

# 24-Epibrasinolid and Cauliflower Extract Effect on Grain Yield and Some Morphophysiological characteristics of the Sensitive and Tolerant Quinoa Cultivars

Rozhin Sohrabi<sup>1</sup>, AliReza Pirzad<sup>2</sup>, Mohsen Niazkhani<sup>3\*</sup>, Touraj MirMahmoodi<sup>4</sup>

- 1- Master of Science (MSc), Agrotechnology (Sciences and technology of seed), Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran.
- 2- Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran.
- 3- \*Associate Professor, Department of Microbiology and Medical Engineering, Faculty of Agriculture, Afagh Higher Education Institute, Urmia, Iran. [SM.Niazkhani@urmia.ac.ir](mailto:SM.Niazkhani@urmia.ac.ir).
- 4- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University Mahabad Branch. Mahabad, Iran.

## Introduction

Recent alterations in climate patterns have resulted in a reduction in precipitation. This shift not only contributes to drought conditions but also increases the salinity levels of both water and soil utilized for agricultural purposes. To mitigate the impact of this phenomenon on food security, it is essential to consider strategies that involve the utilization of alternative plants and compounds, such as Brassinosteroids (BRs), which can enhance the resilience of plant products to salinity stress. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a plant with high production potential, which can be used as a good candidate to replace salt-sensitive cereal due to its richness in nutrients needed by humans and livestock. Due to the consecutive droughts in the Iran and as a result the lack of water resources and then the salinity of water and soil resources, the production of some traditional agricultural and horticultural plants has faced many limitations. This has caused a decrease in the quantity and quality of agricultural products in these regions. In the meantime, the drying up of Lake Urmia, which was considered the largest salt lake in the world, has faced additional tension in West Azerbaijan province. For this reason, the introduction of planting pattern of new plants with high yield potential, which have good agricultural performance in dry and salty conditions, and the production product, is of high quality is on the agenda.

## Materials and Methods

In order to investigate the effect of 24-epibrassinolide and cauliflower extract on some biochemical characteristics and related to the forage quality of Quinoa cultivars at salinity levels, a factorial experiment in the form of a completely randomized design (CRD) with four replications in the greenhouse of the Faculty of Agriculture of Azad University of Mahabad in the spring and summer of the year 1401 was done. The investigated factors included the tolerant (Titikaka) and semi-sensitive (Sajma) Quinoa cultivars to salinity, the use of stress-modulating substances (at three levels, without application, application of 24-epibrasinolid and application of cauliflower extract), and the salinity levels (2 levels, without salinity and 15 ds.m<sup>-1</sup>) of irrigation water. After sampling, morphological, biochemical and fodder quality characteristics were measured.

## Results and Discussion

The results showed that spraying with 24-epibrassinolide and cauliflower extract increased total chlorophyll, carotenoid, relative content of leaf water, proline, phenol, soluble carbohydrates, and forage quality characteristics (digestible dry matter, crude protein, ash, water-soluble carbohydrates), and decreased hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and negative attributes associated with forage quality (insoluble fibers in acid detergent, insoluble fiber in neutral detergent and fiber). The use of two anti-stress solutions, especially 24-epibrassinolide, significantly improved oxidative damage caused by salinity stress by reducing hydrogen peroxide and increasing the activity of non-enzymatic antioxidants.

## Conclusion

In this study, morphological characteristics (root length, plant height and dry weights of roots, shoots and seeds), total chlorophyll, carotenoid, relative content of leaf water and digestible dry matter of forage decreased under salt stress. While the amount of proline, phenol, soluble carbohydrates, hydrogen peroxide and characteristics related to forage quality (crude protein, insoluble fibers in acidic detergent, insoluble fibers in neutral detergent, percentage of ash, water-soluble carbohydrates and crude fiber) increased. Foliar application of 24-epibrassinolide and cauliflower extract improved the morphological characteristics, total chlorophyll, carotenoid, relative content of leaf water, proline, phenol, leaf soluble carbohydrates and increased quality characteristics of fodder (percentage of digestible dry matter, crude protein, percentage of ash, water-soluble carbohydrates) and decrease hydrogen peroxide and negative characteristics related to forage quality (insoluble fibers in acidic detergent, insoluble fibers in neutral detergent and fiber). According to the results, the use of two anti-stress solutions, especially 24-epibrassinolide, significantly improved the oxidative damage caused by salt stress by reducing hydrogen peroxide and increasing the activity of non-enzymatic antioxidants. Titikaka was more resistant to the negative effects of salinity stress on morphological and biochemical characteristics than Sajma, and Sajma under foliar spraying of cauliflower extract and Titikaka under foliar spraying of 24-epibrassinolide showed a better response to saline conditions. Therefore, in order to improve the growth and quality of fodder and reduce the negative effects of salinity stress, foliar spraying with 24-epibrassinolide and cauliflower extract can be recommended in both Titikaka and Sajma cultivars.

**Keywords:** Carotenoide, Fiber, Hydrogen peroxide, Phenol, Plant height, Proline, Salinity.

تأثیر ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام حساس و متحمل به

شوری کینوا

روژین سهرابی<sup>۱</sup>، علیرضا پیرزاد<sup>۲</sup>، محسن نیازخانی<sup>۳\*</sup>، تورج میرحمودی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد آگروتکنولوژی (علوم و تکنولوژی بذر)، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه،

۳\* - دانشیار، گروه میکروبیولوژی و مهندسی پزشکی، دانشکده کشاورزی، مؤسسه آموزش عالی آفاق ارومیه،

۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد

## چکیده

تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر، کاهش بارش را به دنبال داشته است. این پدیده علاوه بر تحمیل خشکی، موجب شوری آب و خاک مورد استفاده برای کشاورزی شده است. برای به حداقل رساندن اثرات این پدیده بر امنیت غذایی، لازم است از هم اکنون تمهیداتی در خصوص استفاده از گیاهان جایگزین و موادی مانند براسینواستروئیدها که تنش شوری را برای محصولات گیاهی قابل تحمل می‌کنند اندیشیده شود. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی است با پتانسیل تولید بالا که با توجه به غنی بودن آن از مواد مغذی مورد نیاز انسان و دام، می‌تواند به عنوان کاندید مناسبی جهت جایگزینی غلات حساس به تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد. به منظور بررسی تأثیر ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم، بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و مرتبط با کیفیت علوفه ارقام کینوا در سطوح شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد مهاباد در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل ارقام متحمل (تی‌تی‌کاکا) و نیمه حساس (ساجما) به شوری کینوا، کاربرد مواد تعدیل‌کننده تنش در سه سطح، (بدون کاربرد، کاربرد ۲۴-پی براسینولید و کاربرد عصاره گل کلم) و سطوح شوری آب آبیاری (بدون شوری و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. بعد از نمونه‌گیری، ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و ویژگی‌های مربوط به کیفیت علوفه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد محلول‌پاشی ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم باعث افزایش کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، فنل و کربوهیدرات‌های محلول و افزایش ویژگی‌های کیفی علوفه (درصد ماده خشک قابل هضم، پروتئین خام، درصد خاکستر و کربوهیدرات‌های محلول در آب) و کاهش پراکسید هیدروژن و ویژگی‌های منفی مرتبط با کیفیت علوفه (الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و فیبرخام) شدند. استفاده از دو محلول ضدتنش به خصوص ۲۴-پی براسینولید به طور قابل توجهی آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری را با کاهش پراکسید هیدروژن و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی بهبود بخشید. از این رو به منظور بهبود رشد و کیفیت علوفه و کاهش اثرات منفی تنش شوری، محلول‌پاشی توسط ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم در هر دو رقم تی‌تی‌کاکا و ساجما می‌تواند مفید باشد.

**کلمات کلیدی:** ارتفاع بوته، پراکسید هیدروژن، پرولین، شوری، فنل، فیبر، کاروتنوئید

## مقدمه

باتوجه به خشکسالی‌های پی‌درپی در کشور و به تبع آن کمبود منابع آبی و به دنبال آن شوری منابع آب‌و خاک، تولید برخی از گیاهان زراعی و باغی مرسوم با محدودیت‌های زیادی مواجه شده و این موضوع موجب کاهش کمی و کیفی محصولات کشاورزی در این مناطق گردیده است. در این بین خشک شدن دریاچه ارومیه که بزرگترین دریاچه نمکی جهان به شمار می‌رفت، استان‌های آذربایجان غربی و شرقی را با تنش مضاعفی مواجه کرده است. شوری خاک یک تنش غیرزیستی مهم و تأثیرگذار برای کشاورزی مدرن در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به شدت جوانه‌زنی بذر، رشد و نمو گیاه و در نهایت بهره‌وری محصولات کشاورزی را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد (Julkowska et al., 2017). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند در پی گرم شدن کره زمین و بهره‌برداری غیرمنطقی از زمین‌های کشاورزی، شور شدن خاک تسریع شده که این امر منجر به از دست رفتن نیمی از زمین‌های قابل کشت تا سال ۲۰۵۰ شود (Albaladejo et al., 2018). به همین جهت، معرفی الگوی کاشت گیاهان جدید و با پتانسیل عملکرد بالا که هم از نظر زراعی در شرایط خشک و شور عملکرد مناسبی داشته باشند و هم محصول تولیدی، از کیفیت بالایی برخوردار باشد در دستور کار قرار

گرفته است. گونه گیاهی در کنار دمای محیط، رطوبت نسبی، مرحله رشد گیاه، آلودگی هوا و ترکیب نمک در خاک و آب ازجمله مهم‌ترین عواملی است که بر روی واکنش گیاه در برابر تنش شوری مؤثر می‌باشد (Claussen, 2005).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) محصولی راهبردی است که برای حفظ امنیت غذایی در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی توصیه شده است (Ruiz et al., 2014). این گیاه با ارزش به‌دلیل تنوع ژنتیکی وسیعی که دارد، نقش مهمی در امنیت غذایی داشته و تنوع و سازگاری فوق‌العاده با طیف وسیعی از شرایط اکولوژیک دارد (Alan, 2011). کینوا به‌دلیل محتوای پروتئین با کیفیت بالا، کاندیدی امیدوارکننده برای تولید مواد غذایی با پروتئین گیاهی با کیفیت در جهان در نظر گرفته می‌شود (Pulvento et al., 2016). از طرفی کینوا گیاهی است که علاوه بر دانه آن، از برگ گیاهان جوان به‌عنوان سبزی تازه و یا به‌صورت پخته استفاده می‌شود. کل گیاه همچنین به‌عنوان یک منبع غذایی غنی برای تغذیه دام ازجمله گاو، خوک و طیور استفاده می‌شود (Bhargava, Shukla & Ohri, 2006). از آنجاکه کینوا بدون گلوتن و غذایی ارزشمند است، می‌تواند جایگزین برنج شده و به‌سلامت جامعه کمک کند (Abdellatif, 2018). تمامی این عوامل سبب شده است که توسعه کینوا به‌عنوان یک گیاه مناسب در راستای دستیابی به سیاست‌های جهانی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد، به‌نحوی که طبق آخرین آمار منتشره، در طول ۵۰ سال اخیر، سطح زیرکشت جهانی آن از ۲۹ هزار هکتار در سال ۱۹۷۲ به بیش از ۱۹۳ هزار هکتار و میزان تولید آن از حدود ۱۸ هزار تن به حدود ۱۵۹ هزار تن در سال ۲۰۲۲ رسیده است (FAO, 2024).

