳ و ۷۰/۵۲ درصد افزایش داشتند. بیشترین تعداد دانه‌های پر در خوشه مربوط به تیمار چهار در هزار (حجمی/حجمی) *آسکوفیلوم نودازوم* + چهار در هزار (وزنی/حجمی) کود (۳۶-۱۲-۱۲) بود و بیشترین میزان عملکرد کاه و کلش مربوط به غلظت چهار در هزار (حجمی/حجمی) جلبک *آسکوفیلوم نودازوم* مشاهده شد. در مقابل محلول‌پاشی کود شیمیایی به تنهایی اثر قابل‌توجهی بر عملکرد کاه و کلش نداشت. به‌طور کلی، جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* نسبت به *اکلونیاماکسیما* نتایج بهتری نشان داد که با توجه به شرایط این مطالعه، ضمن بررسی بیشتر می تواند به عنوان یک مکمل تغذیه‌ای برای رشد برنج در شالیزارهای شمال کشور معرفی گردد.

استناد: بهمنیار، م.ع.، عمادی، س.م.، حسینی، م.، عزیز زاد فیروزی، ف.، ۱۴۰۵. تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK بر افزایش عملکرد و بهبود اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.). مقاله پژوهشی، *نشریه پژوهش‌های خاک*، (۳) ۴۰، ص ۳۷۷- ۴۰۲.

DOI: https://doi.org/10.22092/ijsr.2026.373279.823

CC BY NC

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی جهان محسوب می شود که سالانه تقریباً ۳۵ تا ۷۰ در صد از انرژی غذایی مورد نیاز نزدیک به سه میلیارد نفر را فراهم می‌کند (FAO, 2021). سطح زیر کشت این محصول در مازندران ۲۹۶۲۲۴ هکتار است و ۳۷/۳۸ درصد از اراضی شالیزاری کشور در استان مازندران قرار دارد. میزان تولید برنج در مازندران ۱۴۷۲۸۳۳ تن و عملکردش معادل ۴۹۷۲ کیلوگرم در هکتار است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2023). با توجه به جایگاه برنج در سبد غذایی جهانی، تقاضا برای این محصول به‌طور مداوم در حال افزایش است. از این رو، یافتن راه‌کارهای علمی و عملی برای افزایش تولید برنج، به‌ویژه در مواجه با رشد فزاینده جمعیت، امری ضروری است (Mustapha, 2004). موانع مهم در افزایش عملکرد برنج شامل پایین بودن حاصلخیزی خاک، کمبود منابع آب و بارش، خسارت آفات و بیماری‌ها، کمبود و قیمت بالای نهاده‌ها است (Son et al., 2012).

روش‌های سنتی کوددهی خاکی، با وجود کارایی نسبی، اغلب با مشکلاتی نظیر هدر رفت عناصر غذایی، آبشویی نیترات، آلودگی منابع آب زیرزمینی و تخریب ساختار خاک همراه هستند (Meena et al, 2014). در مقابل، محلول‌پاشی برگی به‌عنوان یک روش مکمل، امکان جذب سریع‌تر و کارآمدتر عناصر غذایی را از طریق روزنه‌ها و کوتیکول برگ فراهم می‌کند و مصرف برخی کودها را تا یک‌سوم کاهش می‌دهد (Zhang et al, 2008 Biswas et al, 2019). این روش به‌ویژه در مراحل بحرانی رشد گیاه (نظیر ساقه‌روی، آبستنی و پر شدن دانه) که نیاز غذایی گیاه به اوج خود می‌رسد، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش عملکرد برنج ایفا کند (Ghoneim, 2016; Ebadi et al., 2022; Ahmadi et al., 2025). با این حال، انتخاب نوع کود، غلظت مناسب و زمان‌بندی دقیق محلول‌پاشی، از چالش‌های اصلی این روش به شمار می‌رود که نیازمند پژوهش‌های منطقه‌ای است.

کودهای شیمیایی NPK به دلیل تأمین هم‌زمان سه عنصر پرمصرف ضروری (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، همچنان پرمصرف‌ترین نهاده‌های تغذیه‌ای در کشاورزی محسوب می‌شوند (Ashiono et al, 2005). با این وجود، مصرف بی‌رویه و نامتعادل این کودها به‌ویژه به روش خاکی، نه تنها راندمان جذب را به‌شدت کاهش می‌دهد، بلکه خطرات زیست‌محیطی جدی مانند تجمع عناصر و آلودگی منابع آب را نیز به همراه دارد. در چنین شرایطی، محلول‌پاشی عناصر غذایی به‌عنوان یک راه‌کار کارآمد مطرح می‌شود که می‌تواند ضمن کاهش مقدار مصرف خاکی، دسترسی سریع‌تری به عناصر غذایی را فراهم آورد. دلیل این کارایی آن است که کود محلول‌پاشی شده دقیقاً در همان محل مصرف (برگ‌ها)، به‌سرعت جذب گیاه می‌شود، در حالی‌که مقدار زیادی از کودهای مصرف‌شده به روش خاکی ممکن است هرگز توسط گیاه جذب نشوند و در خاک تثبیت یا هدر روند. این مزیت در شرایط کمبود شدید عناصر، برجسته‌تر می‌شود، زیرا محلول‌پاشی نسبت به مصرف خاکی، برای برطرف نمودن سریع کمبود، آسان‌تر بودن اجرا، کاهش سمیت ناشی از تجمع عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت آنها، بسیار مناسب‌تر است. افزون بر این، تغذیه برگی با تأثیر مثبت بر فرآیندهایی چون فتوسنتز، انتقال مجدد مواد و پر شدن دانه، می‌تواند عملکرد و کیفیت محصول را به‌طور چشمگیری بهبود بخشد؛ به‌گونه‌ای که آزمایش‌ها نشان داده است روش محلول‌پاشی در مقایسه با روش معمول مصرف خاکی کود، قادر است عملکرد محصول را بین ۱۲ تا ۲۵ درصد افزایش دهد (Rasaei and Feiziasl, 2023; Kahneh et al, 2024). مطالعات پیشین نشان داده‌اند که فرمولاسیون‌های مختلف NPK تأثیرات متفاوتی بر عملکرد برنج دارند (Elekhtyar and AL-Huqail, 2023; Pramanick et al, 2020)، اما اثر متقابل آن‌ها با محرک‌های زیستی نظیر عصاره جلبک دریایی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

در سال‌های اخیر، عصاره جلبک دریایی به‌عنوان یک محرک زیستی امیدوارکننده و سازگار با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. این عصاره‌ها حاوی ترکیبات زیست‌فعالی نظیر اکسین، سیتوکنین، جیبرلین، براسینواستروئید، اسید آبسیزیک، و همچنین عناصر ریزمغذی (آهن، روی، منگنز، مس، کبالت و مولیبدن) هستند که باعث تحریک رشد، افزایش کلروفیل، بهبود فتوسنتز و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شوند (Khan et al, 2009; Hossain et al, 2024). گونه‌های جلبکی *آسکوفیلوم نودازوم*[1] و *اکلونیا ماکسیما*[2] از جمله شناخته‌شده‌ترین منابع تولید عصاره هستند که مطالعات متعددی اثرات مثبت آن‌ها را بر رشد و عملکرد محصولات مختلف زراعی و باغی تأیید کرده‌اند (Abu et al, 2022; Layek et al, 2023; Nikogoftar-Sedghi et al, 2023; Mousavi et al 2024). با توجه به شکاف تحقیقاتی موجود و عدم وجود مطالعه سیستماتیک در زمینه کاربرد توأم عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK بر برنج رقم جلودار، این پژوهش به‌عنوان یک مطالعه مقدماتی با هدف تعیین غلظت‌های بهینه این دو نهاده طراحی گردید. فرضیه‌های تحقیق بر این مبنا استوار بودند که: ۱) کاربرد توأم عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK به دلیل اثرات هم‌افزایی بر جذب عناصر غذایی، فتوسنتز و انتقال مجدد مواد به دانه، می‌تواند عملکرد دانه

[1] Ascophyllum nodosum

[2] Ecklonia maxima

را به‌طور معنی‌داری نسبت به کاربرد تنهای هر یک و شاهد افزایش دهد؛ ۲) از بین دو گونه جلبکی مورد مطالعه، *آسکوفیلوم نودازوم* به دلیل ترکیبات زیست‌فعال مؤثرتر و غلظت بالاتر تنظیم‌کننده‌های رشد، عملکرد بهتری نسبت به *اکلونیا ماکسیما* خواهد داشت؛ ۳) کود با نسبت پتاسیم بالا (۳۶-۱۲-۱۲) به دلیل نقش کلیدی پتاسیم در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، عملکرد بیشتری نسبت به کود متعادل (۲۰-۲۰-۲۰) تولید خواهد کرد؛ و ۴) بین غلظت‌های مختلف عصاره جلبک و کود، یک رابطه بهینه وجود دارد که می‌تواند ضمن حداکثر کردن عملکرد، از بروز سمیت یا اثرات بازدارنده جلوگیری نماید. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی همزمان عصاره دو گونه جلبک دریایی (*آسکوفیلوم نودازوم و اکلونیا ماکسیما*) و کود شیمیایی (NPK با دو نسبت ۲۰-۲۰-۲۰ و ۳۶-۱۲-۱۲) بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم جلودار طراحی شد. علاوه بر این، این مطالعه به دنبال تعیین بهترین ترکیب تیماری از نظر شاخص‌های زراعی و اقتصادی برای معرفی به شالیزارهای استان مازندران به‌عنوان یک راه‌کار عملی و پایدار است.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل کشت، نمونه‌برداری و تجزیه خاک

ایـن مطالعه در مزرعـه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر ۹ جاده دریا شهرستان ساری در سـال زراعـی ۱۴۰۳ اجـرا شد. منطقه با مختصات جغرافیایی″ ۳۷′ ۳۹، °۳۶ عرض شمالی و″ ۱۳′ ۰۴، °۵۳″طول شرقی، با ارتفاع ۱۶ متر از سطح دریا قرار دارد. در طول فصل رشد (اردیبهشت تا مرداد) متوسط دما ۲۵/۲ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی ۸۴ میلی‌متر گزارش گردید. قبل از شروع آماده‌سازی زمین، از عمق ۳۰ -۰ سانتی‌متری جهت بررسی برخی خصوصیات فیزیک و شیمیایی نمونه‌برداری گردید و نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که بافت خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر از نوع Clay Loam (با ۲۷٪ رس، ۵۱٪ سیلت و ۲۲٪ شن) بوده که برای کشت برنج مناسب ارزیابی می‌شود. میزان هدایت الکتریکی (EC) معادل ۱/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته (pH) برابر ۷/۷۱ بود که به‌ترتیب بیانگر غیرشور و کمی قلیایی بودن خاک است. کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$) با ۲۶ درصد نشان‌دهنده آهکی بودن خاک بود. مقدار کربن آلی (SOC) (۱/۷۶ درصد) و نیتروژن کل (N) (۰/۱۶ درصد) در سطح متوسط قرار داشت، در حالی‌که فسفر قابل جذب (P) (۱۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در حد کافی و پتاسیم قابل جذب (K) (۱۷۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در سطح کم ارزیابی شد. به‌طور کلی، خاک مذکور از لحاظ بافت و شوری وضعیت مطلوبی داشته، اما به‌دلیل سطح کم پتاسیم، مدیریت تغذیه‌ای پتاسیم در این شالیزار ضروری به‌نظر می‌رسد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1- Results of some physical and chemical properties of the studied soil.

بافت خاک Soil texture	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	K (mg Kg^{-1})	P (mg Kg^{-1})	N (%)	SOC (%)	CaCO3 (%)	pH	EC (dS m^{-1})	عمق خاک Soil depth (cm)
Clay Loam	22	51	27	179.1	15.1	0.16	1.76	26	7.71	1.31	0-30

تیمارهای آزمایشی

عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودازوم به‌صورت آماده با برند BIOALGAX که حاوی (۲۵ درصد عصاره جلبک، ۳ درصد اکسید پتاسیم، ۱۰/۵۰ درصد اسید فولویک و ۱۵ درصد مواد آلی بوده تهیه گردید. همچنین عصاره جلبک دریایی اکلونیاماکسیما نیز از KELPAK با برند زرین گستر باستان که حاوی ۳۲ درصد عصاره جلبک اکلونیاماکسیما، ۰/۰۳ درصد فسفر ۰/۰۷ درصد نیتروژن کل و ۰/۷ درصد پتاسیم محلول حاوی بوده تهیه و با توجه به حجم مورد استفاده در این مطالعه در آب مقطر رقیق شده و سپس محلول‌پاشی گردیدند. کودهای شیمیایی NPK (۲۰-۲۰-۲۰) و (۳۶-۱۲-۱۲) به ترتیب تحت نظر شرکت‌های جوانه و نوفن و به صورت پودری جامد بودند که هر دو برند ایرانی است.

تیمارهای آزمایشی شامل عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* و *اکلونیاماکسیما* به‌عنوان عامل اصلی و کودهای شیمیایی NPK ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$) (۲۰- ۲۰-۲۰) و (۳۶-۱۲-۱۲) به‌عنوان عامل فرعی بود.

عصاره آسکوفیلوم نودازوم در دو سطح (۲ و ۴ در هزار(حجم/حجم)) و عصاره *اکلونیاماکسیما* در دو سطح (۲ و ۴ در هزار(حجم/حجم)) و یک تیمار نیز بدون مصرف عصاره جلبک بوده که در مجموع شامل ۵ سطح بوده است. کود (۲۰-۲۰-۲۰) در سه سطح (۲، ۴ و ۶ در هزار(گرم/حجم))، کود (۳۶-۱۲-۱۲) نیز در سه سطح (۲، ۴ و ۶ در هزار (گرم/حجم) و یک تیمار نیز

بدون مصرف کود شیمیایی بود که در مجموع در ۷ سطح اعمال شد. در مجموع تعداد کل تیمارها ۳۵ تا، تعداد تکرار ۳ تا و تعداد کل کرت‌ها ۱۰۵ بود (۱۰۵=۳×۳۵)

کودهای شیمیایی به‌صورت جامد و عصاره جلبک دریایی به‌صورت مایع بود. کودها به مقدار ۲ ، ۴ و ۶ گرم و عصاره جلبک به مقدار ۲ و ۴ میلی‌لیتر در داخل هزار میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید.

