

Effect of Potassium Silicate and Seaweed Extract Foliar Application on Yield and the Concentration of Silicon and Potassium in Rice (*Oryza sativa* L.)

Ahmadi Mohammed Mehdi¹, Mojtaba Baranimotlagh^{2*}, Elham Malekzadeh³,
 Mohammad Vaseghnejad⁴, Taleb Nazari⁵

(Received: January, 2025 Accepted: May, 2025)

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is the second most consumed crop in the country after wheat. Foliar application is an effective method of increasing crop growth and yield of agricultural plants, as it facilitates the rapid absorption and translocation of nutrients from the leaves to other plant organs. To investigate the effect of foliar application of potassium silicate and seaweed extract on yield, yield components, and concentration of silicon and potassium in rice, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications under field conditions. The experimental treatments included foliar application of potassium silicate at three levels (0, 1, and 2 L ha⁻¹) during the maximum tillering stage and early panicle initiation stage, as well as foliar application of seaweed extract at three levels (0, 1, and 2 L ha⁻¹) during seedling establishment, rooting, and beginning of tillering stages. The results of analysis of variance showed that the effects of treatments on all evaluated traits, except for plant height, panicle length, stem length, and number of unfilled grains were significant. The results showed that the highest paddy yield, with an average of 5,352.98 kg ha⁻¹, the highest total number of grains per panicle, with an average of 112.45, and the highest 1000-grain weight, with an average of 22.65 g, were observed in the treatment with 2 L ha⁻¹ of potassium silicate and seaweed extract. The lowest values for these traits were recorded in the control treatment. As the treatment concentration increased, the potassium and silicon content in the rice grains increased. The highest levels were obtained in the foliar application of 2 L ha⁻¹ of potassium silicate and seaweed extract, with an average of 0.533 mg kg⁻¹ for potassium and 1.30% for silicon. The results show that the combined application of potassium silicate and seaweed extract has a more favorable effect on growth parameters. Overall, foliar application of potassium silicate and seaweed extract is recommended to maximize yield and increase potassium and silicon concentration in rice plants.

Keywords: Potassium Silicate, Seaweed Extract, Foliar Spraying, Rice

Ahmadi M.M., Baranimotlagh M., Malekzadeh E. Vaseghnejad M. and 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): 83-103.

1-MSc Graduated, Department of Soil Science, Faculty of Soil and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2-Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Soil and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

3-Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Soil and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

4-PhD Student, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources and CEO of Kia copa roja shomal

5-Researcher, Soil and Water Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

* Corresponding Author Email: mbarani2002@yahoo.com

اثر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد و غلظت عناصر سیلیس و پتاسیم در برنج (*Oryza sativa* L.)

محمد مهدی احمدی^۱، مجتبی بارانی مطلق^{۲*}، الهام ملک زاده^۳، محمد واثق نژاد^۴، طالب نظری^۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷)

چکیده

برنج پس از گندم دومین محصول پرمصرف در کشور به شمار می آید. محلول پاشی روشی موثر برای بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که منجر به جذب و انتقال سریع عناصر غذایی از برگ به اندامهای مختلف می شود. به منظور بررسی اثر کاربرد محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت سیلیس و پتاسیم در گیاه برنج، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار به صورت مزرعه ای اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل محلول پاشی سیلیکات پتاسیم در سه سطح (۰، ۱ و ۲ لیتر در هکتار) در مراحل حداکثر پنجه زنی و شروع تشکیل خوشه اولیه و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در سه سطح (۰، ۱ و ۲ لیتر در هکتار) در مراحل استقرار نشاء، ریشه دهی و شروع پنجه زنی بود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارها بر تمامی ویژگی های مورد بررسی، بجز ارتفاع، طول خوشه، طول ساقه و تعداد دانه های پوک، معنی دار بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد شلتوک با میانگین ۵۳۵۲/۹۸ کیلوگرم در هکتار، تعداد کل دانه در خوشه با میانگین ۱۱۲/۴۵ و وزن هزار دانه با میانگین ۲۲/۶۵ گرم مربوط به تیمار محلول پاشی با ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی و کمترین مقادیر مربوط به تیمار شاهد بود. با افزایش غلظت تیمارها، غلظت پتاسیم و سیلیسیم دانه گیاه برنج افزایش یافت به نحوی که بیشترین مقدار آن به ترتیب با میانگین ۰/۵۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم و ۱/۳۰ درصد از تیمار محلول پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بدست آمد. نتایج حاکی از آن است که مصرف توأم سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی اثر مطلوب تری بر پارامترهای رشد دارد. به طور کلی، محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی برای حصول حداکثر عملکرد و افزایش غلظت پتاسیم و سیلیسیم در گیاه برنج قابل توصیه می باشد.

واژه های کلیدی: سیلیکات پتاسیم، عصاره جلبک دریایی، محلول پاشی، برنج

احمدی م.م.، بارانی مطلق م.، ملک زاده ا.، واثق نژاد م. نظری، ط. ۱۴۰۴. اثر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد و غلظت عناصر سیلیس و پتاسیم در برنج (*Oryza sativa* L.). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۳، شماره ۲. صفحه: ۸۳-۱۰۳.

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (مکاتبه کننده)

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- دانشجوی دکترا گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و مدیر عامل شرکت کیا کوپا روجا شمال

۵- پژوهشگر بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنجند، ایران

* پست الکترونیک: mbarani2002@yahoo.com

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) به عنوان گیاه زراعی راهبردی و غذای اصلی، تامین کننده ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد پروتئین مورد نیاز جمعیت های انسانی مناطق برنج خیز کشور در دشت ساحلی شمال کشور است (Mahmoud Soltani et al., 2024). این گیاه یکی از گیاهان تیره غلات است و از اجزای اصلی و مهم رژیم غذایی تقریباً نیمی از جمعیت جهان محسوب می گردد (Reis et al., 2018). افزایش بهره‌وری تولید در واحد سطح یکی از راهکارهای مهم برای بهبود امنیت غذایی در جهان است. این امر می‌تواند به تأمین نیازهای غذایی جمعیت رو به افزایش جهان کمک کند و از منابع طبیعی محافظت نماید (Sinclair, 2011). تغذیه صحیح گیاهان زراعی، مهمترین عامل مرتبط با تولید محصول است. این امر نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد محصول، بهبود کیفیت محصول و کاهش هزینه‌های تولید دارد (Mohaghegh et al., 2010). در سال‌های اخیر، متخصصین کشاورزی توجه خود را به بهبود کیفیت، پایداری سیستم کشت و کاهش هزینه‌های تولید با کاهش نهاده‌های مصرفی، معطوف کرده‌اند. در این راستا، مواد محرک رشد به عنوان یکی از راهکارهای مهم برای دستیابی به این اهداف، مورد توجه قرار گرفته است (Jahandideh et al., 2020; Jafarnejadi et al., 2023). محرک‌های زیستی به عنوان ترکیباتی محرک برای تغذیه با هدف بهبود کارایی عناصر غذایی، تحمل تنش‌های غیر زیستی و دسترسی آسان ریشه به عناصر غذایی در محیط ریزوسفر هستند (Caradonia et al., 2021). عصاره جلبک‌های دریایی ترکیب پیچیده‌ای از مواد می‌باشد که ترکیب آن بسته به عواملی مانند منبع جلبک، فصل جمع‌آوری، و روش عصاره‌گیری متفاوت است (Sharma et al., 2012). این عصاره حاوی طیف وسیعی از هورمون‌های گیاهی شامل سیتوکینین، اکسین، جیبرلیک اسید، سالیسیلیک اسید و آبسیزیک اسید می‌باشد که در بین این ترکیبات، سیتوکینین، اکسین و ترکیبات مشابه آن‌ها بیشتر گزارش شده است (Khan et al., 2009). در عصاره جلبکی (*Ascomyllum nodosum*) عناصر غذایی ضروری برای رشد و نمو گیاهان در خاک به‌وفور یافت می‌شوند. این عناصر شامل عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم همچنین عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز هستند (Zhang & Ervin., 2004).

عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم علاوه بر عناصر غذایی، حاوی هورمون‌های رشدی مانند اکسین و سیتوکینین، و ترکیبات ارزشمند دیگری مانند آنتی‌اکسیدان‌ها، نمک‌های معدنی و ویتامین‌ها است. این ترکیبات اثرات مفید و مثبتی بر خصوصیات مورفولوژیکی و جوانه‌زنی گیاهان دارند (Kumar & Sahoo, 2011). از طرفی در بین عناصر غذایی، سیلیسیم نقش کلیدی در بهبود تغذیه گیاه و افزایش رشد برنج دارد به گونه‌ای که کمبود این عنصر سبب کاهش رشد و متعاقب آن کاهش عملکرد محصول می‌گردد (Jeer et al., 2017). سیلیکات پتاسیم منبع فوق‌العاده‌ای از سیلیسیم و پتاسیم می‌باشد و از حلالیت بسیار بالایی برخوردار است. اخیراً، این ترکیب به عنوان اصلاح‌کننده سیلیس در سیستم‌های تولید کشاورزی استفاده می‌شود و با تأمین پتاسیم به انتقال قندها از برگ‌ها به غده‌ها کمک می‌کند (Saleh et al., 2024). از سوی دیگر، سیلیس باعث افزایش حاصلخیزی خاک، جذب مواد معدنی، مقاومت در برابر بیماری‌ها و آفات، و بهبود رشد گیاه شده و در نتیجه، موجب افزایش عملکرد محصول می‌گردد (Crusciol et al., 2009). مصرف مناسب سیلیسیم، استحکام دیواره سلولی گیاه را افزایش داده و برگ‌ها را در موقعیت عمودی قرار می‌دهد. این امر از طریق افزایش نور دریافتی گیاه منجر به بهبود فتوسنتز می‌شود (Meena et al., 2014). اثرات مثبت سیلیس بر فتوسنتز و تولید برنج با کاربرد آن در طی مرحله رشد زایشی مشخص شده است (Lavinsky, 2016). عبدالجواد و همکاران (Abd El-Gawad et al., 2017) گزارش کردند که محلول پاشی سیلیکات پتاسیم با تحریک چندین مکانیسم برای کاهش تنش گیاه، عملکرد گیاهان را بهبود بخشیده است. این تیمار منجر به افزایش مساحت برگ، کلروفیل کل، ماده خشک برگ‌ها، کربوهیدرات‌های محلول کل، نشاسته، پروتئین و اسیدهای آمینه در برگ‌ها در مقایسه با تیمار شاهد شد. احمد و همکاران (Ahmad et al., 2013) با بررسی اثرات محلول پاشی سیلیس (۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۱ درصد) بر عملکرد کمی و کیفی برنج گزارش دادند که با مصرف ۰/۵۰ درصد سیلیکات سدیم، بیشترین پروتئین دانه حاصل شد، در حالی که با مصرف ۱ درصد سیلیکات سدیم، بیشترین تعداد خوشه‌چه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد کاه، نشاسته در دانه و عملکرد شلتوک به دست آمد. تحقیقات چن و همکاران (Chen et al., 2021) نشان داد محلول پاشی عصاره جلبک دریایی

دریایی فیلگیرین (۴۰ درصد عصاره جلبک دریایی آسکوفیلوم نودوسوم خالص) در جدول ۳ ارائه شده است.

