



## The Effects of Melatonin and Zinc Sulfate on Agronomic Traits and Grain Yield of Quinoa Cultivars Under Salinity Stress Conditions

Mahdi Fathi Moghadam<sup>1</sup> | Hamid Reza Asghari<sup>2</sup> | Mahdi Baradaran Firoz Abadi<sup>3</sup> | Ahmad Gholami<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: [m.fathi@shahroodut.ac.ir](mailto:m.fathi@shahroodut.ac.ir)

2. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

4. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: August 20, 2025

Revised: October 14, 2025

Accepted: October 15, 2025

#### Keywords:

chlorophyll,  
grain yield,  
osmotic stress,  
protein yield,  
quinoa,  
salinity.

### Extended Abstract

**Introduction.** The increasing salinity of soils and water resources in various regions of Iran, particularly in the central and southern parts of Khorasan Razavi Province, has restricted agricultural expansion and reduced the economic performance of crops. *Quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd.), a pseudo-cereal with remarkable salt tolerance, has recently attracted considerable attention in breeding and crop development programs due to its high protein content, essential amino acids, and exceptional nutritional value. Previous studies have demonstrated that salinity stress can significantly reduce water and nutrient uptake, photosynthetic efficiency, chlorophyll synthesis, and grain yield. Therefore, identifying physiological compounds that enhance stress resistance, such as melatonin and crucial micronutrients like zinc, can offer effective strategies for improving plant responses under salinity stress conditions. Melatonin, beyond its regulatory function in plant growth under normal conditions, plays a critical role in activating plant defense systems and scavenging reactive oxygen species (ROS). This compound mitigates oxidative damage and improves photosynthetic efficiency in plants exposed to salinity stress. On the other hand, zinc is one of the most important micronutrients involved in over 300 enzymatic processes, playing a vital role in stabilizing chlorophyll structure, promoting protein synthesis, and reducing the uptake of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions. Hence, the simultaneous use of melatonin and zinc sulfate could physiologically and biochemically alleviate the adverse effects of salinity stress and ultimately enhance crop performance.

**Materials and Methods.** Given the growing need to expand crop cultivation in saline lands, the present study was conducted to evaluate the effects of seed priming and foliar application of melatonin and zinc sulfate on agronomic, physiological, and yield traits of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars under contrasting ecological conditions (saline and non-saline). The experiment was carried out during the 2023–2024 cropping season in two locations—Kashmar (non-saline) and Bardaskan (saline)—as a factorial arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Experimental treatments consisted of two quinoa cultivars (Red Carina and Titicaca), three levels of seed priming (control, 100 μM melatonin, and 40 mM zinc sulfate), and three levels of foliar application (control, 0.2 mM melatonin, and 0.5% zinc sulfate). Seed priming was performed by soaking the seeds in the respective solutions for six hours, while foliar spraying was applied at the beginning of the flowering stage under favorable environmental conditions. Soil and water analyses revealed that Bardaskan had a considerably higher electrical conductivity (EC ≈ 16,880 μS cm<sup>-1</sup>) compared with Kashmar (EC ≈ 538 μS cm<sup>-1</sup>), confirming the saline nature of the former site. Following the application of treatments, various traits were measured, including final field emergence percentage, stem height, panicle length, collar diameter, shoot dry weight, forage index (percentage of digestible dry matter), concentrations of chlorophyll *a* and *b*, protein yield, and grain yield. Data were analyzed using SAS statistical software. Bartlett's test was applied to examine error homogeneity, and based on its significance, either separate or combined analyses of variance were performed accordingly.

**Results and Discussion.** The results revealed that in the Bardaskan region, salinity stress caused a significant reduction in seed protein yield in the Red Carina cultivar (by approximately 30.02%) and in the Titicaca cultivar (by about 35.39%) compared with the same cultivars grown in the Kashmar non-saline area. Furthermore, grain yield of the Titicaca cultivar was 23.25% higher in Bardaskan and 25.81% higher in Kashmar than that of Red Carina, indicating the relatively greater salt tolerance of Titicaca. In the non-saline condition (Kashmar), combined seed priming and foliar spraying with melatonin increased grain yield by 17.85%, and zinc sulfate by 18.04%. Under saline conditions (Bardaskan), simultaneous application of melatonin and zinc sulfate resulted in even greater yield improvements of 36.91% and 35.70%, respectively. These findings demonstrate that the regulatory role of melatonin and zinc is strengthened under salt stress conditions, and their synergistic effects are more pronounced compared with non-stress environments. Evaluation of physiological traits showed that salt resistance in melatonin and zinc treatments was associated with increased concentrations of chlorophyll *a* and *b*, higher stem height, and an improved forage index. Analysis of variance (ANOVA) indicated that all main factors (cultivar, seed priming, and foliar application), as well as their two-way and three-way interactions, had significant effects ( $p < 0.01$ ) on most measured traits. In saline conditions, the greatest responses were observed for shoot dry weight and chlorophyll content, which were directly related to enhanced photosynthetic activity and accumulation of energetic compounds. Protein determination using the Kjeldahl method indicated that quinoa plants under saline stress could maintain acceptable seed protein levels when micronutrients were supplied, highlighting the nutritional and economic importance of these treatments. According to the results, combined seed priming and foliar application of melatonin and zinc sulfate were more effective in the Titicaca cultivar than in Red Carina. This superiority is likely attributed to the genetic characteristics of Titicaca, including a shorter growth cycle and better adaptation to ionic and osmotic stresses. The primary mechanism of action for these compounds involves activation of the antioxidative defense system, maintenance of ionic balance, enhancement of chlorophyll efficiency, and mitigation of oxidative cellular damage.

**Conclusion.** From an agronomic perspective, this study confirmed that the simultaneous application of melatonin and zinc sulfate not only improves plant growth and yield attributes but also enhances physiological stability under saline conditions. Thus, this integrated approach can be regarded as a cost-effective biotechnological strategy for improving the productivity of saline and semi-saline lands in Iran. In conclusion, the combined use of two bio-regulatory compounds—melatonin and zinc—exhibited synergistic effects in improving salinity tolerance, resulting in significant increases in grain yield and protein yield. The *Titicaca* cultivar showed overall better responses compared with *Red Carina* across both experimental sites, with the highest mean yield obtained under concurrent seed priming and foliar application of these two compounds. Accordingly, within the scope of this study, cultivation of the *Titicaca* cultivar together with simultaneous melatonin and zinc sulfate application is recommended as an effective salinity management strategy to enhance grain yield and protein productivity in quinoa.

Cite this article: Fathi Moghadam, M., Asghari, H.R., Baradaran Firoz Abadi, M., & Gholami, A. (2026). The effects of melatonin and zinc sulfate on agronomic traits and grain yield of quinoa cultivars under salinity stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 57(1), 31-49. DOI: 10.22059/ijfcs.2025.396913.655147.





انتشارات دانشگاه تهران

# علوم گیاهان زراعی ایران

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

## تأثیر ملاتونین و سولفات روی بر صفات زراعی و عملکرد دانه ارقام کینوا در شرایط شوری

مهدی فتحی مقدم<sup>۱</sup> | حمیدرضا اصغری<sup>۲</sup> | مهدی برادران فیروزآبادی<sup>۳</sup> | احمد غلامی<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: [m.fathi@shahroodut.ac.ir](mailto:m.fathi@shahroodut.ac.ir)

۲. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۴. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۹</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳</p>	<p>به منظور بررسی تأثیر ملاتونین و سولفات روی بر صفات زراعی و عملکرد دانه ارقام کینوا در شرایط تنش شوری، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲ در کاشمر و بردسکن در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارها دو رقم کینوا شامل ردکارینا و تی‌تی‌کاکا، پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی برگی در سه سطح صفر، ملاتونین و سولفات روی بود. نتایج نشان داد که در بردسکن که دارای آب‌وخاک شور است عملکرد پروتئین در رقم ردکارینا ۳۰/۰۲ درصد و در رقم تی‌تی‌کاکا ۳۵/۳۹ درصد کمتر از این صفت در همین ارقام در منطقه کاشمر بود. عملکرد دانه در رقم تی‌تی‌کاکا در منطقه بردسکن ۲۳/۲۵ درصد و در منطقه کاشمر ۲۵/۸۱ درصد بیشتر از عملکرد دانه در رقم ردکارینا در این دو منطقه بود. در کاشمر کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی ملاتونین موجب افزایش ۱۷/۸۵٪ عملکرد دانه و کاربرد سولفات روی نیز افزایش ۱۸/۰۴٪ را نشان داد. این در حالی است که در بردسکن کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی ملاتونین و سولفات روی به ترتیب افزایش ۳۶/۹۱ و ۳۵/۷۰ درصدی عملکرد دانه را موجب شد. در محدوده پژوهش انجام شده کاشت رقم تی‌تی‌کاکا و کاربرد توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی ملاتونین و سولفات روی جهت افزایش عملکرد دانه و عملکرد پروتئین پیشنهاد می‌شود.</p>
<p><b>کلیدواژه‌ها:</b></p> <p>تنش اسمزی، شوری، عملکرد پروتئین، عملکرد دانه، کلروفیل، کینوا.</p>	

**استناد:** فتحی مقدم، م، اصغری، ح.ر، برادران فیروزآبادی، م، و غلامی، ا. (۱۴۰۵). تأثیر ملاتونین و سولفات روی بر صفات زراعی و عملکرد دانه ارقام کینوا در شرایط شوری. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۷(۱)، ۳۱-۴۹.