در کنار معرفی گیاهان جایگزین مقاوم به شوری، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی یا فیتوهورمون‌ها برای افزایش مقاومت به تنش‌ها، از موضوعاتی است که همیشه از جایگاه ویژه‌ای در بین پژوهشگران برخوردار بوده است. فیتوهورمون‌ها نه‌تنها در رشد گیاه نقش مهمی دارند، بلکه از گیاه در برابر تنش‌های زیست‌محیطی و غیرزنده محافظت می‌کنند. مکانیسم آبخاری انتقال سیگنال که توسط هورمون‌های گیاهی ایجاد می‌شود، اهمیت حیاتی در پاسخ به استرس‌های غیرزیستی دارد (Verma et al., 2016). این هورمون‌ها در دسته‌هایی شامل اکسین، سیتوکینین، جبرلین، اسیدآبسیزیک، اتیلن، اسیدسالیسیلیک، جاسمونات‌ها، استریگولاکتون‌ها و براسینوستروئیدها<sup>۱</sup> طبقه‌بندی می‌شوند (Zhang et al., 2006). در میان همه این هورمون‌ها، گروه هورمونی براسینوستروئیدها به دلیل دخالت آن‌ها در رشد گیاه و مکانیسم‌های استرس به موضوع مورد علاقه بسیاری از محققان تبدیل شده است. این گروه از هورمون‌های استروئیدی علاوه بر عملکرد طبیعی گیاه مانند فتومورفوژنز، رشد سلولی، افزایش طول سلولی، صفاتی همچون جوانه‌زنی بذر و تمایز آوندهای چوبی را نیز کنترل می‌کنند (Sasse, 2003). گزارش‌های مختلف، نقش حیاتی براسینوستروئیدها را در سیگنال‌های واسطه تنش در گیاهان نشان می‌دهند. طیف وسیعی از تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، گرما، شوری، سرما با کمک براسینوستروئیدها تحمل می‌شوند (Kagale et al., 2007).

با عنایت به موارد ذکر شده و با توجه به تغییرات اجتناب‌ناپذیر آب و هوایی کشور، که خشکی و شوری آب و خاک، مزارع و باغات را در پی خواهد داشت، انتظار می‌رود در آینده تولید و عرضه محصولات کشاورزی به یک چالش عمده تبدیل شده و نه‌تنها امنیت غذایی مردم بلکه امنیت و استقلال کشور نیز تحت‌تأثیر قرار گیرد. به همین خاطر در کنار دیگر راه‌کارهای اساسی برای کاهش پیامدهای این پدیده‌ها، لازم است در مورد شناسایی ارقام

<sup>1</sup> Brassinosteroids

متحمل و گیاهان جایگزین و همچنین استفاده از مواد و روش‌های کمکی برای کاهش اثرات سوء تنش‌ها تحقیقات جامعی صورت پذیرد. به‌همین جهت پژوهش حاضر با اهداف زیر اجرا گردید:

- (۱) تعیین میزان کاهش عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد ارقام کینوا با مقاومت متفاوت به شوری در شرایط شوری، در مقایسه با شرایط غیرشور.
- (۲) بررسی و مقایسه اثر ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم بر تعدیل کاهش عملکرد دانه و کیفیت علوفه ارقام کینوای متحمل و حساس به شوری.
- (۳) مطالعه اثر ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم در تعدیل اثرات منفی شوری بر دیگر صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مهم در ارقام متفاوت از نظر مقاومت به شوری گیاه کینوا.

## مواد و روش‌ها

پژوهش به‌صورت گلدانی و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) با چهار تکرار آزمایشی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واحد مهاباد اجرا شد. دمای روزانه گلخانه  $33 \pm 3$ ، دمای شب  $14 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. عوامل آزمایش شامل دو رقم کینوا (تی‌تی‌کاکا متحمل به شوری و ساجما نیمه‌حساس به شوری)، سطوح شوری آب آبیاری در دو سطح (بدون شوری و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و کاربرد مواد تعدیل‌کننده تنش در سه سطح (بدون کاربرد مواد، کاربرد ۲۴-پی براسینولید و کاربرد عصاره گل کلم<sup>۱</sup>) بود. خاک مورد استفاده از عمق ۳۰ سانتی‌متری مزارع اطراف شهرستان مهاباد (روستای دریاز مهاباد) تهیه و سپس با استفاده الک ۴ میلی‌متری غربال و با خاک‌برگ و شن به نسبت مساوی مخلوط شده و در گلدان‌های تهیه‌شده ریخته شد (جدول ۱). به جهت این‌که نمونه‌برداری در مراحل مختلف رشدی انجام گرفت، برای هر تیمار، پنج گلدان یکسان در نظر گرفته شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک

| درصد اشباع | سیلنت (%) | رس (%) | شن (%) | آهک (%) | pH   | Ec (ds/m) | کربن آلی (%) | K (ppm) | P (ppm) | N (%) |
|------------|-----------|--------|--------|---------|------|-----------|--------------|---------|---------|-------|
| ۴۵         | ۴۵        | ۳۱     | ۲۴     | ۲۸      | ۷/۵۴ | ۰/۴۲      | ۰/۸۱         | ۳۴۹۵    | ۱۶/۰۹   | ۰/۰۳  |

بذور ارقام مورد استفاده که شامل دو رقم تی‌تی‌کاکا به‌عنوان رقم متحمل به شوری و ساجما به‌عنوان رقم نیمه‌حساس به شوری (Tavoosi et al., 2021) از مرکز تحقیقات کشاورزی کرج تهیه و بعد از ضدعفونی طبق دستورالعمل‌های معمول در گلدان‌هایی (با قطر ۲۲ سانتی‌متر دارای زهکش) که قبلاً به این منظور در نظر گرفته شده بودند، کشت شدند.

آبیاری تا زمان استقرار کامل گیاه، با استفاده از آب شرب شهری و بعد از آن اعمال تنش شوری صورت گرفت. برای اعمال تنش شوری، بعد از تهیه محلول شور ( $EC=15 \text{ dsm}^{-1}$ ) از منبع کلرید سدیم (MERCK، آلمان)، آبیاری صرفاً با محلول تهیه شده انجام شد، با این توضیح که جهت تعدیل وضعیت تیمارها، بعد از هر سه نوبت آبیاری با محلول تهیه شده، یک بار آبیاری با آب شرب شهری انجام گردید.

<sup>1</sup> Cauliflower

برای تهیه محلول عصاره گل کلم، بعد از حذف برگ‌های گل کلم، قسمت گل آن قطعه قطعه و به همراه الکل اتانول ۸۰ درصد در داخل مخلوط کن، خرد و آسیاب شد، تا یک محلول یکنواخت تهیه گردید. عصاره تهیه شده بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای اتاق، با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱، صاف و سپس الکل آن با استفاده از دستگاه تبخیرکننده دوار در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد حذف و تا زمان مصرف، در داخل بطری تیره رنگ در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید (Shamon et al., 2020). محلول‌های تهیه‌شده از عصاره گل کلم و ۲۴-اپی براسینولید (Sigma Aldrich، آمریکا)، به ترتیب با دوزهای ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله ۳۰ درصد گلدی و گلدی کامل بر روی تیمارهای مورد مطالعه اسپری شدند (Shamon et al., 2020). جهت تقویت و افزایش ماده آلی خاک، در ماه دوم بعد از کاشت به هر گلدان مقدار ۶ گرم اسید هیومیک اضافه گردید.

نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری طول ریشه، وزن‌های خشک ریشه و شاخساره، محتوای نسبی آب برگ، کربوهیدرات‌های محلول برگ، کلروفیل کل و کاروتنوئید، پرولین، فنل و پراکسید هیدروژن ۲۰ روز پس از محلول‌پاشی مرحله اول انجام شد. بعد از رسیدگی کامل دانه، ارتفاع بوته، وزن خشک دانه و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت علوفه اندازه‌گیری شدند.

محتوای نسبی آب برگ از نمونه برگ سبز به روش تورنر (Turner, 1981) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول برگ، نخست ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاه به همراه ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در داخل هاون چینی کوبیده شده و بعد از سانتریفیوژ فاز مایع رویی برداشت شد. در نهایت میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل کل و کاروتنوئید عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد انجام و میزان جذب در سه طول موج ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Cecil CE2501) قرائت شد (Arnon, 1949). برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates, Waldren & Teare, 1973) استفاده شد. در این روش، میزان جذب لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود در ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر تعیین شد. برای اندازه‌گیری فنل کل در ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تر گیاه در داخل هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد کاملاً هموئنیزه شد، و جذب توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد. از روی منحنی درجه‌بندی (اسید گالیک به‌عنوان استاندارد) مقدار ترکیبات فنولیک کل بر مبنای اسید گالیک برحسب میلی‌گرم بر گرم تعیین شد (Tawaha et al., 2007). جهت تعیین کیفیت علوفه تولیدی هر تیمار، نمونه هر گلدان بعد از برداشت، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون خشک، سپس آسیاب و الک گردید. نمونه‌های آماده شده، جهت اندازه‌گیری درصد خاکستر<sup>۱</sup>، ماده خشک قابل هضم<sup>۲</sup>، پروتئین خام<sup>۳</sup> و فیبر خام<sup>۴</sup>، کربوهیدرات‌های محلول در آب<sup>۵</sup>، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی<sup>۶</sup> و الیاف نامحلول در شوینده خنثی<sup>۷</sup> با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک<sup>۸</sup> (AOAC, 1999)، به آزمایشگاه مرجع<sup>۹</sup> ارسال شدند.

