






## Effect of humic acid and seaweed extract application on some biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under irrigation cut-off in two locations of Kermanshah province

Ghobad Mohamadpoor<sup>1</sup>, Salim Farzaneh<sup>2\*</sup> , Saeid Khomari<sup>3</sup> , Seyedeh Yalda Raeisi Sadati<sup>4</sup> ,  
Raouf Seyed Sharifi<sup>5</sup>, Behrooz Esmailpour<sup>6</sup>, Kianoosh Azarshab<sup>7</sup>

1. Ph.D. of Agronomy, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Associate Professor, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Professor, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4. Post-doctorate in Molecular Genetics, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
5. Professor, Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
6. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
7. Master of Medicinal Plants, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Jihad University Higher Education Institute, Kermanshah, Iran.

**Citation:** Mohamadpoor, G., Farzaneh, S., Khomari, S., Raeisi Sadati, S.Y., Seyed Sharifi, R., Esmailpour, B., Azarshab, K. (2025). Effect of humic acid and seaweed extract application on some biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under irrigation cut-off in two locations of Kermanshah province. *Plant Productions*, 48(1), 105- 123.

### Abstract

#### Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a highly nutritious crop with a well-balanced amino acid profile, including lysine and tryptophan, making it a suitable alternative to rice. Given its nutritional value, expanding quinoa cultivation is crucial. However, since Iran is located in an arid and semi-arid region with high evaporation rates exceeding annual rainfall, crops frequently experience drought stress, particularly at the end of the growing season. The application of natural fertilizers such as seaweed extract and humic acid may help mitigate the effects of drought stress.

---

\* **Corresponding Author:** Salim Farzaneh  
**E-mail:** Salimfarzaneh@yahoo.com



### Materials and Methods

This study aimed to assess the impact of irrigation cut-off on biochemical traits of quinoa in two contrasting climates: Qasr-e-Shirin (hot) and Dalaho (cold) in Kermanshah province. The experiment was conducted as a split-plot design within a randomized complete block design (RCBD) during the 2018-2018 cropping season. The main plots included three irrigation treatments (full irrigation, irrigation cut-off at the beginning of flowering, and irrigation cut-off at the beginning of seed formation). The sub-plots consisted of five foliar spray treatments: seaweed extract at two concentrations ( $2.5 \text{ g l}^{-1}$  and  $3.57 \text{ g l}^{-1}$ ), humic acid at two concentrations ( $3.75 \text{ g l}^{-1}$  and  $5 \text{ g l}^{-1}$ ), and a control treatment (pure water spray). The quinoa seed used in this study was the Titicaca variety. The first foliar spray was applied when the plant height was about 20 cm, and the second foliar spray was applied 10 days later. Irrigation of plants in the control and irrigation cut-off treatments was carried out after 50% of the usable soil moisture was drained before irrigation cut-off was applied.

### Results and Discussion

The results showed that irrigation cut-off significantly reduced the concentration of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid), protein content, and relative water content in quinoa leaves compared to full irrigation. Under drought stress, proline accumulation, electrolyte leakage from cell membranes, and the activity of antioxidant enzymes (superoxide dismutase, catalase and peroxidase) increased. The results showed that the application of seaweed extract and humic acid alleviated the negative effects of irrigation cut-off. The highest levels of chlorophyll a ( $1.760 \text{ mg g}^{-1}$ ), chlorophyll b ( $0.989 \text{ mg g}^{-1}$ ), carotenoid ( $0.291 \text{ mg g}^{-1}$ ), protein content ( $1.40 \text{ mg g}^{-1}$ ), and relative water content were observed with the foliar application of  $3.75 \text{ g l}^{-1}$  seaweed extract. The adverse effects of drought stress were more pronounced in Qasr-e-Shirin (hot climate), particularly when irrigation was interrupted at the flowering stage.

### Conclusions

The results showed that the effects of foliar application of seaweed extract and humic acid in modulating drought stress were much greater in plants that faced irrigation interruption at the beginning of the flowering period. However, foliar application of seaweed extract reduced the negative effects of drought stress more than humic acid. Overall, these findings suggest that foliar application of seaweed extract and humic acid is an effective and environmentally friendly strategy to mitigate the adverse effects of irrigation cut-off on quinoa. Quinoa production efficiency in the temperate region of Dalahu was much better than in the Qasr-e-Shirin region.

**Keywords:** Antioxidant enzymes, Biofertilizers, Photosynthetic pigments, Relative water content



## تأثیر هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی بر برخی صفات بیوشیمیایی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در شرایط قطع آبیاری در دو مکان استان کرمانشاه

قباد محمدپور<sup>۱</sup>، سلیم فرزانه<sup>۲\*</sup>، سعید خماری<sup>۳</sup>، سیده یلدا رئیسی ساداتی<sup>۴</sup>، رئوف سید شریفی<sup>۵</sup>، بهروز اسماعیل پور<sup>۶</sup>، کیانوش آذرشب<sup>۷</sup>

- ۱- دانش آموخته دکتری زراعت، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۳- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۴- پسا دکتر ژنتیک مولکولی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۵- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۶- استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- ۷- کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، کرمانشاه، ایران

### چکیده

کینوا به جهت میزان پروتئین بالا، تعادل اسید آمینه‌های ضروری مانند لیزین و تریپتوفان، گیاهی با ارزش غذایی فراوان است که می‌تواند یک جایگزین مناسب برای برنج باشد، لذا توسعه و کشت این محصول بسیار حائز اهمیت است. از آنجایی که کشور ما در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد و میزان تبخیر و تعرق بیشتر از میزان بارندگی می‌باشد، محصولات کاشته شده به خصوص در آخر فصل دچار تنش خشکی می‌شوند، لذا کاربرد کودهای طبیعی از جمله عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید می‌توانند در تعدیل اثر تنش مناسب باشند. این آزمایش به منظور ارزیابی برخی شاخص‌های بیوشیمیایی کینوا در شرایط قطع آبیاری در دو مکان با اقلیم گرم (قصر شیرین) و اقلیم سرد (دالاهو) در استان کرمانشاه به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا گردید. کرت‌های اصلی تیمار آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در ابتدای گلدهی و نیز شروع دانه‌بندی) و کرت‌های فرعی محلول پاشی در پنج سطح شامل عصاره جلبک دریایی در دو سطح (۲/۵ گرم در لیتر و ۳/۵۷ گرم در لیتر)، هیومیک اسید در دو سطح (۳/۷۵ گرم در لیتر و ۵ گرم در لیتر) به همراه یک تیمار شاهد (محلول پاشی با آب خالص) بودند. نتایج نشان داد که قطع آبیاری موجب کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئید، میزان پروتئین و محتوای نسبی

آب برگ گیاه کینوا در مقایسه با آبیاری کامل گردید. همچنین در شرایط تنش، محتوای پرولین و نشت الکترولیت مواد از غشای سلولی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز افزایش یافت. کاربرد عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید موجب کاهش اثر قطع آبیاری شد، به طوری که بیشترین میزان کلروفیل a (۱/۷۶۰ میلی گرم بر گرم)، کلروفیل b (۰/۹۸۹ میلی گرم بر گرم)، کاروتنوئید (۰/۲۹۱ میلی گرم بر گرم)، پروتئین (۱/۴۰ میلی گرم بر گرم) و محتوای نسبی آب برگ در محلول پاشی ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به دست آمد. اثرات قطع آبیاری در مکان گرمسیر قصر شیرین بیشتر بود و بیشترین تأثیر تنش خشکی در مرحله قطع آبیاری در ابتدای گلدهی مشاهده شد. به طور کلی این یافته‌ها نشان داد که محلول پاشی با عصاره جلبک دریایی و اسید هیومیک می‌تواند به عنوان یک راهبرد کارآمد و سازگار با محیط زیست برای کاهش اثرات نامطلوب قطع آبیاری بر گیاه کینوا استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل، کودهای زیستی، محتوای نسبی آب

#### مقدمه

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* (willd)، گیاهی است یک‌ساله و خودگشن ولی میزان دگرگشتی آن بسته به شرایط بین ۱۵-۱۰ درصد می‌باشد. حدود ۲۵۰ گونه از این تیره در سراسر جهان وجود دارد. این گیاه بومی آمریکای جنوبی و کوه‌های آند در کرانه غربی شیلی، پرو و بولیوی است، که هزاران سال پیش توسط ساکنین آن‌ها اهلی شده است و قدمتی ۵۰۰۰ ساله دارد (Navruz-Varli and Sanlier, 2016; Ali et al., 2020).

کمبود منابع آب مهم‌ترین تهدید در توسعه پایدار کشاورزی است و تخصیص منابع آب بیشتر به بخش کشاورزی در آینده دور از انتظار است و اعمال محدودیت‌های بیشتر در استفاده از منابع آب تجدیدپذیر برای تولید محصولات کشاورزی بسیار محتمل خواهد بود (Salehi and Dehghani, 2017). کینوا با شرایط اقلیمی متعددی مانند شرایط بیابانی گرم و اقلیم خشک، مناطقی با رطوبت نسبی ۴۰ تا ۸۸ درصد و دمای ۴- تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد سازگار است و دمای ایده‌آل رشد آن ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به دلیل تنوع ژنتیکی بالا و تطابق پذیری به اقلیم‌های مختلف و کارایی بالای استفاده از منابع آب، کینوا می‌تواند گیاه مناسبی برای استفاده از منابع آب محدود باشد (Iqbal et al.,

2019)، لذا افزایش روند کشت کینوا به عنوان یک گیاه مناسب برای رسیدن به اهداف و سیاست‌های کشاورزی پایدار، جهانی شده است (Fawy et al., 2017). تنش خشکی به عنوان یک تنش چندبعدی، باعث تولید گونه‌های اکسیژن واکنش گر، خسارت به غشای سلولی، بازدارندگی انتقال الکترون، تخریب ساختار کلروپلاست‌ها، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش پروتئین و در نهایت فتوسنتز می‌گردد (Hosseinzadeh et al., 2016; Raesi Sadati et al., 2021). اولین واکنش گیاهان به تنش خشکی تنظیم اسمزی و بستن روزنه‌ها می‌باشد که از این رو باعث حفظ رطوبت داخل بافت شده و همچنین به طور همزمان از آن برای جذب آب از محیط استفاده می‌کند که در نتیجه آن فعالیت‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی سلول‌ها حفظ می‌گردد (De Oliveira Maia Junior, 2020). از دیگر سازوکار دفاعی گیاهان سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی کارآمد می‌باشد که گیاهان تحت شرایط خشکی توانایی تغییر متابولیسم خود برای غلبه بر تغییرات شرایط محیطی را دارند (Elewa et al., 2017).