DOI: 10.22059/ijfcs.2025.396913.655147



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

شوری یکی تنش‌های مهم غیرزیستی است که اکثر گیاهان در سراسر جهان آن را تجربه می‌کنند. شوری موجب کاهش پتانسیل اسمزی خاک‌ها می‌شود و از این رو جذب و انتقال آب و مواد غذایی به گیاهان کاهش می‌یابد. شوری منجر به تنش اسمزی، کاهش فشار تورگر سلولی و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سطح برگ و عملکرد می‌شود. در شرایط شوری به دلیل تجمع  $Na^+$  و  $Cl^-$  و کاهش جذب عناصر اساسی مانند  $K^+$  و  $Ca^{2+}$  عدم تعادل یونی در گیاهان ایجاد می‌شود (Isayenkov & Maathuis, 2019). کمبود آب القاشده در شرایط تنش شوری موجب بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش جذب دی‌اکسید کربن می‌شود. تجمع  $Na^+$  در کلروپلاست موجب ایجاد اختلال در فتوسنتزهای I و II، پروتئین‌های ناقل الکترون، کاهش سنتز رنگ‌دانه و افزایش تخریب کلروفیل می‌شود. بنابراین محدودیت روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای کارایی فتوسنتز را در شرایط تنش شوری کاهش می‌دهد (Pan et al., 2020). گیاهان جهت مقابله با تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش اکسیداتیو ناشی از شوری، یکسری واکنش‌های دفاعی شامل ممانعت از تجمع بیش از اندازه  $Na^+$  در سیتوپلاسم، افزایش پرولین و تشدید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در خودشان تکامل داده‌اند (Yang & Guo, 2018).

امروزه سازگار کردن سیستم‌های کشاورزی به شوری، به یکی از مهمترین دغدغه‌های محققان در بخش کشاورزی تبدیل شده است. تعداد زیادی گونه گیاهی مقاوم به شوری وجود دارند که در سراسر دنیا پراکنده شده‌اند. یکی از این گیاهان کینوا است. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) متعلق به خانواده Amaranthaceae است و در دسته هالوفیت‌ها قرار دارد. کینوا به شوری متحمل است. محل کاشت کینوا در ایران بیشتر مناطق گرم جنوبی مانند خوزستان، بوشهر، ایرانشهر، جیرفت و مناطق مشابه می‌باشد. دانه این گیاه به عنوان مکمل غذایی، مورد استفاده انسان و دام است و علوفه کینوا نیز یکی از بهترین علوفه‌های مورد استفاده برای دام می‌باشد. عملکرد دانه کینوا بسته به نوع رقم و منطقه کاشت از ۴۵۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. گیاه کینوا تحمل نسبتاً مطلوبی به سطوح بالای شوری (حدود هشت دسی‌زیمنس بر متر) در مرحله جوانه‌زنی دارد. این گیاه در شرایط آبیاری با آب شور با EC بین ۱۰ تا ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر و خاک شور با EC مساوی آب دریا (بیشتر از ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر) نیز توانایی زنده ماندن دارد (Hinojosa et al., 2018; Bouras et al., 2022). ولی باین وجود پژوهش‌ها بیانگر این است که تنش شوری درصد جوانه‌زنی کینوا را تا سطح معنی‌داری کاهش می‌دهد (Buedo et al., 2020). شوری آب آبیاری نیز بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و شاخص برداشت کینوا تأثیر منفی داشته است (Jahantighi et al., 2023). محققان کاهش عملکرد دانه کینوا در شرایط شوری را گزارش کرده‌اند (Salehi & Dehghani, 2023). در پژوهش بررسی تأثیر شوری بر صفات فیزیولوژیکی ارقام کینوا مشخص شد که شوری موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ، رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود و صفاتی از قبیل نشت الکترولیت‌ها، پرولین، مالون‌دی‌آلدئید، فعالیت کاتالاز و گایاکول‌پراکسیداز در شرایط شوری افزایش یافتند (Kaboodkhani et al., 2023).

تنش شوری می‌تواند باعث برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاهان شود. در این شرایط، کاربرد مواد ریزمغذی برای مقابله با تنش می‌تواند مفید باشد. در میان عناصر غذایی کم‌مصرف، عنصر روی در تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی بیش از سایر عناصر دخالت دارد (Hassan et al., 2021). در شرایط تنش شوری، در دسترس بودن عنصر روی در محیط ریشه و یا در محیط سلول می‌تواند اثرات منفی کلرید سدیم را با جلوگیری از جذب و یا انتقال سدیم و کلر کاهش دهد (Zafar et al., 2017). در خاک‌های شور، جذب روی به علت رقابت کاتیونی قوی‌تر سدیم در سطح ریشه کاهش می‌یابد (Zhao et al., 2021). روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه نقش کاتالیزور فعال کننده دارد و در متابولیسم قندها، اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌ها نیز نقش دارد (Al-Zahrani et al., 2021). عنصر روی باعث افزایش زیست‌توده تولیدی و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه شده و می‌تواند موجب بهبود فتوسنتز و افزایش کلروفیل برگ به‌خصوص در شرایط تنش شود (Zhang et al., 2021). این عنصر از طریق کانال‌های عبور یون کلر و جلوگیری از جذب آن، موجب افزایش جذب یون نترات شده و با کمترین آسیب به غشای پلاسمایی، موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش شوری می‌شود (Shao et al., 2023). عنصر روی در حفاظت از کلروپلاست

و واکنش‌های فتوشیمیایی مرتبط با آن و نیز متعادل کردن رادیکال‌های آزاد و واکنش‌های مرتبط با آن از طریق سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش دارد (Nadeem *et al.*, 2020).

در سال‌های اخیر نقش ملاتونین در تحمل به تنش‌ها در گیاهان مورد توجه زیادی قرار گرفته است. ملاتونین (N-استیل-۵-متوکسی‌تریپتامین) یک ترکیب شبه‌اکسین است که به‌طور گسترده‌ای در اکثر گیاهان شناسایی شده است (Debnath *et al.*, 2019). ملاتونین یک مولکول ایندول‌آمین با وزن مولکولی کم است که از تریپتوفان سنتز می‌شود. این پیش‌ماده در چندین فرآیند بیوشیمیایی به سروتونین و در نهایت به ملاتونین تبدیل می‌شود (Zheng *et al.*, 2017). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که ملاتونین نه تنها می‌تواند به‌عنوان یک تحریک‌کننده رشد در شرایط بدون تنش به رشد ریشه، مورفولوژی برگ، حفظ کلروفیل، تنظیم گلدهی، فتوسنتز، پیری و رشد میوه کمک کند؛ بلکه در فعال‌سازی سیستم‌های دفاعی گیاهان در برابر بسیاری از تنش‌ها نیز نقش دارد (Nabaei & Amooaghaie, 2019). ملاتونین گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) شامل رادیکال آنیون سوپراکسید ( $O_2^{\cdot-}$ )، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )، رادیکال هیدروکسید ( $OH\cdot$ ) را جمع‌آوری و پاک‌روبی می‌کند (Arnao & Hernandez-Ruiz, 2019). گزارش شده است که کاربرد ملاتونین خارجی در گیاهان از طریق بالا بردن سنتز پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان موجب تحمل به شوری در این گیاهان شده است (Zhan *et al.*, 2019, Zhao *et al.*, 2018). با توجه به افزایش روزافزون زمین‌های شور و تأثیر تنش شوری بر عملکرد گیاهان، در این مطالعه اثر سولفات‌روی و ملاتونین به‌صورت پرایمینگ بذری و محلول‌پاشی روی برگ گیاهان باهدف کاهش تأثیر تنش شوری بر دو رقم کینوا مورد بررسی قرار گرفت.

## ۰۲ روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۲ در دو منطقه کاشمر (غیرشور) و بردسکن (شور) در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاصله مکانی دو منطقه از یکدیگر ۸۵ کیلومتر بود. شرایط آب و هوایی دو منطقه در فصل رشد در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱. شرایط آب و هوایی دو منطقه مورد آزمایش در سال ۱۴۰۲ (خراسان رضوی، اداره هواشناسی استان).

Table 1. Meteorological parameters for the field sites during the experiment in 2023 (Khorasan Razavi, Province Meteorological Office).

ماه	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)		رطوبت نسبی (درصد)		بارندگی (میلی‌متر)	
	کاشمر	بردسکن	کاشمر	بردسکن	کاشمر	بردسکن
خرداد	24.4	24.9	42	35	1.3	1.4
تیر	28.6	30.9	32	29	0.7	0.9
مرداد	30.4	32.8	18	13	0	0
شهریور	29.1	31.7	17	11	0	0
مهر	26.3	29.1	22	19	0.2	0.6
آبان	18.9	28.4	27	23	0.2	0.1

تیمارهای آزمایش شامل دو رقم کینوا (ردکارینا و تی‌تی‌کاکا)، پرایمینگ بذری در سه سطح صفر (شاهد)، پرایمینگ با ملاتونین (۱۰۰ میکرومولار) و پرایمینگ با سولفات‌روی (۴۰ میلی‌مولار)، محلول‌پاشی برگی در سه سطح شاهد (آب مقطر)، محلول‌پاشی با ملاتونین (۰/۲ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی با سولفات‌روی (۰/۵ درصد) بود. پرایمینگ بذرها از طریق خیساندن (Soaking) به مدت شش ساعت در محلول‌های موردنظر انجام شد. خیساندن در دمای اتاق انجام شد. جهت ضدعفونی کردن بذرها از هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۶۰ ثانیه استفاده شد و سپس بذرها سه بار با آب مقطر شستشو شدند. رقم ردکارینا بومی کشور هلند است. این رقم روزخشی و در دسته متوسط رس‌ها (۱۱۰ تا ۱۳۰ روز) قرار دارد و مقاوم به شوری می‌باشد. رقم تی‌تی‌کاکا بومی کشور دانمارک، روزخشی، زودرس (۸۵ تا ۱۰۰ روز) و مقاوم به شوری است. جهت انجام پیش‌تیمار بذور، ۸۰

گرم بذر کینوا در ظروف جداگانه به مدت هشت ساعت در غلظت‌های اشاره‌شده از ملاتونین و سولفات روی با رعایت اصول هوادهی (پمپ آکواریوم) خیسانده شدند. عملیات کاشت در هر دو منطقه در تاریخ ۱۵ مرداد و با استفاده از دست در عمق حدود سه سانتی‌متری انجام شد. در هر کرت آزمایشی چهار خط کاشت به طول هشت متر با فواصل ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

بذور از بانک بذر ایستگاه تحقیقات کشاورزی شرق کشور تهیه شد. تیمار محلول‌پاشی صبح زود و هم‌زمان با آغاز گلدهی و در شرایط مساعد محیطی (صبح زود و هوای آرام و بدون ابر) انجام شد. اندازه‌گیری صفات دو هفته پس از محلول‌پاشی انجام شد. ویژگی‌های خاک و آب دو مزرعه و داده‌های هواشناسی منطقه‌های مورد آزمایش، به ترتیب در جداول ۲ و ۳ گزارش شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مزرعه‌های مورد آزمایش.