کشت گیاه و اعمال تیمارها

عملیات آماده‌سازی زمین جهت کاشت در تاریخ ۱۴۰۳/۰۲/۱۳ انجام و بر این اساس، زمین آزمایش به ۱۰۵ کرت مساوی تقسیم گردید که ابعاد هر کرت ۴×۳ متر بود. برای جلوگیری از تبادل کودی بین تیمارهای مختلف، فاصله یک متری بین کرت‌ها رعایت شد. عملیات تهیه خزانه در نیمه اول فروردین ماه سال زراعی ۱۴۰۳ انجام شد. پس از تهیه بذر جهت سبک و سنگین کردن بذر، با محلول آب و نمک و شستشوی آن به‌طور کامل با آب معمولی، بذر ۲۳ ساعت در آب قرار داده شد تا رطوبت لازم را جذب کند. سپس به مدت ۲۳ ساعت در محلول ۲ تا ۴ در هزار قارچ‌کش ویتاواکس تیرام به‌میزان ۲ گرم برای هر کیلوگرم بذر ضدعفونی و بذرها کشت شد. نشاهای سالم و یکنواخت برنج در مرحله سه تا چهار برگی و زمانی که ارتفاع آنها به حدود ۲۹سانتیمتر رسید در تاریخ ۱۴۰۳/۰۲/۲۰ به زمین اصلی منتقل گردیدند. نشاکاری به تعداد چهار نشاء در هر کپه با فواصل ۲۵×۲۵ سانتیمتر انجام شد. عملیات داشت، شامل مدیریت آب و آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و مدیریت آفات و بیماری‌ها برای همه کرت‌ها به‌طور یکنواخت انجام شد. جهت مبارزه با آفت ساقه‌خوار از سم دیازینون ۱۰ درصد به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار به‌صورت گرانول در زمان پیک پرواز پروانه‌ها استفاده شد و برای مبارزه با بلاست نیز از سم بیم به میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار استفاده شد.

محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی در بازه زمانی ۷ تا ۹ صبح در تاریخ‌های ۱۴۰۳/۰۳/۱۸(مرحله ساقه روی)، ۱۴۰۳/۰۴/۲۰ (مرحله آبستنی) و ۱۴۰۳/۰۴/۲۸ (مرحله خمیری شدن دانه) در شرایط مساعد از نظر آب و هوایی و بدون بارندگی انجام شد. با توجه به مراحل رشدی گیاه بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ لیتر در هکتار از محلول برای محلول‌پاشی استفاده گردید. کود پایه مصرفی برای رشد برنج شامل اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بودند. کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت تقسیط در زمین اعمال شد که مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از نشاء کاری، ۵۰ کیلوگرم دیگر در زمان پنجه‌زنی و ۵۰ کیلوگرم باقیمانده در زمان خوشه‌دهی به خاک اضافه شد، اما کودهای سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم هریک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از انتقال نشاء به زمین مصرف گردید. لازم به ذکر هست که کودها به‌صورت گرانول بودند و به‌صورت دستی و یکنواخت در سطح زمین اصلی پخش شدند. برداشت برنج در تاریخ ۱۴۰۳/۰۵/۲۵ انجام شد.

اندازه‌گیری‌ها

نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر انجام شد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC) به‌وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی (Rhoades, 1982)، واکنش گل اشباع خاک (pH) توسط دستگاه پهاش‌متر (Rhoades, 1982)، کربنات کلسیم معادل خاک ($CaCO_3$) به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک (Nelson, 1982)، مقدار کربن آلی (SOC) با اکسایش تر (Walkley and Black, 1934)، نیتروژن کل (N) با استفاده از روش کجلدال و هضم نمونه خاک در اسید (Gallaher et al., 1976)، فسفر قابل استفاده (P) با استفاده از روش اولسن (Olsen et al., 1954)، پتاسیم قابل دسترس (K) توسط عصاره-گیری با استات آمونیوم (Knudsen et al., 1982) و بافت خاک (شن، رس و سیلت) به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986) اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های عملکرد و اجزای عملکرد برنج در این مطالعه اندازه‌گیری شد. ۵ روز قبل از برداشت، ۱۲ بوته بارور و دارای خوشه را به‌طور تصادفی و با حذف حاشیه‌ها، انتخاب و تعداد پنجه مؤثر در بوته تعیین شد. در مرحله برداشت (۱۴۰۳/۰۵/۲۵)، ارتفاع بوته و طول خوشه با اندازه‌گیری ۱۲ بوته و تعداد دانه‌های پر، پوک در خوشه و وزن هزار دانه با شمارش ۱۵ خوشه در هر کرت و با استفاده از ترازوی یک هزارم اندازه‌گیری شد. جهت تعیین عملکرد دانه (شلتوک)، کاه و عملکرد بیوماس، یک مترمربع از وسط هر کرت آزمایشی را کفبر نموده و پس از جدا کردن دانه از کاه و کلش، برای مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار داده، سپس نمونه‌های خشک شده با ترازوی توزین و به‌عنوان ماده خشک ثبت گردید و نهایتاً عملکرد دانه، کاه و بیوماس محاسبه شدند. با تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیوماس، شاخص برداشت نیز محاسبه گردید (Sedaqat et al., 2013). عملکرد بیوماس شامل مجموع عملکرد دانه و کاه بود. شاخص برداشت برنج، نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیوماس در زمان برداشت است. این شاخص، کارایی گیاه در انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده به بخش قابل مصرف (دانه) را نشان می‌دهد. به عبارت ساده‌تر، شاخص برداشت نشان می‌دهد که چه نسبتی از کل ماده‌ای که گیاه تولید کرده، به دانه تبدیل می‌شود

و شاخص برداشت طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Mahdavi et al., 2005):

(رابطه ۱)

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{عملکرد بیوماس}}$$

ارزیابی بهره اقتصادی

برای تعیین بهره اقتصادی رویکردهای مدیریت مختلف تغذیه و مقایسه آن با عرف زارع از رابطه ۲ و۳ استفاده شد،(Doberman and Fairhurst , 2000):

رابطه (۲)

$$TFC=(PF)_{(20-20-20)}+(PF)_{(12-12-36)}+(PF)_{(Ascophyllum\ nodosum)}+(PF)_{(Ecklonia\ maxima)}$$

رابطه (۳)

$$GRF=P_RY_R\text{-}TFC$$

(رابطه ۴)

$$BCR = \frac{\text{درآمد کل}}{\text{هزینه کل}}$$

که در آن TFC: هزینه کل کود استفاده شده به همراه هزینه کارگری (ریال/هکتار) و P: قیمت کودهای شیمیایی NPK با نسبت‌های (۲۰–۲۰–۲۰ و ۳۶–۱۲–۱۲) و عصاره جلبک دریایی (آسکوفیلوم نودازوم و) به همراه هزینه کارگری بر حسب ریال/هکتار است. همچنین F: تعداد دفعات مصرف کود شیمیایی و عصاره جلبک دریایی به ترتیب بر حسب کیلوگرم بر هکتار و لیتر در هکتار است. GRF: درآمد نهایی (ریال) و P_RY_R: قیمت محصول تولیدی (ریال) و BCR: نسبت درآمد کل به هزینه کل است (رابطه ۴). برای محاسبه فایده به هزینه، میزان هزینه کشت و کار برنج (شامل آماده‌سازی زمین، بذر، نشاکاری، وجین، برداشت) مبلغ ۱۲۰۰۰۰۰۰۰ ریال برآورد گردید.

قیمت هر کیلوگرم شلتوک برنج، کود شیمیایی NPK با نسبت‌های (۲۰–۲۰–۲۰ و ۳۶–۱۲–۱۲)، عصاره جلبک دریایی (آسکوفیلوم نودازوم و اکلونیاماکسیما) در سال زراعی ۱۴۰۳ تهیه و در جدول شماره ۲ ارائه شد. لازم به ذکر هست که هزینه کارگری برای محلول‌پاشی کود شیمیایی و عصاره جلبک دریایی در هزینه کل مربوط به کود شیمیایی و عصاره جلبک دریایی محاسبه شد.

جدول ۲-قیمت محصول برنج(ریال/کیلوگرم)، نهاده‌های کودی شیمیایی(ریال/کیلوگرم) و عصاره جلبک دریایی(ریال/لیتر) در سال زراعی ۱۴۰۳ (هزار ریال).

Table 2. Prices of rice (IRR per kilogram), inputs of NPK chemical fertilizer (IRR per kilogram), and seaweed extract (IRR per liter) for the 2024 cropping year (thousand IRR).

محصول	کود شیمیایی NPK		عصاره جلبک دریایی	
شلتوک برنج	20–20–20	36–12–12	آسکوفیلوم نودازوم	اکلونیاماکسیما
Yield	**NPK chemical fertilizer**		**Seaweed extract**	
Unhusked rice	(20-20-20)	(12-12-36)	Ascophyllum nodosum	Ecklonia maxima
1000	1200	3400	45000	32000

آنالیز نتایج

این مطالعه به‌صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی (تعداد ۳۵ تیمار) با سه تکرار روی برنج رقم جلودار اجرا شد. بعد از آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین و همبستگی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. همچنین برای ترسیم اشکال مربوطه از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج

عملکرد دانه، کاه و بیوماس

نتایج نشان داد که اثر ساده محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، کاه و بیوماس داشته اما اثر متقابلشان فقط بر عملکرد دانه و بیوماس تأثیر معنی‌داری داشته است (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به تیمار چهار در هزار (حجم/حجم))عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودازوم+تیمار کود NPK (شش در هزار (حجم/گرم)) (۳۶–۱۲–۱۲)، (۶۳۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار) بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون مصرف کود و جلبک دریایی، کود (دو در هزار (حجم/گرم))(۲۰–۲۰–۲۰) و (شش در هزار (حجم/گرم)) (۳۶–۱۲–۱۲) به همراه بدون اعمال جلبک دریایی بیشتر بود. میزان عملکرد دانه در عصاره جلبک دریایی (دو در هزار (حجم/ حجم)) اکلونیاماکسیما به همراه غلظت (شش در هزار (حجم/گرم)) کود (۲۰–۲۰–۲۰)، (۵۵۶۶/۲ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار بدون مصرف کود و

جلبک دریایی بیشتر بود، اما اختلاف معنی‌داری با تیمارهای کود شیمیایی + بدون مصرف جلبک نداشته است (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده غلظت جلبک دریایی نشان می‌دهد که عملکرد کاه در غلظت‌های (حجم/ حجم) دو و چهار در هزار، آسکوفیلوم نودازوم و غلظت (حجم/ حجم) دو در هزار *اکلونیاماکسیما* به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد بیشتر بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی کودی بر عملکرد کاه تأثیر معنی‌داری نداشته است زیرا اختلاف معنی‌داری بین محلول پاشی کودی و شاهد دیده نشد (شکل ۲).

اثرات متقابل عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی نشان داد که عملکرد بیوماس در تیمارهای بدون جلبک همراه با محلول‌پاشی کودی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها دیده نشد و همگی این تیمارها اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون محلول‌پاشی کودی نداشتند. در تیمارهای عدم محلول‌پاشی کود، افزایش غلظت جلبک *آسکوفیلوم نودازوم* سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیوماس شد. میزان افزایش عملکرد بیوماس در غلظت‌های دو و چهار در هزار (حجم/ حجم) جلبک اشاره شده به ترتیب ۳۲/۹۴ و ۳۹/۹۸ درصد نسبت به بدون جلبک بود. اختلاف معنی‌داری در میزان عملکرد بیوماس در دو غلظت جلبک اکلونیاماکسیما با تیمار بدون مصرف جلبک مشاهده نشد. عملکرد بیوماس در تیمار جلبک‌های چهار در هزار (حجم/ حجم) *آسکوفیلوم نودازوم*+کود NPK شش در هزار (حجم/ گرم) (۳۶-۱۲-۱۲) و دو در هزار (حجم/ حجم) *اکلونیاماکسیما* + کود NPK شش در هزار (حجم/ گرم) (۲۰-۲۰-۲۰) به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای کود شیمیایی+بدون جلبک دریایی بیشتر بود (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد برنج در اثر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK

Table 3. Analysis of variance of yield and yield components of rice as affected by seaweed extract foliar application and NPK chemical fertilizer.

تیمار treatment	ویژگی Feature	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed Yield	عملکرد کاه Straw Yield	عملکرد بیوماس Biomass Yield	ارتفاع گیاه Plant Height	شاخص برداشت Harvest Index
بلوک Block(R)		2	47311	1048954.4	918378.3	0.886	0.002
جلبک Seaweed (A)		4	16350658**	825800627**	62642496**	1529**	0.0448**
R*A		8	858107.61	1657007.8	2102362	14.94	0.0062
کود شیمیایی Chemical fertilizer (B)		6	1254106*	5647371*	9511547 **	8.23 ns	0.007 ns
A*B		24	1294466 **	2708390 ns	5133916**	13.43 ns	0.006 ns
خطا Error		60	609503.2	2170769.2	2018598	17.27	0.006
cv			16.21	26	13.91	3.6	17.25

تیمار treatment	ویژگی Feature	درجه آزادی df	طول خوشه Panicle Length	تعداد دانه‌های پر در خوشه Number of Filled Seeds per Panicle	تعداد دانه‌های پوک در خوشه Number of Unfilled Seeds per Panicle	تعداد پنجه موثر در هر کپه Number of Effective Tillers per hill	وزن هزار دانه Thousand Grain Weight
بلوک Block(R)		2	0.212	94.52	84.37	2.01	0.053
جلبک Seaweed(A)		4	21.36**	2943**	17.19 ns	5.94*	6.14**
A*R		8	0.905	261.07	17.13	1.545	0.053
کود شیمیایی Chemical fertilizer(B)		6	1.95 ns	351 ns	111.91**	5.45*	1.95**
A*B		24	0.224 ns	493**	51.99*	1.61 ns	0.177**
خطا Error		60	1.069	221.44	29.99	1.79	0.061
cv			4.03	15.93	24.95	6.26	0.969

* Significance at the 5% level
** Significance at the 1% level
ns: Non-significance

* معنی‌داری در سطح پنج درصد
** معنی‌داری در سطح یک درصد
ns: عدم معنی‌داری

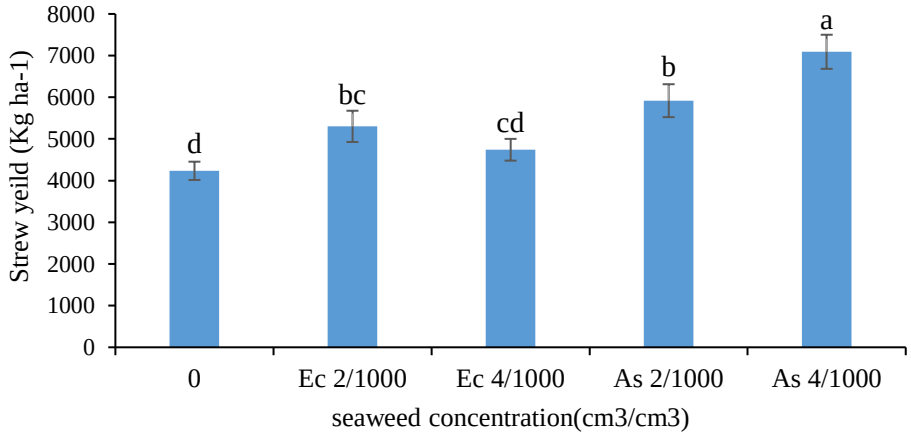
جدول ۴ - مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK روی عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار).