طی چند دهه گذشته به منظور بهبود تحمل گیاهان به تنش خشکی، به موازات راهبردهای سنتی به نژادی گیاهی و بیوتکنولوژی، چندین روش برای بهبود عملکرد گیاه در محیط‌های دارای کمبود آب پیشنهاد شده است.

غشا و کاهش نشت یونی می‌شود. همچنین مطالعات دیگر نشان داده‌اند که کاربرد عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش خشکی باعث تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه و کاهش پراکسیداسیون غشا نسبت به حالت بدون تنش می‌شود (Elansary et al., 2017). کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش بر پارامترهای رشدی گیاه پنبه تأثیر مثبت دارد و موجب تعدیل اثرات منفی تنش می‌گردد (Sardar et al., 2024).

با توجه به کمبود غذا، رژیم غذایی نامناسب و جمعیت رو به رشد ایران و کشورهای جهان سوم، توسعه کشت این محصول با ارزش ضروری است. همچنین با توجه به بروز خشک‌سالی‌های اخیر و تنش خشکی آخر فصل در مزارع ایران لازم است راهکاری برای مقابله با این عوامل ارائه گردد. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر محلول‌پاشی عصاره جلبک‌های دریایی و اسید هیومیک در کاهش اثرات نامطلوب قطع آبیاری بر برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه کینوا در دو مکان استان کرمانشاه با دو نوع آب و هوای متفاوت بود.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت اسپلینت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو مکان با اقلیم گرم (قصر شیرین) و اقلیم سرد (دالاهو) در استان کرمانشاه، در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمار آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در ابتدای گلدهی و نیز شروع دانه‌بندی) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی در پنج سطح شامل عصاره جلبک دریایی در دو سطح (۲/۵ گرم در لیتر و ۳/۵۷ گرم در لیتر)، هیومیک اسید در دو سطح (۳/۷۵ گرم در لیتر و ۵ گرم در لیتر) به همراه تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. اقلیم محل اجرای آزمایش در قصر شیرین از نوع گرم و خشک محسوب می‌شود. ارتفاع از سطح دریا ۳۳۳ متر، طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی

این تکنیک‌ها شامل تیمار بذر قبل از کاشت، تیمار برگی یا محلول‌پاشی با استفاده از ترکیبات محافظت‌کننده مانند هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی می‌باشد (Dawood et al., 2014). محلول‌پاشی یا تغذیه برگی روشی جهت کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک و در نتیجه کاهش خطرات محیطی از جمله کاهش آلودگی خاک و آب است. با این روش تغذیه می‌توان عناصر را در سریع‌ترین زمان ممکن در اختیار گیاه قرار داد (Raeesi Sadati et al., 2021). کاربرد جلبک‌ها (عصاره جلبک دریایی) به صورت محلول‌پاشی به شاخ و برگ باعث بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاهان و افزایش توانایی آن‌ها در تحمل به تنش خشکی می‌شود (El-Sayed et al., 2018). همچنین کاربرد مواد ضدپیری مانند عصاره جلبک دریایی می‌تواند به عنوان آنتی-اکسیدان عمل کند و اثرات ناشی از تنش را کاهش و عملکرد دانه را در سویا افزایش دهد (Arab et al., 2023).

مطالعات مختلف طی دهه‌های اخیر، به نقش مثبت عصاره جلبک دریایی و اسید هیومیک در کاهش اثرات مخرب تنش‌های غیر-زیستی مانند تنش آبی، شوری و دمای بالا اشاره کرده‌اند (El-Sayed et al., 2018). محققان دریافته‌اند که عصاره جلبک دریایی با داشتن مواد مغذی موجب تقویت رشد ریشه‌ها، افزایش سطح شاخ و برگ و محتوای کلروفیل می‌شود (Hernández et al., 2014).

مطالعات مختلف نشان دادند که مصرف عصاره جلبک دریایی موجب افزایش عملکرد گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی می‌شود و کاربرد اسید هیومیک موجب تعدیل و کم شدن اثر تنش خشکی در گندم می‌گردد (Yaghobnezhad et al., 2023; Ghanizadeh et al., 2024). طبق تحقیقات (Goñi et al., 2016) مصرف عصاره جلبک دریایی در *Ascophyllum nodosum* در گوجه‌فرنگی در شرایط تنش خشکی باعث افزایش کلروفیل کل و حفظ ثبات

آبیاری گیاهان در تیمار شاهد و تیمارهای قطع آبیاری تا قبل از اعمال قطع آبیاری، پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک انجام شد، به طوری که پس از فرارسیدن موعد آبیاری در هر یک از تیمارهای مورد آزمایش، با توجه به رطوبت موجود در خاک، مقدار آب مورد نیاز بر اساس رابطه ۱ و ۲ برآورد (Farshi et al., 2003) و سپس با کاربرد سیستم نواری مقدار آب محاسبه شده به طور یکنواخت وارد کرت‌های آزمایشی شد.

۱۰ روز پس از این که ارتفاع بوته به ۲۰ سانتی‌متر رسید، نمونه‌برداری از جوان‌ترین برگ برای سنجش صفات مورد مطالعه در قصر شیرین در تاریخ ۲۶ اردیبهشت و در دالاهو در تاریخ ۱۷ مرداد سال ۱۳۹۸ انجام شد. سپس نمونه‌ها به درون فلاسک نیتروژن مایع و آزمایشگاه منتقل شدند.

#### صفات مورد اندازه‌گیری

شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی از جمله محتوای نسبی آب برگ به روش (Ritchie and Nguyen, 1990)، تعیین غلظت کلروفیل  $a$ ، کلروفیل  $b$ ، نسبت کلروفیل  $a/b$  به روش (Arnon, 1967)، میزان قندهای محلول به روش (Irigoyen et al., 1992) و میزان نشت یونی غشا به روش (Korkmaz et al., 2010) اندازه‌گیری شدند. جهت سنجش میزان پرولین از روش (Bates et al., 1973) و استخراج عصاره پروتئینی به روش (Sudhakar et al., 2001) و نیز اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پراکسیداز و کاتالاز از روش (Kar and Mishra, 1976) و سوپراکسید دیسموتاز به روش (Giannopolitis and Ries, 1977) انجام گرفت.

#### تجزیه آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از این آزمایش، با کمک نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

می‌باشد. میانگین سردترین ماه سال بین ۵ تا ۵/۲ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در نوسان است. مزرعه آموزشی ایستگاه تحقیقاتی روستای بیوه نیج شهرستان دالاهو نیز در قسمت غربی استان کرمانشاه در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا در حدود ۱۵۳۰ متر می‌باشد. این مکان از نظر هواشناسی جزو مناطقی با زمستان سرد و تابستان خنک است. میانگین دمای سالیانه ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالیانه ۵۲۸ میلی‌متر است. مشخصات آب و هوای دو منطقه در ایستگاه‌های قصر شیرین و دالاهو در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ در جدول ۱ و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در محل‌های اجرای آزمایش در جدول شماره ۲ ارائه شده است. عملیات کاشت در قصر شیرین ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۷ و در مزرعه آموزشی شهرستان دالاهو ۱۷ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸ انجام گرفت. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول شش متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود و بوته‌ها با فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی خطوط کاشته شدند. پس از کاشت و استقرار بوته‌ها، عملیات داشت از قبیل مبارزه با علف‌های هرز (به صورت دستی) و آفات و بیماری‌ها در حد نیاز انجام شد. بذر کینوای مورد استفاده در این پژوهش واریته Titicaca (درصد خلوص بذر ۹۹ درصد و قوه نامیه ۹۵ درصد با وزن هزار دانه ۲/۶ گرم) بود، که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. این رقم سفید رنگ و زودرس بوده و محصول‌دهی حداکثر ۱۲۰ روزه دارد. همچنین دانه‌های درشت و با میزان ساپونین کمتری تولید می‌کند (Mohammadpour et al., 2021). عصاره جلبک دریایی از شرکت بن آسیا و اسید هیومیک از شرکت فن آوری معدنی گل‌سنگ کویر یزد تهیه گردید، که مشخصات آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. محلول‌پاشی اول در زمانی که ارتفاع بوته حدود ۲۰ سانتی‌متر بود و محلول‌پاشی دوم به فاصله ۱۰ روز بعد انجام شد.