Table 2. Physicochemical properties of the experimental field soil.

فاکتور مورد بررسی	واحد	شهر	
		کاشمر	بردسکن
کربن آلی	%	0.45	0.21
نیتروژن کل	%	0.026	0.010
فسفر (P)	mg kg <sup>-1</sup>	12.9	3.4
پتاسیم (K)	mg kg <sup>-1</sup>	392	378
هدایت الکتریکی (EC)	μS cm <sup>-1</sup>	857	10370
بی‌اج		7.89	8.09
شن	%	45	46
رس	%	19	18
سیلت	%	36	36

جدول ۳. ویژگی‌های آب مورد استفاده در مزرعه‌های مورد آزمایش.

Table 3. Properties of water used in the experimental field.

فاکتور مورد بررسی	کاشمر	بردسکن	محدوده مطلوب
بی‌اج	7.27	8.13	6.5-7.5
هدایت الکتریکی (μmhos cm <sup>-1</sup> )	538	16880	0-2000

## ۲-۱. صفات اندازه‌گیری شده

درصد سبز شدن نهایی مزرعه (FEP) طبق رابطه ۱ اندازه‌گیری شد (ISTA, 2009).

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{FEP} = \left( \frac{n}{N} \right) \times 100$$

در این رابطه n: تعداد بذر سبز شده و N: تعداد بذر کشت شده بود. در مزرعه، بلافاصله پس از مشاهده ظهور اولین گیاهچه‌ها، شمارش گیاهچه‌های ظاهر شده به صورت روزانه در هر کرت آغاز و تا زمانی که تعداد گیاهچه‌های ظاهر شده ثابت شدند، شمارش ادامه داشت. دو هفته پس از اعمال محلول‌پاشی وزن خشک برگ، ساقه و وزن خشک کل اندازه‌گیری شد. تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت با حذف حاشیه برداشت شد. نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه به ساقه و برگ تفکیک و به طور مجزا در پاکت قرار داده شدند. نمونه‌ها توسط دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ وزن شدند. مقادیر به دست آمده برحسب گرم در مترمربع محاسبه شدند. ارتفاع ساقه و طول خوشه با استفاده از متر اندازه‌گیری شد. قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. دو هفته پس از محلول‌پاشی، میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b) با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای این کار، ۰/۵ گرم برگ در

پنج میلی لیتر دی متیل سولفوکسید، در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند (Hiscox & Israelstom, 1979). میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت شد.

شاخص علوفه‌ای بودن (درصد ماده خشک قابل هضم (DDM)) طبق روش ادی و همکاران (Oddy *et al.*, 1983) اندازه‌گیری شد. طبق این روش در ابتدا میزان الیاف شوینده اسیدی علوفه (ADF) اندازه‌گیری می‌شود. یک گرم علوفه خشک پودر شده (W1) در ارلن مایر ریخته شد. ۱۰۰ میلی لیتر محلول اسیدی به نمونه اضافه شده و در دستگاه هضم قرار گرفت. بعد از یک ساعت نمونه‌ها از دستگاه هضم خارج شده و نمونه‌ها به مدت دو تا چهار ساعت در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک و سپس وزن شدند (W2). محتویات خشک شده در کوره با دمای ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه قرار گرفته و به مدت دو تا سه ساعت سوزانده شدند تا فقط خاکستر (مواد معدنی و سیلیس) باقی ماند؛ در نهایت این نمونه‌ها وزن شدند (W3). برای محاسبه میزان الیاف شوینده اسیدی از رابطه (۲) و شاخص علوفه‌ای (DDM) بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد.

$$\%ADF = ((W2 - W3) / W1) \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$DDM = 88.9 - (0.779 * \%ADF) \quad \text{رابطه ۳}$$

جهت تعیین میزان پروتئین دانه از دستگاه کج‌دال (مدل Behr-D-40599 Dusseldorf) و روش فولر و همکاران (Fowler *et al.*, 1989) استفاده شد. تعداد شاخه‌های فرعی در ده بوته شمارش و ثبت شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه، تعداد بوته‌های موجود در یک متر مربع در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (خشک شدن گیاه و زرد شدن خوشه‌ها و رطوبت بذرها بین ۱۵ تا ۲۰ درصد) برداشت شدند.

در نهایت عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای بررسی همگنی خطاهای آزمایشی هر صفت در دو منطقه مورد مطالعه ابتدا آزمون بارتلت انجام شد. به دلیل معنی دار شدن آزمون بارتلت برای شش صفت شامل وزن خشک اندام‌هوایی، ارتفاع ساقه، قطر یقه، شاخص علوفه‌ای، کلروفیل a و کلروفیل b داده‌های هر منطقه برای این صفات جداگانه آنالیز شد و به دلیل معنی دار نشدن آزمون بارتلت برای صفات دیگر شامل درصد سبز شدن اولیه مزرعه، طول خوشه، تعداد شاخه‌های فرعی، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه آنالیز مرکب انجام شد.

### ۳. یافته‌های پژوهشی و بحث

تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در جدول‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است. در جدول ۴، تجزیه واریانس صفاتی از منطقه غیرشور که آزمون بارتلت برای آن‌ها معنی دار شده بود، آورده شده است. اثر پرایمینگ، محلول پاشی، رقم، برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی، پرایمینگ و رقم، محلول پاشی و رقم و برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول پاشی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر صفات وزن خشک اندام‌هوایی، ارتفاع ساقه، شاخص علوفه‌ای، کلروفیل a و کلروفیل b معنی دار بود. در صفت قطر یقه، اثر پرایمینگ، محلول پاشی، رقم، برهمکنش دوجانبه پرایمینگ و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش پرایمینگ و رقم در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴).

در جدول ۵، تجزیه واریانس صفاتی از منطقه شور که آزمون بارتلت برای آن‌ها معنی دار شده بود، آورده شده است. وزن خشک اندام‌هوایی از پرایمینگ، محلول پاشی و برهمکنش‌های دوجانبه در سطح احتمال یک درصد و رقم در سطح احتمال پنج درصد تأثیر پذیرفت. ارتفاع ساقه از پرایمینگ، محلول پاشی و برهمکنش دوجانبه پرایمینگ و محلول پاشی و برهمکنش پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد و از برهمکنش سه‌جانبه عامل‌ها در سطح احتمال پنج درصد تأثیر پذیرفت. قطر یقه از پرایمینگ، محلول پاشی، رقم و برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. شاخص علوفه‌ای تحت تأثیر برهمکنش دوجانبه محلول پاشی و رقم در سطح احتمال پنج درصد و سایر اثرات عامل‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. کلروفیل a و b نیز از پرایمینگ، محلول پاشی و برهمکنش این دو عامل در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت (جدول ۵).

**جدول ۴.** تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات کینوا تحت تأثیر رقم، پرایمینگ و محلول پاشی در منطقه غیر شور (کاشمر).

**Table 4.** Analysis of variance (mean squares) for some quinoa traits as affected by cultivar, priming, and foliar application under non-saline conditions (Kashmar).

S.O.V	df	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع ساقه	قطر یقه	شاخص علوفه‌ای	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	2	0.33	153.24	5.35	0.0006	36.48	1.48
پرایمینگ (A)	2	292.81**	13362.24**	133.12**	0.006**	2649.65**	108.00**
محلول پاشی (B)	2	177.88**	5748.68**	115.24**	0.01**	1949.07**	79.44**
رقم (c)	1	67.87**	1908.16**	26.74**	0.002**	398.84**	16.25**
A*B	4	31.86**	471.21**	31.96**	0.04**	288.46**	11.75**
A*C	2	11.26**	107.16**	3.90*	0.007**	16.99**	0.69**
B*C	2	2.10	126.16**	2.01	0.007**	182.69**	7.44**
A*B*C	4	3.76*	55.91**	1.68	0.013**	65.79**	2.68**
Error	34	1.01	3.14	1.17	0.00008	0.25	0.01
cv (%)		7.82	1.62	8.58	2.04	1.11	1.18

\* و \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

**جدول ۵.** تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات کینوا تحت تأثیر رقم، پرایمینگ و محلول پاشی در منطقه شور (بردسکن).

**Table 5.** Analysis of variance (mean squares) of some quinoa traits as affected by cultivar, seed priming, and foliar application under saline conditions (Bardaskan).

S.O.V	df	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع ساقه	قطر یقه	شاخص علوفه‌ای	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	2	0.36	593.90	20.72	0.0021	7.03	3.83
پرایمینگ (A)	2	113.34**	3471.24**	81.50**	0.14**	999.37**	47.64**
محلول پاشی (B)	2	97.74**	1419.46**	41.16**	0.21**	644.13**	13.34**
رقم (c)	1	8.54**	62.29	11.57**	0.06**	14.45	1.31
A*B	4	89.21**	833.46**	14.16**	0.27**	599.79**	9.39**
A*C	2	3.70**	185.12**	1.24	0.07**	6.79	0.17
B*C	2	1.05	79.46	0.57	0.01*	14.51	0.29
A*B*C	4	0.480	110.29*	1.57*	0.03**	12.29	1.02
Error	34	0.39	31.41	0.58	0.004	8.61	0.58
cv (%)		5.80	7.89	8.55	20.72	10.18	12.18

\* و \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

در جدول ۶، تجزیه واریانس صفت درصد سبز شدن مزرعه که آزمون بارتلت برای آن معنی‌دار شده بود، آورده شده است. این صفت در مراحل اولیه کاشت اندازه‌گیری شده است و لذا هنوز تیمار محلول پاشی اعمال نشده بود؛ به همین دلیل، تجزیه واریانس مرکب این صفت در جدول جداگانه آورده شده است. صفت درصد سبز شدن مزرعه تحت تأثیر پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. طول خوشه نیز از مکان، پرایمینگ، محلول پاشی، رقم و تمام برهمکنش‌ها بجز برهمکنش سه‌جانبه مکان، پرایمینگ و رقم در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر هیچ‌یک از تیمارهای آزمایش قرار نگرفت. عملکرد پروتئین نیز از مکان، محلول پاشی، برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی، محلول پاشی و رقم و برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول پاشی و رقم در سطح احتمال یک درصد تأثیر پذیرفت. پرایمینگ و برهمکنش سه‌جانبه مکان، محلول پاشی و رقم و برهمکنش چهارجانبه عامل‌ها نیز در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد پروتئین تأثیرگذار بودند. عملکرد دانه تحت تأثیر مکان، محلول پاشی و برهم‌کنش‌های دوجانبه پرایمینگ و محلول پاشی، محلول پاشی و رقم و برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول پاشی و رقم در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش چهارجانبه در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۷).