<sup>1</sup> Ash

<sup>2</sup> Digestible dry-matter: DMD

<sup>3</sup> Crude protein: CP

<sup>4</sup> Crude Fiber: CF

<sup>5</sup> Water-soluble carbohydrates: WSC

<sup>6</sup> Acid detergent Insoluble fiber: ADF

<sup>7</sup> Neutral detergent fiber: NDF

<sup>8</sup> Near-Infrared Spectroscopy: NIRS

<sup>۹</sup> آزمایشگاه مرکز تحقیقات سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور

بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، نسبت به تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم افزار SAS-9.2 اقدام گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری و محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی نشان داد، طول ریشه، ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره ( $p < 0.05$ ) و وزن خشک دانه ( $p < 0.01$ ) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل شوری × رقم × محلول پاشی قرار گرفتند. وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌داری ( $p < 0.01$ ) تحت تأثیر اثر متقابل "شوری × محلول پاشی" و "شوری × رقم" قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی ارقام حساس و متحمل به شوری کینوا

Table 2- Variance analysis results of the effect of salinity and foliar application of 24-epibrasinolide and cauliflower extract on the morphological characteristics of sensitive and tolerant quinoa cultivars to salinity.

| منبع تغییرات<br>Source of variation                                 | درجه آزادی<br>df | میانگین مربعات (Mean of square) |                    |                     |                     |         |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------|
|                                                                     |                  | RLt                             | PHt                | RDW                 | SDW                 | GDW     |
| شوری<br>Salinity                                                    | 1                | 16.51**                         | 101.62**           | 6.45**              | 40.02**             | 3.43**  |
| رقم<br>Cultivar                                                     | 1                | 0.12 <sup>ns</sup>              | 1.64 <sup>ns</sup> | 0.26**              | 28.97**             | 121.7** |
| محلول پاشی<br>Foliar application                                    | 2                | 35.36**                         | 66.04**            | 2.15**              | 13.76**             | 3.33**  |
| شوری × رقم<br>Salinity × Cultivar                                   | 1                | 2.57 <sup>ns</sup>              | 15.06*             | 0.54**              | 3.23**              | 1.47**  |
| شوری × محلول پاشی<br>Foliar application × Salinity                  | 2                | 0.52 <sup>ns</sup>              | 3.47 <sup>ns</sup> | 0.99**              | 0.471 <sup>ns</sup> | 0.317*  |
| رقم × محلول پاشی<br>Cultivar × Foliar application                   | 2                | 3.78 <sup>ns</sup>              | 12.42**            | 0.06 <sup>ns</sup>  | 2.02**              | 1.51**  |
| شوری × رقم × محلول پاشی<br>Salinity × Cultivar × Foliar application | 2                | 7.40*                           | 9.07*              | 0.009 <sup>ns</sup> | 0.99*               | 1.13**  |
| خطای آزمایشی<br>Error                                               | 36               | 1.52                            | 2.085              | 0.031               | 0.213               | 0.087   |
| ضریب تغییرات (CV)                                                   |                  | 12.50                           | 4.65               | 12.91               | 11.04               | 16.56   |

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

<sup>ns</sup>, \* and \*\* non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

RLt: طول ریشه  
RLt: Root length

PHt: ارتفاع بوته  
PHt: Plant height

RDW: وزن خشک ریشه  
RDW: Root weight

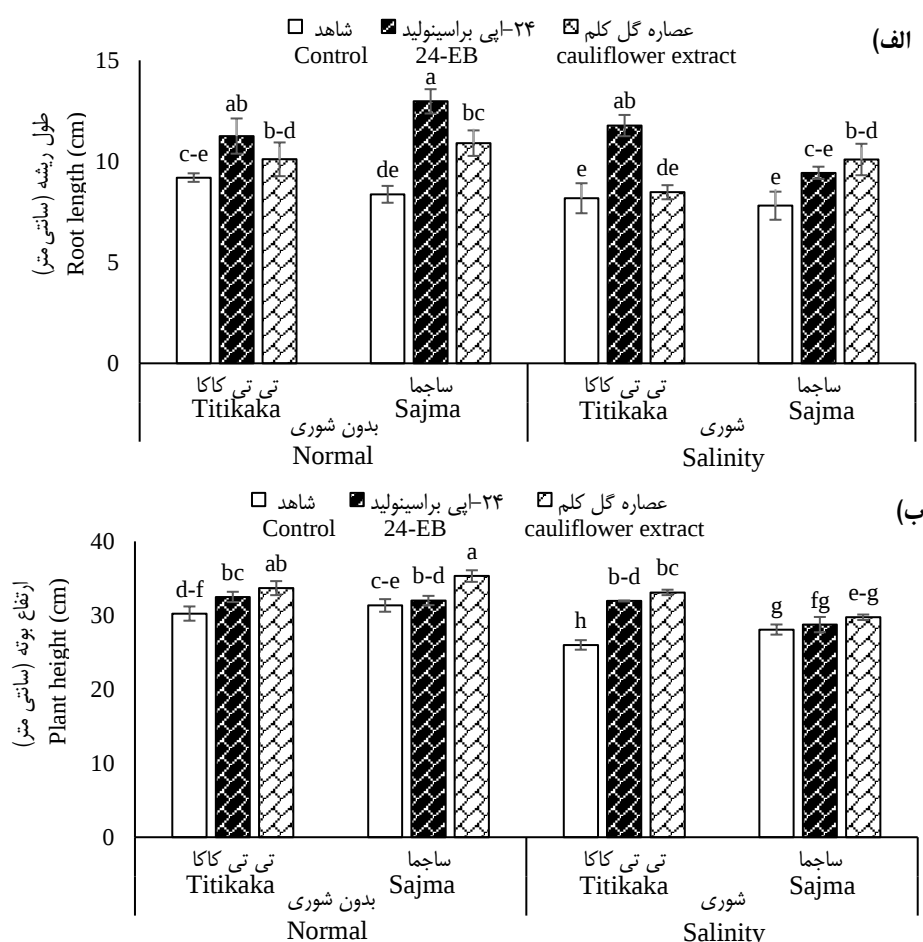
SDW: وزن خشک شاخساره  
SDW: Shoot weight

GDW: وزن خشک دانه  
GDW: Grain weight

## ویژگی‌های مورفولوژیکی

### طول ریشه و ارتفاع بوته

طول ریشه و ساقه از مناسب‌ترین ویژگی‌هایی هستند که می‌توانند برای ارزیابی تحمل به نمک مورد استفاده قرار گیرند (Shin *et al.*, 2020). زیرا ریشه‌ها مسئول جذب آب و شاخه‌ها برای تأمین آب بافت‌های بالای زمین هستند. براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی، با وجود این‌که تنش شوری باعث کاهش طول ریشه هر دو رقم گردید، اما این مقدار کاهش معنی‌دار نبود (شکل ۱-الف).



شکل ۱- مقایسه میانگین طول ریشه (الف) و ارتفاع بوته کینوا (ب) تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی  
Figure 2- Mean comparison of root length (a) and plant height (b) in interaction effect of salinity × cultivar × foliar application.

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).  
Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید تأثیر معنی‌داری بر تحمل شرایط تنش شوری بر رقم متحمل تی‌تی‌کاکا نداشت، با این حال، طول ریشه رقم حساس ساجما با وجود محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید کاهش معنی‌داری یافت. این موضوع نشان می‌دهد رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بهتر از رقم حساس ساجما به محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید برای افزایش طول ریشه و ارتفاع بوته واکنش نشان می‌دهد. برعکس این وضعیت، محلول‌پاشی با عصاره گل‌کلم قادر به افزایش قدرت تحمل رقم متحمل در مقایسه با شرایط نرمال نشده و طول ریشه تی‌تی‌کاکا به‌طور غیرمعنی‌داری در شرایط تنش شوری کاهش پیدا کرد. این در حالی بود که محلول‌پاشی با عصاره گل‌کلم توانست از کاهش معنی‌دار طول ریشه رقم حساس ساجما جلوگیری

نماید. مقایسه دو محلول ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم نشان داد، ۲۴-پی براسینولید بیشتر از عصاره گل کلم در شرایط شوری و نرمال بر مقاومت رقم تی‌تی‌کاکا تأثیر مثبت داشته که این تأثیر در شرایط تنش شوری به‌طور معنی‌داری بیشتر بود.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری  $\times$  رقم  $\times$  محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته نشان داد که محلول‌پاشی باعث افزایش ارتفاع بوته در شرایط شوری شد. در همین شرایط افزایش ارتفاع در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم حساس ساجما بود. این وضعیت نشان داد رقم متحمل برای افزایش ارتفاع بوته بیشتر از رقم حساس از مواد کمکی تعدیل‌کننده تنش شوری تأثیر می‌پذیرد. مقایسه دو محلول مورد استفاده نشان می‌دهد، در هر دو رقم متحمل و حساس تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشته و برای جلوگیری از کاهش ارتفاع بوته در شرایط شوری، هر دو محلول را می‌توان به‌جای هم بکار برد (شکل ۱-ب).

طبق نتایج بررسی حاضر تحت شرایط شوری طول ریشه و ساقه کاهش داشت که این کاهش در رقم ساجما نسبت به رقم تی‌تی‌کاکا بیشتر بود. محققین کاهش طول ریشه و ساقه را به سمیت و همچنین جذب محدود مواد مغذی و آب به دلیل تنش اسمزی مربوط می‌دانند (Ouji et al., 2015). براسینولید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که نقش‌های متنوعی در تقسیم و گسترش سلولی، طولی شدن ساقه، تمایز آوند چوبی و رشد ریشه ایفا می‌کند (Zheng et al., 2016). نتایج مطالعه حاضر با محلول‌پاشی با ۲۴-پی براسینولید نشان داد رشد ساقه و ریشه نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش داشت، که این افزایش در ریشه بیشتر بود. این توانایی ۲۴-پی براسینولید در افزایش طولی شدن ریشه و ساقه در شرایط شوری می‌تواند به دلیل محدود کردن سمیت نمک توسط این ماده باشد که با تعدیل تقسیم سلولی و طولی شدن و همچنین تمایز سلول‌های بنیادی در مریستم ریشه، باعث افزایش رشد بیشتر ریشه شده که با جذب آب و مواد مغذی و انتقال آن به بخش هوایی رشد ساقه را نیز در پی داشته است (de Oliveira et al., 2019). در بررسی‌های دیگر پژوهشگران نیز تنش شوری اثر کاهشی بر طول سلول و بافت عدس (Foti et al., 2019) و سویا (Pavli et al., 2021) داشت. کاهش طول ساقه تحت شوری در بررسی‌های انجام یافته بر گوجه‌فرنگی نیز گزارش شده است (Singh et al., 2019).