آماده سازی زمین، خزانه، اعمال تیمارها و نشاء

خاکورزی زمین زراعی

زمین زراعی با استفاده از گاوآهن چپزل شخم زده شد و سپس برای تسطیح و خردشدن کلوخه‌ها از دیسک استفاده گردید.

خزانه

کود دامی به مقدار ۱۲ کیلوگرم در ۱۰۰ متر مربع در خاک خزانه ریخته شد و دو روز بعد آبیاری خزانه آغاز گردید. دو مرحله کولتیواتور به فاصله دو روز انجام گرفت. یک روز پس از بازسازی کرت‌ها و آماده‌سازی سبدهای نشاء سم‌پاشی علف‌کش بوتاکلر به مقدار ۳ لیتر در هکتار و ضدعفونی بذر برنج رقم طارم هاشمی با استفاده از محلول ۵ در هزار ویتاواکس‌تیرام انجام شد. در محیط و شرایط مناسب، جوانه‌دار شدن بذرها و تعویض آب کرت‌های خزانه صورت گرفت. بذرهای جوانه‌دار شده به کرت‌ها منتقل شده و آماده نشاء گردید.

اعمال تیمار و نشاء

براساس توصیه کودی و تامین عناصر غذایی فسفر و پتاسیم در تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۱۶ به ترتیب از منبع سوپر فسفات تریپل $(Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O)$ و کلرید پتاسیم (KCl) به مقدار ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کوددهی انجام پذیرفت. آبیاری کرت‌های مزرعه در تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۱۷ انجام شد. دو مرحله کولتیواتور به فاصله ۵ روز در تاریخ‌های ۱۴۰۲/۰۱/۲۳ و ۱۴۰۲/۰۱/۲۸ انجام شد. بازسازی کرت‌های مزرعه در تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۳۰ صورت گرفت. سم‌پاشی علف‌کش بوتاکلر به میزان ۳ لیتر در هکتار در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۰۵ و ۲۴ ساعت پس از آن تعویض آب کرت‌ها به مدت سه روز از تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۰۶ تا ۱۴۰۲/۰۲/۰۸ انجام گرفت. پس از آماده شدن نشاء در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۱۳ انتقال سبدهای نشاء به مزرعه در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۱۴ و در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۱۵ در فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر بصورت مکانیزه نشاء انجام گرفت. تامین نیتروژن از منبع اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و هیومیک اسید $(C_9H_9NO_6)$ به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۲۲ انجام شد.

موجب افزایش تحمل به تنش و همچنین افزایش عملکرد در برنج می‌شود. از طرفی محققان نشان دادند که محلول-پاشی کودها تنها در یک مرحله کارایی چندانی در بهبود رشد گیاهان ندارد (Eivand et al, 2014; Asadi et al., 2024). جذب عناصر غذایی در مرحله رویشی سهل الوصول‌تر از مراحل گلدهی بوده و در مرحله گلدهی به بعد این امر به علت کم‌آبی و دمای بالا به‌کندی صورت می‌گیرد. در نتیجه محلول‌پاشی در این مرحله با توجه به سوابق و مقالات مطالعه شده پاسخ مناسب و بهتری خواهد داشت. بر این اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی در مراحل رشد رویشی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت سیلیس و پتاسیم در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در زمین زراعی در نزدیکی روستای حسین آباد واقع در ۱۸ کیلومتری شمال غربی شهر بهشهر با مختصات جغرافیایی $(N 37^{\circ} 22' 22" E 36^{\circ} 71' 65")$ در تابستان ۱۴۰۲ اجرا گردید. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از اجرای آزمایش از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری خاک از نقاط مختلف زمین نمونه‌برداری به-صورت مرکب انجام شد. سپس برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه، شامل پهایس خاک و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۵ (Jackosn, 1973)، کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک (Walkley & Blak, 1934)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Lindsay & Norvall, 1978)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen, 1954)، پتاسیم قابل جذب خاک با استات آمونیوم یک نرمال با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل M410 (Berg et al., 1978)، و جذب اتمی مدل PinAAcle 500 به روش DTPA (Lindsay & Norvall, 1978) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده (آب چاه) از جمله پهایس آب (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی، مواد محلول کل، ذرات معلق، سختی کل، بیکربنات، سولفات، کلر، مقادیر کلسیم، منیزیم، سدیم و نسبت جذب سدیم با استفاده از روش‌های مرسوم نمونه‌برداری و آزمایش آب اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). همچنین ویژگی‌های جلبک

صدتایی از هر کرت و توزین آنها براساس رطوبت ۱۴ درصد بدست آمد.

اندازه‌گیری عناصر در گیاه

اندازه‌گیری پتاسیم و سیلیسیم در برگ و ساقه و دانه به روش هضم خشک و با اسید کلریدریک انجام گرفت (Case & Jones, 1990) و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و سیلیسیم با دستگاه جذب اتمی قرائت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS(9.4) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح ۵ درصد) و برای ترسیم نمودارها از برنامه Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک و آب

خاک مورد استفاده از عمق ۳۰-۰ سانتی متری برداشت شد. با توجه به داده‌های جدول ۱ نوع بافت خاک سیلتی-لوم می‌باشد. که تعادل مناسبی بین نگهداری آب و زهکشی آن ایجاد می‌کند. مقدار عناصر کم مصرف آهن و روی به ترتیب برابر با ۶/۲۰ (حد بحرانی ۱۰) و ۱/۰۵ (حد بحرانی ۲) میلی گرم بر کیلوگرم بود که بر اساس این نتایج در حد کمبود قرار دارد (Havlin et al., 2005). مقدار کربن آلی ۱/۲۷ درصد و مقادیر فسفر و نیتروژن به ترتیب ۵/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم و ۰/۰۱ درصد بود که بر اساس این نتایج در حد کمبود قرار داشت (Havlin et al., 2005). همچنین مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک ۳۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم بود که در سطح مطلوب برای تغذیه برنج قرار داشت (جدول ۱).

طبق نتایج بدست آمده از جدول (۲) آنالیز نمونه آب نشان داد که واکنش آب (۷/۴۲) قلیایی می‌باشد. مهم‌ترین معیارهای کیفی در طبقه بندی آب از نظر کشاورزی شوری و مقدار سدیم در آن می‌باشد. زیرا این دو نه تنها بر رشد گیاه موثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تاثیر بر نفوذ پذیری خاک را مشخص می‌سازند. شوری با معیار هدایت الکتریکی (EC) و سدیم با معیار نسبت جذب سدیم (SAR) در این پژوهش به ترتیب برابر است با ۱۷۴۸ دسی زیمنس بر متر و ۱/۸ درصد بود.

محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum* ۴۰٪ وزنی شرکت تریدکوپر اسپانیا) با سه سطح صفر، یک و دو لیتر در هکتار در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۲۵ انجام گردید (شکل ۱). مرحله دوم کود دهی اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم برای یک هکتار در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۰۵ انجام پذیرفت. جهت کنترل علف‌های هرز سم‌پاشی علف‌کش بوتاکلر به میزان ۳ لیتر در هکتار در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۰۸ انجام گرفت و همچنین جهت کنترل حشرات، سم‌پاشی حشره‌کش دیازینون در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۱۲ به مقدار ۱ لیتر برای یک هکتار صورت پذیرفت. وجین دستی علف‌های هرز به منظور کنترل و مبارزه با علف‌های هرز در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۰ انجام گرفت. مرحله سوم کود دهی اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم برای یک هکتار برای تامین نیتروژن مورد نیاز در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۵ انجام شد. محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم (K_2O_3Si ۲۸٪ وزنی/وزنی شرکت ایدای نیچر اسپانیا) با سه سطح صفر، یک و دو لیتر برای یک هکتار در تاریخ ۱۴۰۲/۰۴/۰۵ انجام گردید (شکل ۱). کوددهی اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) برای تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه به میزان ۱۰۰ کیلوگرم برای یک هکتار در تاریخ ۱۴۰۲/۰۴/۲۰ صورت پذیرفت. برای مبارزه و کنترل حشرات استفاده از حشره‌کش دیازینون و سم‌پاشی در تاریخ‌های ۱۴۰۲/۰۴/۲۵ و ۱۴۰۲/۰۵/۰۵ هر کدام به میزان یک لیتر برای یک هکتار انجام گرفت. شروع خشکی مزرعه در تاریخ ۱۴۰۲/۰۵/۱۵ انجام و برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، بصورت کاملاً تصادفی ارتفاع ۱۲ بوته در هر کرت از سطح زمین (پایه گیاه) تا بلندترین خوشه بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. درو و برداشت شالی در تاریخ ۱۴۰۲/۰۵/۲۶ صورت گرفت.

اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیک گیاه برنج

در هر کرت بطور تصادفی ۲۰ خوشه انتخاب و طول خوشه (از بالاترین میانگره تا انتهای خوشه بر حسب سانتی‌متر)، طول ساقه (از سطح زمین تا بالاترین میانگره بر حسب سانتی‌متر)، تعداد کل دانه‌های پوک و پر و همچنین تعداد کل دانه‌ها اندازه‌گیری شدند. تعداد کل پنجه در کپه که با شمارش تعداد پنجه‌ها در ۱۲ کپه بطور تصادفی در هر کرت محاسبه شد. وزن هزار دانه با شمارش از روی ۱۰ نمونه

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش قبل از کاش

Table 1. Some physio-chemical properties of tested soil before planting

Physical properties	Value	Chemical properties	value
Soil textures	Silty loam	Calcium carbonate equivalent (%)	14.3
Clay (%)	26	N (%)	0.11
Silt (%)	61	K (mg kg ⁻¹)	277
Sand (%)	13	P (mg kg ⁻¹)	5.18
pH	7.3	Fe (mg kg ⁻¹)	6.20
EC (mmhocm ⁻¹)	1.363	Zn (mg kg ⁻¹)	1.05
SP (%)	47.95	Cu (mg kg ⁻¹)	2.11
Organic carbon (%)	1.26	Mn (mg kg ⁻¹)	7.75

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده.

Table 2. Some physical and chemical characteristics of used irrigation water.

Physical properties	value	Chemical properties	value	Chemical properti	value
pH	7.42	Ca + Mg (meqL ⁻¹)	11.7	K (meqL ⁻¹)	0.02
EC (μ mhocm ⁻¹)	1748	Ca (meqL ⁻¹)	6.4	Cl (meqL ⁻¹)	6
T.D.S (mg kg ⁻¹)	1118	Mg (meqL ⁻¹)	5.3	HCO ₃ ⁻ (meqL ⁻¹)	6
T.S.S (mg kg ⁻¹)	-	SAR (%)	1.8	CO ₃ ⁻ (meqL ⁻¹)	0
Total TH (%)	585	Na (meqL ⁻¹)	4.3	SO ₄ ²⁻ (meqL ⁻¹)	4

جدول ۳- برخی ویژگی‌های عصاره جلبک دریایی فیلگیرین کوما

Table 3. Some characteristics of Phylgreen Kuma seaweed extract

Physical properties	Dry seaweed extract (%W/W)	Free amino acid (%W/W)	Total nitrogen (%W/W)
seaweed extract	6	9.6	3.6



شکل ۱- محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و سیلیکات پتاسیم

Figure 1. foliar spraying of seaweed extract and potassium silicate

خصوصیات مورفولوژیکی برنج رقم طارم هاشمی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی و اثر متقابل محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد شلتوک، تعداد کل پنجه در کپه، در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار است (جدول ۴). با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر

تیمارهای محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر ارتفاع برنج، طول ساقه و طول خوشه معنی‌دار نشدند؛ این درحالیست که اثر اصلی محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی بر ارتفاع برنج، طول ساقه و اثر اصلی محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر مقدار طول خوشه در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر برخی پارامترهای رشد رویشی در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Table 4. The results of analysis of variance of the effect of potassium silicate and seaweed extract foliar application on some vegetative growth parameters in rice plant of Tarom Hashemi variety.

Mean Square						
Source of variation	df	Paddy function	height	cluster length	stem length	Total number of pens in the pile
Block	2	116272.42**	12.87 ^{ns}	0.113 ^{ns}	15.32 ^{ns}	2.64*
Potassium Silicate	2	4902.52**	19.63 ^{ns}	15.48**	5.77 ^{ns}	10.11**
Seaweed Extract	2	516590.36**	369.74**	4.23 ^{ns}	295.04**	205.50**
Potassium Silicate * Seaweed	4	2021.74**	1.57 ^{ns}	0.232 ^{ns}	2.62 ^{ns}	9.74**
Error	16	91.33	35.85	2.26	34.29	0.64
CV		0.186	4.37	5.76	5.20	3.41

ns, ** و * به ترتیب غیر معناداری و معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, *, **, indicate significant at 1 probability levels respectively.

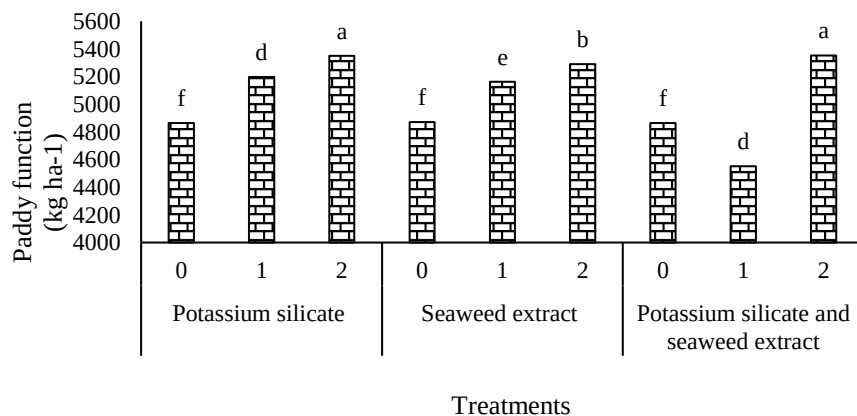
عملکرد شلتوک

مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد شلتوک با میانگین ۵۳۵۲/۹۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار محلول‌پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بدست آمد هرچند با تیمار غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم با میانگین ۵۳۴۹/۵۰ کیلوگرم در هکتار از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). همچنین کمترین مقدار عملکرد شلتوک در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی) بدست آمد (شکل ۲). عصاره جلبک دریایی به عنوان کود مایع و محرک زیستی حاوی انواع عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است و به دلیل نقشی که در تنظیم‌کنندگی هورمون‌های رشد همچون سیتوکینین (Durand, et al., 2003)، اکسین (Begum et al., 2018)، و جیبرلین (Staden

Stirk & 1997) دارد تاثیر بسزائی در رشد گیاهان ایفا می‌کنند. سطح بالاتر ماده آلی در عصاره جلبک دریایی بر قابلیت دسترسی مواد معدنی خاک تأثیر می‌گذارد (Sivasankari et al., 2006). عصاره جلبک دریایی به طور طبیعی حاوی سیتوکینین‌ها، ویتامین‌ها و عناصر غذایی ماکرو و میکرو در فرم‌های کلاته هستند که به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شوند و بهره‌وری فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهند، که این امر باعث افزایش عملکرد می‌شود (Helaly, 2021). همچنین بهبود عملکرد برنج ممکن است به این دلیل باشد که سیلیس مسئول کنترل فعالیت روزنه، فتوسنتز و کارایی مصرف آب است که در نهایت منجر به رشد رویشی بهتر و عملکرد برنج می‌شود (Ahmad et al., 2007). در همین راستا امینی فرد و همکاران (Aminifard et al., 2024) در بررسی تاثیر سطوح مختلف سولفات پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) و عصاره

(2022) در بررسی اثر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر گیاه برنج گزارش کردند که محلول پاشی ۱/۵ درصد سیلیکات پتاسیم سبب افزایش پنجه زنی و همچنین افزایش عملکرد پوسته شلتوک برنج نسبت به تیمار شاهد شد.

جلبک دریایی (۰، ۱ و ۲ در هزار) بر رشد رویشی و عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.) نشان دادند که ۳۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم به همراه محلول پاشی ۲ در هزار عصاره جلبک دریایی نقش موثری در افزایش رشد رویشی، عملکرد و بانه زعفران دارد. شاه و همکاران (Shah et al.,)



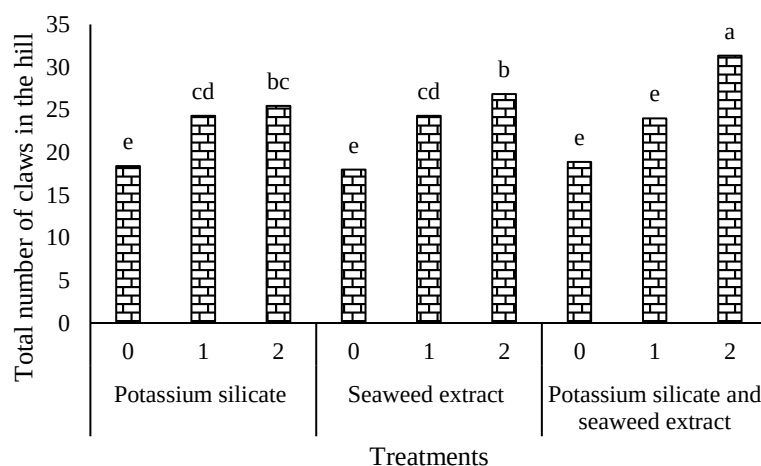
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر عملکرد شلتوک در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 2. Comparison of the average effect of potassium silicate and seaweed extract foliar application on paddy function in rice plants of Tarom Hashemi variety.

دلیل عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرفی که دارد می تواند در فرایند تشکیل کلروفیل و افزایش سبزی رنگی گیاه نقش مهمی داشته باشد. همچنین پتاسیم به دلیل نقشی که در باز کردن روزنه های برگ دارد سبب جذب بهتر عناصر غذایی حین محلول پاشی شده و راندمان مصرف کود را بالا می برد. کاویتا و همکاران (Kavitha et al., 2008) اثر محلول پاشی عصاره جلبک دریایی در برنج را بررسی کردند و نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که محلول پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۳ در هزار در دو مرحله ۵۰ درصد گلدهی و شیری شدن دانه ها سبب افزایش رشد و تعداد پنجه و بهبود صفات عملکردی برنج شد.