### ۳-۱. تجزیه ساده

وزن خشک اندام هوایی در ارقام ردکارینا و تی‌تی‌کاکا در شرایط شوری در شرایط عدم پرایمینگ و عدم محلول پاشی (شاهد) نسبت به شرایط غیرشور به ترتیب ۴۷/۶۸ و ۴۶/۶۹ درصد کاهش نشان داد. در منطقه غیرشور، بیشترین میزان وزن خشک

اندام‌هوایی در هر دو رقم مربوط به کاربرد ملاتونین به صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی بود. در منطقه شور، بالاترین وزن خشک اندام‌هوایی مربوط به رقم ردکارینا بود؛ زمانی که ملاتونین را به صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی دریافت کرده بود که افزایش ۷۳/۰۴ درصدی این صفت را نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول‌پاشی در همین رقم نشان داد. در رقم تی‌تی‌کاکا نیز بالاترین میزان این صفت زمانی به دست آمد که ملاتونین به صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی استفاده شده بود و افزایش ۴۸/۶۴ درصدی را نشان داد. سایر ترکیبات تیماری نیز منجر به افزایش وزن خشک اندام‌هوایی در هر دو رقم در این منطقه شدند (جدول ۹).

**جدول ۶.** تجزیه واریانس میانگین مربعات درصد سبز شدن مزرعه کینوا تحت تأثیر مکان، رقم و پرایمینگ (تجزیه مرکب).

**Table 6.** Combined analysis of variance (mean squares) for field emergence percentage of quinoa as affected by location, cultivar, and seed priming.

S.O.V	df	Final emergence percentage
Place (P)	1	4970.25
R(P)	4	118.66
Priming (A)	2	362.58**
Cultivar (C)	1	354.69**
A*B	2	20.36
P*A	2	7.58
P*B	1	26.69
P*A*B	2	6.36
Error	20	10.13
c.v (%)		4.14

**جدول ۷.** تجزیه واریانس میانگین مربعات برخی صفات کینوا تحت تأثیر مکان، رقم، پرایمینگ و محلول‌پاشی (تجزیه مرکب).

**Table 7.** Combined analysis of variance (mean squares) of some quinoa traits as affected by location, cultivar, seed priming, and foliar application.

S.O.V	df	طول خوشه	تعداد خوشه	میزان پروتئین	عملکرد دانه
مکان (P)	1	352.08**	0.03	5425636620.0**	8897000.03**
R(P)	4	23.79	0.09	262612866.0	580455.98
پرایمینگ (A)	2	1603.06**	0.17	142386888.0*	325284.70
محلول‌پاشی (B)	2	891.45**	0.06	517447814.0**	6776806.03**
رقم (c)	1	114.08**	0.14	115354805.0	134408.33
A*B	4	71.13**	0.35	200978165.0**	424205.41**
A*C	2	33.58**	0.45	39760886.0	79948.77
B*C	2	9.52**	0.009	376933803.0**	727325.44**
A*B*C	4	22.98**	0.85	180272045.0**	451311.51**
P*A	2	91.58**	0.06	49105090.0	105261.14
P*B	2	25.69**	0.009	13797466.0	31478.25
P*C	1	24.08**	0.59	601742.0	181.48
P*A*B	4	101.31**	0.16	23473907.0	42940.82
P*A*C	2	0.25	0.12	126824531.0	297905.59
P*B*C	2	60.25**	0.06	146354071.0*	289895.25
P*A*B*C	4	23.04**	0.05	121742567.0*	306834.74*
Error	68	0.72	0.25	40924626.0	105815.30
cv (%)		4.02	7.92	16.34	16.54

\* و \*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد.

بررسی مقایسات میانگین حاکی از آن بود که ارتفاع ساقه گیاهان نیز تحت تأثیر شوری کاهش معنی‌دار پیدا کرد. در منطقه غیرشور تمامی ترکیبات تیماری منجر به افزایش ارتفاع ساقه در هر دو رقم شد و بالاترین ارتفاع در هر دو رقم ردکارینا و تی‌تی‌کاکا با کاربرد ملاتونین به صورت توأم پرایمینگ و محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه، شاخص علوفه‌ای، کلروفیل a و b تحت تاثیر برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول پاشی و رقم در منطقه غیرشور.

**Table 8.** Mean comparison of shoot dry weight, stem height, forage index, and chlorophyll a and b as affected by the three-way interaction of seed priming, foliar application, and cultivar under non-saline conditions.

پرایمینگ	محلول پاشی برگی	رقم	وزن خشک اندام هوایی (g plant <sup>-1</sup> )	ارتفاع ساقه (cm)	شاخص علوفه‌ای	کلروفیل a (mg g <sup>-1</sup> Fw leaf)	کلروفیل b (mg g <sup>-1</sup> Fw leaf)
بدون پرایمینگ	بدون محلول پاشی	ردکارینا	40.56±2.42	110.66±1.52	41.27±0.60	43.56±1.00	8.28±0.20
		تی‌تی‌کاکا	42.27±2.38	111.33±1.51	43.24±0.42	45.58±2.00	9.72±0.40
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	52.27±2.77	117.33±2.08	44.02±0.74	52.90±1.51	10.17±0.30
		تی‌تی‌کاکا	50.39±3.05	118.66±1.51	45.26±0.57	48.91±1.51	12.39±0.30
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	47.33±2.94	115.66±2.05	46.64±0.38	48.58±2.00	9.28±0.40
		تی‌تی‌کاکا	46.22±2.34	116.33±2.51	42.79±1.24	48.58±1.00	9.97±0.20
ملاتونین (100 μM)	بدون محلول پاشی	ردکارینا	52.42±2.64	117.33±2.03	43.74±0.18	43.57±1.00	9.10±0.20
		تی‌تی‌کاکا	63.92±2.24	117.66±3.05	47.01±0.56	45.38±1.60	9.89±0.32
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	76.43±3.18	126.00±0.57	45.63±0.82	47.61±1.00	10.14±0.20
		تی‌تی‌کاکا	86.04±3.07	125.66±2.51	50.58±0.14	48.98±1.50	10.41±0.30
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	43.18±3.04	117.00±1.00	44.11±2.07	47.82±0.60	9.12±0.12
		تی‌تی‌کاکا	48.65±2.82	116.33±2.51	46.91±0.81	45.22±1.54	9.60±0.31
سولفات روی (40 mM)	بدون محلول پاشی	ردکارینا	44.10±3.28	118.66±2.55	43.95±1.74	43.54±1.00	9.05±0.20
		تی‌تی‌کاکا	46.55±2.71	114.66±2.04	44.45±1.30	45.47±1.52	9.58±0.30
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	48.57±2.70	115.33±1.52	46.90±0.63	46.84±2.08	9.12±0.42
		تی‌تی‌کاکا	50.40±2.96	114.00±2.58	47.71±0.81	48.22±1.54	9.61±0.31
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	47.75±2.41	117.00±2.00	47.29±0.78	47.24±1.55	9.99±0.31
		تی‌تی‌کاکا	45.99±1.91	115.00±2.29	51.60±0.91	48.54±1.00	9.65±0.40
LSD 5%			3.806	2.112	1.484	0.829	0.165

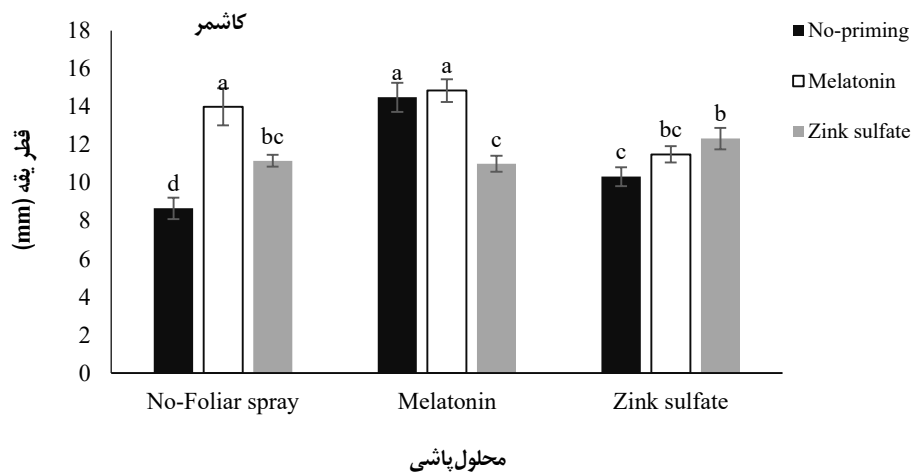
All values represent mean±SD.

جدول ۹. مقایسه میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع ساقه، قطر یقه و شاخص علوفه‌ای تحت تأثیر برهمکنش سه‌جانبه پرایمینگ، محلول‌پاشی و رقم در منطقه شور.

Table 9. Mean comparison of shoot dry weight, stem height, collar diameter, and forage index as affected by the three-way interaction of seed priming, foliar application, and cultivar under saline conditions.