**Table 1. Meteorological information (monthly average) related to total rainfall, minimum and maximum temperature in Qasr Shirin and Dalaho stations during the implementation of the experiment in 2017 and 2018.**

	Area	Year/Month	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Total rainfall (mm)	Qasr	2017	13.4	63	129.4	39.9	86.6	104	32.2	95.8	0	0	0	0
	Shirin	2018	26.7	13.1	54.4	28.4	31	44.6	154.1	14.1	0	0	0	0
	Dalaho	2017	20.8	114.06	236.8	80.4	135	94.2	98	9.6	0	0	0	0
		2018	21	37	94.6	49	46	150.2	193.2	34.4	0	0	0	0
Average monthly minimum temperature (C <sup>o</sup> )	Qasr	2017	22	13.37	9.7	5.3	6	6.5	14.8	17.5	24.3	26.6	26.5	25.1
	Shirin	2018	20.6	13.4	8.3	5.4	3.9	3.9	12	16.2	23.8	25.2	26.2	24.7
	Dalaho	2017	13.7	7.2	3.3	-0.6	-0.1	0.1	5.9	9.2	13.3	18	19.2	17.7
		2018	13.3	5.7	1.6	-0.6	-2	3.7	5.2	8.7	16.3	18.7	20.3	16.8
Average monthly maximum temperature (C <sup>o</sup> )	Qasr	2017	36	23.6	17.3	14	16	17.4	28	28.9	39.3	43.7	42.9	41.8
	Shirin	2018	36.4	26.1	18.9	16.9	15.6	14.5	22.1	30.3	41	42.5	43.6	41.4
	Dalaho	2017	27.5	16.2	10.7	8.3	9.2	10.1	19.9	20.1	28.7	36.1	37	43
		2018	28.7	17.9	11.4	9.4	8.1	14.3	14.6	21.9	31.6	35	36.4	33.4

**Table 2. Physico-chemical characteristics of the soil**

Measured trait	Unit	Qasr Shirin city	Dalaho city
Sand	%	54	7
Silt	%	36	48
Clay	%	10	45
Soil texture	-	Sandy- loam	Silty- clay
K	mg kg <sup>-1</sup>	196	460
P	mg kg <sup>-1</sup>	2	14.6
N	%	0.02	0.5
C	%	0.4	1.12
TNV	%	11	16.5
pH	-	7.82	7.4
EC	dS m <sup>-1</sup>	2.31	0.8
Zn	ppm	0.28	0.96
Fe	ppm	1.75	11.10
Mn	ppm	5.98	14.6

**Table 3. Humic acid and Seaweed extract characteristics in the test**

Humic acid		Seaweed extract	
Total N (%)	0.5	Total N (%)	7
Water-soluble potassium (K <sub>2</sub> O) (%)	15	P (%)	5
Soluble iron (%)	0.35	Water-soluble potassium (K <sub>2</sub> O) (%)	12
Humic acid (%)	45	Soluble iron (%)	0.5
Organic carbon (%)	32	Amino acid (%)	2.5
Organic matter (%)	50	Algae extract (%)	25
Humidity (%)	5	Alginate acid (%)	4
EC (dS m <sup>-1</sup> )	1.13	Organic matter (%)	20
pH	2.6		

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که اثر سه جانبه مکان × تیمار آبیاری × محلول پاشی برای صفات نشت یونی و رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کارتنوئید معنی دار بود، در حالی که محتوای نسبی آب و میزان پروتئین به طور معنی داری تحت تأثیر اثرات ساده مکان، تیمار آبیاری، محلول پاشی و اثر دو جانبه مکان × تیمار آبیاری قرار گرفت، اما اثر سه جانبه مکان × تیمار آبیاری × محلول پاشی معنی دار نبود. اثرات دو جانبه تیمار آبیاری × محلول پاشی، مکان × محلول پاشی برای پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد، اما برای محتوای نسبی آب معنی دار نبود.

### محتوای نسبی آب

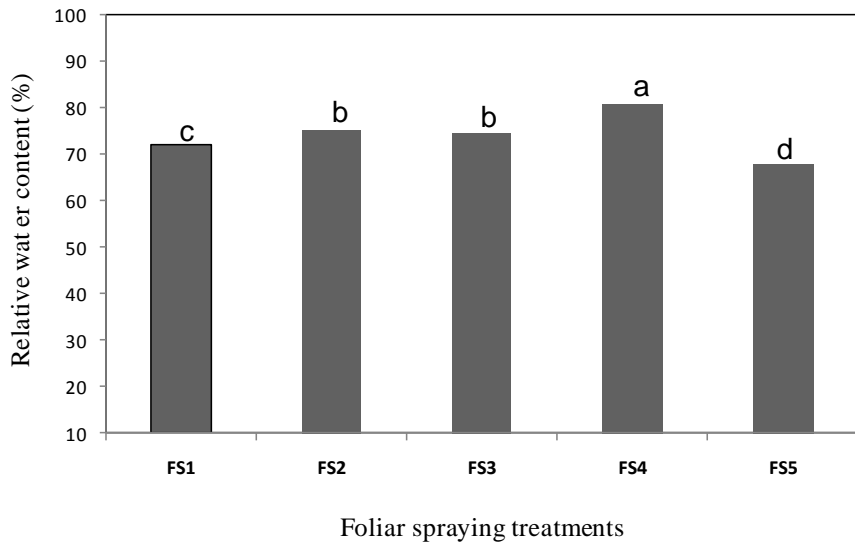
مقایسه میانگین اثر دو جانبه مکان × تیمار آبیاری (جدول ۵) نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب (۸۶/۱۱ درصد) در مکان قصر شیرین و تحت تیمار آبیاری کامل و کمترین مقدار (۶۶/۱۰ درصد) در مکان دالاهو و تیمار قطع آبیاری در زمان آغاز گل دهی به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که قطع آبیاری باعث کاهش محتوای نسبی آب شد. کاهش محتوای آب سلول تحت تنش خشکی در زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گزارش شده است (Kazemi et al., 2018). محلول پاشی عصاره جلبک دریایی باعث افزایش محتوای نسبی آب در کینوا گردید. بیشترین درصد محتوای نسبی آب با کاربرد ۳/۵۷ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به دست آمد (شکل ۱). عصاره تغییرات آب سلول جلوگیری کرده در نتیجه غشاهای سلول در اثر تنش کم آبی محافظت شده و کمتر آسیب می بیند (Whapham et al., 1993). تأثیر مثبت مصرف عصاره جلبک دریایی در شرایط تنش های محیطی در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است (Sridhar and Rengasamy, 2011; Jannin et al., 2013). کاربرد عصاره جلبک دریایی در کاهو، فلفل، کرفس، خربزه، مریم گلی و گوجه فرنگی نیز محتوای نسبی آب برگ را به طور

معنی داری افزایش داده است (Kumari et al., 2011; Xu and Leskovar, 2015).

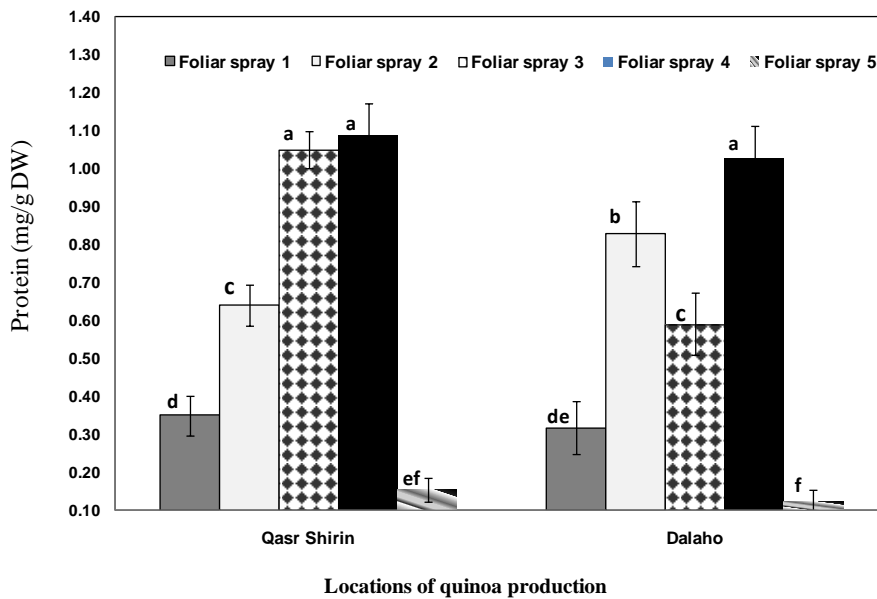
### غلظت پروتئین

مقایسه میانگین برهم کنش مکان × تیمار آبیاری (جدول ۵) نشان داد که در شرایط قطع آبیاری غلظت پروتئین کاهش یافت. بیشترین (۰/۸۵۵ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و کمترین مقدار پروتئین (۰/۴۱۹ میلی گرم بر گرم وزن خشک) به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در ابتدای گل دهی مربوط به مکان قصر شیرین بود. کاهش مقدار پروتئین در اثر تنش قطع آبیاری با نتایج به دست آمده در گیاه شوید توسط محققان دیگر هم خوانی دارد (Mohammadkhani and Heidari, 2008; Setayesh Mehrz and Ganjali, 2013). همچنین محققان گزارش کردند که تنش خشکی، بیان ژن های کدکننده پروتئازهای درون سلولی را القا کرده و سبب تجزیه پروتئین ها و تحرک مجدد نیتروژن و به دنبال آن سنتز مواد محلول سازگاری گردد (Feller, 2004). از این رو به نظر می رسد که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی با کاهش سنتز و افزایش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئین مرتبط باشد. در تحقیق حاضر، مصرف عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید موجب تعدیل اثر تنش قطع آبیاری و افزایش میزان پروتئین گردید (جدول ۶). همچنین بیشترین و کمترین غلظت پروتئین در مناطق قصر شیرین و دالاهو به ترتیب به مصرف ۳/۵۷ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی و بدون محلول پاشی کودهای زیستی (شرایط کنترل) تعلق داشت (شکل ۲). محققان افزایش میزان پروتئین در اثر مصرف ورمی کمپوست را گزارش کرده اند، که با یافته این پژوهش مطابقت دارد (Heidarpour et al., 2020). افزایش درصد پروتئین بر اثر کاربرد کودهای زیستی با تأثیر بر کارایی تنظیم کنندگی رشد و افزایش فعالیت فیزیولوژیک و متابولیسمی در گیاهان مرتبط دانسته شده است (RamRao et al., 2007).