تعداد کل پنجه در کپه

مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین تعداد کل پنجه در کپه با میانگین ۳۱/۳۴ از محلول پاشی غلظت ۲ لیتر برای یک هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بدست آمد که در مقایسه با تیمار محلول پاشی ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی به ترتیب با میانگین ۲۵/۴۴ و ۲۶/۸۳ افزایشی معادل با ۲۳/۱۹ و ۱۶/۸۰ درصد داشت (شکل ۳). همچنین کمترین مقدار آن با میانگین ۱۷/۹۷ در تیمار شاهد (عدم محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی) بدست آمد (شکل ۳). کودهای سیلیکاته به خصوص سیلیکات پتاسیم به دلیل حضور فعال پتاسیم در فرایند فتوسنتزی و همچنین عصاره جلبک دریایی به



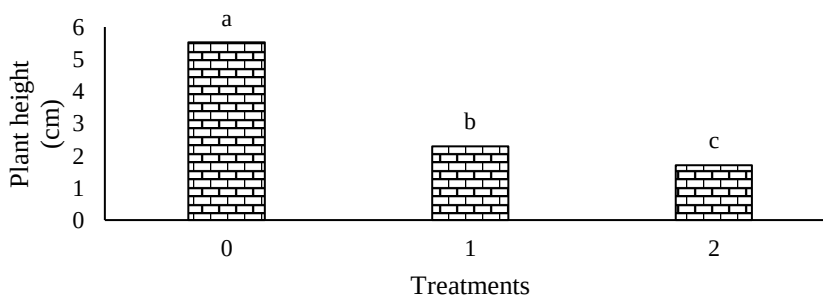
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل پنجه در کپه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی

Figure 3. Comparison of the average effect of potassium silicate and seaweed extract foliar application on the total number of claws in the hill in rice plants of Tarom Hashemi variety.

رشدی موجب باز شدن روزنه‌ها، افزایش تقسیم سلولی و افزایش شدت فتوسنتز می‌شود (Hosseinzadeh *et al.*, 2017). به دلیل حضور موثر عناصر غذایی مهم در عصاره جلبک دریایی میزان کلروفیل و در پی آن فعالیت فتوسنتزی افزایش یافته ارتفاع افزایش می‌یابد با افزایش ارتفاع گنجایش ساقه نیز افزایش یافته و شدت جذب نور و انرژی و سبزیگی گیاه نیز به دنبال آن افزایش می‌یابد (Panahyan *et al.*, 2009). در روش محلول پاشی به دلیل جذب از ناحیه روزنه گیاهی، عصاره جلبک به سرعت جذب گیاه شده و اثرات مثبتی را بر رشد و عملکرد و همچنین ارتفاع برنج نشان داده است. مطالعات ساین و داتا (Singh & Datta, 2007) نشان داد که عصاره جلبک دریایی با عث بهبود کلی صفات گیاه برنج مانند ارتفاع گیاه، طول برگ و وزن دانه نسبت به تیمار شاهد شد.

ارتفاع

نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر ارتفاع گیاه برنج نشان داد که بیشترین ارتفاع با میانگین ۱۴۵/۶۷ سانتی‌متر از غلظت ۲ لیتر در هکتار عصاره جلبک بدست آمد که نسبت به محلول پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۱ لیتر در هکتار و عدم محلول پاشی به ترتیب با میانگین ۱۳۷/۴۲ و ۱۳۳/۰۴ سانتی‌متر، افزایشی معادل با ۶/۰۱ و ۹/۵۰ درصد داشت (شکل ۴). عملکرد مثبت عصاره جلبک بر ویژگی‌های رشد را می‌توان به نقش مهم آن در محافظت از گیاهان در برابر بیماری‌ها و قارچ‌ها و کاهش استرس غیر زیستی (سمیت فلزات سنگین) و بهبود رشد ریشه، جذب آب و مواد غذایی و افزایش ارتفاع گیاه نسبت داد (Ahmed *et al.*, 2013). عصاره جلبک دریایی به دلیل غنی بودن از هورمون‌های



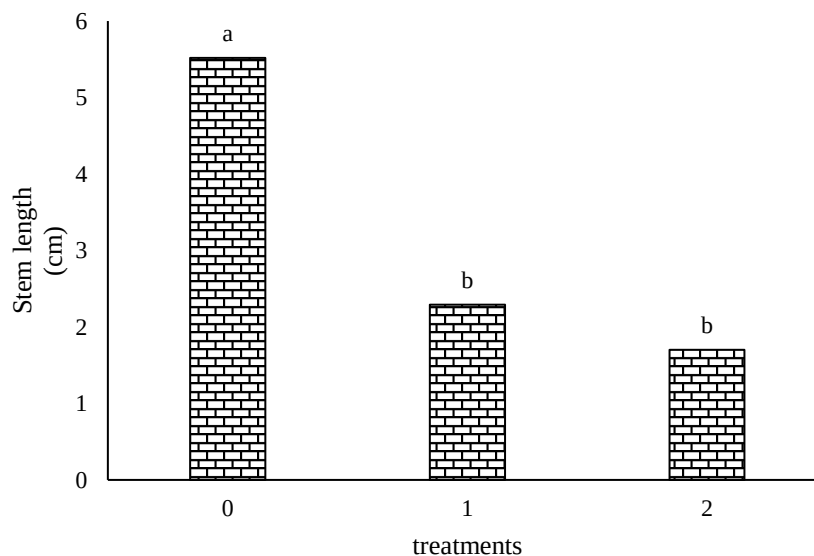
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر ارتفاع گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 4. Comparison of the simple effect of foliar treatment with seaweed extract on height in rice plants of Tarom Hashemi variety.

طول ساقه و طول خوشه

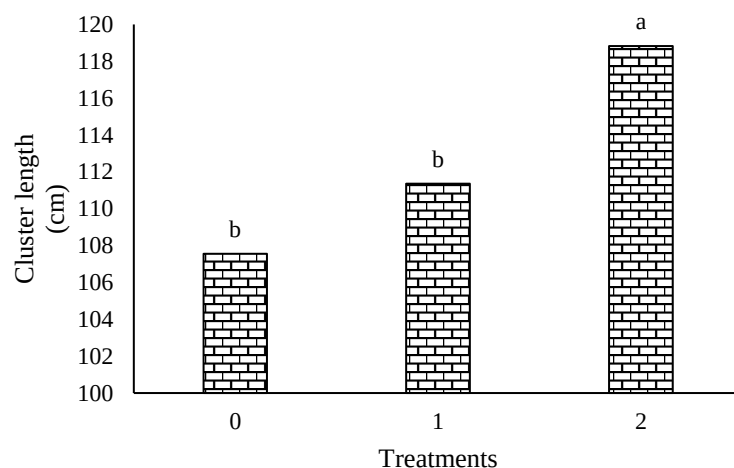
نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر مقدار طول ساقه نشان داد که بیشترین طول ساقه با میانگین $118/82$ سانتی متر از غلظت 2 لیتر در هکتار عصاره جلبک بدست آمد که نسبت به محلول پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت 1 لیتر در هکتار و عدم محلول پاشی به ترتیب با میانگین $111/36$ و $107/56$ سانتی متر افزایشی معادل با $6/69$ و $10/46$ درصد داشت (شکل ۵). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر مقدار طول خوشه نشان داد که بیشترین طول خوشه با میانگین $27/56$ سانتی متر از غلظت 2 لیتر در هکتار محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بدست آمد که نسبت به محلول پاشی سیلیکات پتاسیم با غلظت 1 لیتر در هکتار و عدم محلول پاشی به ترتیب با میانگین $25/84$ و $24/98$ سانتی متر افزایشی معادل با $6/65$ و $10/32$ درصد داشت (شکل ۶). عصاره جلبک دریایی حاوی هورمون های رشد گیاه از جمله اکسین، سیتوکنین و جیبرلین است که در بین این هورمون ها اکسی برای افزایش طول ساقه نقشی اساسی دارد که با تغییر شکل پذیری دیواره سلولی سبب تحریک تقسیم سلول های مرستمی شده و رشد ساقه را افزایش می دهد (Osborne & McManus, 2005). از طرفی

دیگر حضور عناصری همچون نیتروژن و آهن و پتاسیم در عصاره جلبک دریایی سبب تشدید فعالیت فتوسنتزی و افزایش جذب انرژی توسط گیاه شده و رشد ساقه نیز افزایش می یابد. عمر و همکاران (Omar et al., 2014) گزارش کردند استفاده از عصاره جلبک دریایی برای کشت گیاهان ذرت و آفتابگردان منجر به افزایش طول ریشه، طول ساقه و وزن خشک گیاه شد و علت را محتوی بالای فیتوهورمون ها (اسید ایندول-۳-استیک اسید، جیبرلین و سیتوکنین) و افزایش شدت فتوسنتز به واسطه حضور عناصر غذایی مهم در عصاره جلبک دریایی همچون نیتروژن و آهن و پتاسیم که نقش مهمی در این فرایند دارند اعلام کردند که با افزایش شدت فتوسنتز انرژی دریافتی گیاه بیشتر شده و به دنبال آن افزایش طول ساقه را در پی داشت. در همین راستا مبصر و همکاران (Mobasser et al., 2008) در بررسی اثر محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر گیاه برنج گزارش کردند که بیشترین مقدار طول خوشه با میانگین $5/87$ سانتی متر از محلول پاشی $1/5$ درصد سیلیکات پتاسیم در مرحله پنجه زنی بدست آمد. آن ها این تأثیر را به وجود دو عنصر غذایی کلیدی، یعنی سیلیس و پتاسیم، نسبت دادند که نقش مهمی در فرآیندهای متابولیکی گیاه ایفا می کنند.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بر طول ساقه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 5. Mean comparison of the average effect of potassium silicate foliar application on stem length in rice plants of Tarom Hashemi variety.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی تیمار عصاره جلبک دریایی بر طول ریشه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.
Figure 6. Mean comparison of the average effect of potassium silicate foliar application on root length in rice plants of Tarom Hashemi variety.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل دانه‌های پوک در خوشه معنی‌دار نشد؛ این درحالیست که اثرات اصلی محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل دانه‌های پوک در خوشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم عصاره جلبک دریایی و اثر متقابل محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل دانه در خوشه در سطح احتمال پنج درصد و بر تعداد دانه پر و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). با توجه به

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل دانه، تعداد دانه پر و پوک و وزن هزار دانه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Table 5. The results of analysis of variance of the effect of potassium silicate and seaweed extract foliar application on the total grains number per panicle, the number of full and unfull grains per panicle and 1000 grain weights in rice plants of Tarom Hashemi variety.