پرایمینگ	محلول‌پاشی	رقم	وزن خشک اندام - هوایی (g plant <sup>-1</sup> )	ارتفاع ساقه (cm)	قطر یقه (mm)	شاخص علوفه‌ای
عدم پرایمینگ	بدون محلول‌پاشی	ردکارینا	40.56±2.42	65.66±1.52	6.33±0.57	30.25±0.03
		تی‌تی‌کاکا	42.27±2.38	62.33±2.08	6.33±0.57	32.47±0.07
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	52.27±2.77	66.33±2.51	11.00±1.00	44.14±0.01
		تی‌تی‌کاکا	50.39±3.05	64.66±2.51	10.00±1.00	45.25±0.02
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	47.33±2.94	64.00±2.00	6.66±0.57	41.34±0.02
		تی‌تی‌کاکا	46.22±2.34	63.00±2.00	7.33±1.52	42.54±0.17
ملاتونین (100 μM)	بدون محلول‌پاشی	ردکارینا	52.42±2.64	71.66±1.52	10.00±1.00	37.41±0.06
		تی‌تی‌کاکا	63.92±2.24	73.00±2.00	10.00±1.73	35.89±0.02
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	76.43±3.18	74.00±2.00	15.00±2.00	48.51±0.07
		تی‌تی‌کاکا	86.04±3.07	76.66±3.14	13.00±2.64	45.68±0.06
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	43.18±3.04	65.00±2.93	9.33±1.51	39.43±0.13
		تی‌تی‌کاکا	48.65±2.82	67.66±3.14	8.33±1.52	36.89±0.01
سولفات روی (40 mM)	بدون محلول‌پاشی	ردکارینا	44.10±3.28	69.33±3.57	7.33±1.52	38.44±0.01
		تی‌تی‌کاکا	46.55±2.71	67.33±3.45	7.00±1.00	36.71±0.02
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	48.57±2.70	68.00±3.57	7.00±1.00	38.25±0.01
		تی‌تی‌کاکا	50.40±2.96	64.66±3.23	7.00±1.00	32.24±0.08
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	47.75±2.41	66.33±3.57	9.00±1.10	38.77±0.07
		تی‌تی‌کاکا	45.99±1.91	68.66±4.54	9.33±1.15	36.36±0.09
LSD 5%			3.806	4.300	1.264	0.104

All values represent mean±SD.

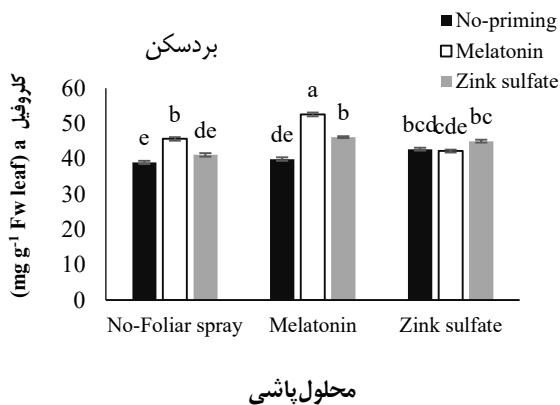


شکل ۱. مقایسه میانگین قطر یقه تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی در منطقه غیر شور.

Figure 1. Comparison of mean collar diameter as affected by the interaction between seed priming and foliar application under non-saline conditions. Error bar represents the standard error of 3 replications (n=3).

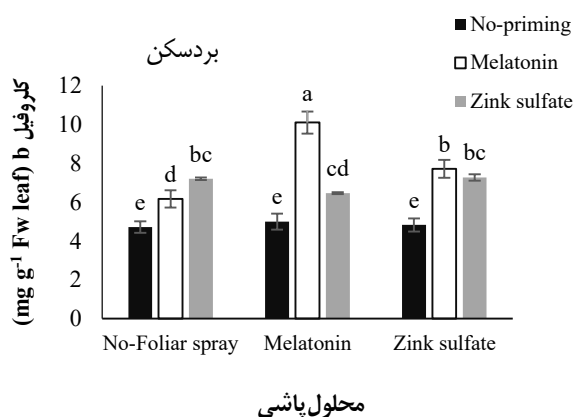
در منطقه شور، کاربرد محلول پاشی به تنهایی تأثیری بر ارتفاع ساقه نداشت. استفاده از پرایمینگ به تنهایی و همچنین کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی منجر به افزایش ارتفاع ساقه در هر دو رقم شد (جدول ۹). بررسی برهمکنش پرایمینگ و محلول پاشی در منطقه غیر شور نشان داد که تمامی ترکیبات تیماری منجر به افزایش قطر یقه شدند (شکل ۱). مقایسه میانگین قطر یقه تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و رقم در منطقه غیر شور بیانگر این بود که پرایمینگ با هر دو ماده ملاتونین و سولفات روی در رقم تی تی کاکا موجب افزایش قطر یقه شد و در رقم ردکارینا تنها کاربرد ملاتونین باعث افزایش معنی دار این صفت شد. در منطقه شور، کاربرد ملاتونین در هر دو صورت پرایمینگ و محلول پاشی موجب افزایش قطر یقه شد و این در حالی بود که سولفات روی تنها زمانی که به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی استفاده شد توانست قطر یقه کینوا را در منطقه شور افزایش دهد (جدول ۹).

شاخص علوفه‌ای در گیاهان رشد یافته در منطقه شور در رقم ردکارینا ۱۱ درصد و در رقم تی تی کاکا ۱۰/۷۷ درصد کمتر بود. در هر دو منطقه، شاخص علوفه‌ای رقم تی تی کاکا بالاتر از رقم ردکارینا بود؛ به طوری که در منطقه غیر شور این شاخص در رقم تی تی کاکا ۱/۹۷ درصد و در منطقه شور این شاخص در این رقم ۲/۲۲ درصد بیشتر از رقم ردکارینا بود. در منطقه غیر شور بالاترین میزان این صفت در رقم تی تی کاکا و کاربرد توأم سولفات روی به صورت پرایمینگ و محلول پاشی (معادل ۵۱/۶۰ درصد) و همچنین کاربرد توأم ملاتونین به صورت پرایمینگ و محلول پاشی به دست آمد (۵۰/۵۸ درصد). در رقم ردکارینا نیز کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی (۴۷/۲۹ درصد) و پرایمینگ سولفات روی به همراه محلول پاشی ملاتونین (۴۶/۹۰ درصد) بالاترین شاخص علوفه‌ای را نشان داد (جدول ۸). در منطقه شور، اگرچه تمام ترکیبات تیماری منجر به افزایش معنی دار شاخص علوفه‌ای در هر دو رقم شدند؛ اما بیشترین شاخص علوفه‌ای مربوط به کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی ملاتونین بود که در رقم ردکارینا معادل ۴۸/۵۱ درصد و در رقم تی تی کاکا معادل ۴۵/۶۸ درصد بود (جدول ۹). بررسی مقایسه میانگین کلروفیل a و b در منطقه غیر شور نشان داد که میزان این رنگ دانه‌ها در رقم تی تی کاکا بیشتر از رقم ردکارینا بود. محلول پاشی ملاتونین و سولفات روی در دو رقم موجب افزایش معنی دار میزان کلروفیل a و b شد و این در حالی بود که کاربرد این دو ماده به صورت پرایمینگ تأثیری بر این صفت نشان نداد و تنها زمانی که پرایمینگ به همراه محلول پاشی به کار رفت، بهبود در میزان این صفت به ثبت رسید (جدول ۸). در مورد منطقه شور بررسی‌ها نشان داد که میزان کلروفیل‌های a و b با کاربرد ملاتونین و سولفات روی در حالت محلول پاشی و ترکیب توأم پیش تیمار و محلول پاشی تا سطح معنی داری افزایش نشان دادند (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲. مقایسه میانگین کلروفیل a تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و محلول-پاشی در منطقه شور.

**Figure 2.** Comparison of mean chlorophyll a content as affected by the interaction between seed priming and foliar application under saline conditions. Error bar represents the standard error of three replications (n=3).

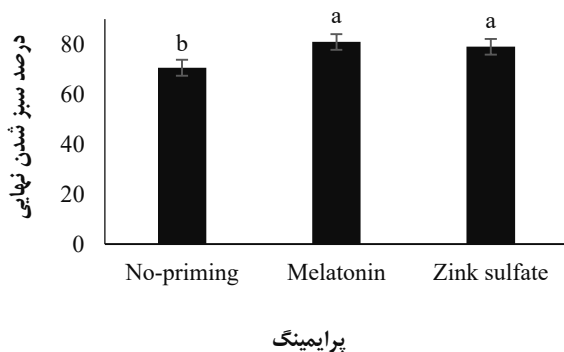


شکل ۳. مقایسه میانگین کلروفیل b تحت تأثیر برهمکنش پرایمینگ و محلول-پاشی در منطقه شور.

**Figure 3.** Comparison of mean chlorophyll b content as affected by the interaction between seed priming and foliar application under saline conditions. Error bar represents the standard error of three replications (n=3).

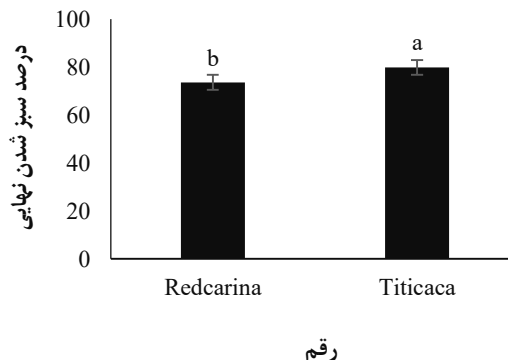
### ۲-۳. تجزیه مرکب

تجزیه مرکب درصد سبز شدن مزرعه نشان داد که پرایمینگ با دو ماده ملاتونین و سولفات روی به ترتیب موجب افزایش ۱۰/۳۳ و ۸/۴۱ درصدی این صفت نسبت به عدم پرایمینگ شد (شکل ۴). در بین دو رقم مورد آزمایش، درصد سبز شدن مزرعه در رقم تی تی کاکا ۶/۲۴ درصد بیشتر از رقم ردکارینا بود (شکل ۵). نتیجه بررسی مقایسات میانگین نشان داد که شوری موجب کاهش معنی دار طول خوشه شد. در هر دو منطقه، طول خوشه در رقم تی تی کاکا بیشتر از رقم ردکارینا بود. کاربرد ملاتونین و سولفات روی به صورت محلول پاشی و ترکیب توأم پیش تیمار و محلول پاشی توانست در هر دو منطقه و در هر دو رقم این صفت را افزایش دهد (جدول ۱۰). عملکرد پروتئین دانه کینوا تحت تأثیر شوری کاهش معنی دار نشان داد. در بین دو رقم مورد آزمایش رقم تی تی کاکا، عملکرد پروتئین بیشتری را نسبت به رقم ردکارینا در هر دو منطقه دارا بود. در هر دو منطقه کاربرد توأم ملاتونین به صورت پرایمینگ و محلول پاشی و همچنین کاربرد سولفات روی به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی بالاترین میزان عملکرد پروتئین را به خود اختصاص داد (جدول ۱۰).