## وزن‌های خشک ریشه، شاخساره و دانه

مقایسه میانگین اثر متقابل شوری  $\times$  رقم حاکی از کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه‌های هر دو رقم در شرایط شوری دارد، اما این کاهش در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا (۴۹/۴۹ درصد) بیشتر از رقم حساس ساجما (۳۳/۶۵ درصد) بود. از طرفی نتایج نشان می‌دهد، در شرایط نرمال وزن خشک ریشه رقم متحمل (۱۸/۷۵ درصد) بیشتر ( $p < 0.05$ ) از رقم حساس بود (شکل ۲-الف).

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری  $\times$  محلول‌پاشی، در شرایط بدون شوری، محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه شد، که در این شرایط تأثیر ۲۴-پی براسینولید (۵۲/۹۳ درصد) و عصاره گل کلم (۳۸/۷۴ درصد) بیشتر از شاهد بود. با این حال در شرایط تنش شوری محلول‌پاشی هر دو نوع ماده ضدتنش، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت (شکل ۲-ب). در بررسی‌های انجام یافته روی بادمجان (*Solanum melongena* L.) کاربرد ۲۴-پی براسینولید سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه‌چه در شرایط شوری گردید (Wu et al., 2012). براسینواستروئیدها

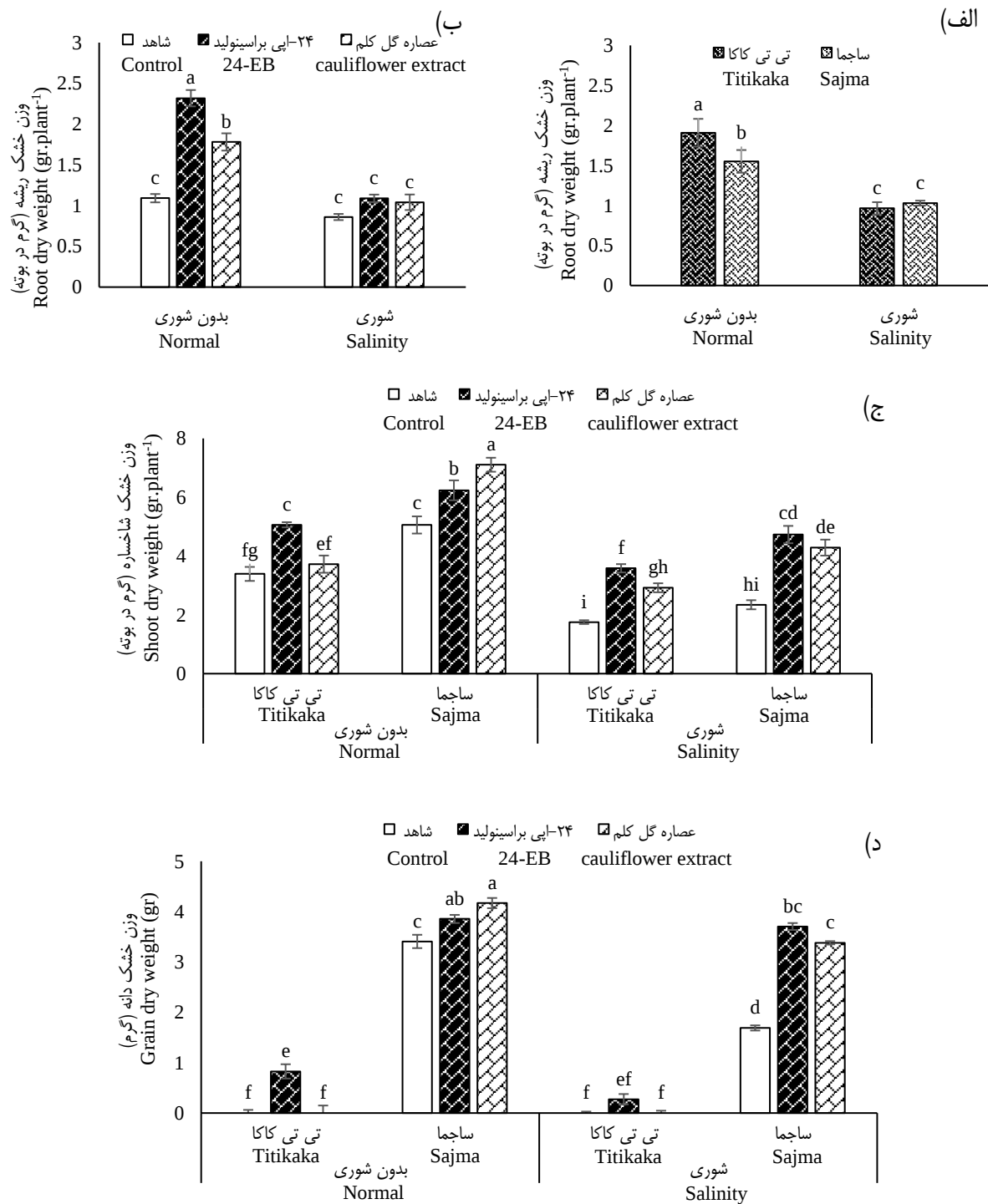
با افزایش تقسیم سلولی، افزایش تولید ریشه‌های جانبی و بهبود رشد گیاه باعث افزایش مقاومت به تنش‌ها می‌شوند. به‌نظر می‌رسد این چنین پاسخ‌هایی مربوط به توانایی آزادسازی پتانسیل درونی (ژنتیکی) گیاهی برای ریشه‌زایی باشد (Swamy et al., 2010).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد، شوری به‌طور معنی‌داری باعث افت وزن خشک شاخساره هر دو رقم شد (شکل ۲-ج). در شرایط نرمال، عصاره گل کلم بیشتر از ۲۴-پی براسینولید موجب افزایش وزن خشک شاخساره در رقم حساس ساچما شد در حالی‌که، در همین شرایط ۲۴-پی براسینولید بیشتر از عصاره گل کلم در افزایش وزن خشک شاخساره رقم متحمل تی‌تی‌کاکا مؤثرتر بود. با همه این تفاسیر، در تعدیل کاهش وزن خشک شاخساره در شرایط شوری، محلول‌پاشی با ۲۴-پی براسینولید به‌طور معنی‌داری مؤثرتر از محلول‌پاشی با عصاره گل کلم بود.

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل شوری  $\times$  رقم  $\times$  محلول‌پاشی بر وزن خشک دانه، در هر دو شرایط نرمال و شور، رقم حساس ساچما دارای وزن خشک دانه بیشتری در مقایسه با رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بود (شکل ۲-د). در شرایط نرمال و با تنش شوری، محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک دانه در رقم حساس ساچما در مقایسه با شاهد شد. در عین حال تفاوت معنی‌داری بین دو محلول در افزایش وزن خشک دانه در این رقم وجود نداشت.

در مورد کاهش وزن خشک اندام‌های گیاه ناشی از شوری گزارش‌های زیادی وجود دارد. علت این افت وزن خشک ناشی از تنش شوری، به تحت تأثیر قرار گرفتن تقسیم سلولی و در نتیجه کاهش ازدیاد طول و در نهایت کاهش رشد گیاه و تنزل پتانسیل زیست‌توده نسبت داده شده است (Ahmad et al., 2018). البته علاوه بر این، به اختلال در جذب مواد مغذی ضروری که در نهایت باعث کاهش زیست‌توده گیاهان تحت تنش شوری می‌شود نیز اشاره شده است (Parvin et al., 2019). از دیگر عواملی که در پژوهش‌های مختلف به آن اشاره شده است، سمیت ناشی از افزایش یون سدیم ( $\text{Na}^+$ ) در محیط شور می‌باشد. ثابت شده است که با کاهش غلظت کربن دی‌اکسید ( $\text{CO}_2$ ) و بسته شدن روزنه‌ها در امر فتوسنتز اختلال ایجاد می‌شود (Kaymakanova & Stoeva, 2008). تبعات افزایش یون سدیم محیط در شرایط تنش شوری به این موارد محدود نمی‌شود. مشخص شده است که سطوح بالای نمک ( $\text{Na}^+$ ) می‌تواند باعث کاهش سرعت انتقال یون‌های ضروری مانند نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) شود که این وضعیت باعث می‌شود ترکیبات حاوی نیتروژن را کاهش یافته و در نهایت رشد گیاه و تجمع زیست‌توده مهار شود (Chien et al., 2009).

با توجه به موارد ذکر شده، به‌نظر می‌رسد، کاربرد ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم به دلیل توانایی در سم‌زدایی حاصل از تنش شوری از طریق اصلاح پارامترهای مختلف تبادل گازی (Wani et al., 2017) و کمک به فعالیت‌های فتوسنتزی با افزایش رنگ‌دانه و تنظیمات اسمزی (Yang et al., 2018) در تعدیل کاهش وزن خشک اندام‌های گیاه کینوا در شرایط تنش شوری مؤثر می‌باشد.



شکل ۲- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه تحت اثر متقابل شوری × رقم (الف) و شوری × محلول پاشی (ب)، مقایسه میانگین تغییرات وزن خشک شاخساره (ج) و تغییرات وزن خشک دانه کینوا (د) تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول پاشی.

Figure 2- Mean comparison of root dry weight in the effect of salinity × cultivar (a) and salinity × foliar application (b), mean comparison of shoot dry weight (c) and grain dry weight (d) in effect of salinity × cultivar × foliar application.

حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی نشان داد، چهار ویژگی مقدار کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، به‌طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) تحت تأثیر اثر متقابل شوری  $\times$  رقم  $\times$  محلول‌پاشی قرار گرفتند. همین نتایج نشان داد میزان فنل تحت تأثیر محلول‌پاشی و شوری ( $p < 0.01$ ) و دو ویژگی پراکسید هیدروژن و محتوای نسبی آب برگ ( $p < 0.01$ ) تحت اثر متقابل شوری  $\times$  رقم و محلول‌پاشی قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی ارقام حساس و متحمل به شوری کینوا

Table 3- Variance analysis results of the effect of salinity and foliar application of 24-epibrasinolide and cauliflower extract on the biochemical of sensitive and tolerant quinoa cultivars to salinity.

| منبع تغییرات<br>Source of variation                                                             | درجه<br>آزادی<br>df | (Mean of square) میانگین مربعات |        |        |                    |                    |                     |                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|--------|--------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|
|                                                                                                 |                     | CHL                             | CAR    | PRL    | PHN                | LSF                | LWC                 | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> |
| شوری<br>Salinity                                                                                | 1                   | 1.84**                          | 0.30** | 0.09** | 1.74**             | 4.17**             | 740.60**            | 0.10**                        |
| رقم<br>Cultivar                                                                                 | 1                   | 0.522**                         | 0.05** | 0.02** | 0.08 <sup>ns</sup> | 0.02 <sup>ns</sup> | 263.63**            | 0.01*                         |
| محلول‌پاشی<br>Foliar application                                                                | 2                   | 2.93**                          | 0.20** | 0.03** | 0.67**             | 1.54**             | 176.35**            | 0.15**                        |
| شوری $\times$ رقم<br>Salinity $\times$ Cultivar                                                 | 1                   | 0.24**                          | 0.08** | 0.01** | 0.02 <sup>ns</sup> | 1.53**             | 123.69**            | 0.06**                        |
| شوری $\times$ محلول‌پاشی<br>Salinity $\times$ Foliar application                                | 2                   | 0.24**                          | 0.01** | 0.01** | 0.09 <sup>ns</sup> | 0.04 <sup>ns</sup> | 10.48 <sup>ns</sup> | 0.01 <sup>ns</sup>            |
| رقم $\times$ محلول‌پاشی<br>Cultivar $\times$ Foliar application                                 | 2                   | 0.63**                          | 0.01*  | 0.01** | 0.04 <sup>ns</sup> | 0.79**             | 1.35 <sup>ns</sup>  | 0.003 <sup>ns</sup>           |
| شوری $\times$ رقم $\times$ محلول‌پاشی<br>Salinity $\times$ Cultivar $\times$ Foliar application | 2                   | 0.10*                           | 0.01*  | 0.003* | 0.09 <sup>ns</sup> | 0.07*              | 6.98 <sup>ns</sup>  | 0.002 <sup>ns</sup>           |
| خطای آزمایشی<br>Error                                                                           | 36                  | 0.02                            | 0.002  | 0.001  | 0.03               | 0.02               | 16.22               | 0.002                         |
| ضریب تغییرات (CV)                                                                               |                     | 9.85                            | 7.76   | 10.39  | 9.91               | 9.27               | 8.29                | 9.57                          |

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

<sup>ns</sup>, \* and \*\* non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

CHL: کلروفیل کل  
CHL: Total chlorophyll

CAR: کاروتنوئید  
CAR: Carotenoid

PRL: پرولین  
PRL: Proline

PHN: فنل  
PHN: Phenol

LSF: کربوهیدرات‌های محلول برگ  
LSF: Leaf soluble carbohydrates

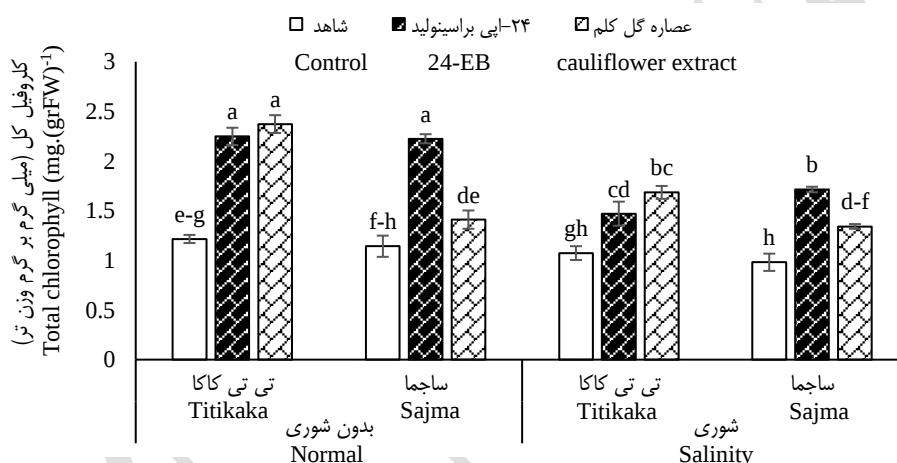
LWC: محتوای نسبی آب برگ  
LWC: Relative leaf water content

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: پراکسید هیدروژن  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Hydrogen peroxide

## کلروفیل

نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌جانبه نشان می‌دهد، شرایط تنش شوری نتوانست به‌طور معنی‌داری مقدار کلروفیل کل را کاهش دهد (شکل ۳). در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری بین دو رقم در مقدار کلروفیل کل در اثر محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید وجود نداشت. همچنین مشاهده گردید که در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری، محلول‌پاشی با هر دو محلول تعدیل‌کننده تنش، منجر به افزایش مقدار کلروفیل کل می‌شود. در شرایط

تنش اثر مثبت عصاره گل کلم در رقم حساس ساجما بیشتر از رقم متحمل بود. از طرفی تفاوت معنی داری بین دو محلول در رقم متحمل تی تی کاکا دیده نشد، در صورتی که در رقم حساس ساجما تأثیر مثبت ۲۴-اپی براسینولید در افزایش کلروفیل کل به طور معنی داری بیشتر از عصاره گل کلم بود. رنگ سبز گیاهان مانند دمای بدن در جانوران می تواند شاخصی برای سلامت گیاه مورد استفاده قرار گیرد، به همین جهت غلظت کلروفیل برگ که نشان گر تشکیل سبزینه است، گویای کارایی فتوسنتزی و سلامت عمومی گیاهان می باشد. بررسی های انجام یافته روی سویا نشان می دهد، شوری اثر کاهشی شدیدی بر مقدار کلروفیل داشته، اما با محلول پاشی براسینولید و بهبود تشکیل رنگدانه های فتوسنتزی تحت این ماده تعدیل کننده، تولید کلروفیل در شرایط شوری بهبود می یابد (Otie et al., 2021). در پژوهشی دیگر مشاهده شد که کاربرد اپی براسینولید منجر به افزایش محتوای کلروفیل کل در گیاه گوجه فرنگی در تمام سطوح شوری می شود (Maia Júnior et al., 2022).



شکل ۳- مقایسه میانگین تغییرات مقدار کلروفیل کل برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول پاشی.  
Figure 3- Mean comparison of total chlorophyll of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application.

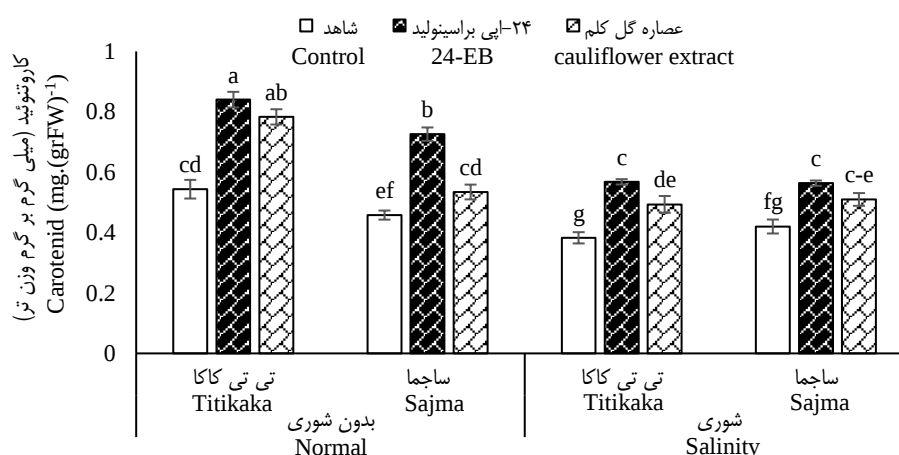
حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## کاروتنوئید

نتایج به دست آمده نشان می دهد، شوری در هر دو رقم و تحت محلول پاشی و عدم محلول پاشی، منجر به کاهش مقدار کاروتنوئید شد (شکل ۴). با این وجود، این مقدار کاهش در رقم حساس به شوری ساجما معنی دار نبود. در شرایط نرمال میزان کاروتنوئید در رقم متحمل تی تی کاکا به طور معنی داری بیشتر از رقم حساس ساجما بود. در شرایط تنش شوری بین دو رقم تفاوت معنی داری از نظر مقدار کاروتنوئید مشاهده نشد. مقایسه مواد تعدیل کننده تنش نشان می دهد، در شرایط تنش شوری تفاوت معنی داری بین دو ماده ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم وجود نداشت. با این حال در شرایط نرمال ۲۴-اپی براسینولید به طور معنی داری بیشتر از عصاره گل کلم باعث افزایش کاروتنوئید شد. در شرایط تنش شوری، کارایی استفاده از کرین در گیاه کاهش یافته و تولید اتانول و لاکتات افزایش پیدا می کند. این دو از عواملی هستند که سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل در شرایط تنش می شوند (Oliveira Neto et al., 2009). طبق نتایج حاصل از بررسی حاضر مقدار کاروتنوئید برگ تحت تنش شوری کاهش داشته و

محلول پاشی (با هر دو ماده تعدیل کننده تنش) در هر دو شرایط (تنش شوری و نرمال) باعث افزایش مقدار کاروتنوئید برگ شد. نتایج بررسی جاری همسو با تحقیقاتی است که توسط پاندا و همکاران (Panda *et al.*, 2013)، روی برنج انجام گرفته بود. در بررسی پوراسدالهی و همکاران (Pourasadollahi *et al.*, 2020) مقدار کاروتنوئید برگ سیب زمینی تحت محلول پاشی اپی براسینولید افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشت.