Source of variation	df	Mean Square			1000 grain weights
		Total number grains per panicle	number of full grains per panicle	number of unfull grains per panicle	
Block	2	208.03**	286.25**	7.434**	6.41**
Potassium Silicate	2	62.66*	72.86**	0.6 ^{ns}	.594**
Seaweed Extract	2	880.03**	12.59.28**	36.21**	30.98**
Potassium Silicate * Seaweed	4	48.05*	5.01**	0.191 ^{ns}	0.23**
Error	16	10.36	7.73	0.708	0.002
CV		3.21	3.05	26.90	0.23

ns, **, * و * به ترتیب غیر معناداری و معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

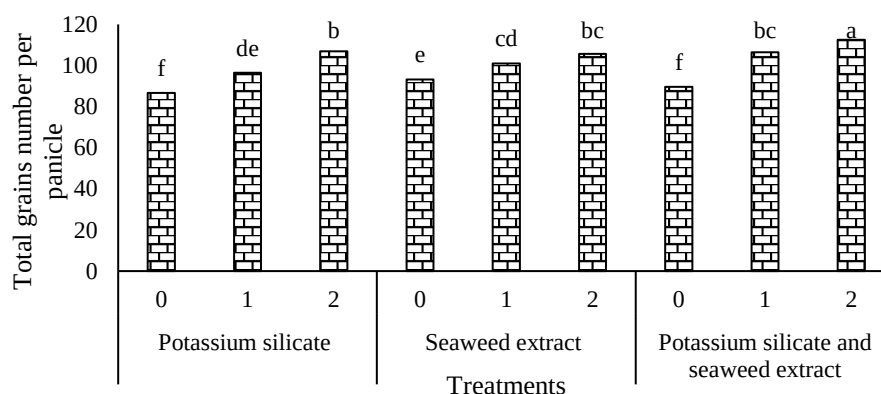
**, *, ns, indicate significant at 1 probability levels respectively.

تعداد کل دانه در خوشه

مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین تعداد کل دانه در خوشه با میانگین ۱۱۲/۴۵ از محلول پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بدست آمد که نسبت به محلول پاشی ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی به ترتیب با میانگین ۱۰۶/۸۵ و ۱۰۵/۶۵ افزایشی معادل با ۵/۲۴ و ۶/۴۳ درصد داشت (شکل ۷). همچنین کمترین تعداد کل دانه در خوشه با میانگین ۸۶/۵۹ از تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) بدست آمد (شکل ۷).

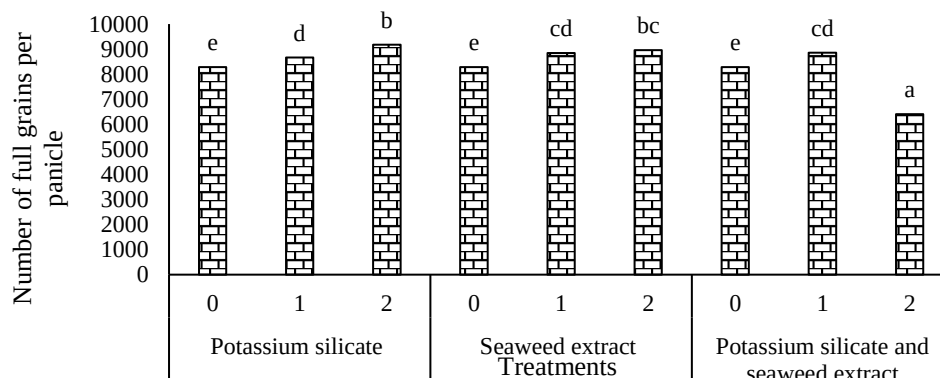
تعداد دانه پر در خوشه

مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین تعداد دانه پر در خوشه با میانگین ۱۱۱/۳۳ از محلول پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بدست آمد که نسبت به محلول پاشی ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی به ترتیب با میانگین ۱۰۴/۷۵ و ۱۰۳/۷۵ افزایشی معادل با ۶/۲۸ و ۷/۳۰ درصد داشت (شکل ۸). همچنین کمترین تعداد کل دانه در خوشه با میانگین ۸۶/۵۹ از تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) بدست آمد (شکل ۸).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل دانه در خوشه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 7. Mean comparison of the average effect of potassium silicate and seaweed extract foliar application on the total number of grains per panicle in rice plants of Tarom Hashemi variety.



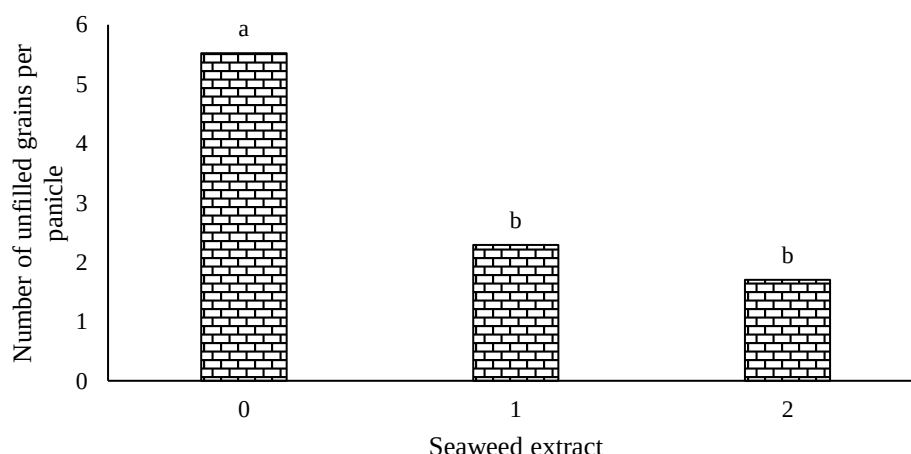
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر تعداد دانه پر در خوشه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 8. Mean comparison of the average effect of potassium silicate and seaweed extract foliar application on the number of full grains per panicle in rice plants of Tarom Hashemi variety.

تعداد دانه پوک در خوشه

نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل دانه‌های پوک در خوشه نشان داد که بیشترین مقدار آن با میانگین ۵/۵۲ از تیمار عدم محلول پاش عصاره جلبک دریایی بدست آمد و کمترین مقدار آن با میانگین ۱/۷۰ از تیمار ۲ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی بدست آمد هر چند با تیمار ۱ لیتر در هکتار عصاره جلبک دریایی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۹). عنصر پتاسیم عنصری مهم است که در عصاره جلبک دریایی موجود است و سبب افزایش درصد خوشه‌های پر شده در هر خوشه شده و کمبود آن موجب عقیمی دانه‌های گرده در مرحله آبستنی و در نتیجه کاهش تعداد دانه‌های پر شده و افزایش دانه‌های پوک می‌شود (De Detta & Mikkelsen, 1985). اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2018) گزارش کردند که با توجه به در دسترس بودن میزان پتاسیم در خاک افزودن سطوح مختلف از کودهای حاوی پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر پر شدن دانه و جلوگیری از پوک شدن آن داشت. کاربرد سیلیکات پتاسیم در مراحل انتهایی رشد رویشی و اوایل رشد زایشی نقش مهمی در بهبود فتوسنتز، تجمع مواد فتوسنتزی و در نهایت انتقال مجدد آن‌ها به دانه دارد

(Lavinsky et al., 2016). نباتی و همکاران (Nabati et al., 2024) در بررسی محلول پاشی سطوح مختلف سیلیکات پتاسیم (۰، ۲، ۳، ۴ و ۵ در هزار) بر عملکرد گیاه چاودانه (*Vicia L.*) گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۵ در هزار سیلیکات پتاسیم بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۲۸ درصد افزایش داشت. علاوه بر این نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که استفاده از سیلیکات پتاسیم به صورت محلول پاشی برگ، در ایجاد مقاومت به آفات و بیماری‌ها، خشکی و سایر تنش‌های زیستی و غیر زیستی توسط افزایش فعالیت فیزیولوژیکی و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان نقش دارد (Bacchus & Bennett, 2010). عرب و همکاران (Arab et al., 2024) در بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر عملکرد کمی و کیفی سویا گزارش کردند که پیش تیمار بذور و محلول پاشی برگ با عصاره جلبک دریایی موجب افزایش ۵۴/۴۳ و ۱۵/۶۹ درصدی عملکرد دانه شد. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد بیشترین عملکرد دانه در گیاهانی مشاهده شده که عصاره جلبک دریایی را هم به صورت پیش تیمار و هم محلول پاشی دریافت کرده بودند که نسبت به تیمار شاهد ۸۷/۸۵ درصد افزایش داشتند.

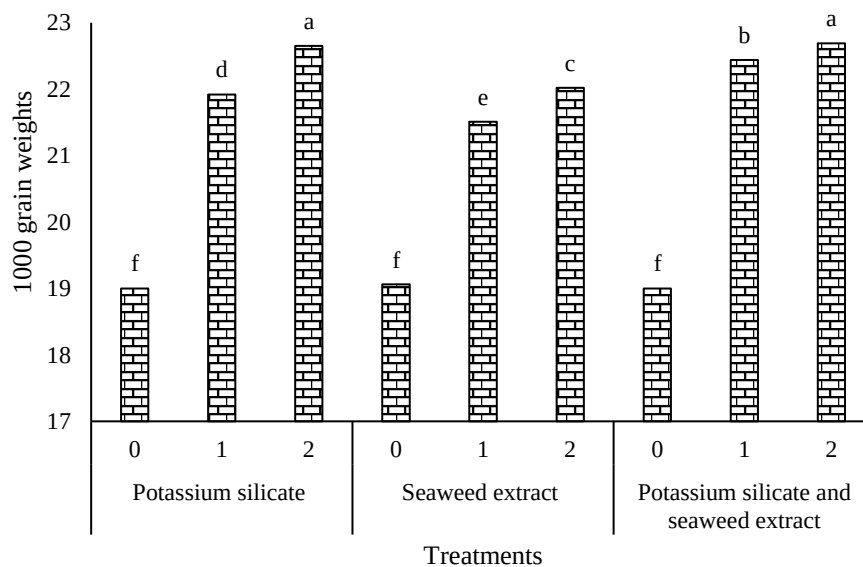


شکل ۹- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی عصاره جلبک دریایی بر تعداد دانه پوک در خوشه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.
Figure 9. Mean comparison of the simple effect of foliar application of seaweed extract on the number of unfilled grains per panicle in rice plants of Tarom Hashemi variety.