شکل ۴. مقایسه میانگین درصد سبز شدن نهایی مزرعه تحت تأثیر پرایمینگ.

**Figure 4.** Comparison of mean final field germination percentage as affected by seed priming. Error bar represents the standard error of three replications (n=3).



شکل ۵. مقایسه میانگین درصد سبز شدن نهایی مزرعه تحت تأثیر رقم.

**Figure 5.** Comparison of mean final field emergence percentage as affected by cultivar. Error bar represents the standard error of three replications (n=3).

بررسی تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که در منطقه شور، ارقام ردکارینا و تی تی کاکا به ترتیب کاهش ۲۵/۵۵ و ۲۷/۰۷ درصدی عملکرد دانه را نشان دادند. رقم تی تی کاکا در هر دو منطقه، عملکرد دانه بیشتری داشت. کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی ملاتونین و همچنین کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی در هر دو منطقه، بالاترین عملکرد دانه را دارا بود. در منطقه غیرشور، محلول پاشی ملاتونین افزایش ۳۱/۹۵ درصدی را در رقم ردکارینا موجب شد؛ ولی در رقم تی تی کاکا این افزایش معنی دار نبود. اعمال محلول پاشی سولفات روی در رقم ردکارینا در منطقه غیرشور، افزایش ۴۱/۰۷ درصدی عملکرد دانه را نشان داد. کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی ملاتونین در منطقه غیرشور در رقم ردکارینا منجر به افزایش ۳۳/۸۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی در همین رقم شد. در منطقه شور، کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی در رقم ردکارینا موجب افزایش ۳۱/۵۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی در همین رقم شد. در مورد رقم تی تی کاکا استفاده از پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی منجر به افزایش ۱۸/۰۴ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی در همین رقم شد. محلول پاشی ملاتونین در رقم ردکارینا در منطقه شور، افزایش ۵۱/۵۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی همین رقم در این منطقه را نشان داد. محلول پاشی ملاتونین در رقم تی تی کاکا در منطقه شور، افزایش ۳۲/۸۶ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شرایط عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی در همین رقم نشان داد. در منطقه شور محلول پاشی سولفات روی در رقم ردکارینا افزایش ۵۱/۲۴ درصدی عملکرد را موجب شد. کاربرد توأم پرایمینگ و محلول پاشی ملاتونین در رقم ردکارینا در منطقه شور موجب افزایش ۴۸/۷۵ درصدی عملکرد دانه شد. زمانی که ملاتونین به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی در رقم تی تی کاکا استفاده شد موجب افزایش ۳۶/۹۱ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی در همین رقم شد. کاربرد توأم سولفات روی به صورت توأم پرایمینگ و محلول پاشی در رقم ردکارینا در منطقه شور موجب افزایش ۴۲/۷۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم پرایمینگ و عدم محلول پاشی این رقم در همین منطقه (منطقه شور) شد. استفاده از پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی در رقم تی تی کاکا افزایش ۲۹/۶۱ درصدی عملکرد دانه را نسبت به عدم کاربرد پرایمینگ و محلول پاشی در این رقم را نشان داد (جدول ۱۰).

### ۳-۳. همبستگی بین صفات

همبستگی بین صفات مختلف در منطقه شور و غیرشور به ترتیب در جداول ۱۱ و ۱۲ گزارش شده است. در شرایط شور، درصد سبز شدن مزرعه کینوا کاهش معنی دار نشان داد. اثرات بازدارندگی کلریدسدیم روی جوانه زنی بذر می تواند به دلیل تأثیر مستقیم آن روی رشد جنین باشد (Rodriguez-Hernandez and Garmendia, 2023). پژوهشگران دریافتند که طویل شدن محور جنینی به واسطه سطح بالای کلریدسدیم موجود در آب و خاک شور، بازداشته می شود و از طرف دیگر کلریدسدیم به دلیل اثر بازدارندگی در جذب آب به وسیله بذر، تعداد بذور جوانه زده را تحت تأثیر قرار می دهد (Jaikishun et al., 2023). استفاده از ملاتونین و سولفات روی به صورت پرایمینگ، توانست درصد سبز شدن مزرعه را تا سطح معنی داری ارتقا دهد. پرایمینگ بذور با ملاتونین با تحریک و انبساط سلولی و مهار فعالیت گونه های فعال اکسیژن حاصل از تنش اسمزی موجب بهبود جوانه زنی می شود (Kiremit et al., 2024). افزایش درصد سبز شدن مزرعه با کاربرد ملاتونین و سولفات روی مربوط به افزایش سنتز RNA و پروتئین، فعال شدن آنزیم ها به خصوص آلفا آمیلاز در جنین و قابلیت دسترسی بیشتر به ATP و در نتیجه رشد سریع جنین است (Shao et al., 2023). شوری خاک در این پژوهش موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ارتفاع ساقه شد. کاهش ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش شوری می تواند به دلیل رشد و نمو کندتر گیاه ناشی از تنش اسمزی ایجاد شده توسط شوری باشد و یا ممکن است به دلیل بازدارندگی فتوسنتز از طریق اثرات مستقیم تنش شوری روی سیستم فتوسنتزی گیاه باشد (Balasubramaniam et al., 2023; Al-Naggar et al., 2023).

جدول ۱۰. اثر متقابل رقم، پرایمینگ، محلول پاشی بر طول خوشه، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه. داده‌ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار هستند.

Table 10. Interaction of cultivar, priming, foliar spray on root length, panicle length, protein yield and seed yield. Data are means $\pm$ SD.

پرایمینگ	محلول پاشی	رقم	طول خوشه (cm)		عملکرد پروتئین (kg ha <sup>-1</sup> )		عملکرد دانه (kg ha <sup>-1</sup> )	
			کاشمر	بردسکن	کاشمر	بردسکن	کاشمر	بردسکن
			بدون پرایمینگ	بدون محلول پاشی	ردکارینا	22.00 $\pm$ 2.00	15.00 $\pm$ 1.00	35408.44 $\pm$ 7698
		تی تی کاکا	25.66 $\pm$ 1.52	16.00 $\pm$ 1.00	48020.66 $\pm$ 11825	31023.23 $\pm$ 3110	2253.33 $\pm$ 276.09	1643.33 $\pm$ 93.97
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	30.33 $\pm$ 2.51	19.00 $\pm$ 1.00	48723.33 $\pm$ 6075	38500.06 $\pm$ 7778	2363.33 $\pm$ 159.38	2020.00 $\pm$ 134.54
		تی تی کاکا	27.00 $\pm$ 2.00	21.33 $\pm$ 2.08	45759.83 $\pm$ 1335	23911.66 $\pm$ 6137	2333.33 $\pm$ 133.11	2183.33 $\pm$ 160.91
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	29.66 $\pm$ 1.52	21.00 $\pm$ 1.00	52094.13 $\pm$ 7679	39045.06 $\pm$ 7773	2526.66 $\pm$ 134.18	2016.66 $\pm$ 131.32
		تی تی کاکا	27.00 $\pm$ 1.73	18.00 $\pm$ 1.00	55462.86 $\pm$ 5934	33906.00 $\pm$ 7415	2645.66 $\pm$ 92.65	2030.00 $\pm$ 120.33
ملاتونین (100 $\mu$ M)	بدون محلول پاشی	ردکارینا	22.33 $\pm$ 1.52	15.00 $\pm$ 1.00	35781.83 $\pm$ 4894	26046.03 $\pm$ 6098	1860.00 $\pm$ 185.78	1553.33 $\pm$ 119.23
		تی تی کاکا	25.66 $\pm$ 1.52	16.00 $\pm$ 1.00	42296.43 $\pm$ 6803	22763.86 $\pm$ 3057	2093.33 $\pm$ 196.56	1713.33 $\pm$ 92.18
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	33.33 $\pm$ 2.08	16.66 $\pm$ 1.52	48985.66 $\pm$ 6472	30183.23 $\pm$ 1618	2398.00 $\pm$ 187.45	1983.33 $\pm$ 63.58
		تی تی کاکا	31.00 $\pm$ 2.00	15.66 $\pm$ 1.52	39907.46 $\pm$ 7854	45067.40 $\pm$ 1641	2655.66 $\pm$ 149.24	2250.00 $\pm$ 145.35
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	26.00 $\pm$ 1.00	16.00 $\pm$ 1.00	42015.49 $\pm$ 2535	32112.46 $\pm$ 3256	1996.33 $\pm$ 118.80	1706.66 $\pm$ 124.52
		تی تی کاکا	28.66 $\pm$ 2.51	18.33 $\pm$ 1.15	47067.03 $\pm$ 8826	30951.73 $\pm$ 8324	2206.66 $\pm$ 135.10	1694.00 $\pm$ 183.23
سولفات روی (40 mM)	بدون محلول پاشی	ردکارینا	27.66 $\pm$ 1.52	15.00 $\pm$ 1.00	41458.77 $\pm$ 3359	30583.23 $\pm$ 3809	2171.00 $\pm$ 66.74	1700.00 $\pm$ 114.53
		تی تی کاکا	25.00 $\pm$ 1.00	15.66 $\pm$ 1.00	54653.00 $\pm$ 4934	34293.20 $\pm$ 7022	2200.00 $\pm$ 114.20	1800.00 $\pm$ 174.42
	ملاتونین (0.2 mM)	ردکارینا	27.66 $\pm$ 1.52	18.33 $\pm$ 0.57	51265.20 $\pm$ 5529	30649.83 $\pm$ 6988	2186.66 $\pm$ 63.58	1660.00 $\pm$ 103.45
		تی تی کاکا	27.33 $\pm$ 1.52	19.66 $\pm$ 0.57	35877.60 $\pm$ 3098	25656.12 $\pm$ 7228	2160.00 $\pm$ 156.97	1894.00 $\pm$ 89.07
	سولفات روی (0.5%)	ردکارینا	26.33 $\pm$ 0.57	19.33 $\pm$ 0.57	50384.60 $\pm$ 7913	27982.13 $\pm$ 6689	2356.66 $\pm$ 109.28	1903.33 $\pm$ 140.35
		تی تی کاکا	26.00 $\pm$ 1.00	19.33 $\pm$ 0.57	57018.96 $\pm$ 3243	49596.06 $\pm$ 3154	2660.00 $\pm$ 123.41	2230.00 $\pm$ 108.41
LSD 5%			0.977	0.977	7370.00	7370.00	530.00	530.00

جدول ۱۱. همبستگی بین صفات در منطقه شور.