**Figure 1.** Changes in relative water content of quinoa by foliar spray treatments under Qasr Shirin and Dalaho conditions. Means with similar letters using LSD test showed no significant difference at 5% probability level. \*FS 1: Humic acid (3.75 g l<sup>-1</sup>); FS 2: (5 g l<sup>-1</sup>); FS 3: Seaweed extract (2.5 g l<sup>-1</sup>); FS 4: Seaweed extract (3.75 g l<sup>-1</sup>); FS 5: control



**Figure 2.** Changes in protein content of quinoa (mg g<sup>-1</sup> DW) by foliar spray treatments under Qasr Shirin and Dalaho conditions. Means with similar letters using LSD test showed no significant difference at 5% probability level. \*FS 1: Humic acid (3.75 g l<sup>-1</sup>); FS 2: (5 g l<sup>-1</sup>); FS 3: Seaweed extract (2.5 g l<sup>-1</sup>); FS 4: Seaweed extract (3.75 g l<sup>-1</sup>); FS 5: control

**Table 4. Analyses of variance for physiological and biochemical traits of quinoa in two locations of Kermanshah province**

SOV	df	Means of squares					
		Chl a content	Chl b content	Carotenoids content	Electrolyte leakage	Relative water content	Protein content
Site (S)	1	0.030 <sup>ns</sup>	0.0005 <sup>ns</sup>	0.00007 <sup>ns</sup>	12.224*	63.365**	0.186**
r(S)	6	0.008 <sup>ns</sup>	0.0076**	0.00069 <sup>ns</sup>	12.894**	140.893**	0.052**
Irrigation (I)	2	1.206**	0.4597**	0.02191**	820.584**	2821.057**	1.145**
S×I	2	0.565**	0.0861**	0.01126**	13.572**	170.410**	0.108**
r×I×S	12	0.065*	0.0218**	0.00370**	11.487**	14.871 <sup>*/*</sup>	0.053**
Foliar spray (FS)	4	5.962**	1.9079**	0.16203**	897.533**	549.774**	3.367**
FS×I	8	0.056*	0.0158**	0.00161 <sup>ns</sup>	26.040**	2.689 <sup>ns</sup>	0.115**
FS×S	4	0.208**	0.0593**	0.00639**	12.734**	6.780 <sup>ns</sup>	0.330**
FS×I×S	8	0.059*	0.0252**	0.00226*	5.383*	1.725 <sup>ns</sup>	0.025 <sup>ns</sup>
Error	72	0.026	0.0023	0.00082	2.280	3.274	0.014
CV (%)	-	19.88	10.29	21.33	11.91	2.43	19.38

SOV	df	Carbohydrate content	CAT activity	POX activity	Proline content	SOD activity
		Site (S)	1	0.002 <sup>ns</sup>	0.279 <sup>ns</sup>	0.019 <sup>ns</sup>
r(S)	6	0.043*	0.166 <sup>ns</sup>	0.113 <sup>ns</sup>	0.0160 <sup>ns</sup>	0.022398*
Irrigation (I)	2	1.318**	3.612**	7.018**	0.4342**	1.537253**
S×I	2	0.004 <sup>ns</sup>	0.537**	0.934**	0.0393*	0.153370**
r×I×S	12	0.216**	0.137 <sup>ns</sup>	0.419**	0.0234*	0.075420**
Foliar spray (FS)	4	8.743**	14.730**	39.681**	1.7020**	7.888081**
FS×I	8	0.343**	0.167 <sup>ns</sup>	0.609**	0.0243 <sup>ns</sup>	0.117705**
FS×S	4	1.541**	1.429**	0.448**	0.0359*	0.085962**
FS×I×S	8	0.209**	0.187 <sup>ns</sup>	0.443**	0.0234 <sup>ns</sup>	0.079725**
Error	72	0.014	0.102	0.065	0.065	0.009032
CV (%)	-	11.98	23.76	12.50	12.50	10.16

ns, \* and \*\* are non-significant and significant respectively at 5% and 1% probability levels

**Table 5. Interaction of irrigation × locations on protein content and relative water content of quinoa**

Irrigation treatments	Protein content (mg g <sup>-1</sup> DW)		Relative water content (%)	
	Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho
Irrigation 1	0.85 <sup>a</sup> ±0.11	0.69 <sup>ab</sup> ±0.09	86.11 <sup>a</sup> ±1.00	80.30 <sup>b</sup> ±1.32
Irrigation 2	0.41 <sup>c</sup> ±0.06	0.45 <sup>bc</sup> ±0.08	67.05 <sup>d</sup> ±1.32	66.10 <sup>d</sup> ±1.50
Irrigation 3	0.69 <sup>ab</sup> ±0.08	0.58 <sup>bc</sup> ±0.09	71.65 <sup>c</sup> ±1.06	74.05 <sup>c</sup> ±1.19
LSD (0.05%)	0.24		3.12	

Irrigation treatments 1, 2, and 3 show full irrigation, irrigation cut-off at the beginning of flowering and irrigation cut-off at the beginning of seed growth, respectively.

**Table 6. Interaction of irrigation × foliar spraying on protein content of quinoa**

Foliar spraying treatments	Protein content (mg g <sup>-1</sup> DW)		
	Irrigation1	Irrigation2	Irrigation3
Foliar spray1	0.211 <sup>f</sup> ±0.007	0.063 <sup>f</sup> ±0.007	0.139 <sup>f</sup> ±0.053
Foliar spray2	0.756 <sup>cd</sup> ±0.005	0.630 <sup>cd</sup> ±0.118	0.816 <sup>c</sup> ±0.107
Foliar spray3	1.064 <sup>b</sup> ±0.125	0.584 <sup>de</sup> ±0.063	0.813 <sup>c</sup> ±0.089
Foliar spray4	1.400 <sup>a</sup> ±0.014	0.767 <sup>cd</sup> ±0.034	1.009 <sup>b</sup> ±0.047
Foliar spray5	0.438 <sup>e</sup> ±0.007	0.143 <sup>f</sup> ±0.029	0.416 <sup>e</sup> ±0.098
LSD (0.05%)	0.187		

Irrigation treatments 1, 2 and 3 show full irrigation, irrigation cut-off at the beginning of flowering and irrigation cut-off at the beginning of seed growth, respectively. \*FS 1: control FS 2: Humic acid (3.75 g l<sup>-1</sup>), FS 3: Humic acid (5 g l<sup>-1</sup>), FS 4: Seaweed extract (2.5g l<sup>-1</sup>), FS 5: Seaweed extract (3.75 g l<sup>-1</sup>)

## نشت یونی

کمترین میزان کلروفیل  $a$  (۰/۱۳ میلی گرم بر گرم) در تیمار شاهد با قطع آبیاری در ابتدای گل دهی مربوط به مکان قصر شیرین و کلروفیل  $b$  (۰/۰۸ میلی گرم بر گرم) و کمترین غلظت کارتنوئید (۰/۰۲ میلی گرم در گرم) به ترتیب تحت شرایط قطع آبیاری در ابتدای شروع دانه بندی و ابتدای گل-دهی و نیز بدون مصرف عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید در مکان دالاهو به دست آمد (جدول ۷). بیشترین میزان کلروفیل  $a$  (۱/۷۶ میلی گرم بر گرم) در شرایط بدون تنش و کاربرد ۳/۷۵ گرم در لیتر هیومیک اسید و کلروفیل  $b$  (۰/۹۹ میلی گرم بر گرم) و کارتنوئید (۰/۲۹ میلی گرم بر گرم) در تیمار محلول پاشی ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی و شرایط آبیاری کامل در مکان قصر شیرین به دست آمد. محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید موجب تعدیل اثر تنش کم آبی و افزایش میزان کلروفیل  $a$  و  $b$  به ویژه با مصرف عصاره جلبک دریایی نسبت به شاهد گردید (جدول ۷). تأثیر تنش خشکی و گرما بر کاهش میزان کلروفیل  $a$  و کارتنوئید توسط محققان مختلف گزارش شده است (Ghalambaz *et al.*, 2024; Sheikh Mamo *et al.*, 2023; Esmailpour *et al.*, 2020; Heidarpour *et al.*, 2020)، که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش می تواند به علت افزایش میزان هورمون هایی مانند اتیلن و آبسزیک اسید باشد که در نتیجه فعالیت آنزیم کلروفیلاز افزایش یافته و به دلیل هیدرولیز کلروپلاست و پروتئین های تیلاکوئیدی محتوای کلروفیل کل و نسبت کلروفیل ها کاهش یافته باشد (Aghlmand *et al.*, 2018). کاربرد عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید باعث جلوگیری از کاهش کلروفیل  $a$  و کارتنوئید در اثر قطع آبیاری شد، به طوری که روند افزایشی در تمام تیمارهای آبیاری با محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید در دو مکان مورد مطالعه مشاهده شد. عصاره جلبک دریایی دارای عناصر ریزمغذی از جمله آهن، روی، مس، کبالت و هورمون های رشد نظیر اکسین و سیتوکینین و نیز نیتروژن، اسیدهای آمینه و ویتامین ها می باشد که باعث

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش کم آبی باعث افزایش میزان نشت یونی گردید، به طوری که بیشترین میزان نشت یونی (۲۶ درصد) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای گل دهی و بدون محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید، در مکان گرمسیری قصر شیرین به دست آمد. کمترین مقدار نشت یونی (۲/۱ درصد) در تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۳/۵۷ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی در مکان سرد دالاهو ملاحظه شد (جدول ۷). محققان افزایش نشت یونی بر اثر تنش خشکی و شوری را در سایر گیاهان نیز گزارش کردند (Hnilickova *et al.*, 2019; Altinci and Cangi, 2019)، به طوری که افزایش تنش خشکی منجر به اختلال در غشای سلولی و غیر فعال سازی پمپ های یونی در غشای سلول می شود و در نتیجه سرعت نشت الکترولیت افزایش می یابد. کاربرد عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید باعث کاهش چشم گیر نشت یونی در گیاه کینوا شد، به طوری که کمترین میزان نشت یونی در تیمار آبیاری کامل و مصرف ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی در مکان دالاهو به دست آمد (جدول ۷). نتایج تحقیق حاضر در رابطه با افزایش نشت یونی تحت تنش و کاهش میزان نشت یونی در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی همسو با یافته های (Esmailpour *et al.*, 2020) و Heidarpour *et al.*, (2020) در گیاه مرزه و Esmailpour در گیاه ریحان بود. تقویت سیستم آنتی-اکسیدانی گیاه و کاهش پراکسیداسیون غشا در اثر مصرف عصاره جلبک دریایی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Elansary *et al.*, 2017; Esmailpour *et al.*, 2020). همچنین در تحقیقی دیگر (Beigzadeh *et al.*, 2020) دریافتند که نشت یونی در شرایط تنش با مصرف عصاره جلبک دریایی در لوبیا سفید کاهش می یابد.