Table 4. Comparison of the mean interaction between seaweed extract foliar application and NPK chemical fertilizer on seed yield (Kg per hectare).

چهار در هزار *اکلونیاماکسیما* 0.004 Ecklonia maxima	دو در هزار *اکلونیاماکسیما* 0.002 Ecklonia maxima	چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* 0.004 Ascophyllum nodosum	دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* 0.002 Ascophyllum nodosum	بدون جلبک Without seaweed	جلبک Seaweed Fertilizer	کود
3532.3 i-l	3018.3 kl	5153.9 a-g	5694.4 a-d	4735.5 c-i	(20-20-20) 0.002	
3885.5 g-l	4089.8 f-k	5958.5 a-c	5577.3 a-e	5681.3 a-d	(20-20-20) 0.004	
3614.3 i-h	5566.2 a-e	4611.6 d-j	6089.0 ab	5526.0 a-e	(20-20-20) 0.006	
4470.5 d-j	3845.0 i-h	5248.1 a-f	5132.7 a-g	5167.5 a-g	(12-12-36) 0.002	
3939.4 g-l	3415.0j-l	5411.5 a-e	6259.2 a	5146.6 a-g	(12-12-36) 0.004	
2660.05 l	3627.5 i-h	6314.1 a	5344.8 a-f	4857.3 b-h	(12-12-36) 0.006	
4106.6 f-k	4362.9 e-j	5257.7 a-f	5327.2 a-f	3681.9 h-l	بدون کود Without Fertilizer	

در هر تیمار مقادیر دارای حرف یا حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

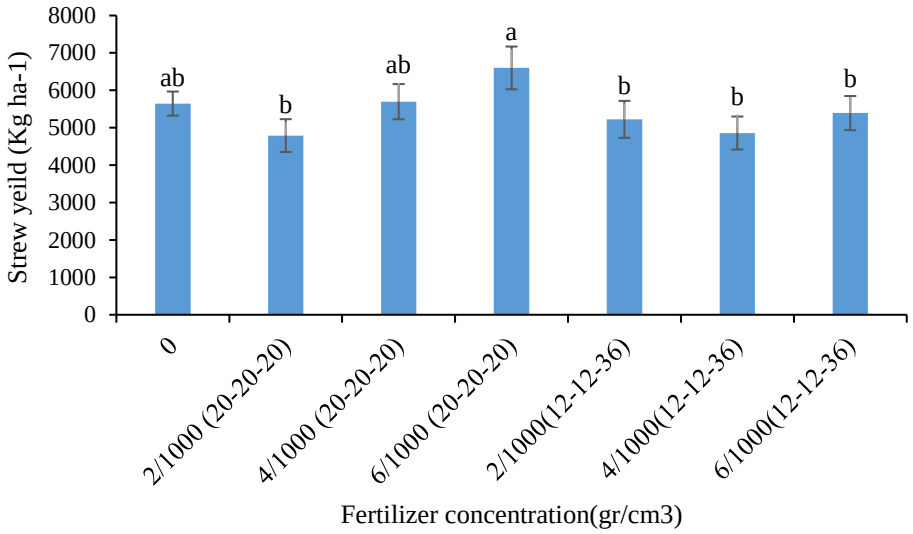
Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* (As) و *اکلونیاماکسیما* (Ec) بر عملکرد کاه و کلش. تیمارهای دارای حرف یا حروف مشترک در شکل فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 1. Comparison of the mean effect of foliar application of Ascophyllum nodosum (As) and Ecklonia maxima (Es) seaweed extract on straw yield.

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی کود شیمیایی بر عملکرد کاه و کلش.

تیمارهای دارای حرف یا حروف مشترک در شکل فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 2. Comparison of the average effect of chemical fertilizer foliar application on straw yield.

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK روی عملکرد بیوماس (کیلوگرم در هکتار)

Table 5. Comparison of the mean interaction between seaweed extract and NPK chemical fertilizer foliar application on biomass yield (kg per hectare).

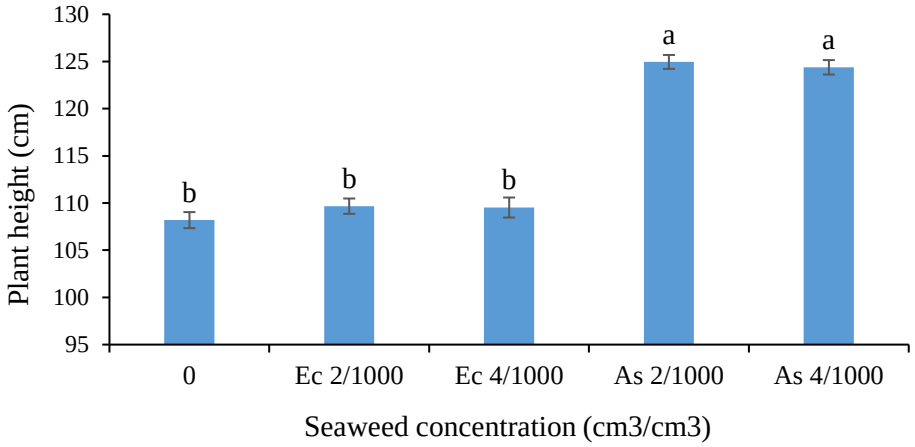
جلبک کود Seaweed Fertilizer	بدون جلبک Without seaweed	دو در هزار آسکوفیلوم نودازوم 0.002 Ascophyllum nodosum	چهار در هزار آسکوفیلوم نودازوم Ascophyllum Nodosum 4/1000	دو در هزار اکلونیاماکسیما 0.002 Ecklonia Maxima 2/1000	چهار در هزار اکلونیاماکسیما 0.004 Ecklonia Maxima 4/1000
(20-20-20) 2/1000	8387 h–k	9995 e-i	12811 a-c	7550 k	7340 k
(20-20-20) 4/1000	10377 d–h	11824 c-e	12553 a-d	9484 f-k	9436 f-k
(20-20-20) 6/1000	9852 e-j	13087 a-c	12925 a-c	14164 ab	8375 h-k
(12-12-36) 2/1000	8413 h-k	11550 c-f	11529 c-f	8597 h-k	9895 e-j
(12-12-36) 4/1000	9381 f-k	12707 a-c	10901 c-g	7263 k	8212 h-k
(12-12-36) 6/1000	9378 f-k	10183 e-h	14761 a	7767 i-k	7669 jk
بدون کود Without Fertilizer	8656 g-k	11507 c-f	12117 b-e	10215 e-h	8465 h-k

در هر تیمار مقادیر دارای حرف یا حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD است.

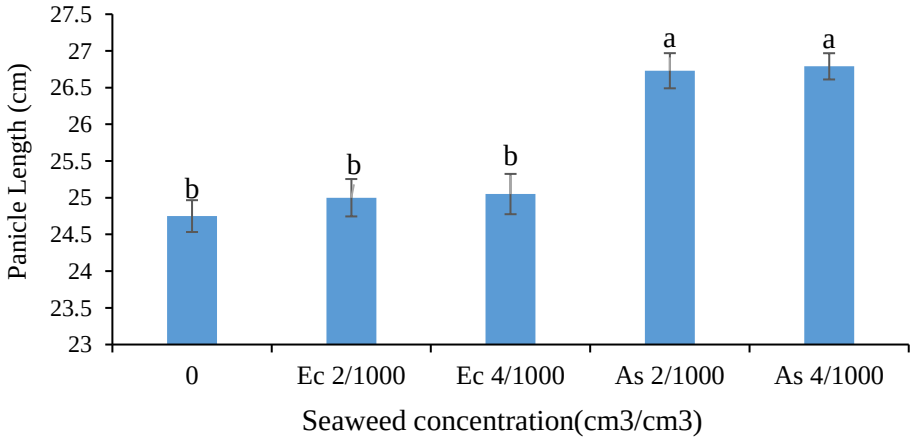
Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.

اجزای عملکرد برنج

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر ساده عصاره جلبک دریایی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر ارتفاع گیاه، طول خوشه و شاخص برداشت داشته، اما اثر ساده کود شیمیایی و اثرات متقابلشان تأثیر معنی‌داری نداشته است. جلبک دریایی و کود شیمیایی تأثیر معنی‌داری به ترتیب بر تعداد دانه‌های پر و پوک در خوشه ($P<0.01$) داشته، جلبک دریایی و کود شیمیایی تأثیر معنی‌داری بر تعداد پنجه مؤثر در کپه ($P<0.05$) و وزن هزار دانه ($P<0.01$) داشته است، اما اثرات متقابلشان بر تعداد دانه پر ($P<0.01$) و پوک ($P<0.05$) در خوشه و وزن هزار دانه ($P<0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مقدار ارتفاع برنج و طول خوشه در غلظت‌های دو و چهار در هزار (حجم/ حجم) *آسکوفیلوم نودازوم* به‌طور معنی‌داری نسبت به عصاره جلبک *اکلونیاماکسیما* در هر دو غلظت و شاهد بیشتر بود (شکل‌های ۳ و ۴)، اما بیشترین میزان شاخص برداشت مربوط به تیمار شاهد است (شکل ۵).

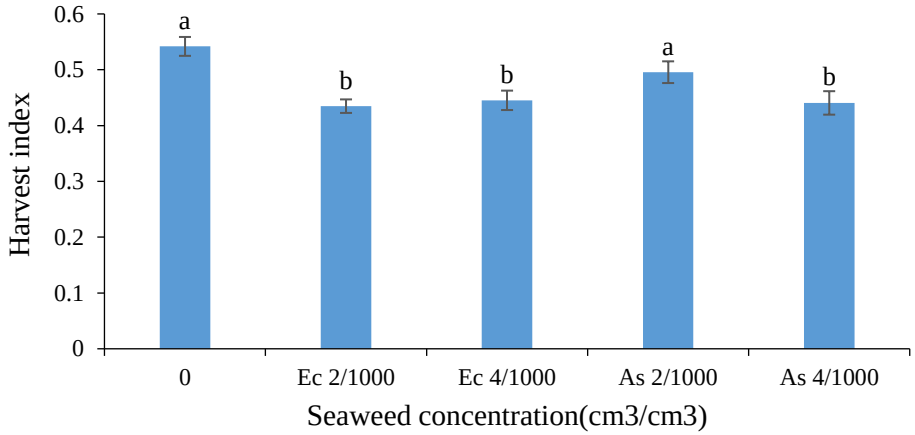


شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* (As) و *اکلونیاماکسیما* (Ec) بر ارتفاع گیاه.
تیمارهای دارای حرف یا حروف مشترک در شکل فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند
Figure 3. Comparison of the mean effect of foliar application of Ascophyllum nodosum (As) and Ecklonia maxima (Es) seaweed seaweed extract plant height
Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* (As) و *اکلونیاماکسیما* (Ec) بر طول خوشه.
تیمارهای دارای حرف یا حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.
Figure 4. Comparison of the mean effect of application of Ascophyllum nodosum (As) and Ecklonia maxima (Es) seaweed seaweed extract on the panicle length.

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* (As) و اکلونیاماکسیما (Ec) بر شاخص برداشت. تیمارهای دارای حرف یا حروف مشترک در شکل فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 4. Comparison of the mean effect of foliar application of Ascophyllum nodosum (As) and Ecklonia maxima (Es) seaweed seaweed extract on harvest index.

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.

در تیمارهای عدم کاربرد کود، تعداد دانه‌های پر در خوشه در غلظت‌های دو و چهار در هزار (حجم/ حجم) آسکوفیلوم نودازوم (۷۵ و ۳۹/۰۶ درصد) و *اکلونیاماکسیما* (۷۱/۸۷ و ۳۹/۰۶ درصد) به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای بدون عصاره جلبک دریایی بیشتر بود. تعداد دانه‌های پر در خوشه در غلظت چهار در هزار (حجم/ حجم) آسکوفیلوم نودازوم و چهار در هزار (حجم/ گرم) کود NPK (۱۲-۱۲-۳۶) نسبت به تیمارهای فاقد عصاره جلبک دریایی+ کودی (۲۰-۲۰-۲۰) در غلظت‌های دو، چهار و شش در هزار (حجم/ گرم) به‌اندازه ۷۳/۹۱، ۴۴/۵۸ و ۲۷/۶۶ درصد و (۳۶-۱۲-۱۲) در غلظت‌های دو، چهار و شش در هزار (حجم/ گرم) به اندازه ۳۱/۸۷، ۴۸/۱۵ و۴۶/۳۴ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. اما در مورد *اکلونیاماکسیما*، تعداد دانه‌های پر در خوشه در غلظت دو در هزار (حجم/ حجم) این جلبک+ غلظت شش در هزار (حجم/ گرم) کود شیمیایی NPK (۲۰-۲۰-۲۰) نسبت به تیمار فاقد عصاره جلبک دریایی+ کودی (۲۰-۲۰-۲۰) در غلظت‌های دو و چهار در هزار (حجم/ گرم) به ترتیب به اندازه ۶۶/۶۷ و ۳۸/۵۵ درصد و (۳۶-۱۲-۱۲) در غلظت‌های چهار و شش در هزار (حجم/ گرم) به ترتیب به اندازه ۴۱/۹۷ و ۴۰/۲۴ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

غلظت‌های دو و چهار در هزار (حجم/ حجم) آسکوفیلوم نودازوم (۵۴/۵۴ و ۶۰/۶۱ درصد) و *اکلونیاماکسیما* (۴۵/۴۵ و ۴۲/۴۲ درصد) تعداد دانه‌های پوک در خوشه را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار بدون عصاره جلبک دریایی کاهش داد. کمترین تعداد دانه‌های پوک مربوط به تیمارهای غلظت چهار در هزار (حجم/ حجم) *آسکوفیلوم نودازوم*+ شش در هزار (حجم/ گرم) کود (۳۶-۱۲-۱۲) و دو در هزار (حجم/ حجم) *اکلونیاماکسیما*+ دو در هزار (حجم/ گرم) کود (۲۰-۲۰-۲۰) بود (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK روی تعداد دانه‌های پر و پوک در خوشه.