Table 11. Correlation between traits under saline conditions.

	درصد سبز شدن نهایی	وزن اندام هوایی	ارتفاع ساقه	قطر یقه	طول پانیکول	تعداد شاخه‌های فرعی	شاخص علوفه‌ای	کلروفیل a	کلروفیل b	عملکرد پروتئین	عملکرد پروتئین
درصد سبز شدن نهایی	1										
وزن اندام هوایی	0.24	1									
ارتفاع ساقه	0.50**	0.50**	1								
قطر یقه	0.34*	0.66**	0.65**	1							
طول پانیکول	0.31*	0.51**	0.77**	0.78**	1						
تعداد شاخه‌های فرعی	0.08	0.18	0.19	0.13	0.02	1					
شاخص علوفه‌ای	0.08	0.54**	0.08	0.04	0.004	0.10	1				
کلروفیل a	0.20	0.86**	0.61**	0.76**	0.52**	0.16	0.18	1			
کلروفیل b	0.28*	0.76**	0.65**	0.75**	0.55**	0.05	0.12	0.91**	1		
عملکرد پروتئین	0.09	0.02	0.06	0.14	0.04	0.05	0.10	0.04	0.004	1	
عملکرد دانه	0.10	0.02	0.04	0.16	0.06	0.07	0.06	0.007	-0.03	0.98**	1

جدول ۱۲. همبستگی بین صفات در منطقه غیرشور.

Table 12. Correlation between traits under non-saline conditions.

	درصد سبز شدن نهایی	وزن اندام هوایی	ارتفاع ساقه	قطر یقه	طول پانیکول	تعداد شاخه‌های فرعی	شاخص علوفه‌ای	کلروفیل a	کلروفیل b	عملکرد پروتئین	عملکرد پروتئین
درصد سبز شدن نهایی	1										
وزن اندام هوایی	0.52**	1									
ارتفاع ساقه	0.69**	0.87**	1								
قطر یقه	0.62**	0.80**	0.85**	1							
طول پانیکول	0.72**	0.78**	0.94**	0.80**	1						
تعداد شاخه‌های فرعی	0.10	0.001	0.10	0.04	0.13	1					
شاخص علوفه‌ای	0.04	0.42**	0.23	0.22	0.08	0.03	1				
کلروفیل a	0.53**	0.94**	0.83**	0.75**	0.76**	0.07	0.33*	1			
کلروفیل b	0.04	0.20	-0.31*	-0.16	-0.30*	0.07	0.33*	0.35*	1		
عملکرد پروتئین	0.53*	0.94**	0.83**	0.75**	0.76**	0.08	-0.15	-0.22	-0.22	1	
عملکرد دانه	0.04	0.20	0.31*	0.16	0.30*	0.11	-0.19	-0.19	-0.19	0.95**	1

کاهش شاخص‌های رویشی مانند ارتفاع ساقه و وزن خشک اندام‌هوایی در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه و تأثیر ویژه یون‌ها در فرآیند متابولیسم است (Bouras *et al.*, 2022). کاهش سطوح فتوسنتز کننده و مصرف بیش‌ازحد انرژی در جهت کنترل و کاهش اثر تنش برای برقراری تعادل اسمزی به‌منظور حفظ آماس سلولی می‌تواند از علل عمده کاهش وزن خشک اندام‌هوایی در گیاهان باشد (Hussain *et al.*, 2023).

در این پژوهش ملاتونین و سولفات‌روی منجر به افزایش وزن خشک اندام‌هوایی و ارتفاع ساقه شدند. گزارش شده است که ترکیبات ایندولی از جمله ملاتونین با تأثیر بر فرآیندهایی مانند فتوسنتز، تنفس، جذب یون، نفوذپذیری غشاء، فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌ها میزان رشد و تولید وزن خشک کل را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (Zhang *et al.*, 2015). ملاتونین از طریق تأثیر بر افزایش ترشح هورمون‌های محرک رشد مانند ایندول‌استیک‌اسید، سیتوکینین، جبرلین، اکسین، ترکیبات آنتی‌اکسیدان و کاهش بیوسنتز بازدارنده‌های رشد از جمله اتیلن، میزان تقسیم‌سلولی بافت‌های مریستمی را افزایش داده و موجب افزایش ارتفاع ساقه و وزن خشک کل می‌شود (Li *et al.*, 2014). کاربرد سولفات‌روی از طریق افزایش تولید تریپتوفان و هورمون‌های رشد از جمله اکسین منجر به افزایش ارتفاع ساقه و وزن خشک اندام‌هوایی می‌شود (Mostafa *et al.*, 2019).

رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a و b در شرایط شوری کاهش یافتند. علت کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط شوری ممکن است تخریب لاملای کلروفیل باشد (Acosta-Gamboa *et al.*, 2023). غلظت‌های بالای نمک، کمپلکس پروتئین-رنگیزه را بی‌ثبات می‌کند و فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و تولید گونه‌های فعال اکسیژن را تحریک می‌کند که این پاسخ‌ها می‌تواند موجب کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه شود (Muhammad *et al.*, 2021). ملاتونین و سولفات‌روی میزان رنگدانه‌ها را در هر دو منطقه افزایش دادند. ملاتونین از فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و آنزیم Pheophorbide-a oxygenase (Pao) (آنزیم‌های کلیدی در تجزیه کلروفیل) جلوگیری به عمل می‌آورد و در نتیجه موجب حفظ و افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Turk *et al.*, 2014). پژوهشگران نشان دادند که محلول‌پاشی روی با افزایش میزان جذب منیزیم و کلسیم در گیاهان و افزایش ظرفیت جذب نور موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ گیاهان می‌شوند (Zhao *et al.*, 2024). نتایج پژوهشی نشان داد که افزایش کلروفیل با کاربرد سولفات‌روی به دلیل بهبود در دسترس‌بودن مواد مغذی و افزایش فتوسنتز هست (Irmes *et al.*, 2023).

عملکرد پروتئین و عملکرد دانه کینوا در منطقه شور کاهش معنی‌دار یافت. علت کاهش عملکرد پروتئین در شرایط شوری، وقوع تنش اکسیداتیو و اکسیداسیون پروتئین‌ها، سرکوب سنتز پروتئین و افزایش تجزیه پروتئین‌ها در این شرایط هست (Esfandiyari Sabzevar *et al.*, 2023). کاربرد ملاتونین و سولفات‌روی موجب افزایش عملکرد پروتئین دانه شد. پژوهشگران دریافتند ملاتونین از طریق افزایش بیان ژن و افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در جذب نیتروژن (nitrogen assimilation) منجر به افزایش میزان پروتئین دانه در گیاهان می‌شود (Erdal, 2019). نتایج تحقیقات نشان داده است که سولفات‌روی از طریق افزایش سنتز آمینواسیدها و پروتئین‌های محلول منجر به افزایش میزان پروتئین دانه در گیاهان می‌شود (Singh *et al.*, 2020).

عملکرد دانه در شرایط شور به دلیل کاهش صفات مرفولوژی و فیزیولوژی گیاه شامل درصد سبز شدن مزرعه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و طول خوشه کاهش یافت. نتایج تحقیقات نشان داده است که سمیت یون‌های سدیم و کلر، تنش اسمزی و تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری و کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند منجر به کاهش بیوماس و کاهش پارامترهای رشد گیاه شود (Manaa *et al.*, 2019). کاربرد ملاتونین و سولفات‌روی در منطقه شور از طریق کاهش دادن اثرات تنش شوری توانستند عملکرد دانه را در این شرایط افزایش دهند و استفاده از این دو ماده در منطقه غیرشور از طریق بهبود صفات زراعی و فیزیولوژی منجر به ارتقای عملکرد دانه شدند. پژوهشگران اعلام کردند که ملاتونین و سولفات‌روی می‌توانند به‌عنوان واسطه خیلی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، تعادل یونی و افزایش رشد رویشی در تعدادی از گونه‌های گیاهی عمل کنند که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شوند (Eisa *et al.*, 2023; Lalarukh *et al.*, 2022).

#### ۴. نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه کینوا تحمل و مقاومت نسبی مطلوبی به سطوح شوری آب و خاک دارد و به نظر می‌رسد بتوان با اعمال مدیریت مناسب در مزرعه، استقرار این گیاه را در شرایط وجود آب و خاک شور تضمین کرد. در محدوده پژوهش انجام شده کاربرد توأم پرایمینگ (۱۰۰ میکرومولار) و محلول پاشی (۰/۲ میلی‌مولار) ملاتونین و کاربرد توأم پرایمینگ (۴۰ میلی‌مولار) و محلول پاشی سولفات روی (۰/۵ درصد) جهت افزایش عملکرد پروتئین (۳۲ تا ۵۱ درصد) و عملکرد دانه کینوا (۱۸ تا ۳۱ درصد) در ارقام ردکارینا و تی‌تی‌کاکا در هر دو منطقه غیرشور و شور پیشنهاد می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، ۴۶ گرم ملاتونین خالص در ۱۰۰۰ لیتر آب و ۱/۵ کیلوگرم سولفات روی ۳۴ درصد در ۱۰۰۰ لیتر آب برای محلول پاشی یک هکتار مناسب می‌باشد. در بین دو رقم مورد بررسی رقم تی‌تی‌کاکا به جهت داشتن شاخص علوفه‌ای، عملکرد پروتئین و عملکرد دانه بالاتر نسبت به رقم ردکارینا جهت کاشت در دو منطقه غیرشور و شور توصیه می‌شود. برای دستیابی به نتایج کاربردی لازم است تحقیقات گسترده‌تر در سطوح پروتئینی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه کینوا به موازات مطالعه ژن‌های مهم درگیر در تنش شوری انجام شود.