## محتوای رنگیزه های فتوسنتزی

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که قطع آبیاری باعث کاهش محتوای کلروفیل  $a$ ، کلروفیل  $b$  و کارتنوئید گردید.

شرایط تنش خشکی و دماهای بالا در سایر مطالعات نیز گزارش شده است ( Sheikh Mamo *et al.*, 2023; Akbari *et al.*, 2016).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) اثر سه‌جانبه مکان × محلول‌پاشی × تیمار آبیاری برای محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برای محتوای پرولین نتایج نشان داد که برهم‌کنش مکان × تیمار آبیاری و مکان × محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش آبیاری × محلول‌پاشی غیر معنی‌دار بود، در حالی که برای فعالیت آنزیم کاتالاز اثرات دو جانبه مکان × تیمار آبیاری، محلول‌پاشی × تیمار آبیاری و مکان × محلول‌پاشی معنی‌دار بود (جدول ۴).

تحمل در برابر تنش خشکی، شوری و دما می‌شود (Haghparast and Farahani, 2020). اثر مثبت جلبک دریایی و اسید هیومیک در افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل *a*، *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است (Shahbazi *et al.*, 2015; Mafakheri, 2017).

در سایر مطالعات اثر مصرف عصاره جلبک دریایی بر افزایش میزان کلروفیل در گیاه ریحان (Esmailpour *et al.*, 2020)، شنبلیله (Mafakheri *et al.*, 2017) و سویا (Aminifard and Khandan, 2018) تحت شرایط تنش نیز گزارش شده است که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد. همچنین کاهش میزان کاروتنوئید در شرایط تنش می‌تواند به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زانتین در چرخه زانتوفیل باشد (Kabiri *et al.*, 2014). کاهش محتوای کاروتنوئید در

**Table 7. Mean comparisons for chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, electrolyte leakage and relative water content traits related to irrigation and foliar spraying treatments under Qasr Shirin and Dalaho conditions**

FS	I	Chl a content (mg.g <sup>-1</sup> )		Chl b content (mg.g <sup>-1</sup> )		Carotenoid content (mg.g <sup>-1</sup> )		Electrolyte leakage (%)	
		Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho
FS1	I1	0.310 <sup>kl</sup> ±0.006	0.345 <sup>h1</sup> ±0.066	0.209 <sup>gh</sup> ±0.028	0.178 <sup>hi</sup> ±0.003	0.049 <sup>k-n</sup> ±0.001	0.047 <sup>k-n</sup> ±0.001	13.17 <sup>g-i</sup> ±1.09	13.13 <sup>g-i</sup> ±1.30
FS2	I1	0.581 <sup>ij</sup> ±0.006	0.657 <sup>hi</sup> ±0.081	0.334 <sup>f</sup> ±0.003	0.329 <sup>f</sup> ±0.003	0.094 <sup>h-k</sup> ±0.001	0.093 <sup>i-k</sup> ±0.001	10.16 <sup>ik</sup> ±0.70	9.98 <sup>j-l</sup> ±1.69
FS3	I1	0.954 <sup>fg</sup> ±0.006	1.038 <sup>d-g</sup> ±0.085	0.541 <sup>de</sup> ±0.003	0.542 <sup>de</sup> ±0.002	0.156 <sup>e-g</sup> ±0.001	0.156 <sup>e-g</sup> ±0.001	7.57 <sup>k-m</sup> ±0.83	7.34 <sup>l-n</sup> ±1.18
FS4	I1	1.712 <sup>a</sup> ±0.006	1.116 <sup>e-f</sup> ±0.091	0.962 <sup>a</sup> ±0.003	0.536 <sup>de</sup> ±0.003	0.283 <sup>a</sup> ±0.001	0.155 <sup>e-g</sup> ±0.001	6.46 <sup>mn</sup> ±0.99	4.87 <sup>n-p</sup> ±0.88
FS5	I1	1.760 <sup>a</sup> ±0.006	1.738 <sup>a</sup> ±0.016	0.989 <sup>a</sup> ±0.003	0.957 <sup>a</sup> ±0.003	0.291 <sup>a</sup> ±0.001	0.281 <sup>a</sup> ±0.001	2.45 <sup>pq</sup> ±0.44	2.14 <sup>q</sup> ±0.42
FS1	I2	0.138 <sup>l</sup> ±0.013	0.188 <sup>l</sup> ±0.049	0.107 <sup>i</sup> ±0.027	0.126 <sup>hi</sup> ±0.054	0.017 <sup>mn</sup> ±0.001	0.016 <sup>n</sup> ±0.001	26.02 <sup>a</sup> ±0.63	24.92 <sup>a</sup> ±0.63
FS2	I2	0.191 <sup>l</sup> ±0.002	0.455 <sup>h-k</sup> ±0.087	0.298 <sup>fg</sup> ±0.079	0.376 <sup>f</sup> ±0.093	0.054 <sup>k-n</sup> ±0.014	0.066 <sup>j-m</sup> ±0.013	20.02 <sup>c-e</sup> ±0.31	21.85 <sup>bc</sup> ±0.89
FS3	I2	0.517 <sup>ijk</sup> ±0.006	1.022 <sup>d-g</sup> ±0.113	0.486 <sup>e</sup> ±0.075	0.491 <sup>de</sup> ±0.003	0.113 <sup>g-j</sup> ±0.016	0.163 <sup>def</sup> ±0.045	17.35 <sup>ef</sup> ±0.20	18.22 <sup>d-f</sup> ±1.41
FS4	I2	0.908 <sup>fg</sup> ±0.013	1.017 <sup>e-g</sup> ±0.174	0.667 <sup>bc</sup> ±0.051	0.712 <sup>b</sup> ±0.003	0.149 <sup>e-g</sup> ±0.002	0.176 <sup>cde</sup> ±0.017	11.47 <sup>ij</sup> ±1.05	14.37 <sup>gh</sup> ±1.19
FS5	I2	0.951 <sup>fg</sup> ±0.016	1.551 <sup>ab</sup> ±0.204	0.694 <sup>b</sup> ±0.051	0.984 <sup>a</sup> ±0.003	0.156 <sup>e-g</sup> ±0.003	0.250 <sup>ab</sup> ±0.022	3.61 <sup>o-q</sup> ±0.69	8.37 <sup>k-m</sup> ±1.55
FS1	I3	0.131 <sup>l</sup> ±0.003	0.147 <sup>l</sup> ±0.005	0.085 <sup>i</sup> ±0.002	0.083 <sup>i</sup> ±0.003	0.036 <sup>l-n</sup> ±0.001	0.035 <sup>l-n</sup> ±0.015	23.70 <sup>ab</sup> ±0.97	20.22 <sup>cd</sup> ±1.15
FS2	I3	0.500 <sup>h-k</sup> ±0.006	0.313 <sup>kl</sup> ±0.076	0.159 <sup>hi</sup> ±0.042	0.112 <sup>hi</sup> ±0.001	0.071 <sup>j-l</sup> ±0.001	0.056 <sup>k-n</sup> ±0.029	17.45 <sup>ef</sup> ±0.16	17.30 <sup>f</sup> ±0.60
FS3	I3	0.873 <sup>f-h</sup> ±0.006	0.854 <sup>gh</sup> ±0.311	0.347 <sup>f</sup> ±0.048	0.293 <sup>fg</sup> ±0.003	0.125 <sup>f-l</sup> ±0.001	0.142 <sup>e-h</sup> ±0.036	13.70 <sup>g-i</sup> ±0.84	14.57 <sup>g</sup> ±1.08
FS4	I3	1.271 <sup>cd</sup> ±0.006	0.924 <sup>fg</sup> ±0.013	0.565 <sup>de</sup> ±0.050	0.514 <sup>de</sup> ±0.003	0.209 <sup>b-d</sup> ±0.001	0.146 <sup>e-g</sup> ±0.026	9.36 <sup>j-l</sup> ±0.92	11.83 <sup>h-j</sup> ±1.77
FS5	I3	1.319 <sup>bc</sup> ±0.006	1.233 <sup>c-e</sup> ±0.082	0.589 <sup>cd</sup> ±0.051	0.739 <sup>b</sup> ±0.003	0.217 <sup>bc</sup> ±0.001	0.217 <sup>bc</sup> ±0.029	2.77 <sup>pq</sup> ±0.27	5.71 <sup>m-o</sup> ±1.88
(LSD (0.05%		0.249		0.098		0.048		2.68	