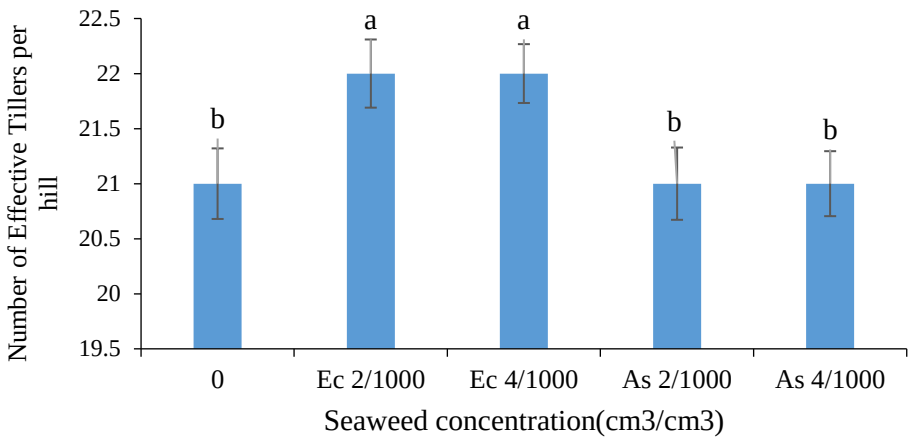
Table 6. Comparison of mean interaction of seaweed extract foliar application and NPK chemical fertilizer on the number of filled and unfilled seeds per panicle.

Number of filled seeds per panicle			تعداد دانه‌های پر در خوشه			
چهار در هزار *اکلونیاماکسیما* Ecklonia Maxima 4/1000	دو در هزار *اکلونیاماکسیما* Ecklonia Maxima 2/1000	چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* \ Ascophyllum Nodosum 4/1000	دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* Ascophyllum Nodosum 2/1000	بدون جلبک Without seaweed	جلبک Seaweed	کود Fertilizer
67 i-k	72 h-k	113 a-c	102 a-g	69 i-k	(20-20-20)	2/1000
81 g-k	99 a-g	111 a-e	109 a-e	83 g-k	(20-20-20)	4/1000
66 jk	115 ab	84 g-k	119 a	94 b-h	(20-20-20)	6/1000
84 g-k	90 c-j	108 a-f	89 d-j	91 b-i	(12-12-36)	2/1000
98 a-g	88 d-k	120 a	111 a-d	81 g-k	(12-12-36)	4/1000
84 f-k	87.33 e-k	108 a-f	89 d-j	82 g-k	(12-12-36)	6/1000
89 c-j	110 a-e	89 c-j	112 a-d	64 k	بدون کود	
Number of unfilled seeds per panicle			**تعداد دانه‌های پوک در خوشه**			
چهار در هزار *اکلونیاماکسیما* Ecklonia Maxima 4/1000	دو در هزار *اکلونیاماکسیما* Ecklonia Maxima 2/1000	چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* \ Ascophyllum Nodosum 4/1000	دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* Ascophyllum Nodosum 2/1000	بدون جلبک Without seaweed	جلبک Seaweed	کود Fertilizer
17 b-d	8 e	13 b-e	12 b-e	12 b-e	(20-20-20)	2/1000
12 b-e	12 bcde	18 bc	15 b-e	9 de	(20-20-20)	2/1000
10 b-e	12 bcde	14 b-e	14 b-e	12 b-e	(20-20-20)	6/1000
11 b-e	18 bc	11 b-e	11 b-e	12 b-e	(12-12-36)	2/1000
10 b-e	11 bcde	15 b-e	13 b-e	17 b-d	(12-12-36)	4/1000
14 b-e	13 bcde	8 e	10 b-e	10 b-e	(12-12-36)	6/1000
19 b	18 bc	13 b-e	15 b-e	33 a	بدون کود Without Fertilizer	

در هر تیمار مقادیر دارای حرف یا حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD می‌باشند

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test

نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که تعداد پنجه مؤثر در هر کپه در تیمارهای دو و چهار در هزار (حجم/ حجم) *اکلونیاماکسیما* به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها (معادل ۴/۷۶ درصد) بیشتر بود، اما اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای دو و چهار در هزار *اکلونیاماکسیما* دیده نشد (شکل ۶). تعداد پنجه مؤثر در کود شیمیایی (۳۶-۱۲-۱۲) در تمامی غلظت‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت شاهد بیشتر بود. اختلاف معنی‌داری بین کود شیمیایی (۲۰-۲۰-۲۰) و شاهد دیده نشد. تعداد پنجه مؤثر در غلظت‌های دو، چهار و شش در هزار (حجم/ گرم) کود شیمیایی (۳۶-۱۲-۱۲) به ترتیب به اندازه ۶/۱۹، ۷/۱۶ و ۸/۴۷ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود (شکل ۷).

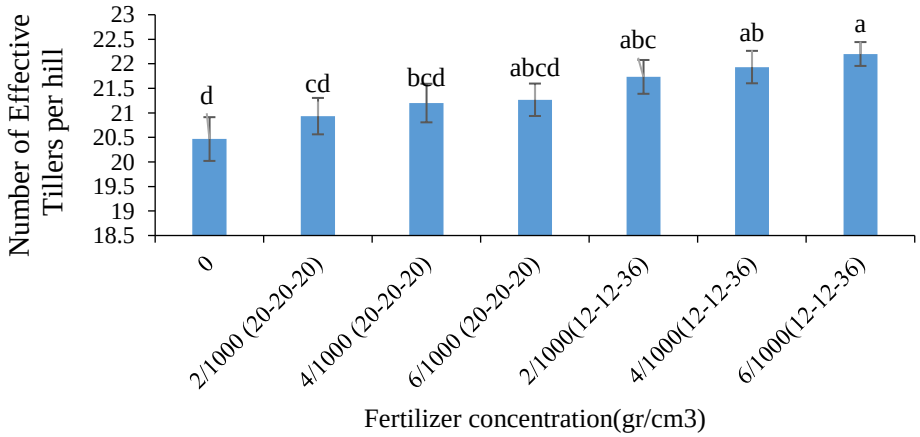


شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* (As) و *اکلونیاماکسیما* (Ec) بر تعداد پنجه مؤثر در هر کپه.

تیمارهای دارای حرف یا حروف مشترک در شکل فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

Figure 6. The mean comparison effect of application of Ascophyllum nodosum (As) and Ecklonia maxima (Es) seaweed seaweed extract on the number of effective tillers per hill.

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.



شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی کود شیمیایی بر تعداد پنجه مؤثر در هر کپه.

تیمارهای دارای حرف یا حروف مشترک در شکل فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند

Figure 7. The mean comparison effect of chemical fertilizer foliar application on the number of effective tillers per hill.

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test.

وزن هزار دانه در هر دو غلظت *آسکوفیلوم نودازوم* و غلظت چهار در هزار *اکلونیاماکسیما* نسبت به تیمار بدون جلبک دریایی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. مقدار وزن هزار دانه در غلظت‌های ۲ و ۴ در هزار آسکوفیلوم نودازوم به همراه کود شیمیایی نسبت به کودهای شیمیایی متناظر در غیاب جلبک به‌طور معنی‌داری بیشتر بود اما این وضعیت آماری درباره جلبک اکلونیاماکسیما دیده نشد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی بر وزن هزار دانه (گرم).

Table 7. Comparison of the mean interaction between seaweed extract foliar application and chemical fertilizer on thousand-seed weight (g).

کود	بدون جلبک	دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم*	چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم*	دو در هزار *اکلونیاماکسیما*	چهار در هزار *اکلونیاماکسیما*
Fertilizer	**Without seaweed**	**Ascophyllum Nodosum 2/1000**	**Ascophyllum Nodosum 4/1000**	**Ecklonia Maxima 2/1000**	**Ecklonia Maxima 4/1000**
(20-20-20) 2/1000	24.33 op	26.00 b-e	26.23 abc	24.17 p	24.60 no
(20-20-20) 4/1000	25.1 klm	25.8 d-g	25.87 c-f	25.17 jkl	25.00 lm
(20-20-20) 6/1000	25.43 g-k	26.27 ab	26.10 a-d	25.23 i-l	25.43 g-k
(12-12-36) 2/1000	25.07 klm	26.37 ab	26.40 a	25.43 g-k	25.40 h-k
(12-12-36) 4/1000	25.70 e-h	26.27 ab	26.10 a-d	25.53 f-j	25.60 f-i
(12-12-36) 6/1000	25.50 f-j	26.30 ab	26.37 ab	25.50 f-j	25.60 f-i
بدون کود Without Fertilizer	24.37 op	25.53 f-j	25.80 d-g	24.53 nop	24.77 mn

در هر تیمار مقادیر دارای حرف یا حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD است.

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test

تجزیه و تحلیل اقتصادی

تحلیل اقتصادی کشت برنج تحت تیمارهای مختلف با محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کودی در (جدول ۸) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از محلول‌پاشی جلبک دریایی و کودی نسبت فایده به هزینه، میزان هزینه‌ها، بازده ناخالص و خالص را نسبت به شاهد افزایش داد. محلول‌پاشی کودی در غلظت‌های چهار و شش در هزار (حجم/ گرم) کود (۲۰- ۲۰- ۲۰)، دو و چهار در هزار (حجم/ گرم) کود (۳۶- ۱۲- ۱۲) بدون حضور جلبک مقدار فایده به هزینه، بازده خالص و ناخالص را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد، که بیشترین مقدار مربوط به غلظت چهار در هزار (حجم/ گرم) کود (۲۰- ۲۰- ۲۰- ۲۰) بود. جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* در هر دو غلظت (به جز چهار در هزار جلبک+ شش در هزار (۲۰-۲۰-۲۰-۲۰)) به‌طور معنی‌داری بازده ناخالص را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. اختلاف معنی‌داری بین این تیمار جلبک دریایی به همراه کود با تیمارهای بدون جلبک + کود شیمیایی در مقدار بازده ناخالص دیده نشد. در اکثر تیمارهای حاوی جلبک *اکلونیاماکسیما* و کود شیمیایی نسبت به تیمارهای بدون جلبک+ کود شیمیایی به‌طور معنی‌داری میزان بازده ناخالص کمتر بود. میزان هزینه در تیمارهای حاوی کود شیمیایی (بدون جلبک دریایی) نسبت به تیمارهای حاوی جلبک دریایی به همراه کودشیمیایی کمتر بود. بیشترین میزان بازده خالص (سود) مربوط به تیمار دو در هزار جلبک *آسکوفیلوم نودازوم* + غلظت چهار در هزار (حجم/ گرم) کودشیمیایی (۳۶-۱۲-۱۲) بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون جلبک+ غلظت ۴ در هزار کود شیمیایی (۲۰-۲۰-۲۰) نداشته است.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی کودی و عصاره جلبک دریایی روی بازده خالص (سود خالص) (ریال در هکتار)، بازده ناخالص (درآمد کل) (ریال در هکتار) و نسبت فایده به هزینه حاصل از استفاده عصاره جلبک دریایی و کود

Table 8. Mean interaction of foliar fertilizer and seaweed extract application on net return (net profit) (IRR ha^{-1}), gross return (total revenue) (IRR ha^{-1}), and Benefit-Cost Ratio (BCR) from seaweed extract and fertilizer use.

چهار در هزار *اکلونیاماکسیما*	دو در هزار *اکلونیاماکسیما*	چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم*	دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم*	بدون جلبک	جلبک	کود
Ecklonia Maxima 4/1000	Ecklonia Maxima 2/1000	Ascophyllum Nodosum 4/1000 \	Ascophyllum Nodosum 2/1000	Without seaweed	Seaweed fertilizer	
بازده خالص (سود خالص)			**net return (net profit)**			
1762894333 jk	1682280667 jk	2639484000 c-h	3196632667 a-d	2908342667 a-g	(20-20-20) 2/1000	
2003667333 hij	2336419667 f-j	3094996667 a-e	3159320000 a-d	3490669333 a	(20-20-20) 4/1000	
1819108000 ijk	3280345667 abc	2315203000 f-j	3475372667 ab	3384094667 abc	(20-20-20) 6/1000	
2347149333 e-j	2171719334 g-j	2657468667 c-h	2890983000 a-g	3148436000 a-d	(12-12-36) 2/1000	
1988432333 hij	1878614000 ijk	2722698000 b-h	3550488667 a	3138613333 a-d	(12-12-36) 4/1000	
1218808000 k	1994930667 hij	3306400000 abc	2952670000 a-f	2953802000 a-f	(12-12-36) 6/1000	
2124479333 hij	2521455667 d-i	2691787000 c-h	3019890000 a-f	2308620667 f-j	Without Fertilizer بدون کود	
بازده ناخالص (درآمد کل)			**gross return (total revenue)**			
2195561000 i-l	1901614000 kl	3245484000 a-f	3502632667 a-d	2914342667 d-i	(20-20-20) 2/1000	
2442334000 g-l	2561753000 f-k	3706996667 abc	3471320000 a-e	3502669333 a-d	(20-20-20) 4/1000	
2263774667 h-l	3511679000 a-d	2933203000 d-i	3793372667 ab	3402094667 a-e	(20-20-20) 6/1000	
2790816000 d-j	2402052667 h-l	3274468667 a-f	3207983000 a-f	3165436000 b-g	(12-12-36) 2/1000	
2449099000 g-l	2125947333 jkl	3356698000 a-e	3884488667 ab	3172613333 b-g	(12-12-36) 4/1000	
1696474667 l	2259264000 h-l	3957400000 a	3303670000 a-f	3004802000 c-h	(12-12-36) 6/1000	
2551146000 f-k	2734789000 e-j	3291787000 a-f	3319890000 a-e	2308620667 h-l	Without Fertilizer بدون کود	
فایده به هزینه			**Benefit-Cost Ratio(BCR)**			
1.34 lm	1.34 lm	1.79 g-l	2.32 b-f	2.42 a-e	(20-20-20) 2/1000	
1.49 klm	1.79 g-l	2.04 d-j	2.29 b-g	2.89 a	(20-20-20) 4/1000	
1.38 lm	2.45 a-d	1.61 j-l	2.49 a-d	2.79 ab	(20-20-20) 6/1000	
1.69 h-l	1.68 h-l	1.8 g-l	2.11 c-i	2.61 abc	(12-12-36) 2/1000	
1.47 klm	1.47 klm	1.83 f-l	2.53 a-d	2.57 abc	(12-12-36) 4/1000	
1.01 m	1.54 jkl	2.14 c-h	2.13 c-h	2.40 a-e	(12-12-36) 6/1000	
1.57 jkl	1.93 e-k	1.83 f-l	2.21 c-g	1.92 e-k	Without Fertilizer بدون کود	

در هر تیمار مقادیر دارای حرف یا حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون LSD می‌باشند

Within each column, means followed by a common letter are not significantly different at the 5% probability level according to the LSD test

ارتباط عملکرد برنج با اجزای عملکرد

جدول (۹) نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه، طول خوشه، تعداد دانه‌های پر در هر خوشه، تعداد پنجه مؤثر و وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، کاه و بیوماس داشتند. تعداد دانه‌های پوک تأثیر معنی‌داری روی عملکرد دانه، کاه و بیوماس نداشته است.