وزن هزار دانه

مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه گیاه برنج با میانگین ۲۲/۶۵ گرم از محلول پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی و کمترین مقدار با میانگین ۱۹ گرم مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۱۰). محلول پاشی عصاره جلبک دریایی به رشد سریعتر و افزایش عملکرد محصولاتی مانند برنج کمک شایانی می‌کند (Elansary et al., 2016). محلول پاشی این عصاره سبب جذب ریزنه‌ای سریع مواد مغذی از مسیر کوتیکول شده و وزن هزار دانه را از طریق افزایش جذب مواد غذایی و همچنین شدت فتوسنتز افزایش می‌دهد (Fernandez & Brown, 2013). ساین و همکاران (Singh et al., 2018) گزارش کردند محلول پاشی ۱۰ درصد عصاره جلبک دریایی افزایش معنی‌داری را در ارتفاع بوته، تعداد پنجه و وزن هزار دانه

در برنج داشت. در همین درستا عرب و همکاران (Arab et al., 2024) در بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر عملکرد کمی و کیفی سویا گزارش کردند که استفاده از عصاره جلبک دریایی به صورت پیش تیمار بذری و کاربرد توام پیش تیمار بذری و محلول پاشی برگی موجب افزایش ۱۵/۹۱ و ۲۴/۲۶ درصد وزن هزار دانه شد. از طرفی استفاده از سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی حین محلول پاشی در این پژوهش به دلیل حضور عناصری همچون پتاسیم و در دسترس بودن مواد شیمیایی محرک رشد در عصاره جلبک دریایی به ارتقا فرایند فتوسنتزی کمک می‌کند و در نهایت سبب افزایش وزن هزار دانه، رشد رویشی و عملکرد نهایی برنج شده است (Layek et al., 2016).



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر وزن هزار دانه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 10. Mean comparison of the simple effect of foliar application of seaweed extract on 1000 grains weights in rice plants of Tarom Hashemi variety.

در ساقه و دانه در سطح احتمال یک درصد بر تعداد کل دانه در خوشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۶).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم عصاره جلبک دریایی و اثر متقابل محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر تعداد کل دانه، غلظت پتاسیم و سیلیسیم

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر غلظت پتاسیم و سیلیسیم ساقه و دانه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Table 6. The results of analysis of variance of the effect of potassium silicate and seaweed extract foliar application on the concentration of potassium and silicon in the stem and grain in rice plants of Tarom Hashemi variety.

Source of variation	df	Mean Square			
		Stem potassium concentration	Seed potassium concentration	Stem silica concentration	Seed silica concentration
Block	2	0.124**	0.007**	5.37**	0.182**
Potassium Silicate	2	0.091**	0.0098**	8.16**	0.065**
Seaweed Extract	2	0.45**	0.022**	16.32**	0.8**
Potassium Silicate * Seaweed	4	0.39**	0.001**	1.15**	0.022**
Error	16	0.001	0.0003	0.052	0.0005
CV		2.14	4.26	3.37	2.44

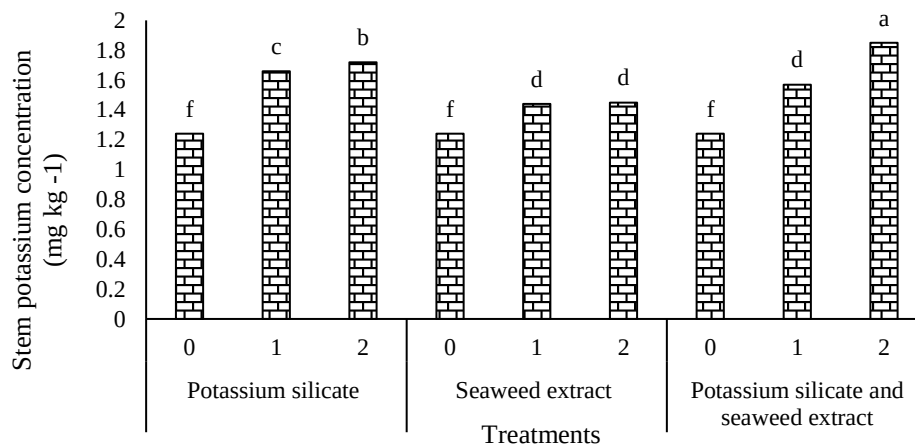
ns, ** و * به ترتیب غیر معناداری و معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.

ns, **, * indicate significant at 1 probability levels respectively.

غلظت پتاسیم در ساقه و دانه برنج

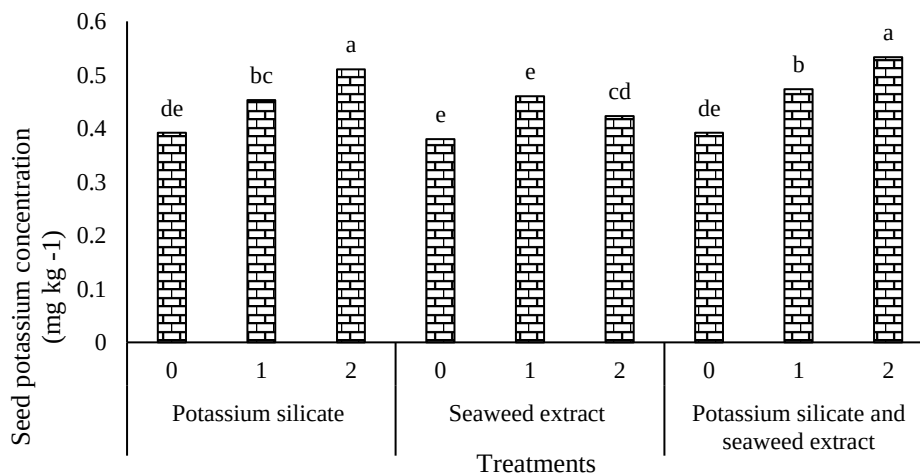
مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین مقدار غلظت پتاسیم ساقه با میانگین ۱/۸۵ میلی گرم بر کیلوگرم از محلول پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی و کمترین غلظت پتاسیم ساقه نیز با میانگین ۱/۲۴ میلی گرم بر کیلوگرم از تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) بدست آمد (شکل ۱۱). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت تیمارها، غلظت پتاسیم دانه گیاه برنج افزایش یافت به نحوی که بیشترین مقدار غلظت پتاسیم دانه با میانگین ۰/۵۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم از محلول پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بدست آمد (شکل ۱۲). محلول پاشی عصاره جلبک دریایی به دلیل پتانسیل بالا یک عامل محرک برای رشد و عملکرد برنج محسوب می شود (Abd Tahar et al., 2022). مصرف همزمان عصاره جلبک دریایی و سیلیکات پتاسیم موجب تقویت ساختار سلولی گیاه برنج و افزایش ضخامت ساقه، بهبود تعادل آب و بهبود رشد گیاه و جلوگیری از خم شدن و ورس در برنج می شود. گیلانی و همکاران (Gilani et al., 2017) گزارش کردند استفاده از کود سیلیکات

پتاسیم سبب افزایش جذب پتاسیم در دانه برنج به میزان ۱۱ تا ۴۰ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. در همین راستا ثقفی و همکاران (Saghafi et al., 2023) در بررسی تأثیر سیلیکات پتاسیم و اسید سالیسیلیک اسید بر عملکرد کمی و برخی خصوصیات کیفی برنج گزارش کردند که تنها سیلیکات پتاسیم بر مقدار پتاسیم دانه تأثیر معنی داری داشت به نحوی که بیشترین مقدار پتاسیم دانه با میانگین ۶۷/۴ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک مربوط به سطح ۳ سی سی سیلیکات پتاسیم در لیتر بود که نسبت به تیمار شاهد با میانگین ۶۵/۸ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک افزایشی معادل با ۲/۳۷ درصد داشت. همچنین صالح و همکاران (Saleh et al., 2024) در بررسی تأثیر محلول پاشی غلظت ۱ و ۲ درصد سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر رشد گیاه، بهره وری، ویژگی های کیفی و ذخیره سازی سیب زمینی گزارش کردند که بیشترین مقدار پتاسیم سیب زمینی با میانگین ۲/۲۵ درصد از تیمار ۲ درصد محلول پاشی سیلیکات پتاسیم بدست آمد که نسبت به تیمار ۲ درصد عصاره جلبک دریایی و تیمار شاهد به ترتیب با میانگین ۱/۴۵ و ۰/۹ افزایشی معادل با ۳۵/۵۵ و ۶۰ درصد داشت.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر پتاسیم ساقه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 11. Mean comparison of the simple effect of foliar application of seaweed extract on stem potassium in rice plants of Tarom Hashemi variety.