Irrigation treatments (I) 1, 2 and 3 show full irrigation, irrigation cut-off at the beginning of flowering and irrigation cut-off at the beginning of seed growth, respectively. \*FS 1: control FS 2: Humic acid (3.75 g l<sup>-1</sup>), FS 3: Humic acid (5 g l<sup>-1</sup>), FS 4: Seaweed extract (2.5g l<sup>-1</sup>), FS 5: Seaweed extract (3.75 g l<sup>-1</sup>)

## محتوای پرولین

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان پرولین افزایش یافت، به طوری که بیشترین مقدار پرولین (۰/۶۰۸ مول بر گرم وزن تر) در شرایط قطع آبیاری ابتدای گل دهی و کمترین مقدار (۰/۳۵۶ مول بر گرم وزن تر) تحت آبیاری کامل در قصر شیرین به دست آمد (جدول ۸). هنگامی که گیاه در معرض تنش قرار می گیرد، غلظت اسمولیت ها را افزایش می دهد و با تنظیم اسمزی جذب آب در شرایط تنش را ادامه می دهد. بین اسمولیت های آلی، پرولین احتمالاً فراوان ترین و عمومی ترین ماده حل شده سازگار است که تجمع می یابد (Sabouri et al., 2017). افزایش پرولین در اثر تنش خشکی در سویا و گندم نیز گزارش شده است (Kamrava et al., 2017; Sadati et al., 2022). کاربرد عصاره جلبکی و هیومیک اسید باعث افزایش میزان پرولین شد، به طوری که بیشترین مقدار پرولین (۰/۸۵۴ مول بر گرم وزن تر) با مصرف ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی و کمترین مقدار (۰/۲۰۵ مول بر گرم وزن تر) بدون مصرف عصاره جلبکی و هیومیک اسید در مکان دالاهو مشاهده شد (جدول ۸). تأثیر محلول پاشی با هیومیک اسید و عصاره جلبکی در افزایش میزان پرولین در گیاه مرزه و خرفه نیز گزارش گردیده است (Hosseinian et al., 2019; Bamshad et al., 2022)، که مطابق با نتایج این تحقیق است.

## فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان

مقایسه میانگین برهم کنش مکان × تیمار آبیاری نشان داد که در شرایط قطع آبیاری فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت، به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۱/۷۰۷ میکرومول در دقیقه در میلی گرم) تحت تیمار قطع آبیاری در آغاز گل دهی و کمترین مقدار آن هنگام آبیاری کامل به مکان قصر شیرین اختصاص داشت (جدول ۸). بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۲/۳۴۶ میکرومول در دقیقه در میلی گرم) در مکان قصر شیرین، با مصرف ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی و کمترین فعالیت این آنزیم (۰/۷۴۹ میکرومول در دقیقه در میلی گرم) در مکان دالاهو بدون مصرف عصاره

جلبک دریایی و هیومیک اسید به دست آمد (جدول ۸). همچنین مقایسه میانگین اثر دو جنبه تیمار آبیاری × محلول پاشی نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۲/۵۸۷ میکرومول در دقیقه در میلی گرم) در تیمار قطع آبیاری در مرحله شروع دانه بندی و مصرف ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی و کمترین مقدار این آنزیم در مرحله آبیاری کامل و بدون مصرف عصاره جلبک دریایی و هیومیک اسید ملاحظه شد (جدول ۹). کاربرد هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی در تحقیق حاضر باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش خشکی شد، که همسو با یافته ها (et al., 2013) و Taghaddosi در سورگوم علفه ای و (et al., 2020) Beigzadeh در گیاه لوبیا سفید (*Phaseolus lanatus* L.) بود. در شرایط قطع آبیاری فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت، به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۴/۰۶ میکرومول در دقیقه در میلی گرم) در مکان قصر شیرین و بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۱/۹۶ میکرومول در دقیقه در میلی گرم) در مکان دالاهو، با قطع آبیاری در ابتدای گل دهی و ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به دست آمد و کمترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۲۸ میکرومول در دقیقه در میلی گرم) و سوپراکسید دیسموتاز با آبیاری کامل و بدون مصرف عصاره جلبکی و اسید هیومیک در مکان دالاهو به دست آمد (جدول ۱۰). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو، دارای سیستم دفاعی کارآمدی هستند. معمولاً در شرایط کمبود آب، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان از جمله آنزیم های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز به ویژه جهت کنترل تولید رادیکال های آزاد مانند پراکسید هیدروژن افزایش می یابند (Naliwajski and Skłodowska, 2021). افزایش فعالیت پراکسیداز در اثر تنش خشکی و دماهای بالا در سایر گیاهان زراعی نیز گزارش شده است (Sheikh Mamo et al., 2023; Sadati et al., 2022)، که با نتایج به دست آمده از این تحقیق مطابقت دارد. همچنین (Beigzadeh et al., 2020) در لوبیا سفید افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را در اثر مصرف جلبک دریایی گزارش کردند، که با یافته های تحقیق حاضر در رابطه با

مصرف عصاره جلبک دریایی باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول در گیاه ماش و گندم می‌شود (Paul and Yuvaraj, 2014; Seyyed Nejad and Gilani, 2015). افزایش میزان قندها در شرایط تنش از راهکارهای گیاه در جهت ایجاد تعدیل اسمزی و مقابله با اثرات تنش می‌باشد و انرژی لازم برای سنتز قندها از رشد بیشتر گیاه و ارسال قندها به مراکز رشد جلوگیری کرده و گیاهان با افزایش میزان قند، میزان آب درون سلولی را کاهش داده و مولکول‌های آب را به حالت پیوندی در می‌آورند. مواد تعدیل‌کننده تنش از قبیل هیومیک اسید و عصاره جلبک دریایی نیز با افزایش میزان قندها توان دفاعی گیاه را در مقابل از دست دادن آب و خشکیدگی افزایش می‌دهند و اثرات این تیمارها در افزایش قندها در سطوح بالای تنش مشهودتر است.

مصرف عصاره جلبکی و هیومیک اسید که موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد مطابقت داشت.

### محتوای قندهای محلول

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۱۰) نشان داد که قطع آبیاری باعث افزایش میزان قندهای محلول شد، به طوری که بیشترین مقدار آن (۲/۲۰ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) تحت تیمار آبیاری کامل و مصرف ۵ گرم در لیتر هیومیک اسید و کمترین میزان کربوهیدرات (۰/۱۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) تحت تیمار آبیاری کامل و بدون مصرف عصاره جلبک و هیومیک اسید مکان دالاهو به دست آمد. یافته‌های این تحقیق با نتایج مطالعات انجام گرفته در گیاه رازیانه همخوانی داشت (Rezaei Chyanh *et al.*, 2012). محققان بیان کردند که

**Table 8. Intraction of irrigation × locations and foliar spraying × locations on catalase activity and prolin content of quinoa**

Irrigation treatments	Catalase activity (U min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> )		Prolin content (mol g <sup>-1</sup> FW)	
	Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho
Irrigation 1	0.974 <sup>c</sup> ± 0.151	1.029 <sup>bc</sup> ± 0.209	0.356 <sup>c</sup> ± 0.049	0.388 <sup>bc</sup> ± 0.068
Irrigation 2	1.707 <sup>a</sup> ± 0.218	1.344 <sup>a-c</sup> ± 0.155	0.608 <sup>a</sup> ± 0.073	0.533 <sup>ab</sup> ± 0.057
Irrigation 3	1.509 <sup>ab</sup> ± 0.173	1.528 <sup>ab</sup> ± 0.190	0.508 <sup>a-c</sup> ± 0.055	0.543 <sup>ab</sup> ± 0.062
LSD (0.05%)	0.521		0.173	
Foliar spraying treatments	Catalase activity (U min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> )		Prolin content (mol g <sup>-1</sup> FW)	
	Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho
Foliar spray1	0.765 <sup>d</sup> ± 0.106	0.749 <sup>d</sup> ± 0.132	0.294 <sup>d</sup> ± 0.033	0.299 <sup>d</sup> ± 0.042
Foliar spray2	1.352 <sup>c</sup> ± 0.111	1.886 <sup>b</sup> ± 0.190	0.471 <sup>c</sup> ± 0.036	0.480 <sup>bc</sup> ± 0.043
Foliar spray3	2.146 <sup>ab</sup> ± 0.156	1.310 <sup>c</sup> ± 0.089	0.737 <sup>a</sup> ± 0.052	0.603 <sup>b</sup> ± 0.033
Foliar spray4	2.346 <sup>a</sup> ± 0.128	2.235 <sup>ab</sup> ± 0.165	0.804 <sup>a</sup> ± 0.043	0.854 <sup>a</sup> ± 0.047
Foliar spray5	0.375 <sup>e</sup> ± 0.061	0.321 <sup>e</sup> ± 0.061	0.147 <sup>e</sup> ± 0.020	0.205 <sup>de</sup> ± 0.073
LSD (0.05%)	0.353		0.123	

Irrigation treatments (I) 1, 2 and 3 show full irrigation, irrigation cut-off at the beginning of flowering and irrigation cut-off at the beginning of seed growth, respectively. Foliar spray (FS)\*FS 1: control FS 2: Humic acid (3.75 g l<sup>-1</sup>), FS 3: Humic acid (5 g l<sup>-1</sup>), FS 4: Seaweed extract (2.5g l<sup>-1</sup>), FS 5: Seaweed extract (3.75 g l<sup>-1</sup>)