#### ۵. تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی مرتبط با تحقیق حاضر ندارند.

#### ۶. منابع

- Acosta-Gamboa, L., Czymmek, K., Klebanovych, A., Kenney, S., Gordon, J., Brown, A., & Gehan, M. (2023). Salt stress using *Chenopodium quinoa* as a model plant. Authorea Preprints.
- Al-Naggar, A.M.M., Abd El-Salam, R.M., Hassan, A.I.A., El-Moghazi, M.M.A., & Ahmed, A.A. (2023). Salinity tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes to elevated NaCl concentrations at germination and seedling stages. *SABRAO Journal Breeding and Genetics*, 55(5), 1789-1802.
- Al-Zahrani, H.S., Alharby, H.F., Hakeem, K.R., & Rehman, R.U. (2021). Exogenous application of zinc to mitigate the salt stress in *Vigna radiata* (L.) wilczek evaluation of physiological and biochemical processes. *Plants*, 10, 1005.
- Arnao, M.B., & Hernandez-Ruiz, J. (2019). Melatonin and reactive oxygen and nitrogen species: A model for the plant redox network. *Melatonin Research*, 2, 152-168.
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaceli, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*, 12(12), 22-53.
- Bouras, H., Choukr-Allah, R., Amouaouch, Y., Bouaziz, A., Devkota, K.P., El Mouttaqi, A., & Hirich, A. (2022). How does quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) respond to phosphorus fertilization and irrigation water salinity? *Plants*, 11(2), 216.
- Buedo, S.E., & Gonzalez, J.A. (2020). Effect of salinity stress on quinoa germination. Influence of ionic and osmotic components. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 1(2), 577-582.
- Debnath, B., Islam, W., Li, M., Sun, Y., Lu, X., Mitra, S., Hussain, M., Liu, S., & Qiu, D. (2019). Melatonin mediates enhancement of stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 104.
- Eisa, E.A., Honfi, P., Tilly-Mandy, A., & Mirmazloum, I. (2023). Exogenous melatonin application induced morpho-physiological and biochemical regulations conferring salt tolerance in *Ranunculus asiaticus* (L.). *Horticulturae*, 9(2), 228.
- Erdal, S. (2019). Melatonin promotes plant growth by maintaining integration and coordination between carbon and nitrogen metabolisms. *Plant Cell Reports*, 38, 1001-1012.
- Esfandyari Sabzevar, T., Tatari, M., Khosroyar, S., Ghorat, F., & Salehi, M. (2023). Physiological and biochemical responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to salinity stress. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(11), 3824-3834. (In Persian).
- Fowler, B.D., Brydon, J., & Baker, R.J. (1989). Nitrogen fertilization of no till winter wheat and rye. II: Influence of grain protein. *Agronomy Journal*, 81, 72-77.
- Hassan, M.U., Aamer, M., Nawaz, M., Rehman, A., Aslam, T., Afzal, U., Shahzad, B.A., Ayub, M.A., Ahmed, F., & Qiaoying, M. (2021). Agronomic bio-fortification of wheat to combat zinc deficiency in developing countries. *Pakistan Journal Agriculture Research*, 3, 201.
- Hinojosa, L., Gonzalez, J.A., Barrios-Masias, F.H., Fuentes, F., & Murphy, K.M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A Review. *Plants*, 7, 106.

- Hiscox, J.D., & Israelstom, G.F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57, 1332-1334.
- Hussin, S.A., Ali, S.H., Lotfy, M.E., El-Samad, E.H.A., Eid, M.A., Abd-Elkader, A.M., & Eisa, S.S. (2023). Morpho-physiological mechanisms of two different quinoa ecotypes to resist salt stress. *BMC Plant Biology*, 23(1), 374.
- Irmes, K., Kristo, I., Szentpeteri, L., Racz, A., Valyi-Nagy, M., Kassai, M.K., & Tar, M. (2023). The effect of foliar zinc application on the leaf chlorophyll concentrations and grain yields of the winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field experiments of two seasons. *Agronomy*, 13(6), 16-40.
- Isayenkov, S.V., & Maathuis, F.J. (2019). Plant salinity stress: Many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-11.
- ISTA (International Seed Testing Association) (2009). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*, 49, 86-41.
- Jahantighi, M., Roshandel, P., & Danesh Shahraki, A. (2023). Enhancement of salt tolerance in quinoa (*Chenopodium quinoa* var. Titicaca) by seed priming with melatonin. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 2, 181-195.
- Jaikishun, S., Song, S., & Yang, Z. (2023). Morphophysiological responses of two *Chenopodium quinoa* genotypes to salinity in a hydroponic system. *Asian Research Journal of Agriculture*, 16(2), 8-22.
- Kaboodkhani, M., Salek Mearaji, H., Aghaei, K., & Tavakoli, A. (2023). Investigation of the effect of salinity stress on physiological traits and grain yield of quinoa cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 25(1), 221-233.
- Kiremit, M.S., Ozturk, E., Arslan, H., Subrata, B.A.G., Akay, H., & Bakirova, A. (2024). Effects of melatonin, proline, and salicylic acid on seedling growth, photosynthetic activity, and leaf nutrients of sorghum under salt stress. *Plant Direct*, 8(3), e574.
- Lalarukh, I., Zahra, N., Al Huqail, A.A., Amjad, S.F., Al-Dhumri, S.A., Ghoneim, A.M., & Abdelhafez, A.A. (2022). Exogenously applied ZnO nanoparticles induced salt tolerance in potentially high yielding modern wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102799.
- Li, C., D. X. Tan, D. Liang, C., Chang, D., & Jia, F.M. (2014). Melatonin mediates the regulation of ABA metabolism, free-radical scavenging, and stomatal behaviour in two *Malus* species under drought stress. *Journal Experiment Botany*, 66, 669-80.
- Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Abdelly, C., & Barbato, R. (2019). Salinity tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as assessed by chloroplast ultrastructure and photosynthetic performance. *Environmental and Experimental Botany*, 162, 103-114.
- Mostafa, E.L., Leilah, A.A., & Fayed, E.A. (2019). Effect of seed soaking and foliar application with zinc sulfate on rice seedling strength, yield and its components. *Journal of Plant Production*, 10(12), 1169-1173.
- Muhammad, I., Shalmani, A., Ali, M., Yang, Q.H., Ahmad, H., & Li, F.B. (2021). Mechanisms regulating the dynamics of photosynthesis under abiotic stresses. *Frontiers in Plant Science*, 11, 615942.
- Nabaei, M., & Amooaghaie, R. (2019). Interactive effect of melatonin and sodium nitroprusside on seed germination and seedling growth of *Catharanthus roseus* under cadmium stress. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66, 128-139.
- Nadeem, F., Azhar, M., Anwar-ul-Haq, M., Sabir, M., Samreen, T., Tufail, A., Awan, H.U.M., & Juan, W. (2020). Comparative response of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars to applied zinc and manganese for mitigation of salt stress. *Journal Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 2059-2072.
- Oddy, V.U., Robards, G.E., & low, S.G. (1983). *Prediccion of In – vivo dry matter digestibility from the fibre and nitrogen content of a feed*. In Feed Information and Animal production . Eds G.E Robards and R.G Packham. Commonwealth Agricultural Bureux . Australia. 298-295.
- Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V.D., Zharmukhamedov, S.K., Nie, C., Yu, M., Kuznetsov, V.V., Allakhverdiev, S.I., & Shabala, S. (2020). Non -stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1(2), 1-35.
- Rodriguez-Hernandez, M.D.C., & Garmendia, I. (2023). Leaf production and quality of quinoa 'Titicaca' is enhanced under moderate salinity. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 83(6), 732-741.
- Salehi, M., & Dehghani, F. (2023). Evaluation the effect of salinity stress on the protein and micronutrient elements content of quinoa seeds. *Crop Production*, 2(1), 1-16.
- Shao, J., Tang, W., Huang, K., Ding, C., Wang, H., Zhang, W., & Qari, S.H. (2023). How does zinc improve salinity tolerance? Mechanisms and future prospects. *Plants*, 12(18), 3207.
- Singh, D.K., Shrivastava, M., Patel, V.K., Singh, A., & Kumar, A. (2020). The effect of different levels of zinc on morpho-physiological parameters, seed yield attributing characters and seed quality of wheat. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 9(5).

- Turk, H., Erdal, S., Genisel, M., Atici, O., Demir, Y., & Yanmis, D. (2014). The regulatory effect of melatonin on physiological, biochemical and molecular parameters in cold-stressed wheat seedlings. *Plant Growth Regulation*, 74, 139-152.
- Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt stress responses. *New Phytologist*, 217, 523-539.
- Zafar, S., Ashraf, M.Y., & Saleem, M. (2017). Shift in physiological and biochemical processes in wheat supplied with zinc and potassium under saline condition. *Journal of Plant Nutrition*, 41, 19-28.
- Zhang, L., Yan, M., Ren, Y., Chen, Y., & Zhang, S. (2021). Zinc regulates the hydraulic response of maize root under water stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 159, 123-134.
- Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S.H., & Guo, Y.D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 66, 647-56.
- Zhan, H., Nie, X., Zhang, T., Li, S., Wang, X., Du, X., Tong, W., & Song, W. (2019). Melatonin: A small molecule but important for salt stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 709.
- Zhao, G., Zhao, Y., Yu, X., Kiprotich, F., Han, H., Guan, R., Wang, R., & Shen, W. (2018). Nitric oxide is required for melatonin enhanced tolerance against salinity stress in rapeseed (*Brassica napus* L.) seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 19, 1912.
- Zhao, D., Gao, S., Zhang, X., Zhang, Z., Zheng, H., Rong, K., & Khan, S.A. (2021). Impact of saline stress on the uptake of various macro and micronutrients and their associations with plant biomass and root traits in wheat. *Plant, Soil & Environment*, 67(2), 12-23.
- Zhao, X., Song, B., Riaz, M., Li, M., Lal, M.K., Adil, M.F., & Ishfaq, M. (2024). Foliar zinc spraying improves assimilative capacity of sugar beet leaves by promoting magnesium and calcium uptake and enhancing photochemical performance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108277.
- Zheng, X., Tan, D.X., Allan, A.C., Zuo, B., Zhao, Y., Reiter, R.J., Wang, L., Wang, Z., Guo, Y., & Zhou, J. (2017). Chloroplastic biosynthesis of melatonin and its involvement in protection of plants from salt stress. *Scientific Reports*, 7, 1-12.