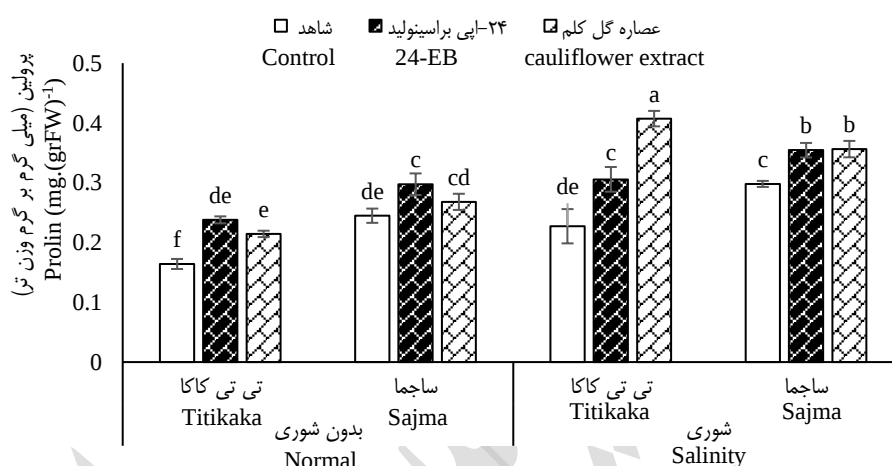
شکل ۴- مقایسه میانگین تغییرات مقدار کاروتنوئید برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول پاشی.  
**Figure 4- Mean comparison of carotenoid of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application.**  
 حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars=±SD).  
 Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## پرویلین

تنش شوری در هر دو رقم و تحت محلول پاشی با هر دو ماده تعدیل کننده موجب افزایش معنی دار پرویلین گردید (شکل ۵). در شرایط تنش شوری و نرمال در هر سه تیمار محلول پاشی مقدار پرویلین در رقم حساس ساجما به طور معنی داری بیشتر از رقم متحمل تی تی کاکا بود. مقایسه دو محلول تعدیل کننده تنش نشان می دهد، در شرایط نرمال تفاوت معنی داری بین دو محلول وجود نداشت، ولی در شرایط تنش شوری مقدار پرویلین در محلول پاشی با ۲۴-اپی براسینولید در مقایسه با عصاره گل کلم به طور معنی داری بیشتر بود.

بررسی ها نشان می دهند در شرایط تنش شوری، پرویلین در مقایسه با دیگر آمینواسیدها بیشتر تولید و در سلول ها ذخیره می شود (Teakle & Tyerman, 2010). این اسید آمینه با تنظیم فشار اسمزی و افزایش پایداری غشای سلولی تأثیر تعیین کننده ای در کاهش اثر شوری بر تخریب غشای سلولی دارد (Melchiorre *et al.*, 2009). محققان معتقد هستند، پرویلین تحت تنش شوری جذب آب را افزایش داده و از این طریق موجب کاهش تجمع یون های سمی در گیاه شده که این امر در نهایت منجر به القای مکانیسم های آنتی اکسیدانی می شود (Zhang & Dai, 2019; Ismail & Ramaswamy & Seeta, 2017). گزارش های متعددی در مورد افزایش سطح پرویلین تحت تنش شوری در گیاهانی مانند آفتابگردان (Ramaswamy & Seeta, 2017)، گندم (Akbari, Toorchi & Shakiba, 2016) و یونجه (Mezni *et al.*, 2010) وجود دارد که نتایج حاصل از تحقیقات حاضر را تأیید می کند.

از سوی دیگر بررسی حاضر نشان می‌دهد، تحت تنش شوری و محلول‌پاشی با ۲۴-پی براسینولید و عصاره گل کلم مقدار پرولین برگ هر دو رقم حساس و متحمل کینوا افزایش پیدا می‌کند. بررسی قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2021) نیز با تأیید نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد با کاربرد براسینولید میزان پرولین برگ آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) افزایش معنی‌داری داشت. در بررسی‌های دیگری مشخص شد، کاربرد براسینولید سبب افزایش مقدار پرولین سورگوم (*Sorghum vulgare* Pers.) در مناطق شور شده و این افزایش با بالاتر رفتن میزان شوری منطقه، بیشتر شد (Vardhini, 2012). در پژوهشی دیگر بر روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) سطح پرولین افزایش قابل‌توجهی در پاسخ به ۲۴-پی براسینولید و همچنین به تنش شوری نشان داد (Rady, 2011).



شکل ۵- مقایسه میانگین تغییرات پرولین برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی.  
Figure 5- Mean comparison of prolin of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application.

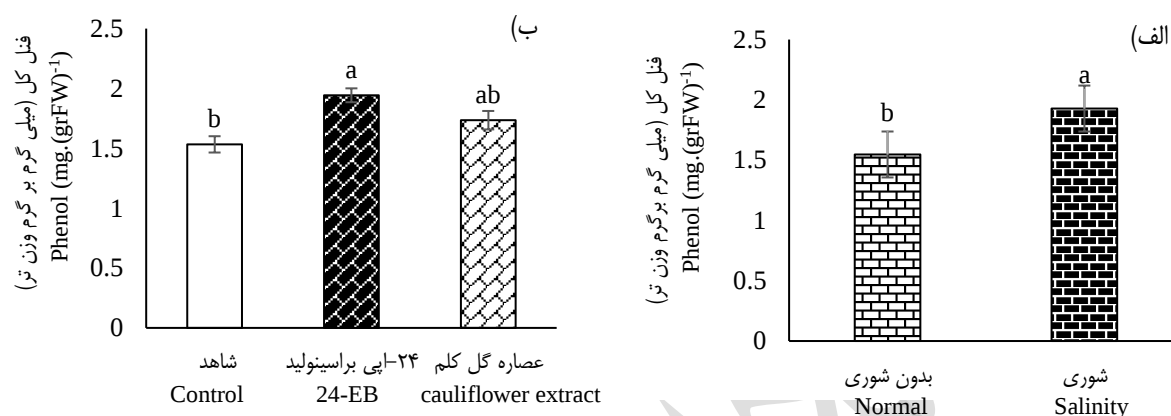
حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).  
Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## فصل کل

نتایج نشان می‌دهد تحت تنش شوری محتوای فنل کل افزایش معنی‌داری (۱۹/۷۶ درصد) داشت (شکل ۶-الف). محتوای فنل کل، با محلول‌پاشی توسط تعدیل‌کننده‌های تنش شوری افزایش پیدا کرد، اما این افزایش توسط عصاره گل کلم غیرمعنی‌دار بود. مقایسه بین دو محلول مورد استفاده نشان می‌دهد، تفاوت معنی‌داری بین دو محلول از نظر افزایش محتوای فنل کل وجود نداشت (شکل ۶-ب).

یکی از مکانیسم‌های دفاعی غیرآنزیمی در مقابله با تنش‌های محیطی تولید و تجمع ترکیبات فنلی است، که به جمع‌آوری پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) تولید شده به واسطه تنش در سلول‌های گیاهی کمک می‌کند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که تنش شوری باعث افزایش محتوای فنل کل در گیاه کینوا شد. در پژوهشی دیگر نیز فیروزه و همکاران (Firoozeh et al., 2019) نشان دادند که تحت تنش شوری محتوای فنل کل در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. در پژوهشی دیگر چراغی و همکاران (Cheraghi et al., 2023) نشان دادند که با افزایش شوری محتوای فنل کل گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند. طبق نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر مقدار فنل کل تحت محلول‌پاشی ۲۴-پی براسینولید افزایش معنی‌داری

داشت. در بررسی محمدی خلیفه لویی و همکاران (Mohammadi Khalifelouiy et al., 2020) بر مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید موجب افزایش معنی دار فنل کل شد که تأیید کننده نتایج بررسی حاضر است.

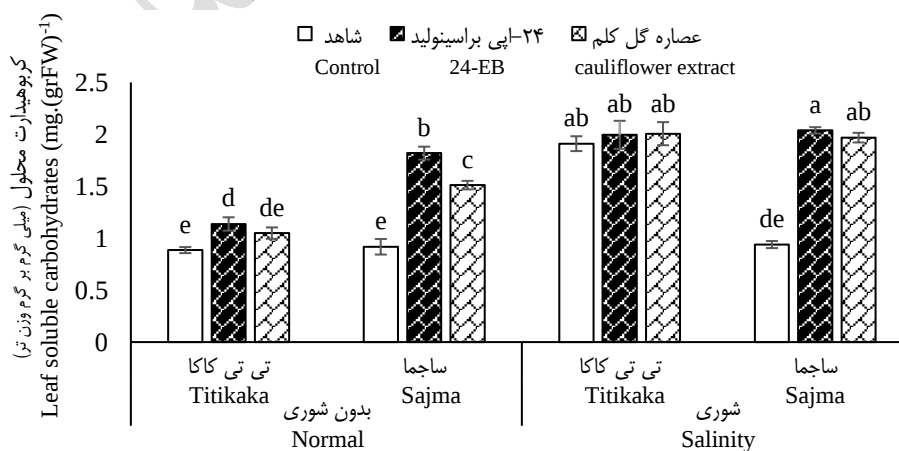


شکل ۶- مقایسه میانگین تغییرات محتوای فنل کل برگ کینوا تحت تأثیر شوری (الف) و محلول پاشی (ب).  
Figure 6- Mean comparison of phenol content of quinoa leaf in effect of salinity (a) and foliar application (b).  
(Error Bars=±SD) حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## کربوهیدرات های محلول برگ

مقایسه میانگین مقدار کربوهیدرات های محلول برگ ارقام کینوا نشان می دهد، تنش شوری موجب افزایش مقدار کربوهیدرات های محلول برگ شد. در شرایط نرمال بین دو رقم تفاوت معنی داری وجود نداشت، در حالی که در شرایط تنش شوری، محتوای کربوهیدرات های محلول رقم متحمل تی تی کاکا به طور معنی داری (بیش از دو برابر) بیشتر از رقم حساس ساجما بود (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه میانگین تغییرات کربوهیدرات های محلول برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول پاشی.  
Figure 7- Mean comparison of leaf soluble carbohydrates of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application.  
(Error Bars=±SD) حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

به نظر می‌رسد احتمالاً یکی از راه‌کارهای مهم در ارقام متحمل کینوا برای مقابله با شوری، تجمع کربوئیدرات‌های محلول در شرایط شوری باشد. در هر دو شرایط شوری و نرمال، محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش شوری موجب افزایش محتوای کربوئیدرات‌های محلول گردید، هر چند تفاوت معنی‌داری بین مواد تعدیل‌کننده و شاهد در رقم تی‌تی‌کاکا در شرایط شوری وجود نداشت. در شرایط تنش شوری تفاوت معنی‌داری بین دو محلول مورد استفاده در افزایش مقدار کربوئیدرات‌های محلول دیده نشد، لذا به نظر می‌رسد، از هر دو محلول می‌توان برای تعدیل اثرات شوری به جای هم استفاده نمود.