جدول ۹- نتایج همبستگی عملکرد و اجزای عملکرد برنج.

Table 9. Correlation results of rice yield and yield components.

تعداد پنجه مؤثر در کپه number of effective tillers per hill	وزن هزار دانه thousand-seed weight	تعداد دانه‌های پوک در خوشه Number of Unfilled Seeds per Panicle	تعداد دانه‌های پر در خوشه Number of filled Seeds per Panicle	طول خوشه Panicle Length	ارتفاع گیاه plant height	خصوصیات زراعی Agronomic traits
-0.256**	0.463**	-0.007 ns	0.456**	0.426**	0.583**	Seed yield
-0.239*	0.367**	-0.020 ns	0.316**	0.290**	0.441**	Straw Yield
-0.317**	0.515**	-0.019 ns	0.471**	0.436**	0.632**	Biomass Yield

*معنی¬داری در سطح پنج درصد

**معنی¬داری در سطح یک درصد

ns عدم معنی¬داری

*Significance at the 5% level

**Significance at the 1% level

ns: Non-significance

بحث

برنج رقم جلودار (*Oryza sativa* L. cv. Gilodar) یکی از ارقام پر محصول و زودرس در شالیزارهای استان مازندران محسوب می‌شود که به دلیل کیفیت پخت مطلوب، مقاومت نسبی به ورس و سازگاری با شرایط اقلیمی منطقه، مورد استقبال گسترده کشاورزان قرار گرفته است. با این حال، دستیابی به پتانسیل عملکرد بالا در این رقم، مستلزم مدیریت دقیق تغذیه‌ای است؛ زیرا ارقام پر محصول به دلیل تولید زیست‌توده زیاد و نیاز بالای عناصر غذایی در مراحل زایشی، نسبت به کمبود عناصر به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم حساس‌تر هستند. بنابراین، به کارگیری راه‌کارهای تغذیه‌ای مکمل مانند محلول‌پاشی برگی و استفاده از محرک‌های زیستی می‌تواند نقش کلیدی در شکوفایی کامل پتانسیل ژنتیکی این رقم ایفا کند (Afkhami Ghadi et al., 2011). نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان داد که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و کود شیمیایی NPK، به‌ویژه در کاربرد توأم، تأثیر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیوماس و اجزای عملکرد برنج رقم جلودار داشت، به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه (۶۳۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ترکیبی غلظت چهار در هزار (حجم/حجم) عصاره *آسکوفیلوم نودازوم* با غلظت شش در هزار (حجم/گرم) کود (۱۲-۱۲-۳۶) حاصل شد که نسبت به شاهد (بدون کود و بدون جلبک) ۷۱/۵ درصد افزایش نشان داد. این افزایش چشمگیر در عملکرد را می‌توان به اثر هم‌افزایی (Synergistic)احتمالی بین محرک‌های زیستی جلبکی و عناصر پر مصرف موجود در کود نسبت داد. این یافته با نتایج Nayak و همکاران (۲۰۲۰) و Sunarpi و همکاران (۲۰۲۰) که کاربرد برگی جلبک دریایی را مؤثر در افزایش عملکرد برنج گزارش کردند، مطابقت داشت. مطالعات پیشین نیز گزارش کرده‌اند که محلول-پاشی عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* سبب بهبود کیفیت و کمیت عملکرد گوجه در شرایط تنش خشکی شده است (Ahmed et al., 2022). برای درک بهتر این پدیده، لازم است مکانیسم عملکرد هر یک از عناصر به‌طور جداگانه و نیز برهم‌کنش آن‌ها با عصاره جلبک دریایی مورد بررسی قرار گیرد. کود (۳۶-۱۲-۱۲) با داشتن نسبت بالای پتاسیم (۳۶ درصد) در مقایسه با نیتروژن (۱۲ درصد) و فسفر (۱۲ درصد) از نظر تغذیه‌ای یک فرمولاسیون با تأکید بر پتاسیم محسوب می‌شود. پتاسیم در گیاه نقش‌های فیزیولوژیک متعددی ایفا می‌کند که همگی در جهت افزایش عملکرد دانه هستند. در ابتدا، پتاسیم به‌عنوان فعال‌کننده اصلی بیش از ۶۰ آنزیم مختلف از جمله آنزیم‌های دخیل در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و سنتز پروتئین عمل می‌کند و بنابراین مستقیماً در پر شدن دانه نقش دارد (Shi et al., 2021; Marschner, 2011; Johnson et al., 2022). دوم، پتاسیم با تنظیم تورژسانس سلول‌های محافظ روزنه، کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها را بر عهده دارد و از این طریق بر سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب تأثیر می‌گذارد (Sardans and Peñuelas, 2021; Meena et al., 2014; Weiyu et al., 2025). سوم، پتاسیم نقش کلیدی در بارگذاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی (ساکارز) از برگ‌های منبع به دانه‌های در حال رشد (مقصد) از طریق آبکش ایفا می‌کند؛ به‌گونه‌ای که کمبود پتاسیم موجب کاهش فشار تورژسانس در آوندهای آبکش و در نتیجه اختلال در انتقال مواد به دانه می‌شود (Ladikou et al., 2025; De Mello Prado, 2021; Mardanluo et al., 2018). چهارم، پتاسیم با افزایش طول دوره پر شدن دانه و بهبود کارایی انتقال مجدد مواد از کاه به دانه، وزن هزار دانه را به‌طور مستقیم افزایش می‌دهد (Liu et al., 2026). بنابراین، غلظت بالای پتاسیم در کود (۳۶-۱۲-۱۲) از طریق این مکانیسم‌های چندگانه، افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را در تیمارهای حاوی این کود (به‌ویژه در غلظت سس در هزار) توجیه می‌کند. محققان دیگری در یک مطالعه گلدانی در گلخانه نشان دادند که با افزایش غلظت کود پتاسیم تا مقدار ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک میزان عملکرد دانه و کاه برنج افزایش یافت (Ranjan and Singh, 2021). با وجود کاهش نسبی نیتروژن و فسفر در کود (۳۶-۱۲-۱۲) در مقایسه با کود (۲۰-۲۰-۲۰)، عملکرد دانه کاهش نیافته

یا حتی افزایش یافته است. پاسخ این پرسش در چند نکته نهفته است:

نخست آنکه در این مطالعه، کود پایه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌صورت خاکی و به میزان قابل‌قبولی (۱۵۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار) به همه تیمارها اعمال شد. بنابراین، نیاز پایه گیاه به نیتروژن و فسفر تا حد زیادی توسط کود خاکی تأمین گردید و محلول‌پاشی برگی صرفاً به‌عنوان تغذیه تکمیلی عمل کرد. در چنین شرایطی، کاهش نسبی نیتروژن و فسفر در کود محلول‌پاشی، خلأ تغذیه‌ای قابل‌توجهی ایجاد نکرد، زیرا این عناصر از طریق ریشه و کود پایه در دسترس گیاه بودند. دوم آنکه، عصاره جلبک دریایی حاوی عناصر ریزمغذی (آهن، روی، منگنز، مس و مولیبدن) است که نقش کلیدی در متابولیسم نیتروژن و فسفر دارند و حضور آن‌ها در عصاره جلبک، کارایی جذب و استفاده از نیتروژن و فسفر موجود در خاک و کود را افزایش می‌دهد (De Mello Prado, 2021). سوم آن‌که، غلظت بالای پتاسیم موجود در کود (۱۲–۱۲–۳۶) می‌تواند جذب نیترات و فسفر تسهیل کند (Weiyu et al., 2025; Hu et al., 2023) و بنابراین کمیت کمتر آن‌ها در محلول‌پاشی، با کارایی بالاتر جبران می‌شود. چهارم آنکه، در مرحله پر شدن دانه (که محلول‌پاشی در آن اعمال شد)، نیاز گیاه به پتاسیم به اوج خود می‌رسد، در حالی که جذب نیتروژن و فسفر در مراحل رویشی بیشترین اهمیت را دارد (Li et al., 2022; Luo et al., 2025)؛ بنابراین، تأکید بر پتاسیم در کود محلول‌پاشی در این مرحله فیزیولوژیک، انتخابی منطقی و هماهنگ با نیاز گیاه بوده است.

در عین حال، نتایج نشان داد که حتی در شرایط عدم مصرف عصاره جلبک دریایی، محلول‌پاشی کود شیمیایی NPK نیز توانست عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش دهد؛ به‌طوری‌که غلظت‌های چهار و شش در هزار کود (۲۰–۲۰–۲۰) به‌ترتیب با عملکردهای ۵۶۸۱/۳ و ۵۵۲۶ کیلوگرم در هکتار و غلظت‌های دو و چهار در هزار کود (۱۲–۱۲–۳۶) با عملکردهای ۵۱۶۷/۵ و ۵۱۴۶/۶ کیلوگرم در هکتار، اختلاف معنی‌داری با شاهد (۳۶۸۱/۹ کیلوگرم در هکتار) نشان دادند. این نتایج موافق با Mahmoodi و همکاران (۲۰۲۰) بود که آنها گزارش کردند محلول‌پاشی عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، بور، روی، منگنز و مس) در مراحل پنجه‌زنی و خوشه‌دهی میزان عملکرد دانه برنج را به اندازه ۱۲/۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

قابل‌ذکر است که در غیاب جلبک، غلظت شش در هزار (حجم/گرم) کود (۱۲–۱۲–۳۶) عملکردی معادل ۴۸۵۷/۳ کیلوگرم در هکتار تولید کرد که از سایر غلظت‌های این کود کمتر بود و اختلاف معنی‌داری با غلظت ۰/۰۰۴ این کود نداشت. این کاهش عملکرد در غلظت شش در هزار کود (۱۲–۱۲–۳۶) در غیاب جلبک را احتمالاً می‌توان به عدم تعادل یونی (برهم خوردن نسبت K/Mg یا K/Ca) در سلول‌های برگ نسبت داد که می‌تواند منجر به اختلال در جذب آب و مواد معدنی، کاهش تورژسانس و در نهایت کاهش فتوسنتز و عملکرد شود (Marschner, 2012; De Mello Prado, 2021).

با این حال، افزودن عصاره جلبک دریایی به‌ویژه *آسکوفیلوم نودازوم* در غلظت ۴ در هزار توانست اثر منفی غلظت بالای کود را خنثی کرده و عملکرد را به حداکثر مقدار خود (۶۳۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار) برساند که نشان‌دهنده نقش تعدیل‌کنندگی جلبک دریایی در شرایط تنش تغذیه‌ای است. جلبک دریایی با دارا بودن ترکیباتی مانند پلی‌آمین‌ها، می‌تواند با تنظیم اسمزی، کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود جذب یونی، اثرات منفی ناشی از غلظت بالای عناصر را کاهش دهد و از این طریق، دامنه تحمل گیاه را به سطوح بالاتر کود افزایش دهد (Yakhin et al., 2017; De Saeger et al., 2020).

مقایسه دو گونه جلبکی مورد مطالعه نشان داد که *آسکوفیلوم نودازوم* در اکثر صفات مورد بررسی عملکرد برتری نسبت به *اکلونیا ماکیسما* داشت، به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه در ترکیب با *آسکوفیلوم نودازوم* مشاهده شد، در حالی که *اکلونیا ماکزیما* در بهترین حالت خود (غلظت دو در هزار همراه با ۶ در هزار کود ۲۰–۲۰–۲۰) عملکردی معادل ۵۵۶۶/۲ کیلوگرم در هکتار تولید کرد که نسبت به بهترین تیمار کودی بدون جلبک (۵۶۸۱/۳ کیلوگرم در هکتار در غلظت ۴ در هزار کود ۲۰–۲۰–۲۰) افزایش معنی‌داری نداشت و از تیمارهای حاوی *آسکوفیلوم نودازوم* نیز پایین‌تر بود. این برتری *آسکوفیلوم نودازوم* را احتمالاً می‌توان به ترکیبات زیست‌فعال مؤثرتر، غلظت بالاتر تنظیم کننده‌های رشد و همچنین عناصر مغذی قابل‌جذب بیشتر در این عصاره جلبکی نسبت داد که به استناد مطالعات پیشین می‌توانند سبب افزایش کلروفیل، بهبود فتوسنتز و در نهایت افزایش مواد فتوسنتزی انتقال‌یافته به دانه شوند (De Saeger et al., 2020; Papachan et al., 2017).