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر پتاسیم دانه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

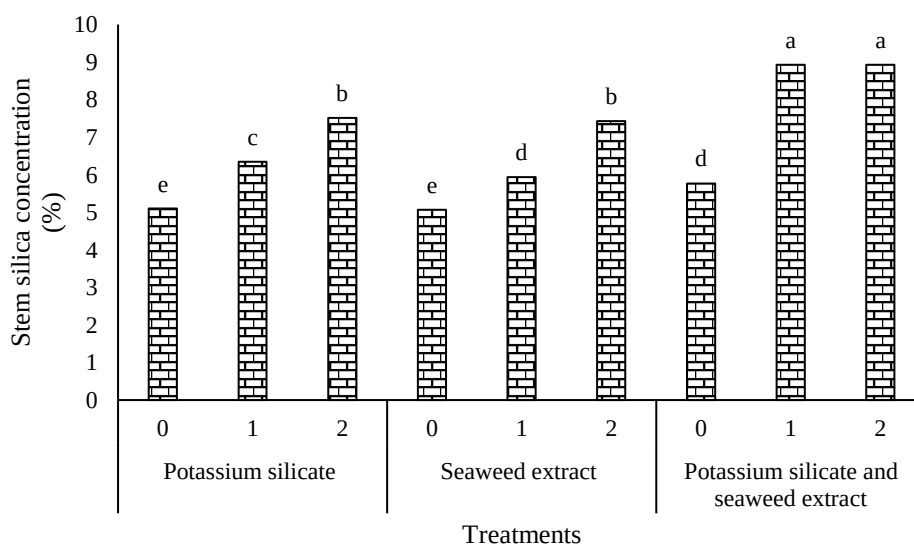
Figure 12. Mean comparison of the simple effect of foliar application of seaweed extract on grain potassium in rice plants of Tarom Hashemi variety.

کمترین غلظت سیلیسیم ساقه با میانگین ۵/۰۷ درصد از تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۱۳). همچنین بر اساس نتایج بدست آمده بیشترین مقدار غلظت سیلیسیم دانه با میانگین ۱/۳۰ درصد از محلول پاشی غلظت ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بدست آمد که نسبت به محلول پاشی ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی به ترتیب با میانگین ۱/۲۴ و ۱/۱۰ درصد افزایشی معادل با ۴/۸۳ و ۱۸/۱۸ درصد

غلظت سیلیسیم در ساقه و دانه برنج رقم طارم هاشمی افزایش غلظت سیلیسیم ساقه در تیمار ترکیبی ۲ لیتر در هکتار سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی نشان دهنده تأثیر هم افزایی این دو ماده است. این تیمار با دستیابی به میزان ۸/۹۳ درصد سیلیسیم در ساقه، در مقایسه با تیمارهای مجزای سیلیکات پتاسیم (۷/۵۱ درصد) و جلبک دریایی (۷/۴۳ درصد)، به ترتیب ۱۸/۹۰ و ۲۰/۱۸ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱۳). همچنین

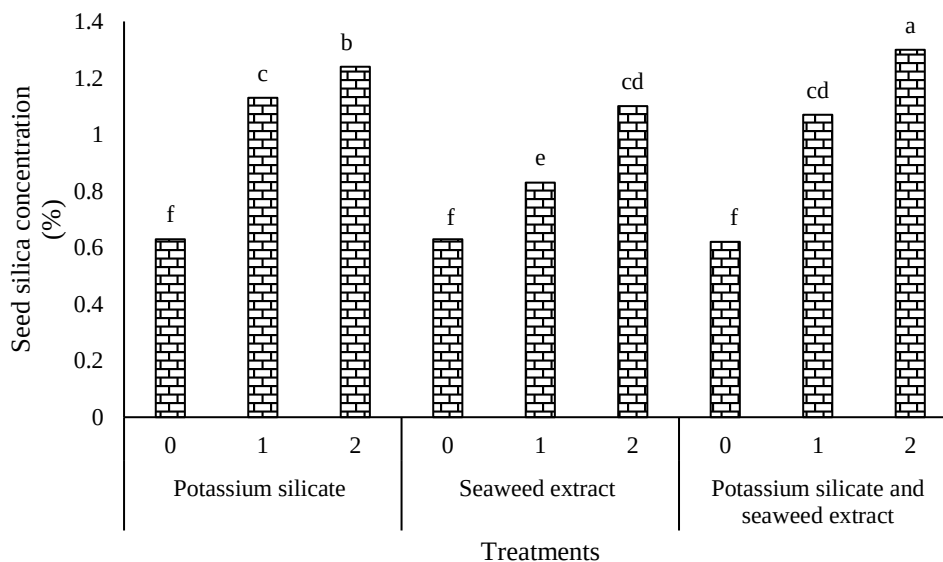
ساقه قطر ساقه را افزایش داده و انتقالات آوندی و حرکت عناصر غذایی نیز بیشتر شده و در نهایت سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Mashayikhi et al., 2024). در همین راستا صالح و همکاران (Saleh et al., 2024) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی غلظت ۱ و ۲ درصد سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر رشد گیاه، بهره‌وری، ویژگی‌های کیفی و ذخیره‌سازی سیب زمینی گزارش کردند که بیشترین مقدار سیلیسیم غده سیب زمینی با میانگین $292/60$ میلی گرم بر کیلوگرم از تیمار ۲ درصد محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بدست آمد که نسبت به تیمار ۲ درصد عصاره جلبک دریایی و تیمار شاهد به ترتیب با میانگین $190/80$ و $190/10$ افزایشی معادل با $34/79$ و $36/39$ درصد داشت. آنها همچنین نشان دادند که محلول‌پاشی با سیلیکات پتاسیم در غلظت ۲ درصد بالاترین مقادیر غلظت سیلیس و پتاسیم را در برگ‌ها و غده‌ها به‌دست آورد و سفتی غده‌ها را بهبود بخشید. محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی در غلظت ۲ درصد نیز مؤثرترین تیمار در بهبود رشد رویشی، پارامترهای عملکرد و کیفیت غده‌ها سیب زمینی بود (Saleh et al., 2024).

داشت (شکل ۱۴). همچنین کمترین غلظت سیلیسیم دانه با میانگین $0/62$ درصد از تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۱۴). محلول‌پاشی مخلوط کود عصاره جلبک دریایی و سیلیکات پتاسیم به دلیل فوایدی که هر کدام به تنهایی دارند سبب جذب بالای سیلیسیم در بافت گیاهی و به خصوص ساقه شده است. عصاره جلبک دریایی با تقویت سیستم ریشه‌ای فعالیت میکروارگانیسم‌ها را افزایش داده و جذب سیلیسیم موجود در خاک از ناحیه ریشه تشدید می‌شود و از مسیر آپوپلاستی در آوند آبکش به سایر قسمت‌ها و از جمله ساقه منتقل می‌شود و بخشی از آن نیز در ناحیه ساقه جذب دیواره سلولی شده و سبب افزایش رشد و طول ساقه برنج می‌شود. وجود سیلیسیم در کود سیلیکات پتاسیم نقش مهمی را در جذب سیلیسیم در ساقه برنج داشت. سیلیس در دیواره سلول‌های آوند چوبی ته نشین شده و از فرو ریختن آوندها در شرایطی که تعرق زیاد است جلوگیری می‌کند. همچنین سیلیس جذب شده در ساقه برنج با استحکامی که در ساقه ایجاد می‌کند از ورس و خوابیدگی گیاه جلوگیری می‌کند. علاوه بر آن جذب سیلیس در ساقه، دیواره سلول‌های روپوست ساقه را احاطه کرده و به عنوان مانعی در برابر آلودگی‌های قارچی و بیماری‌ها عمل می‌کند. همچنین سیلیس جذب شده در



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر سیلیسیم ساقه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 13. Mean comparison of the simple effect of foliar application of seaweed extract on stem silicon in rice plants of Tarom Hashemi variety.



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی بر سیلیسیم دانه در گیاه برنج رقم طارم هاشمی.

Figure 14. Mean comparison of the simple effect of foliar application of seaweed extract on stem silicon in rice plants of Tarom Hashemi variety.

نتیجه گیری کلی

در بین عناصر غذایی سیلیسیم و پتاسیم نقش مهمی را در رشد و عملکرد گیاه برنج بر عهده دارند. از طرفی عصاره جلبک دریایی علاوه بر عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف حاوی هورمون های رشدی مانند اکسین و سیتوکینین و ترکیبات ارزشمند مانند آنتی اکسیدان ها است که اثرات مفید و مثبتی بر خاک و گیاهان دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که محلول پاشی سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج دارد. کاربرد توأم این دو ترکیب، به ویژه در غلظت ۲ لیتر در هکتار، منجر به افزایش معنی دار عملکرد شلتوک، تعداد کل دانه در خوشه، وزن هزار دانه و همچنین افزایش غلظت پتاسیم و سیلیسیم در دانه شد. بنابراین، استفاده از سیلیکات پتاسیم و عصاره جلبک دریایی به عنوان یک راهکار مؤثر جهت بهبود رشد و عملکرد برنج پیشنهاد می شود.