**Table 9. Intraction of irrigation × foliar spraying on catalase activity of quinoa**

Foliar spraying treatments	Catalase activity (U min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> )		
	Irrigation1	Irrigation2	Irrigation3
Foliar spray1	0.297 <sup>g</sup> ± 0.100	1.042 <sup>ef</sup> ± 0.161	0.931 <sup>f</sup> ± 0.111
Foliar spray2	1.374 <sup>de</sup> ± 0.265	1.750 <sup>cd</sup> ± 0.186	1.732 <sup>cd</sup> ± 0.141
Foliar spray3	1.255 <sup>ef</sup> ± 0.155	2.042 <sup>bc</sup> ± 0.249	1.887 <sup>c</sup> ± 0.150
Foliar spray4	1.871 <sup>c</sup> ± 0.287	2.410 <sup>bc</sup> ± 0.367	2.587 <sup>a</sup> ± 0.110
Foliar spray5	0.210 <sup>g</sup> ± 0.022	0.381 <sup>g</sup> ± 0.153	0.454 <sup>g</sup> ± 0.090
LSD (0.05 %)	0.415		

Irrigation treatments (I) 1, 2 and 3 show full irrigation, irrigation cut-off at the beginning of flowering and irrigation cut-off at the beginning of seed growth, respectively. Foliar spray (FS)\*FS 1: control FS 2: Humic acid (3.75 g l<sup>-1</sup>), FS 3: Humic acid (5 g l<sup>-1</sup>), FS 4: Seaweed extract (2.5g l<sup>-1</sup>), FS 5: Seaweed extract (3.75 g l<sup>-1</sup>)

**Table 10. The mean values of carbohydrate, peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD) related to irrigation and foliar spraying treatments under Qasr Shirin and Dalaho conditions**

Foliar spraying treatments	Irrigation treatments	Carbohydrate content (mg.g <sup>-1</sup> FW)		POX activity (U min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> )		SOD activity (U min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> )	
		Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho	Qasr Shirin	Dalaho
FS1	I 1	0.254 <sup>n-p</sup> ±0.117	0.119 <sup>p</sup> ±0.004	0.315 <sup>i</sup> ±0.008	0.279 <sup>i</sup> ±0.008	0.162 <sup>k</sup> ±0.003	0.158 <sup>k</sup> ±0.003
FS2		0.420 <sup>l-o</sup> ±0.221	0.187 <sup>op</sup> ±0.002	0.447 <sup>i</sup> ±0.004	0.411 <sup>i</sup> ±0.004	0.220 <sup>jk</sup> ±0.002	0.216 <sup>jk</sup> ±0.002
FS3		0.822 <sup>h-j</sup> ±0.210	2.196 <sup>a</sup> ±0.005	1.261 <sup>h</sup> ±0.014	1.225 <sup>h</sup> ±0.014	0.582 <sup>i</sup> ±0.006	0.578 <sup>i</sup> ±0.006
FS4		1.239 <sup>e-g</sup> ±0.118	0.603 <sup>j-m</sup> ±0.007	2.256 <sup>g</sup> ±0.014	2.220 <sup>g</sup> ±0.014	1.024 <sup>h</sup> ±0.006	1.020 <sup>h</sup> ±0.006
FS5		1.474 <sup>c-e</sup> ±0.060	1.111 <sup>gh</sup> ±0.007	2.827 <sup>ef</sup> ±0.014	2.344 <sup>a</sup> ±0.010	1.278 <sup>fg</sup> ±0.006	1.961 <sup>a</sup> ±0.006
FS1	I 2	0.175 <sup>op</sup> ±0.064	0.218 <sup>op</sup> ±0.125	0.748 <sup>i</sup> ±0.200	0.597 <sup>i</sup> ±0.236	0.354 <sup>j</sup> ±0.089	0.350 <sup>j</sup> ±0.089
FS2		0.521 <sup>k-n</sup> ±0.110	0.781 <sup>i-k</sup> ±0.209	1.555 <sup>h</sup> ±0.213	1.637 <sup>h</sup> ±0.396	0.763 <sup>i</sup> ±0.096	0.759 <sup>i</sup> ±0.096
FS3		0.984 <sup>g-i</sup> ±0.123	1.409 <sup>d-f</sup> ±0.011	2.433 <sup>fg</sup> ±0.162	2.167 <sup>g</sup> ±0.060	1.103 <sup>gh</sup> ±0.073	1.094 <sup>gh</sup> ±0.068
FS4		1.607 <sup>cd</sup> ±0.210	1.058 <sup>g-i</sup> ±0.007	3.582 <sup>cd</sup> ±0.272	2.912 <sup>e</sup> ±0.117	1.738 <sup>bc</sup> ±0.119	1.377 <sup>ef</sup> ±0.055
FS5		1.727 <sup>bc</sup> ±0.171	1.567 <sup>cd</sup> ±0.007	4.064 <sup>ab</sup> ±0.275	3.386 <sup>cd</sup> ±0.284	1.842 <sup>ab</sup> ±0.127	1.661 <sup>bcd</sup> ±0.142
FS1	I 3	0.288 <sup>n-p</sup> ±0.060	0.338 <sup>m-p</sup> ±0.007	0.504 <sup>i</sup> ±0.139	0.583 <sup>i</sup> ±0.117	0.246 <sup>jk</sup> ±0.061	0.242 <sup>jk</sup> ±0.061
FS2		0.674 <sup>ijkl</sup> ±0.022	0.686 <sup>ijkl</sup> ±0.007	1.434 <sup>h</sup> ±0.150	1.449 <sup>h</sup> ±0.130	0.609 <sup>i</sup> ±0.026	0.605 <sup>i</sup> ±0.026
FS3		1.150 <sup>fg</sup> ±0.022	1.629 <sup>cd</sup> ±0.007	2.253 <sup>g</sup> ±0.061	2.268 <sup>g</sup> ±0.043	1.023 <sup>h</sup> ±0.026	1.019 <sup>h</sup> ±0.026
FS4		1.944 <sup>ab</sup> ±0.131	1.162 <sup>fg</sup> ±0.007	3.585 <sup>cd</sup> ±0.268	3.122 <sup>de</sup> ±0.102	1.491 <sup>de</sup> ±0.067	1.372 <sup>ef</sup> ±0.056
FS5		2.050 <sup>a</sup> ±0.133	2.130 <sup>a</sup> ±0.007	3.544 <sup>cd</sup> ±0.270	3.825 <sup>bc</sup> ±0.249	1.583 <sup>cd</sup> ±0.105	1.611 <sup>cd</sup> ±0.118
LSD (0.05%)		0.288		0.470		0.188	

Irrigation treatments (I) 1, 2 and 3 show full irrigation, irrigation cut-off at the beginning of flowering and irrigation cut-off at the beginning of seed growth, respectively. Foliar spray (FS)\* FS 1: control FS 2: Humic acid (3.75 g l<sup>-1</sup>), FS 3: Humic acid (5 g l<sup>-1</sup>), FS 4: Seaweed extract (2.5g l<sup>-1</sup>), FS 5: Seaweed extract (3.75 g l<sup>-1</sup>).

هیومیک و ۳/۷۵ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به- دست آمد. علاوه بر این، با محلول پاشی عصاره جلبک دریایی آثار منفی تنش خشکی نسبت به هیومیک اسید بیشتر کاهش نشان داد. لازم به ذکر است که اثرات این دو ماده در تعدیل تنش خشکی در گیاهانی که ابتدای دوره گل دهی با قطع آبیاری مواجه بودند به مراتب بیشتر بود. به طور کلی راندمان تولید کینوا در منطقه معتدل دالاهو به مراتب بهتر از منطقه قصر شیرین بود.

### سپاس‌گزاری

از کلیه اشخاص حقیقی و حقوقی که در انجام این تحقیق مساعدت نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

به طور کلی از نتایج این تحقیق چنین استنباط شد که تنش خشکی با کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب و افزایش نشت غشا موجب افزایش تنش اکسیداتیو گردید. اثرات تنش خشکی در منطقه گرمسیر قصر شیرین بیشتر بود و بیشترین تأثیر تنش خشکی در مرحله قطع آبیاری و ابتدای گل دهی مشاهده شد. همچنین کاربرد اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی، با کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، بهبود محتوای نسبی آب، جلوگیری از نشت غشا و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز)، باعث کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه کینوا گردید، به-طوری که بهترین تیمار با مصرف ۳/۷۵ گرم در لیتر اسید