در مورد عملکرد بیوماس نیز الگوی مشابهی مشاهده شد، به‌طوری که در غیاب جلبک، بالاترین عملکرد بیوماس مربوط به غلظت چهار در هزار کود (۲۰–۲۰–۲۰) با مقدار ۱۰۳۷۷ کیلوگرم در هکتار و غلظت چهار در هزار کود (۳۶–۱۲–۱۲) با مقدار ۹۳۸۱ کیلوگرم در هکتار بود که هر دو نسبت به شاهد (۸۶۵۶ کیلوگرم در هکتار) افزایش معنی‌داری داشتند، اما افزودن *آسکوفیلوم نودازوم* به‌ویژه در غلظت چهار در هزار همراه با شش در هزار کود (۳۶–۱۲–۱۲) عملکرد بیوماس را به ۱۴۷۶۱ کیلوگرم در هکتار رساند که نسبت به بهترین تیمار کودی بدون جلبک

(۱۰۳۷۷ کیلوگرم در هکتار) حدود ۴۲/۲۵ درصد افزایش نشان داد. سایر محققان بیان کردند که استفاده از عصاره جلبک دریایی مانند *آسکوفیلوم نودازوم* سبب افزایش عملکرد برنج نسبت به شاهد شد (Bagrecha et al., 2024; Banjare et al., 2025; Tahaee Roudsari et al., 2025). این افزایش قابل‌توجه در بیوماس نشان می‌دهد که جلبک دریایی احتمالاً نه تنها بر عملکرد دانه، بلکه بر تولید ماده خشک کل نیز تأثیر عمیقی دارد که به استناد مطالعات پیشین می‌تواند ناشی از وجود تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید آبسیزیک، جیبرلین، براسینواستروئید، اتیلن، اکسین، سیتوکنین و حتی استریگولاکتون‌ها باشد که تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها را تحریک می‌کنند (Deepana et al., 2021)

در خصوص تعداد دانه‌های پر در خوشه نیز، تیمارهای کودی بدون جلبک عملکرد قابل‌قبولی داشتند، به‌طوری‌که غلظت شش در هزار کود (۲۰–۲۰–۲۰) با ۹۴ دانه پر و غلظت دو در هزار کود (۱۲–۱۲–۳۶) با ۹۱ دانه پر، نسبت به شاهد (۶۴ دانه) افزایش معنی‌داری نشان دادند. این نتایج موافق با Mahmoodi و همکاران (۲۰۲۰) بود که آنها گزارش کردند محلول‌پاشی عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، بور، روی، منگنز و مس) و افزایش تعداد دفعاتش سبب افزایش تعداد دانه‌های پر در خوشه می‌شود. اما افزودن *آسکوفیلوم نودازوم* در غلظت چهار در هزار همراه با چهار در هزار کود (۱۲–۱۲–۳۶) تعداد دانه‌های پر را به ۱۲۰ رساند که نسبت به بهترین تیمار کودی بدون جلبک (۹۴ دانه) حدود ۲۷/۶۶ درصد افزایش نشان داد. در مقابل، تعداد دانه‌های پوک در تیمار شاهد (۳۳ دانه) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود و کمترین تعداد دانه‌های پوک (۸ دانه) در تیمار ترکیبی چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* + شش در هزار کود (۱۲–۱۲–۳۶) مشاهده شد که نسبت به بهترین تیمار کودی بدون جلبک (۹ دانه پوک در غلظت چهار در هزار کود ۲۰–۲۰–۲۰) نیز کاهش محسوسی داشت. Daneshtalab Lahijani و همکاران (۲۰۲۰) نیز دریافتند که محلول‌پاشی NPK سبب کاهش تعداد پوک در خوشه شد. این نتایج تأیید می‌کند که جلبک دریایی به دلیل وجود تنظیم‌کننده‌های رشد، عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف احتمالاً از طریق بهبود گرده‌افشانی، کاهش عقیمی و افزایش انتقال مجدد مواد، نقش مهمی در افزایش دانه‌های پر و کاهش دانه‌های پوک ایفا می‌کند (Bagrecha et al., 2024; Nayak et al., 2020).

در مورد وزن هزار دانه نیز، تیمارهای کودی بدون جلبک تأثیر مثبتی داشتند، به‌گونه‌ای که غلظت‌های چهار و شش در هزار کود (۲۰–۲۰–۲۰) و تمامی غلظت‌های کود (۱۲–۱۲–۳۶) وزن هزار دانه را نسبت به شاهد (۲۴/۳۷ گرم) به‌طور معنی‌داری افزایش دادند و بیشترین مقدار در غیاب جلبک مربوط به غلظت چهار در هزار کود (۱۲–۱۲–۳۶) با ۲۵/۷ گرم بود، این نتایج با یافته‌های حاصل از پژوهش، Ehsani Amoli و همکاران (۲۰۲۰) و Wihardjaka و همکاران (۲۰۲۲) در یک راستا بود، که این محققان بیان کردند که استفاده از کود شیمیایی NPK مخصوصاً کودهای حاوی پتاسیم مقدار وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. اما افزودن *آسکوفیلوم نودازوم* (به‌ویژه در غلظت چهار در هزار) وزن هزار دانه را در تمامی ترکیب‌های کودی به‌طور معنی‌داری افزایش داد و حداکثر مقدار (۲۶/۴ گرم) در تیمار ترکیبی چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* + دو در هزار کود (۱۲–۱۲–۳۶) مشاهده شد. مطالعات سایر محققین هم نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب افزایش معنی‌داری در وزن هزار دانه شده است (Basavaraja et al, 2018; Pramanick et al., 2014; Prasedya et al., 2019; Sebastian, 2021; Szczepanek et al., 2018)

این افزایش وزن هزار دانه تحت تأثیر پتاسیم از طریق افزایش سرعت پر شدن دانه و بهبود کارایی انتقال مجدد مواد از کاه به دانه قابل توجیه است (Wihardjaka et al., 2022; Atapattu et al., 2018). همچنین، وجود عناصر ریزمغذی در عصاره جلبک دریایی می‌تواند با فعال‌سازی آنزیم‌های دخیل در سنتز نشاسته و پروتئین، وزن هر دانه را افزایش دهد (Haghparast et al., 2012; Ebadi et al., 2022). جالب‌توجه است که در مورد عملکرد کاه و کلش، الگوی متفاوتی مشاهده شد، به‌طوری که محلول‌پاشی کود شیمیایی در غیاب جلبک تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کاه نداشت و اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کودی بدون جلبک و شاهد مشاهده نشد، در حالی که کاربرد عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* در غلظت چهار در هزار، حتی بدون کود شیمیایی، عملکرد کاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. این یافته احتمالاً نشان می‌دهد که تحریک رشد رویشی و تولید کاه عمدتاً ناشی از اثرات هورمونی جلبک دریایی (به‌ویژه سیتوکنین و جیبرلین) است تا تأمین مستقیم عناصر غذایی توسط کود شیمیایی؛ زیرا هورمون‌های مذکور تقسیم سلولی و طویل شدن سلول‌ها را در مریستم‌های رویشی تحریک می‌کنند و منجر به افزایش زیست‌توده هوایی و عملکرد برنج می‌شوند (Chen et al., 2022). این تمایز در عملکرد، اهمیت کاربرد توأم این دو نهاده را دوچندان می‌کند؛ چرا که کود شیمیایی از طریق مکانیسم‌های پتاسیم‌محور که پیشتر تشریح شد، عملکرد دانه را بهبود می‌بخشد و جلبک دریایی از طریق افزایش کاه، به عنوان منبع غنی ماده آلی برای بازگشت به خاک، نقش مهمی در پایداری سیستم‌های کشاورزی ایفا می‌کند.

مقدار ارتفاع برنج و طول خوشه در غلظت‌های دو و چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* به‌طور معنی‌داری نسبت به عصاره جلبک اکلونیاماکسیما در هر دو غلظت و شاهد بیشتر بود،

که مطابق با یافته‌های سایر محققان بود و آن‌ها بیان کردند که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی سبب افزایش عملکرد کاه و ارتفاع برنج و طول خوشه شد (Banjare et al., 2025; Deepana et al., 2021).

تعداد پنجه مؤثر در هر کپه در تیمارهای دو و چهار در هزار *اکلونیاماکسیما* به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود، که با یافته‌های Banjare و همکاران (۲۰۲۵) مطابقت داشت و بیان کردند که تعداد پنجه مؤثر در تیمارهای حاصل از عصاره جلبک دریایی نسبت به شاهد بیشتر بود. افزایش مشاهده‌شده در این ویژگی عملکرد محصول به‌احتمال زیاد ناشی از سطوح مواد مغذی و وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، عناصر کم‌مقدار، ویتامین‌ها و سایر ترکیبات مفید موجود در عصاره جلبک دریایی است. تعداد پنجه مؤثر در کود شیمیایی (۳۶-۱۲-۱۲) در تمامی غلظت‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت شاهد بیشتر بود. به نظر می‌رسد که غلظت بالای پتاسیم در این کود سبب افزایش تعداد پنجه مؤثر شده است. Ranjan و Singh (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که با افزایش میزان کود پتاسیم تعداد پنجه مؤثر در برنج به‌طور معنی‌داری بیشتر شد.

نتایج تحلیل اقتصادی این پژوهش نشان داد تیمار چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* همراه با شش در هزار کود (۱۲-۱۲-۳۶) با عملکرد دانه ۶۳۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار، بیشترین بازده ناخالص (درآمد کل) را به مبلغ ۳۹۵۷۴۰۰۰۰۰ ریال در هکتار تولید کرد که برتری زراعی آشکار این ترکیب را نشان می‌دهد. با این حال، از منظر سود خالص (بازده خالص) **و** نسبت فایده به هزینه (BCR)، الگوی کاملاً متفاوتی مشاهده شد. بررسی دقیق نشان می‌دهد که از نظر سود خالص، تیمار دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* همراه با چهار در هزار کود (۳۶-۱۲-۱۲) با مبلغ ۳۵۵۰۴۸۸۶۶۷ ریال در هکتار، بالاترین سود خالص را به خود اختصاص داد. این تیمار با عملکرد دانه ۶۲۵۹/۲ کیلوگرم در هکتار (نزدیک به تیمار برتر زراعی) و هزینه نسبتاً مناسب‌تر توانست بهترین بازده اقتصادی را ایجاد کند. این نتایج با یافته‌های Bagrecha و همکاران (۲۰۲۴) که گزارش کردند استفاده از جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* سبب افزایش بازده خالص و ناخالص عملکرد برنج برای کشاورزی می‌شود، تا حدی مطابقت دارد، اما در مطالعه حاضر، اختلاف معنی‌داری بین این تیمار و تیمار فاقد جلبک دریایی همراه با غلظت چهار در هزار کود (۲۰-۲۰-۲۰) از نظر سود خالص وجود نداشت؛ به‌طوری‌که تیمار بدون جلبک با سود خالص ۳۴۹۰۶۶۹۳۳۳ ریال در هکتار در همان سطح آماری قرار گرفت . دانش‌طلب لاهیجانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که محلول‌پاشی عناصر پرمصرف (NPK) از طریق کاهش میزان کود مصرفی سبب افزایش عملکرد و کیفیت برنج و افزایش درآمد کشاورز می‌شود، اما نقطه‌عطف تحلیل اقتصادی، بررسی نسبت فایده به هزینه (BCR) است که تصویر دقیق‌تری از کارایی اقتصادی هر تیمار ارائه می‌دهد. در این شاخص، تیمار فاقد جلبک دریایی همراه با غلظت چهار در هزار کود (۲۰-۲۰-۲۰) با نسبت ۲/۸۹، بالاترین کارایی اقتصادی را نشان داد و اختلاف معنی‌داری با اکثر تیمارهای حاوی جلبک دریایی داشت. به‌عبارت دیگر، اگرچه برخی تیمارهای حاوی جلبک (مانند تیمار دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* +چهار در هزار کود ۳۶-۱۲-۱۲) از نظر سود خالص در سطح تیمار بدون جلبک قرار گرفتند، اما نسبت سود به هزینهٔ سرمایه‌گذاری در تیمار بدون جلبک به‌مراتب بالاتر بود و این مزیت اقتصادی آشکار را نشان می‌دهد. دلیل اصلی این تضاد، هزینه‌های بالای نهاده‌ها در تیمارهای حاوی جلبک دریایی است؛ به‌طوری‌که هزینه کل تیمار برتر زراعی (چهار در هزار جلبک + شش در هزار کود ۳۶-۱۲-۱۲) معادل ۶۵۱۰۰۰۰۰۰ ریال در هکتار برآورد شد، در حالی‌که تیمار اقتصادی برتر از نظر BCR (بدون جلبک + چهار در هزار کود ۲۰-۲۰-۲۰) هزینه‌ای حدود ۱۲۰۰۰۰۰۰۰ ریال در هکتار داشت. نکته جالب توجه اینکه تیمار دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* +چهار در هزار کود ۳۶-۱۲-۱۲ که بالاترین سود خالص را داشت، هزینه متوسطی معادل ۳۳۴۰۰۰۰۰۰ ریال در هکتار داشت که نسبت به تیمار برتر زراعی ۳۱۷ میلیون ریال کمتر بود و نسبت BCR آن (۲/۵۳) از تیمار بدون جلبک (۲/۸۹) پایین‌تر بود، اما اختلاف معنی‌داری بینشان وجود نداشت. این یافته نشان می‌دهد که حداکثر عملکرد و حتی حداکثر سود خالص لزوماً به معنای حداکثر کارایی اقتصادی نیست و این تضاد ریشه در عدم تناسب بین هزینه‌های اضافی مصرف جلبک دریایی و بازده ناشی از افزایش عملکرد دارد. قیمت بالای عصاره جلبک دریایی به‌گونه‌ای است که در اکثر تیمارهای حاوی جلبک، هزینه‌های اضافی، کارایی اقتصادی (نسبت فایده به هزینه) را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، در تیمار چهار در هزار *اکلونیا ماکسیما* همراه با شش در هزار کود (۳۶-۱۲-۱۲) که عملکرد پایینی نیز داشته، نسبت BCR به ۱/۰۱ کاهش یافته که نشان‌دهندهٔ توجیه اقتصادی بسیار ضعیف این ترکیب است.

اگرچه *آسکوفیلوم نودازوم* از نظر زراعی برتری قاطعی نسبت به *اکلونیا ماکسیما* داشت و عملکرد دانه را در بهترین حالت به ۶۳۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار رساند، اما از نظر نسبتBCR ، تیمارهای حاوی *آسکوفیلوم نودازوم* (به‌استثنای تیمار دو در هزار جلبک + چهار در هزار کود ۳۶-۱۲-۱۲ که در سطح تیمار بدون جلبک قرار گرفت) به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از تیمار بدون جلبک بودند. این موضوع نشان می‌دهد که هزینه بالای جلبک دریایی، مزیت زراعی آن را در شرایط فعلی قیمت‌گذاری، به مزیت اقتصادی کامل تبدیل نمی‌کند و این شکاف، یکی از موانع اصلی

توصیه گسترده مصرف جلبک دریایی در محصول برنج محسوب می‌شود. با این حال، نباید از نقش‌های غیراقتصادی و بلندمدت جلبک دریایی غافل شد. افزایش معنی‌دار عملکرد کاه و کلش در تیمارهای حاوی *آسکوفیلوم نودازوم* می‌تواند به عنوان یک منبع غنی ماده آلی برای بازگشت به خاک، در بلندمدت حاصلخیزی خاک را بهبود بخشد و نیاز به کودهای شیمیایی را در سال‌های آینده کاهش دهد. بنابراین، توصیه به کشاورزان باید بر اساس اولویت‌های آنها و چشم‌انداز بازار صورت گیرد:

۱ .اگر هدف، حداکثر کارایی اقتصادی و نسبت سود به هزینه در بازار داخلی است، تیمار بدون جلبک با غلظت چهار در هزار کود (۲۰-۲۰-۲۰) با بالاترین نسبت BCR (۲/۸۹) بهترین گزینه محسوب می‌شود.