References

- Abd El-Gawad, H.G., El-Azm N.A., and Hikal M.S. 2017. Effect of potassium silicate on tuber yield and biochemical constituents of potato plants grown under drought stress conditions. *Middle East J. Agric. Res*, 6(3):718-731.
- Abd Tahar S. Z., How S. E., Lum M. S., Surugau N. 2022. Seaweed Extracts as Bio-stimulants for Rice Plant (*Oryza sativa*) – a Review. *Preprints*.
- Ahmad A., Afzal M., Ahmad A.U.H., and Tahir M. 2013. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*, 3(155): 21-28.
- Ahmad F., Rahatullah A. T., Maqsood M. A., Tahir M. A., and Kanwal S. 2007. Effect of silicon application on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under water deficiency stress. *Emirates Journal of Food Agriculture*, 19 (2): 1-7.
- Ahmed F.F., Gad El- Kareem M.R., and Oraby-Mona M.M. 2013. Response of Zaghloul date palms to spraying boron, silicon and glutathione. *Stem Cell*, 4(2):29-34.
- Aminifard M., Khaksari Moghadam A., Bayat H., Fallahi H. 2024. Investigation of the effect of potassium sulfate and seaweed extract on vegetative growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research (semi-annual)*, 11(2): 268-275. (In Persian)
- Arab S., baradaran firouzabadi M., Gholami A., haydari M. 2024. The Effect of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) on Quantitative and Qualitative Yield of Soybean. *Journal of Agroecology*, 16(1). (In Persian)
- Asadi, K., Barani motlagh, M., Movadi naeini, S.A., and Nazari, T., Effect of foliar application of iron and zinc sulfate in different growth stages on vegetative growth parameters and yield components of forage corn (*Zea maize* L.). *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 1:15. 71-89.
- Bacchus G.L., and Bennett S. 2010. An evaluation of the influence of biodynamic practices including foliar applied silica spray on nutrient quality of organic and conventionally fertilized lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Organic Systems*, 5(1): 1177-4258.
- Begum M., Bordoloi B.C., Singha D.D., Ojha N.J. 2018. Role of Seaweed Extract on Growth, Yield and Quality of Some Agricultural Crops: A Review. *Agric. Rev.*
- Berg G., and Hugh Gardner E. 1978. Methods of soil analysis used in the soil testing laboratory at Oregon State University. Corvallis, Or Agricultural Experiment Station, Oregon State university. 89:4. 16.
- Caradonia F., Ronga A. D., and Francia E. 2021. Plant biostimulants in sustainable potato production: an overview. *Potato Research*, 10(3): 1-22.
- Chen W., Yao X. Cai, K., and J. Chen. 2021. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, 142, 67-76.
- Crusciol C.A., Pulz A.L., Lemos L.B., Soratto R.P., and Lima, G.P. 2009. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop science*, 49(3): 949-954.
- De Detta S. K., and Mikkelsen D. S. 1985. Potassium nutrition of rice. In: Munson, R.D., summer, M.E., Bishop, W.D., Potassium in Agriculture. American society of agronomy, CSSA, SSSA, Madison. WI, PP. 665-699.
- Durand N., Briand X., Meyer C. 2003. The Effect of Marine Bioactive Substances (N PRO) and Exogenous Cytokinins on Nitrate Reductase Activity in *Arabidopsis thaliana*. *Physiol. Plant*, 119: 489-493.
- Eivand H.R., Ismaili A., Mohammad M. 2014. On the authorship of Khorramabad. *Journal of World Agricultural Sciences*, 45: 278-29. (In Persian with English abstract).
- Elansary H.O., Skalicka-Woźniak K., King I.W. 2016. Enhancing Stress Growth Traits as Well as Phytochemical and Antioxidant Contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under Seaweed Extract Treatments. *Plant Physiol. Biochem*, 105: 310-320.
- Esfahani M., Mojtabai Zamani M., and Amiri Larijani B. 2018. Morphology of rice plant growth and development. *Gilan University Publications*, 380 pages. (In Persian)
- Fernandez V., Brown P.H. 2013. From Plant Surface to Plant Metabolism: The Uncertain Fate of Foliar-Applied Nutrients. *Front. Plant Sci*, 4: 1-5.

- Gilani Z., Pirdashti H., and Bakhshandeh E. 2017. Evaluation of Piriformospora indica and Pantoea ananatis on yield, yield components and potassium uptake of rice plant. *Journal Sustainable Agriculture and Production science*. (In Persian with English Summary)
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., Nelson, W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. 515: 97-141.
- Helaly A.A.E.H. 2021. Green Seaweed Extract: A Complementary Bio-Fertilizer and Bio-Stimulator for Growth and Yield of Sweet Potato plants. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 3(1): 1-14.
- Hosseinzadeh S.R., Amiri H., and Ismaili A. 2017. Nutrition and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum L.*) to vermicompost fertilizer and water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40: 2259-2268.
- Jackson M.L. 1973. Soil Chemical Analysis Prentice Hall of India Private Limited. New Delhi, Indian. 250p.
- Jafarnejadi A., Nourgholipour F., Meskini-Vishkaee F. and Behbahani L. 2023. Soil physical properties as affected by potassium and salinity of irrigation water. Effect of Plant Growth Stimulants on Yield, Nutrient Concentration of Wheat Shoot and Some Soil Properties Under Salinity Stress. *Applied Soil Research*, 11(2): 46-58.
- Jahandideh A., Barani Motlagh M., Dordipour E., Reza Ghorbani Nasrabadi R., Nazari T. 2020. The effects of co-application of humic acid and phosphorous fertilizer on vegetative growth indices and phosphorous availability in canola. *Applied Soil Research*. 8(1): 68-78.
- Jeer M., Telugu U.M., Voleti S.R., and Padmakumari A. P. 2017. Soil application of silicon reduces yellow stem borer, scripophage incertulas (Walker) damage in rice. *Journal of Applied Entomology*, 141(3): 189-201.
- Jones, r.J.B. and Case, V. W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples, (Ed. 3). 389-427.
- Kavitha M. P., Ganesaraja V., and Paulpandi V. K. 2008. Effect of foliar spraying of sea weed extract on growth and yield of rice (*Oryza sativa L.*). *Agricultural Science Digest*, 28(2): 150-156.
- Khan W., Rayirath UP., Subramanian S., Jithesh MN., Rayorath P., Hodges DM., Critchley AT., Craigie JS., Norrie J., Prithiviraj B. 2009. Seaweed extracts as bio stimulants of plant growth and development. *Journal of plant growth regulation*, 28:386-399.
- Kumar G., and Sahoo D. 2011. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of Triticum aestivum var. Pusa Gold. *Journal of Applied Phycology*, 23: 251-255.
- Lavinsky A.O., Detmann K.C., Reis J.V., Avila R.T., Sanglard M.L., Pereira L.F., Sanglard L.M., Rodrigues F.A., Araujo W.L., and DaMatta F.M. 2016. Silicon improves rice grain yield and photosynthesis specifically when supplied during the reproductive growth stage. *Journal of Plant Physiology*, 206: 125-132.
- Layek J., Das A., Ramkrushna G.I., Ghosh A., Panwar A.S., Krishnappa R., Ngachan S. V. 2016. Effect of Seaweed Sap on Germination, Growth and Productivity of Maize (*Zea mays*) in North Eastern Himalayas. *Indian J. Agron*, 61: 354-359.
- Lindsay W.L., and Norvall W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3):421-428.
- MahmoudSoltani S., Hosseini Chjelshtori M., Nazari S., Shakouri Katigari M. 2024. Co-application of Seed Priming and Foliar Spraying by Zinc, a Solution to Enhance Rice Yield and Grain Bio-fortification. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. (In Persian)
- Mashayikhi P., and Dehghani M. 2024. Silicon and its role in plant nutrition and crop production. *Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Training Organization*, 36 pages. (In Persian)
- Meena V.D., Dotaniya M.L., Coumar V., Rajendiran S., Ajay S., and Rao A.S. 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(3): 505-518.
- Mobasser H.R., Ghanbari-Malidareh A., and Sedghi A.H. 2008. Effect of silicon application to nitrogen rate and splitting on agronomical characteristics of rice (*Oryza sativa L.*). Silicon in Agriculture Conference. *Wild Coast Sun. South Africa*, 26-31.
- Mohaghegh P., Shirvani M., and Ghasemi S. 2010. Silicon Application Effects on Yield and Growth of Two Cucumber Genotypes in Hydroponics System. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 1(1): 35-40.

- Nabati J., Yousefi A., Hasanfard A., and Nemati Z. 2024. Investigating the Effect of Potassium Silicate as a Messenger in Retransmission in Bitter Vetch (*Vicia ervilia* L.). *Plant Production Technology*, 24(1):103-111. (In Persian)
- Olsen S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture. Washington.
- Omar H.H., Abdullatif B.M., Al-Kazan M.M., El-Gendy A.M. 2014. Various Applications of Seaweed Improves Growth and Biochemical Constituents of *Zea Mays* L. And *Helianthus Annuus* L. *J. Plant Nutr*, 38: 28–40.
- Osborne DJ., McManus M.T. 2005. Hormones, signals and target cells in plant development. Cambridge University Press. p. 158. ISBN 978-0-521-33076-3.
- Panahyan-e-Kivi M., Ebadi A., Tobeh A., and Jamaati-e-Somarin S.H. 2009. Evaluation of yield and yield components of lentil genotypes under drought stress. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3: 456-460.
- Reis H.P.G., Barcelos J.P.Q., Junior E.F., Santos E.F., Silva V.M., Moraes M.F., Putti F.F., and Reis A.R. 2018. Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality, *Journal of Cereal Science*. 79: 508-515.
- Saghafi A., Heidari M., Gholipour M., Fallah A. 2023. Effect of silicon and salicylic acid on quantitative yield and some qualitative characteristics in rice. *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(1): 121-131. (In Persian)
- Saleh M.A., Atala S.A., and Bardisi E.A. 2024. Effect of Foliar Application with Potassium Silicate and Seaweed Extract on Plant Growth, Productivity, Quality Attributes and Storability of Potato. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 6: (2).78-96.
- Shah K.A., Prabhu nayaka A.N., and Lad A. N. 2022. Effect of foliar spray of potassium silicate on growth and yield of paddy (*Oryza sativa* L.). *Annals of Plant and Soil Research*, 24(3):476-480.
- Sharma S.H.S., Lyons G., Mc Roberts C., Mc Call D., Carmichael E., Andrews F., Swan R., McCormac R., and Mellon R. 2012. Biostimulant activity of brown seaweed species from Strangford Lough: compositional analyses of polysaccharides and bioassay of extracts using mung bean (*Vigna mungo* L.) and pak choi (*Brassica Rapa chinensis* L.). *Journal of Applied Phycology*, 24:1081-1091.
- Sinclair T.R. 2011. Challenges in breeding for yield increase for drought. *Trends in Plant Science*, 16: 289-293.
- Singh S., Datta P. 2007. Outdoor evaluation of herbicide resistant strains of *Anabaena variabilis* as biofertilizer for rice plants. *Plant Soil*, 296, 95–102.
- Singh S.K., Thakur R., Singh C.S., Pal S.K., Kr Singh A. 2018. Studies on Efficacy of Seaweed Extract and Fertility Levels on Growth, Yield and Economics of Rice. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7: 3056-3065.
- Sivasankari S., Venkatesalu V., Anantharaj M., Chandrasekaran M. 2006. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of *Vigna sinensis*. *Bioresource technology*, 97(14):1745-1751.
- Stirk W.A., Van Staden J. 1997. Isolation and Identification of Cytokinins in a New Commercial Seaweed Product Made from *Fucus serratus* L. *J. Appl. Phycol*, 9: 327–330.
- Walkley A., and Black I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37:1. 29-38.
- Zhang X.Z., and Ervin E.H. 2004. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. *Crop Science*, 44: 1737-174