## References

- Aghlmand, S., Esmailpour, B., Jalilvand, P., Hiedari, H.R., & Tavakoli-hassankelo, N. (2018). Effect of salicylic acid and paclobutrazol on growth and physiological traits of basil under water deficit stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 6(19): 35-46. [In Persian]
- Akbari, S.H., Kafi, M., & Rezvan Bidokhti, S.H. (2016). Effects of drought and plant density on some biochemical and physiological characteristics of two ecotypes of garlic (*Allium sativum* L.). *Iranian Agricultural Research*, 14(4): 1-12. [In Persian]
- Ali, S., Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Iqbal, B., & Amin, M. Z. (2020). Growth, biomass production, and yield potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by planting techniques under irrigated conditions. *International Journal of Plant Production*, 14: 427-441.
- Altinci, N.T., & Cangi, R. (2019). Drought tolerance of some wine grape cultivars under in vitro conditions. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 36(2): 145-152.
- Aminifard, M.H., & Khandan, S. (2018). Investigation of the effect of different concentrations of Seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on growth, yield and biochemical characteristics of Bitter Pumpkin (*Momordica charantia* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 13(52): 56-66. [In Persian]
- Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M., Gholami, A., & Haydari, M. (2023). Investigating the phenological stages and soybean yield under the influence of seaweed extract and initial seed quality. *Plant Productions*, 45(4): 533-548. [In Persian]
- Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1): 112-121.
- Bamshad, R., Sirousmehr, A.R., Mahmoodi, A., & Heydarisadegh, N. (2022). Effect of spraying various levels of humic acid on some morphophysiological and biochemical properties of purslane (*Portulaca oleracea*) affected by drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(3): 669-680.
- Bates, L. S., Waldren, R.P.A., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Beigzadeh, S., Maleki, A., Mirzaee Heydari, M., Rangin, A., & Khorgami, A. (2020). Effects of salicylic acid and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extracts application on some physiological traits of white bean (*Phaseolus lanatus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 53(14): 21-44.
- Dawood, M. G., Mervat, S., & Sadak, h. (2014). Physiological role of glycinebetaine in alleviating the deleterious effects of drought stress on canola plants (*Brassica napus* L.). *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(3): 638-644.
- De Oliveira Maia Júnior, S., de Andrade, J.R., dos Santos, C.M., Silva, A.L.J., Endres, L., Silva, J.V. & dos Santos Silva, L.K. (2020). Osmoregulators accumulation minimizes the effects of drought stress in sugarcane and contributes to the recovery of photochemical efficiency in photosystem II after rewatering. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(4): 1-11.
- Elansary, H.O., Yessoufou, K., Abdel-Hamid, A.M., El-Esawi, M.A., Ali, H.M., & Elshikh, M.S. (2017). Seaweed extracts enhance Salam turfgrass performance during prolonged irrigation intervals and saline shock. *Frontiers in Plant Science*, 8(830): 1-14.
- Elewa, T.A., Sadak, M.S., & Dawood, M.G. (2017). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agri-food and Biomass Supply Chains*, 33: 245-254.
- El-Sayed, A.B., Shehata, S.A., Taha, S.S., Hamouda, H.A., Abdelgawad, K.F., & Youssef, D.M. (2018). Algae extract overcoming the adverse effects of saline stress in hydroponic grown tomato plants. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 16(2): 92-99.
- Esmailpour, B., Fatemi, H., & Moradi, M. (2020). Effects of seaweed extract on physiological and biochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water-deficit stress conditions. *Journal of Science and Technology Greenhouse Culture*, 11(1): 59-69. [In Persian]
- Farshi, A.A., Siadat, H., Darbandi, S., Entesari, M.R., Kheirabi, J., Mirlatifei, M., Salamat, A.R., & Sadat, M.H. (2003). On-farm irrigation water management, *Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID)*, No 76.



- Fawy, H.A., Attia, M.F., & Hagab, R.H. (2017). Effect of nitrogen fertilization and organic acids on grains productivity and biochemical contents of quinoa plant grown under soil conditions of Ras Sader-Sinai. *Egyptian Journal of Desert Research*, 67(1): 171-185.
- Feller, U. (2004). Proteolysis. In *Plant cell death processes* (pp. 107-123). Academic Press.
- Ghalambaz, S., Roshanfekar, H., Rahnama, A., & Monsefi, A. (2024). Effect of salicylic acid foliar application on physiological indices and induction of terminal heat stress tolerance of quinoa in Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2): 137-154. [In Persian]
- Ghanizadeh, M., Khorassani, R., & Fotovat, A. (2024). The effects of foliar application of humic acid and garlic extract on nutrients uptake (NPK) and growth of wheat under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17(2): 1-15. [In Persian]
- Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59(2): 309-314.
- Goñi, O., Fort, A., Quille, P., McKeown, P.C., Spillane, C., & O'Connell, S. (2016). Comparative transcriptome analysis of two *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants: same seaweed but different. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(14): 2980-2989.
- Haghparsat, M., & Farahani, S.M. (2014). Effect of water deficit irrigation and natural products on vegetative characteristics of different chickpea (*Cicer arietinum*) varieties. *Iranian Journal of Pulses Research*, 4(2): 77-86. [In Persian]
- Heidarpour, O., Esmailpour B., Soltani, A.A., & Khorramdel, S. (2020). Effect of vermicompost on morphophysiological, biochemical and yield characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 12(3): 507-522. [In Persian]
- Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M.A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26(1): 619-628.
- Hnilíčková, H., Hnilička, F., Orsák, M., & Hejtnák, V. (2019). Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage. Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> content in selected plant species: *Plant Soil and Environment*, (65): 90-96.
- Hosseini, S.H., Ebrahimipak, N., Yusefi, A., & Egdarnzhad, A. (2019). Effect of water stress and humic acid foliar application on morpho-physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(1): 219-232.
- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1): 87-92. [In Persian]
- Iqbal, S., Basra, S.M., Afzal, I., Wahid, A., Saddiq, M.S., Hafeez, M.B., & Jacobsen, S.E. (2019). Yield potential and salt tolerance of quinoa on salt-degraded soils of Pakistan. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(1): 13-21.
- Irigoyen, J.J., Einerich, D.W., & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia plantarum*, 84(1): 55-60.
- Jannin, L., Arkoun, M., Etienne, P., Laîné, P., Goux, D., Garnica, M., & Ourry, A. (2013). *Brassica napus* growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32: 31-52.
- Kabiri, R., Farahbakhsh, H. & Nasibi F. (2014). Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 30(4), 600-609.
- Kamrava, S., Babaeian Jolodar, N., & Bagheri, N. (2017). Evaluation of drought stress on chlorophyll and proline traits in soybean genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 9(23): 95-104.
- Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2): 315-319.

- Kazemi, H., Mortazavian, S.M.M., & Javid, M.G. (2018). Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(4): 1099-1113. [In Persian]
- Korkmaz, A., Korkmaz, Y., & Demirkıran, A.R. (2010). Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedlings by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3): 495-501.
- Kumari, R., Kaur, I., & Bhatnagar, A.K. (2011). Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of Applied Phycology*, 23: 623-633.
- Mafakheri, S. (2017). Effect of some organic and chemical fertilizers on morphological and biochemical factors of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Plant Production*, 40(3): 27-41. [In Persian]
- Mohammadkhani, N., & Heidari, R. (2008). Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. *Turkish Journal of Biology*, 32(1): 23-30.
- Mohammadpour, G., Farzaneh, S., Khomari, S., Seyyed Sharifi, R., & Esmail Pour, B. (2021). Effect of application of humic acid and seaweed extract on some physiological characteristics, growth, yield and yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under water stress condition. University of Mohaghegh Ardabili press. 139 p. [In Persian]
- Naliwajski, M., & Skłodowska, M. (2021). The relationship between the antioxidant system and proline metabolism in the leaves of cucumber plants acclimated to salt stress. *Cells*, 10(3): 609.
- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69: 371-376.
- Paul, J. & Yuvaraj, P. (2014). Effect of Seaweed Liquid Fertilizer of *Colpomenia sinosa* (Mert. ex Roth) Derbes & Solier (Brown Seaweed) on *Vigna radiate* (L). *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 2(3): 177-184.
- Raeesi Sadati, S.Y., Godekahriz, S.J., Ebadi, A. & Sedghi, M. (2021). Effect of zinc oxide nanoparticles on some biochemical and morphological characteristics of wheat under drought conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 31(2): 233-250. [In Persian]
- Raeisi Sadati, S.Y., Godekahriz, S.J., Ebadi, A., & Sedghi, M. (2022). Zinc oxide nanoparticles enhance drought tolerance in wheat via physio-biochemical changes and stress genes expression. *Iranian Journal of Biotechnology*, 20(1): e3027.
- RamRao, R.D., Kodandaramaiah, J., Reddy, M.P., Katiyar, R.S., & Rahmathulla, V.K. (2007). Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworm cocoon characters under semiarid conditions. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, (CJES), 5(2): 111-117. [In Persian]
- Rezaei Chyanh, A., Zehtab, S., Ghasemi Golezani, K. & Delazar, A. (2012). Physiological reaction fennel (*Foeniculum vulgare* L.) to water limitation. *Journal of Agricultural Ecology*, 4: 347-355. [In Persian]
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1): 105-111.
- Sabouri, F., Siroosmehr, A.R., & Gorgini Shabankareh, H. (2017). Effect of irrigation regimes and humic acid solution on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(34): 13-24. [In Persian]
- Salehi, M., & Dehghani F. (2017). Guide to planting, growing and harvesting quinoa under saline conditions. Publications of the National Salt Research Center, Office of Knowledge Network in Promotional Media. Pp, 96. [In Persian].
- Sardar, M., Behdani, M.A., Eslami, S.V., & Zamani, G.H.R. (2024). The effect of manure and humic acid fertilizer on ions concentrations in cotton (*Gossypim hirsutum* L.) under salinity stress. *Plant Productions*, 46(4): 491- 505. [In Persian]
- Setayesh-Mehr, Z., & Ganjeali, A. (2013). Effects of drought stress on growth and physiological characteristics of dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Horticultural Science*, 27(1): 27-35.

- Seyyed Nejad, S.M., & Gilani, A. (2015). Investigation the effect of different levels of urea fertilizer and brown seaweed extract on the physiological traits and grain yield of wheat. *Crop Physiology Journal*, 7(27): 69-83.
- Shahbazi, F., Nejad, M.S., Salimi, A., & Gilani, A.A. (2015). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 8(3): 283-287.
- Sheikh Mamo, B., Rahnama, A., Hassibi, P. (2023). Evaluation of biochemical traits and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to terminal heat stress in Ahvaz, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 25(3): 275-293. [In Persian]
- Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2011). Potential of seaweed liquid fertilizers (SLFS) on some agricultural crop with special reference to protein profile of seedlings. *International Journal of Development Research*, 1(7), 55-57.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161(3): 613-619.
- Taghaddosi, M., Hasani, N., & Sinaki, J. (2013). Irrigation disruption stresss, spraying with humic acid and seaweed extract in antioxidant enzymes and proline in the forage sorghum. *Crop Production in Environmental Stress*, 4(4): 1-12.
- Whapham, C.A., Blunden, G., Jenkins, T., & Hankins, S.D. (1993). Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. *Journal of Applied Phycology*, 5: 231-234.
- Xu, C., & Leskovar, D.I. (2015). Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 183: 39-47.
- Yaghobnezhad, A., Talebi, R., & Pasari, B. (2023). The effect of foliar application of yeast and seaweed extract on the yield and quality of safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress condition. *Iranian Journal of Plant & Biotechnology*, 18(1): 47-58. [In Persian]