۲ .اگر هدف، حداکثر سود خالص (مطلق) در بازار داخلی است، تیمار دو در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* همراه با چهار در هزار کود (۳۶-۱۲-۱۲) با سود خالص ۳۵۵۰۴۸۸۶۶۷ ریال در هکتار (که اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون جلبک نداشت) قابل توصیه است.

۳ .اگر کشاورز یا سرمایه‌گذار به دنبال تولید حداکثری با هدف صادرات و ارزآوری است، تیمار چهار در هزار *آسکوفیلوم نودازوم* همراه با شش در هزار کود (۳۶-۱۲-۱۲) با حداکثر عملکرد دانه (۶۳۱۴/۱ کیلوگرم در هکتار) می‌تواند با محاسبه درآمد براساس قیمت‌های جهانی (دلاری یا یورویی)، به‌مراتب سودآورتر از سایر تیمارها باشد و ضمن تأمین امنیت غذایی، به افزایش درآمدهای غیرنفتی و ارزآوری کشور نیز کمک نماید.

۴ .اگر کشاورز به دنبال پایداری بلندمدت سیستم و بهبود حاصلخیزی خاک است، می‌تواند تیمار ترکیبی حاوی *آسکوفیلوم نودازوم* (به‌ویژه غلظت دو در هزار) را با آگاهی از کاهش نسبی کارایی اقتصادی کوتاه‌مدت انتخاب نماید.

در نهایت، این تضاد نشان‌دهنده یک فرصت پژوهشی ارزشمند است :بهینه‌سازی غلظت جلبک دریایی با هدف کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی اقتصادی. به عنوان مثال، استفاده از غلظت‌های پایین‌تر جلبک (کمتر از ۴ در هزار) یا کاهش دفعات محلول‌پاشی ممکن است ضمن حفظ بخش قابل‌توجهی از مزایای زراعی، تیمارهای حاوی جلبک را به گزینه‌های اقتصادی‌تری تبدیل کند. همچنین، انجام مطالعات تکمیلی با رویکرد تلفیقی زراعی-اقتصادی-کیفی و بررسی امکان جایگزینی بخشی از کودهای پایه خاکی با محلول‌پاشی جلبک، می‌تواند به فرمولاسیون بهینه‌تری دست یابد که هم از نظر عملکرد و هم از نظر سودآوری، پاسخگوی نیاز کشاورزان باشد.

محدودیت‌های پژوهش و پیشنهادها برای تحقیق-های آینده

اگرچه این مطالعه با دقت و رعایت اصول علمی انجام شد، اما مانند هر پژوهش میدانی با محدودیت‌هایی مواجه بود که اشاره به آنها می‌تواند مسیر تحقیقات آتی را روشن‌تر سازد. از جمله مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش، انجام آزمایش در یک مکان و یک سال زراعی بود که تعمیم‌پذیری نتایج را به سایر مناطق با شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت محدود می‌کند؛ بنابراین، تکرار این آزمایش در سال‌های متوالی و در مناطق مختلف شالیزارهای شمال کشور (مانند گیلان و گلستان) برای تأیید پایداری اثرات مشاهده‌شده ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین، این مطالعه تنها بر روی یک رقم برنج (جلودار) انجام شد و بررسی ارقام مختلف (محلی و پرمحصول) در پژوهش‌های آینده توصیه می‌شود. از سوی دیگر، در این تحقیق صرفاً عملکرد کمی و اجزای آن مورد ارزیابی قرار گرفت و کیفیت دانه (از جمله درصد آمیلوز، عطر، خصوصیات پخت و خواص تغذیه‌ای) اندازه‌گیری نشد، در حالی که کیفیت دانه از اولویت‌های اصلی مصرف‌کنندگان و صنعت فرآوری است. علاوه بر این، انجام مطالعات تکمیلی در سطح بیوشیمیایی و مولکولی (اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کلروفیل، هورمون‌های درون‌زا و فتوسنتز و انتقال مجدد) برای درک عمیق‌تر از نحوه اثرگذاری عصاره جلبک بر فرآیندهای فیزیولوژیک برنج توصیه می‌شود. با توجه به نقش مثبت پتاسیم در این مطالعه، بررسی نسبت‌های مختلف عناصر NPKو نیز کاربرد عناصر ریزمغذی (روی، آهن و بور) به همراه عصاره جلبک، می‌تواند به فرمولاسیون دقیق‌تر کودهای اختصاصی برنج کمک کند. از منظر اقتصادی، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، تحلیل اقتصادی جامع‌تری شامل درآمد حاصل از صادرات، ارزآوری، محاسبه نرخ بازگشت سرمایه و آنالیز حساسیت به تغییرات قیمت نهاده‌ها و محصول انجام شود تا علاوه بر بهینه‌سازی عملکرد، اقتصادی‌ترین تیمار نیز برای معرفی به کشاورزان تعیین گردد. همچنین، انجام تحقیقات در زمینه تأثیر بلندمدت مصرف جلبک دریایی بر خصوصیات خاک (ماده آلی، جمعیت میکروبی و حاصلخیزی) و امکان‌سنجی کاهش مصرف کودهای پایه خاکی با جایگزینی بخشی از آن از طریق محلول‌پاشی، از جمله موضوعات ارزشمند برای پژوهش‌های آینده است. در نهایت، با توجه به تغییرات اقلیمی، بررسی تأثیر کاربرد توأم جلبک دریایی و کود پتاسیم بالا بر افزایش تحمل برنج به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری، می‌تواند راه‌کارهای تغذیه‌ای مقاوم‌سازی ارقام برنج را در مواجهه با تغییرات اقلیمی ارائه نماید.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به‌وضوح نشان داد که کاربرد توأم عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* (غلظت ۴ در هزار) و کود شیمیایی NPK با نسبت ۱۲-۱۲-۳۶ (غلظت ۶ در هزار) به‌عنوان تیمار برتر زراعی، بیشترین تولید کمی را به همراه داشت که این افزایش عمدتاً ناشی از بهبود هم‌زمان اجزای کلیدی عملکرد شامل افزایش تعداد دانه‌های پر در خوشه ، وزن هزار دانه و ارتفاع گیاه بود و بیانگر اثر هم‌افزایی بین پتاسیم بالای کود و ترکیبات زیست‌فعال جلبک در فرآیندهای انتقال مجدد مواد و پر شدن دانه است. با این حال، تحلیل اقتصادی نشان‌دهنده یک دوگانگی مهم بین برتری زراعی و اقتصادی تیمارها بود. اگرچه تیمار حاوی جلبک با غلظت چهار در هزار بیشترین عملکرد دانه و بازده ناخالص را تولید کرد، اما از نظر نسبت فایده به هزینه (BCR)، تیمار فاقد جلبک با غلظت چهار در هزار کود (۲۰-۲۰-۲۰) بالاترین کارایی اقتصادی را به خود اختصاص داد. این تضاد عمدتاً ناشی از هزینه‌های بالای عصاره جلبک دریایی است که در شرایط فعلی قیمت‌گذاری داخلی، مزیت زراعی آن را به مزیت اقتصادی کامل تبدیل نمی‌کند. با این وجود، نباید از نقش‌های بلندمدت و غیراقتصادی جلبک دریایی غافل شد. افزایش معنی‌دار عملکرد کاه در تیمارهای حاوی *آسکوفیلوم نودازوم* می‌تواند به عنوان منبع غنی ماده آلی، حاصلخیزی خاک را در بلندمدت بهبود بخشد و وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش دهد. همچنین، با در نظر گرفتن پتانسیل صادرات برنج باکیفیت ایرانی به بازارهای جهانی و مزیت نرخ ارز، تیمارهای دارای عملکرد بالاتر (حاوی جلبک دریایی) می‌توانند از منظر کلان اقتصادی و ارزآوری برای کشور توجیه‌پذیر باشند. در مجموع، براساس یافته‌های این پژوهش، عصاره جلبک دریایی *آسکوفیلوم نودازوم* به‌عنوان یک مکمل تغذیه‌ای مؤثر برای بهبود رشد و عملکرد برنج در شالیزارهای شمال کشور معرفی می‌گردد. با این حال، انتخاب بهترین ترکیب تیماری باید براساس اولویت‌های کشاورز (حداکثر سود خالص، حداکثر کارایی اقتصادی، تولید حداکثری با هدف صادرات، یا پایداری بلندمدت سیستم) صورت گیرد.. شایان ذکر است که این پژوهش عمدتاً بر عملکرد کمی و اجزای آن متمرکز بوده و شاخص‌های کیفی دانه از جمله درصد آمیلوز، عطر، خصوصیات پخت (مانند درجه حرارت ژلاتینی شدن و قوام ژل) و خواص تغذیه‌ای (میزان پروتئین و عناصر ریزمغذی) که از اولویت‌های اصلی مصرف‌کنندگان و صنعت فرآوری برنج محسوب می‌شوند، مورد ارزیابی قرار نگرفتند؛ بنابراین، انجام پژوهش‌های تکمیلی با تأکید بر هر دو جنبه کمی و کیفی، می‌تواند تصویر کامل‌تری از ارزش واقعی تیمارهای تغذیه‌ای ارائه دهد و به کشاورزان در انتخاب راه‌کاری کمک نماید که علاوه بر عملکرد مطلوب، دانه‌هایی با کیفیت بازارپسند نیز تولید نماید .به‌طور کلی، استفاده از عصاره جلبک دریایی به‌عنوان یک محرک زیستی سازگار با محیط زیست (به همراه کود با نسبت ۱۲-۱۲-۳۶ در غلظت ۶ در هزار برای حداکثر عملکرد)، در کنار مدیریت بهینه کودهای شیمیایی (به‌ویژه کود با نسبت ۲۰-۲۰-۲۰ در غلظت ۴ در هزار برای حداکثر سود)، می‌تواند ضمن کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و افزایش بهره‌وری، گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و افزایش درآمد کشاورزان شالیزارهای شمال کشور باشد. با این حال، تأیید قطعی مکانیسم‌های فیزیولوژیک مؤثر بر افزایش عملکرد (نظیر افزایش کلروفیل و فتوسنتز) و نیز بررسی دقیق تأثیر تیمارها بر کیفیت دانه و امکان‌سنجی کاهش غلظت جلبک برای بهبود سودآوری، نیازمند پژوهش‌های تکمیلی با رویکرد تلفیقی زراعی-اقتصادی-کیفی در سال‌های متوالی و مناطق مختلف است.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی با کد ۰۸-۱۴۰۳-۰۱ مصوب در جلسه ۲۵۰ شورای پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری استخراج گردیده است. بدین‌وسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه به عمل آورند.

References

1. Abu, N.J., Bujang, J.S., Zakaria, M.H. and Zulkifly, S., 2022. Use of Ulva reticulata as a growth supplement for tomato (Solanum lycopersicum). PloS one, 17, 270604, pp. 1-19, https://doi.org/10.1371/journal .pone. 0270604.
2. Afkhami Ghadi, A., Babaeian Jelodar, N., Pirdashti, H., Bagheri, N., Hasan Nataj, E. and Khademian, R. 2011. Effect of source and sink limitation on grain yield and yield components of three rice genotypes under levels of nitrogen fertilizer. Iranian Journal of Crop Science. 3, pp 509-495.
3. Ahmadi, M.M., Baranimotlagh, M., Malekzadeh, E., Vaseghnejad, M. and Taleb Nazari, T., 2025. Effect of Potassium Silicate and Seaweed Extract Foliar Application on Yield and the Concentration of Silicon and Potassium in Rice (Oryza sativa L.). Applied Soil Research. 13(2), pp. 103-83. (In Persian)
4. Ahmed, M., Ullah, H., Piromsri, K., Tisarum, R., Cha-um, S. and Datta, A., 2022. Effects of an Ascophyllum nodosum seaweed extract application dose and method on growth, fruit yield, quality, and water productivity of tomato under water-deficit stress. South African Journal of Botany, 151, pp. 95-107, https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.045
5. Ashiono, G.B., Gatuiku, S., Mwangi, P. and Akuja, T.E., 2005. Effect of nitrogen and phosphorus application on growth and yield of dual-purpose sorghum (Sorghum bicolor (L) Moench), E1291, in the dry highlands of Kenya. Asian Journal of Plant Sciences, 4, pp. 379-382. DOI: 10.3923/ajps.2005.379.382
6. Atapattu, A.J., Prasantha, B.D.R., Amaratunga, K.S.P. and Marambe, B., 2018. Increased rate of potassium fertilizer at the time of heading enhances the quality of direct seeded rice. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 5(22). doi:10.1186/s40538-018-0136-x.
7. Bagrecha, S., Melavanki, M., Nithinkumar, K., Saikia, N., Mahapatra, D., Meena, R. and Vijay, F., 2024. Impact of Ascophyllum nodosum extract on rice (Oryza sativa L.): Enhancing grain filling, quality dynamics and economic viability. International Journal of Research in Agronomy, 7, pp. 47-52. DOI: https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9a.1457
8. Banjare, L., Dadsena, R. and Xalxo, A., 2025. The effect of seaweed extracts on growth, nutrient uptake, and yield improvement of transplanted rice in a Vertisol in Chhattisgarh, India. International Journal of Advanced Biochemistry Research, 9, pp. 823-827. DOI: https:// doi.org/10.33545/26174693.2025.v9.i1Sk.3611
9. Basavaraja, P.K., Yogendra, N.D., Zodape, S.T., Prakash, R., and Ghosh, A., 2018. Effect of seaweed sap as foliar spray on growth and yield of hybrid maize. Journal of Plant Nutrition, 41, pp. 1851-1861. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1463381
10. Biswas, S., Jana, K., Agrawal, R.K. and Puste, A.M., 2019. Effect of integrated nutrient management on growth attributing characters of crops under various oat-lathyrus intercropping system. The Pharma Innovation Journal, 8, pp. 368-373.
11. Chen, C.L., Song, W.L., Sun, L., Qin, S., Ren, C.G., Yang, J.C. and Liu, Z.Y., 2022. Effect of seaweed extract supplement on rice rhizosphere bacterial community in tillering and heading stages. Agronomy, 12(342), pp. 1-15. https://doi.org/10.3390/agronomy12020342
12. Daneshtalab Lahijani, A., Mosavi, A.A. and Moballeghi, M., 2020. Effects of micronutrients foliar application on rice (Oryza Sativa L. cv. Shiroodi) morphological traits, yield and yield components. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 13, pp. 217-223. DOI: 10.25165/j.ijabe.20201301.5272
13. De Mello Prado, R., 2021. Mineral nutrition of tropical plants (Vol. 1). Cham, Switzerland: Springer.
14. De Saeger, J., Van Praet, S., Vereecke, D., Park, J., Jacques, S., Han, T. and Depuydt, S., 2020. Toward the molecular understanding of the action mechanism of Ascophyllum nodosum extracts on plants. Journal Applied Phycology, 32, pp. 573–597. https://doi.org/10. 1007 /s 10811-019-01903-9
15. Deepana, P., Bama, K.S., Santhy, P. and Devi, T.S., 2021. Effect of seaweed extract on rice (Oryza sativa var. ADT53) productivity and soil fertility in Cauvery delta zone of Tamil Nadu, India. Journal of Applied and Natural Science, 13, pp. 1111-1120. https://doi.org/10.31018 /JANS. V13I3.2906
16. Dobermann, A. and Fairhurst, T.H., 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada, and International Rice Research Institute (Los Baños, Philippines) p. 191
17. Ebadi, S.M, Daliri, M. and Mousavi S.A.A., 2022. The effect of Foliar Application of Main elements and Micronutrients on Morpho-physiological and Yield traits of Three Native Rice Cultivars of Mazandaran Province.

Journal of Crop Breeding. 14(43), pp. 200-193. (In Persian)
18. Ebrahimi Rad, H., Babazadeh, H., Amiri, E. and Sedghi, H., 2018. The effect of planting density and irrigation management on yield and yield components of rice in Koushal region, Lahijan, Guilan province. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49, pp. 377-383. DOI: 10.22059/ijswr.2017.232587.667676 (In Persian)
19. Ehsani Amoli, B., Nabipour, A.R., Ahmadi, T. and Mousavi, A.A., 2020. The effect of foliar application of Ruyesh-e No fertilizer on yield and physiological characteristics of Hashemi rice cultivar. Journal of Crop Production, 4, pp. 15-26. (In Persian) DOI:10.5586/aa.7332
20. Elekhtyar, N.M. and AL-Huqail, A.A., 2023. Effect of foliar application of phosphorus, zinc, and silicon nanoparticles along with mineral NPK fertilization on yield and chemical compositions of rice (Oryza sativa L.). Agriculture, 13, (1061), pp. 1-18. https://doi.org/ 10.3390/agriculture13051061
21. FAO., 2021. FAOSTAT/ Productionstat/ Crops [Online]. Available at http://Faostat. Fao. Org /Site/567/Default. aspx. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
22. Gallaher, R.N., Weldon, C.O. and Boswell, F.C., 1976. A semi-automated procedure for nitrogen in plant and soil samples. Soil Science Society of America Journal, 40, pp. 887-889. https://doi. Org/10.2136/sssaj1976.03615995004000060026x
23. Gee, G. W. and Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis. In A. Klute (Ed.), methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods (pp. 383-411). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
24. Ghoneim, A. M., 2016. Effect of different methods of Zn application on rice growth, yield and nutrients dynamics in plant and soil. Journal of Agriculture and Ecology Research International, 6, pp. 1-9. DOI:10.9734/JAERI/2016/22607
25. Haghparast, M., Maleki-Farahani, S., Sinaki, J.M. and Zarei, G., 2012. Mitigation of drought stress in chickpea through application of humic acid and seaweed extract. Crop Production and Regulation under Environmental Stress, 4, pp. 59-71. (In Persian)
26. Hossain, M.M., Sultana, F., Khan, S., Nayeema, J., Mostafa, M., Ferdus, H., Tran, L.S.P. and Mostofa, M.G., 2024. Carrageenans as Biostimulants and Bio-Elicitors: Plant Growth and Defense Responses. Stress Biology, 4 (3), 1-21. doi:10.1007/s44154-023-00143-9
27. Hu, W., Wang, J., Deng, Q., Liang, D., Xia, H., Lin, L. and Lv, X., 2023. Effects of different types of potassium fertilizers on nutrient uptake by grapevine. Horticulturae, 9(4), 470. DOI:10. 3390/horticulturae9040470
28. Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M.S., Kumar, V., Shackira, A.M., Puthur, J.T., Abdi, G., Sarraf, M. and Hasanuzzaman, M., 2022. Potassium in Plants: Growth Regulation, Signaling, and Environmental Stress Tolerance. Plant Physiol. Biochem, 172, pp. 56–69. https://doi.org/ 10.1016/j.plaphy.2022.01.001
29. Kahneh, E., Ramzi, S. and Shirinfekr, A., 2024. Effect of Foliar Application of ProAmin, ProSulfa and ProMic fertilizers on the quantitative and qualitative yield of Iranian tea. Journal of Research in Horticultural Science, 4(2), pp. 13-27. DOI: 10.22092/rhsj.2024.362752.1066.(In Persian)
30. Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M. and Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulation, 28, pp 386-399. https://doi.org/10.1007/S00344-009-9103-X
31. Knudsen, D., Peterson, G.A. and Pratt P.F., 1982. Lithium, Sodium and Potassium. In: Methods of soil analysis (part II) Chemical and microbiological properties (pp. 225-246), Page et al. (ed.). American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
32. Ladikou, E.V., Daras, G., Landi, M., Chatzistathis, T., Sotiropoulos, T., Rigas, S. and Papadakis, I.E., 2025. Physiological and Biochemical Effects of Potassium Deficiency on Apple Tree Growth. Horticulturae, 11, 42. DOI:10.3390/horticulturae11010042
33. Layek, J., Dutta, S.K., Das, A., Ghosh, A., Mishra, V.K., Panwar, A.S. and Buragohain, J., 2023. Productivity, quality and profitability enhancement of French bean, okra and tomato with seaweed extract application under North-Eastern Himalayan condition. Scientia Horticulture, 309, 111626. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111626
34. Li, J., Hu, W., Lu, Z., Meng, F., Cong, R., Li, X., Ren, T. and Lu, J., 2022. Imbalance between Nitrogen and Potassium Fertilization Influences Potassium Deficiency Symptoms in Winter Oilseed Rape (Brassica napus L.) Leaves. Crop J, 10, pp. 565–576. https://doi.org/10.1016/ j.cj.2021.06.001
35. Liu, J., Chen, S.B., Zhang, M.C., Xiao, Y., Wang, B., Liu, H.T. and Li, G. Z., 2026. Application of potassium improves yield and quality under drought stress by regulating

nutrient use efficiency in wheat. Plants, 15(4), 539. DOI:10.3390/plants15040539

36. Luo, H. B., Cao, H.Q., Huang, C.M., Wu, X.J., Ye, L.P., Wei, Y.W., 2025. Genome Wide Identification and Functional Analyses of HAK Family Potassium Transporter Genes in Passion Fruit (Passiflora Edulis Sims) in Response to Potassium Deficiency and Stress Responses. Plant Physiol. Biochem. 225, 109995. https://doi.org/10.1016/j. plaphy.2025. 109995
37. Mahdavi, F., Esmaeili, M.A., Fallah, A. and Pirdashti, H.A., 2005. Study of morphological characteristics, physiological indices, grain yield and its components in rice (Oryza sativa L.) landraces and improved cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 4, pp. 280-297. (In Persian).
38. Mahmoodi, B., Moballeghi, M., Eftekhari, A. and Neshaie-Mogadam, M., 2020. Effects of foliar application of liquid fertilizer on agronomical and physiological traits of rice (Oryza sativa L.). Acta Agrobotanica, 3, pp. 1-12. DOI: 10.5586/aa.7332
39. Mardanluo, S., Souri, M.K. and Ahmadi, M., 2018. Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. Journal of Plant Nutrition, 41(12), pp.1604–14. DOI:10.1080/01904167.2018.1463383
40. Marschner, H., 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.
41. Meena, V.D., Dotaniya, M.L., Coumar, V., Rajendiran, S., Ajay, Kundu, S. and Subba Rao, A., 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section b: Biological Sciences, 84, pp. 505-518. DOI 10.1007/s40011-013-0270-y
42. Ministry of Agriculture-Jahad., 2023. Crop products. Tehran: Statistics and Information Technology Office. (In Persian)
43. Mousavi, S.M., Jafari, A. and Shirmardi, M., 2024. The effect of seaweed foliar application on yield and quality of apple cv 'Golden Delicious'. Scientia Horticulturae, 323, 112529. https://doi. Org/10.1016/j.scienta.2023.112529
44. Mustapha, M.C., 2004. Management of rice production systems to increase productivity in the Gambia, West Africa. (Report). A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University. USA.
45. Nayak, P., Biswas, S. and Dutta, D., 2020. Effect of seaweed extracts on growth, yield and economics of kharif rice (Oryza sativa L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9, pp. 247-253. DOI: 10.22271/phyto.2020.v9.i3d.11269
46. Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum. In A. L. Page (Ed.), Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties (2nd Ed) (pp. 181-196), Agronomy monograph. American society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
47. Nikoogoftar-Sedghi, M., Rabiei, V., Razavi, F., Molaei, S., and Khadivi, A., 2023. The effect of foliar application of Ascophyllum nodosum (L.) Le Jol. seaweed extract on biochemical traits related to abiotic stresses in pistachio (Pistacia vera L. cv. Kaleh-Ghoochi). BMC Plant Biology, 23(1), pp. 1-11. DOI: 10.1186/s12870-023-04654-5
48. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean L.A., 1954. Estimation of available P in soils by extraction with sodium bicarbonate (Vol.4, pp. 939: 1-19). Department of Agriculture, circular. U.S.
49. Papachan, A., Bariampan, L. and Trivedy, K., 2017. Effect of application of Ascophyllum nodosum extract on the yield and quality of mulberry leaves. Bioscience Discovery, 8, pp. 235-240.
50. Pramanick, B., Brahmachari, K., Ghosh, A. and Zodape, S. T., 2014. Effect of seaweed saps on growth and yield improvement of transplanted rice in old alluvial soil of West Bengal. Bangladesh Journal of Botany, 43, pp. 53-58. DOI:10.3329/bjb.v43i1.19746
51. Pramanick, B., Brahmachari, K., Kar, S. and Mahapatra, B.S., 2020. Can foliar application of seaweed sap improve the quality of rice grown under rice–potato–greengram crop sequence with better efficiency of the system? Journal of Applied Phycology, 32, pp. 3377-3386.
52. Prasedya, E. S., Geraldine, B.A.F.D., Putri, N.N.N., Abidin, A.S., Jupri, A. and Sunarpi, H., 2019. Effect of solid and liquid extract of Sargassum crassifolium on growth and yield of rice plant. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2199, No. 1, p. 070007). AIP Publishing LLC.
53. Ranjan, K. R., and Singh, Y.V., 2021. Effect of potassium fertilization on growth and yield attributes of rice (Oryza sativa l.) crop in an Inceptisol. Journal of Scientific Research and Reports, 27, pp. 52-57. DOI: 10.9734/jsrr/2021/v27i230358
54. Rasaei, A. and Feiziasl, V., 2023. Investigation of foliar application of potassium compounds on yield, yield components and grain protein of dryland wheat. Cereal Biotechnology and Biochemistry, 2(3), pp. 311-325. DOI: 10.22126/cbb.2023.9761.1057. (In Persian)
55. Rhoades, J.D., 1982. Soluble salts. In A. L. Page (Ed.), methods of soil analysis: Chemical and mineralogical properties (2nd Ed) (pp.167-179). Agronomy series. American Society of

Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
56. Sardans, J. and Peñuelas, J., 2021. Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. Plants, 10(2), 419. https://doi.org/10.3390/plants10020419
57. Sebastian, H.G.G., 2021. Growth and yield performance of rice cultivars (Oryza sativa L.) under seaweed extract and inorganic fertilizer. Plant Science Today, 8, pp. 933–940. DOI:10.14719/ pst.2021.8.4.1072
58. Sedaqat, N., Pirdashti, H., Asadi, R. and Mousavi Toghani, S.Y., 2013. Response of yield and yield components of two rice cultivars (improved and landrace) to different irrigation managements. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology), 27(2), pp. 415–421.
59. Shi, J., Wang, Y., Li, Z., Huang, X., Shen, T. and Zou, X., 2021. Simultaneous and Nondestructive Diagnostics of Nitrogen/Magnesium/Potassium-Deficient Cucumber Leaf Based on Chlorophyll Density Distribution Features. Biosyst. Eng, 212, pp. 458–467. https://doi.org/ 10.1016/j.biosystemseng.2021.11.001
60. Son, T.T., Anh, L.X., Ronen, Y. and Holwerda, H.T., 2012. Foliar potassium nitrate application for paddy rice. Better Crops, 1, pp. 29-31.
61. Sunarpi, H., Nikmatullah, A., Sunarwidhi, A.L., Sapitri, I., Ilhami, B.T.K., Widyastuti, S. and Prasedya, E.S., 2020. Growth and yield of rice plants (Oryza sativa) grown in soil media containing several doses of inorganic fertilizers and sprayed with lombok brown algae extracts. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 594, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.
62. Szczepanek, M., Wszelaczyńska, E. and Poberężny, J., 2018. Effect of seaweed biostimulant application in spring wheat. AgroLife Scientific Journal, 7(1), pp. 131-136 DOI:10.17930/ AGL2018117
63. Tahaee Roudsari, S.L., Ashouri, M., Mohammadian Roshan, N. and Sadeghi, S.M., 2025. The effect of the combination of nitrogen fertilizer and seaweed extract on the content of macro-and micro-nutrients in Hashemi rice variety. Journal of Plant Nutrition, pp. 1-17. doi.org/ 10. 1080 /01904167.2025.2500629.
64. Walkley, A. and Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Science, 63, pp. 251-263. https://doi.org/10.1097/00010694-194704000-00001
65. Weiyu, C., Sun, H., Cai, S., Wang, Y., Jiapeng, Z., Long, H. and Zhang, Y., 2025. Progress in the study of plant nitrogen and potassium nutrition and their interaction mechanisms. Horticulturae, 11(8), 930. DOI:10.3390/horticulturae11080930
66. Wihardjaka, A., Harsanti, E.S. and Ardiwinata, A.N., 2022. Effect of fertilizer management on potassium dynamics and yield of rainfed lowland rice in Indonesia. Chilean Journal of Agricultural Research, 82, pp. 33-43. DOI:10.4067/S0718-58392022000100033
67. Yakhin O.I., Lubyanov, AA., Yakhin, I.A., Brown, P.H., 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. Front Plant Sci, 7(2049). https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049
68. Zhang, J., Wang, M., Wu, L., Wu, J. and Shi, C., 2008. Impacts of combination of foliar iron and boron application on iron biofortification and nutritional quality of rice grain. Journal of Plant Nutrition, 31, pp. 1599-1611. DOI:10.1080/01904160802244803