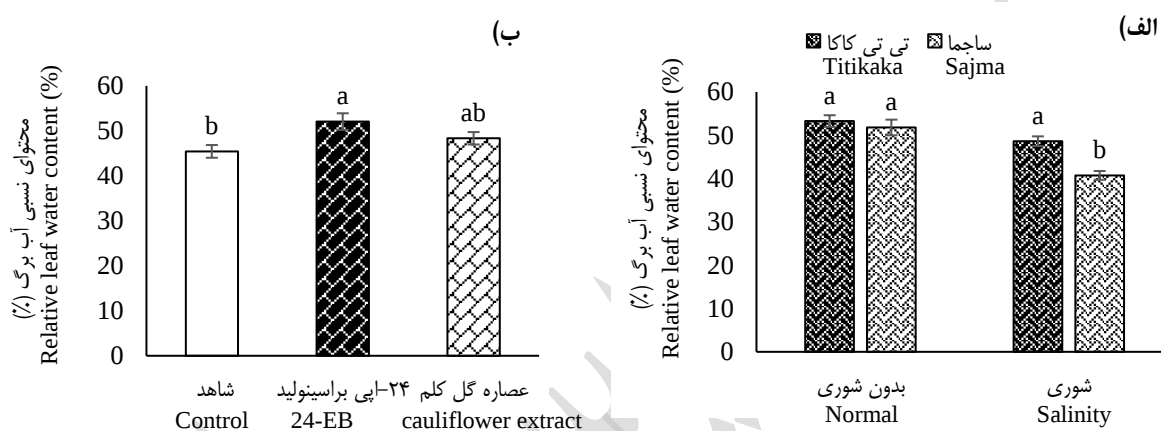
تولید و انباشت اسمولیت‌ها در سیتوپلاسم جهت حفظ تعادل اسمزی از راه‌کارهای مهم گیاهان برای مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی است. گیاهان از این طریق باعث بهبود جذب آب از محیط و افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شوند (Liang et al., 2018). پژوهش‌های انجام یافته روی گوجه فرنگی نشان داد، در پاسخ به تنش شوری، مقدار کربوئیدرات‌های محلول روند افزایشی پیدا کرد (Xue-feng et al., 2018)، که این گزارش با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. در همین راستا سو و همکاران (Su et al., 2020)، نشان دادند که در شرایط تنش شوری محتوای پرولین و کربوئیدرات‌های محلول به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. ایشان گزارش کردند که کاربرد براسینولید، محتویات پرولین و کربوئیدرات‌های محلول را افزایش می‌دهد. همسو با این گزارشات، مطالعه انجام یافته روی گندم نشان داد، استفاده از براسینولید موجب افزایش قابل توجه محتوای پرولین و کربوئیدرات‌های محلول در شرایط تنش شوری شد که می‌تواند تا حدودی باعث محافظت گیاهان از اثرات نامطلوب سمیت شوری شود (Yusuf et al., 2017). نتایج تحقیق پوراسدالاهی و همکاران (Pourasadollahi et al., 2020) نشان داد، محلول‌پاشی اپی براسینولید اثر افزایشی معنی‌داری بر مقدار کربوهیدرات برگ سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) داشت. جمیع این نتایج نشان می‌دهد توسط محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده می‌توان گیاهان را در مقابل تنش شوری به‌طور قابل ملاحظه‌ای مقاوم نمود.

### محتوای نسبی آب برگ

مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ ارقام در شرایط نرمال و تنش شوری نشان می‌دهد، در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ دو رقم وجود نداشت، در حالی که در شرایط تنش شوری، بین محتوای نسبی آب برگ در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بیشتر از رقم حساس ساجما بود (شکل ۸-الف). همچنین داده‌ها نشان می‌دهند شرایط تنش تأثیر معنی‌داری بر بین محتوای نسبی آب برگ رقم متحمل تی‌تی‌کاکا در مقایسه با شرایط نرمال نداشت، در حالیکه بین محتوای نسبی آب برگ رقم حساس به شوری ساجما در شرایط شور کاهش معنی‌داری (۲۱/۳۵ درصد) پیدا کرد. مقایسه میانگین بین محتوای نسبی آب برگ تحت محلول‌پاشی نشان می‌دهد، محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ (۱۲/۷۳ درصد) نسبت به شاهد شد، اما تحت محلول‌پاشی عصاره گل کلم، افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۸-ب).

در شرایط شور، گیاهان به دلیل عدم تعادل در فشار اسمزی در سلول‌های گیاهی، دچار تنش اسمزی می‌شوند. علاوه بر این، تجمع نمک در مناطق ریشه، پتانسیل آب ریشه را کاهش داده و جذب آب را محدود می‌کند، که در نهایت به کاهش محتوای نسبی آب برگ منجر می‌شود (Otie

(*et al.*, 2021). نتایج مطالعه زاهدی و همکاران (Zahedi *et al.*, 2019) نشان داد که تحت تنش شوری محتوای نسبی آب برگ کاهش قابل توجهی نسبت به عدم شوری داشت، اما با کاربرد ۲۴-اپی براسینولید، تا حد زیادی اثرات منفی شوری بر کاهش محتوای نسبی آب برگ کاهش پیدا کرد. اثر افزایشی ۲۴-اپی براسینولید بر محتوای نسبی آب برگ تحت تنش شوری را می توان به توانایی منحصر به فرد این هورمون در ارتقاء و بهبود پایداری غشاء و مکانیسم های فیزیولوژیکی گیاهان در مقابله با هرگونه کمبود در جذب آب در برابر تنش های ناشی از شوری نسبت داد (Wu *et al.*, 2017). در بررسی فرضی امین آباد و همکاران (Farzi-Aminabad *et al.*, 2021) محتوای نسبی آب برگ گلرنگ تحت محلول پاشی ۲۴-اپی براسینولید افزایش معنی داری داشت که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد.

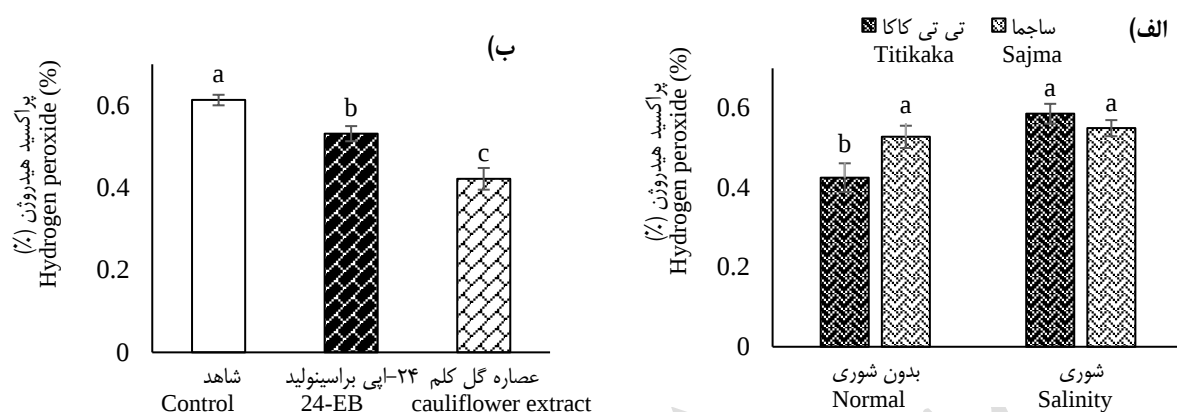


شکل ۸- مقایسه میانگین تغییرات محتوای نسبی آب برگ تحت اثر متقابل شوری × رقم (الف) و محلول پاشی (ب).  
Figure 8- Mean comparison of relative leaf water content of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b).

حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars=±SD).  
Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )

مقایسه میانگین درصد پراکسید هیدروژن نشان می دهد، در شرایط نرمال، مقدار  $H_2O_2$  در رقم حساس ساجما به طور معنی داری بیشتر از رقم متحمل تی تی کاکا بود. با این وجود در شرایط تنش شوری تفاوت معنی داری بین درصد پراکسید هیدروژن این دو رقم مشاهده نشد. از طرفی نتایج نشان می دهد، در مقایسه با شرایط نرمال، درصد پراکسید هیدروژن رقم متحمل در شرایط تنش شوری به طور معنی داری افزایش یافت، ولی این افزایش برای رقم حساس ساجما معنی دار نبود (شکل ۹-الف). مقایسه میانگین درصد پراکسید هیدروژن اثر محلول پاشی نشان می دهد، هر دو محلول اثر معنی داری بر کاهش  $H_2O_2$  در برگ کینوا داشتند، ولی جالب این که تأثیر عصاره گل کلم در این کاهش (۳۱/۲۲ درصد)، به طور معنی داری بیشتر از ۲۴-اپی براسینولید (۱۳/۳۲ درصد) بود (شکل ۹-ب). بررسی ها نشان می دهند، تحت شرایط تنش شوری محتوای  $H_2O_2$  به شدت افزایش پیدا می کند، ولی کاربرد براسینولید می تواند مقدار آن را به طور قابل توجهی کاهش دهد (Su *et al.*, 2020). محققان دیگری نیز بر اثر براسینولید در کاهش آسیب های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری و متعاقب آن تولید گونه های اکسیژن فعال (ROS) تأکید کرده اند (Lopez-Gomez *et al.*, 2016).



شکل ۹- مقایسه میانگین تغییرات پراکسید هیدروژن برگ تحت اثر متقابل شوری × رقم (الف) و محلول پاشی (ب).  
Figure 9- Mean comparison of hydrogen peroxide of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b).

حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars = ±SD).  
Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## کیفیت علوفه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می دهد، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به طور معنی داری ( $p < 0.01$ ) تحت تأثیر اثر متقابل شوری × رقم × محلول پاشی قرار گرفت. پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی ( $p < 0.05$ ) تحت تأثیر اثر متقابل شوری × محلول پاشی و رقم × محلول پاشی قرار گرفتند. همچنین نتایج نشان می دهند، اثر محلول پاشی و اثر متقابل شوری × رقم بر درصد ماده خشک قابل هضم و کربوهیدرات های محلول در آب معنی دار ( $p < 0.01$ ) بودند. از طرفی مشخص شد، درصد خاکستر تحت تأثیر اثر متقابل رقم × محلول پاشی ( $p < 0.05$ ) و اثر شوری ( $p < 0.01$ ) قرار گرفت. با همه این احوال، فیبر خام، تحت تأثیر هیچ کدام از اثرات متقابل قرار نگرفت و فقط اثرات اصلی این ویژگی را تحت تأثیر ( $p < 0.01$ ) قرار دادند (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و محلول پاشی ۲۴-ایپی براسینولید و عصاره گل کلم بر کیفیت علوفه ارقام حساس و متحمل به شوری کینوا  
Table 4- Variance analysis results of the effect of salinity and foliar application of 24-epibrasinolide and cauliflower extract on forage quality of sensitive and tolerant quinoa cultivars to salinity.

| منبع تغییرات<br>Source of variation | درجه آزادی<br>df | (Mean of square) میانگین مربعات |         |                     |                    |                     |          |                    |
|-------------------------------------|------------------|---------------------------------|---------|---------------------|--------------------|---------------------|----------|--------------------|
|                                     |                  | DMD                             | CPr     | WSC                 | CFF                | Ash                 | NDF      | ADF                |
| شوری<br>Salinity                    | 1                | 403.98**                        | 9.29**  | 18.50**             | 128.18**           | 2.67**              | 138.17** | 188.49**           |
| رقم<br>Cultivar                     | 1                | 0.045 <sup>ns</sup>             | 8.74**  | 2.27*               | 154.51**           | 0.070*              | 66.83**  | 223.26**           |
| محلول پاشی<br>Foliar application    | 2                | 115.57**                        | 17.08** | 11.73**             | 131.81**           | 1.95**              | 965.51** | 98.89**            |
| شوری × رقم<br>Salinity × Cultivar   | 1                | 17.92**                         | 1.31*   | 7.39**              | 0.97 <sup>ns</sup> | 0.015 <sup>ns</sup> | 23.63*   | 6.99 <sup>ns</sup> |
| شوری × محلول پاشی                   | 2                | 13.05 <sup>ns</sup>             | 0.84*   | 1.004 <sup>ns</sup> | 2.26 <sup>ns</sup> | 0.131 <sup>ns</sup> | 21.14*   | 18.40**            |

| Salinity × Foliar application            |    |                     |                    |                     |                     |                     |                     |         |
|------------------------------------------|----|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|
| رقم × محلول پاشی                         | 2  | 1.63 <sup>ns</sup>  | 2.07*              | 0.082 <sup>ns</sup> | 14.15 <sup>ns</sup> | 0.427*              | 22.93*              | 13.70** |
| Cultivar × Foliar application            |    |                     |                    |                     |                     |                     |                     |         |
| شوری × رقم × محلول پاشی                  | 2  | 10.55 <sup>ns</sup> | 0.52 <sup>ns</sup> | 0.86 <sup>ns</sup>  | 9.54 <sup>ns</sup>  | 0.114 <sup>ns</sup> | 15.09 <sup>ns</sup> | 21.08** |
| Salinity × Cultivar × Foliar application |    |                     |                    |                     |                     |                     |                     |         |
| خطای آزمایشی                             | 36 | 4.006               | 0.18               | 0.461               | 5.46                | 0.124               | 5.12                | 2.46    |
| Error                                    |    |                     |                    |                     |                     |                     |                     |         |
| ضریب تغییرات (CV)                        |    | 5.83                | 8.01               | 5.35                | 5.19                | 5.33                | 4.70                | 2.64    |

<sup>ns</sup>, \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

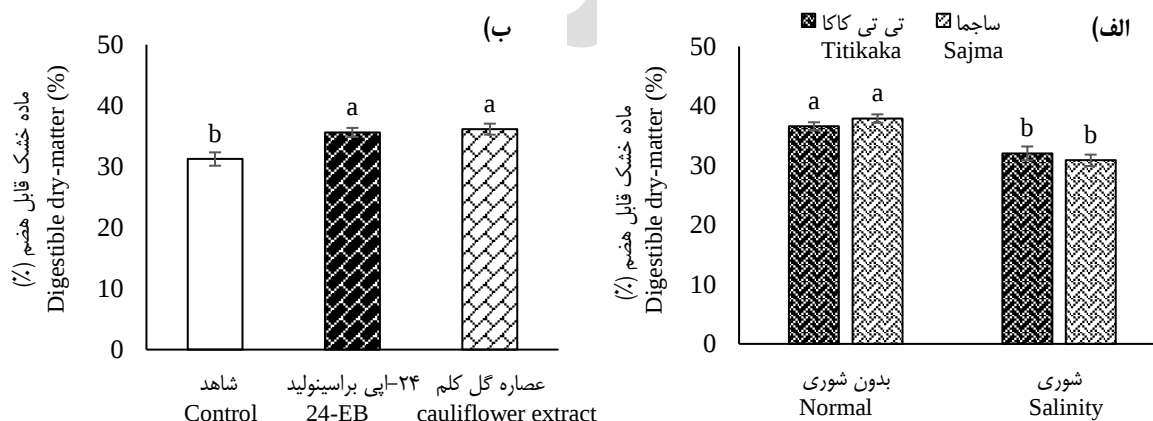
<sup>ns</sup>, \* and \*\* non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

|                              |                              |                                                   |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|
| DMD: ماده خشک قابل هضم علوفه | CPr: پروتئین خام علوفه       | WSC: کربوهیدرات‌های محلول در آب علوفه             |
| DMD: Digestible dry-matter   | CPr: Crude protein of forage | WSC: Water-soluble carbohydrates of forage        |
| CFF: فیبر خام علوفه          | Ash: درصد خاکستر علوفه       | ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه          |
| CFF: Crude fiber of forage   | Ash: Forage ash percentage   | ADF: Acid detergent Insoluble fiber of the forage |
|                              |                              | NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه           |
|                              |                              | NDF: Neutral detergent fiber                      |

### درصد ماده خشک قابل هضم

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × رقم نشان می‌دهد، در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری، بین دو رقم تفاوت معنی‌داری از نظر درصد درصد ماده خشک قابل هضم وجود نداشت (شکل ۱۰-الف). با این حال در مقایسه با شرایط نرمال، ماده خشک قابل هضم هر دو رقم تی‌تی‌کاکا و ساجما تحت تنش شوری (به ترتیب ۱۲/۵۲ و ۱۸/۵۴ درصد) کاهش یافت.

نتایج نشان می‌دهد، محلول پاشی با ۲۴-آپی براسینولید و عصاره گل کلم باعث افزایش به ترتیب ۱۲/۲۵ و ۱۳/۵۶ درصدی ماده خشک قابل هضم علوفه نسبت به شاهد شد. هرچند بین دو نوع محلول تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱۰-ب).



شکل ۱۰- مقایسه میانگین تغییرات ماده خشک قابل هضم علوفه تحت اثر شوری × رقم (الف) و محلول پاشی (ب).

Figure 10- Mean comparison of digestible dry-matter of quinoa in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b).

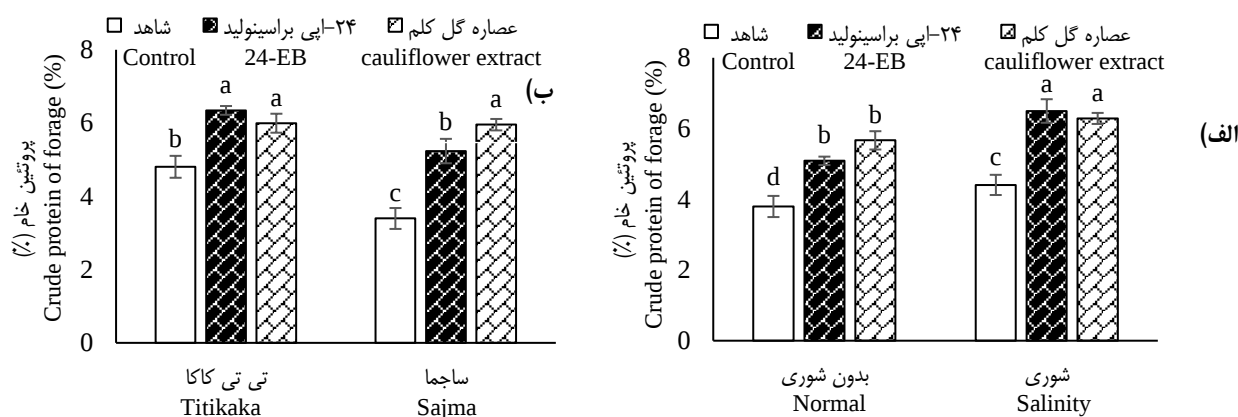
حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

علت پایین بودن ماده خشک قابل هضم در شرایط اعمال تنش را می‌توان ناشی از کاهش تعداد، سطح برگ و افزایش نسبت ساقه به برگ دانست که در نهایت منجر به افزایش مقادیر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی می‌شود. افزایش ماده خشک قابل هضم تحت اثر مواد محلول تعدیل کننده تنش می‌تواند به دلیل نقش این مواد در کاهش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی باشد. قابلیت هضم بالا یکی از عوامل کیفیت بهتر علوفه است (Ferreira et al., 2015). لذا به نظر می‌رسد، شوری باعث افت کیفی علوفه از لحاظ قابلیت هضم شده، ولی محلول پاشی با ایجاد سازوکارهایی می‌تواند از کاهش کیفیت به‌طور معنی‌داری بکاهد. با توجه به غیرمعنی‌دار بودن تفاوت دو ماده تعدیل کننده مورد استفاده، به کارگیری عصاره گل کلم می‌تواند از نظر اقتصادی و حفظ بهداشت محیط توصیه‌پذیرتر باشد. بررسی انجام یافته روی سورگوم نشان می‌دهد، درصد ماده خشک قابل هضم این گیاه تحت تنش شوری کاهش پیدا می‌کند (Tokas et al., 2021). این نتایج با یافته‌های حاصل از بررسی حاضر مطابقت دارد.

## پروتئین خام

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری  $\times$  محلول پاشی نشان می‌دهد، شوری باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین خام علوفه می‌شود (شکل ۱۱- الف). همچنین نتایج حاصله نشان می‌دهد، در هر دو شرایط، بین دو محلول تعدیل کننده تنش، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم  $\times$  محلول پاشی نشان می‌دهد، محلول پاشی باعث افزایش معنی‌دار پروتئین خام علوفه شد، ولی در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا، بین دو محلول مورد استفاده تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱۱- ب). با این حال مقدار افزایش درصد پروتئین خام علوفه در رقم حساس ساجما در محلول پاشی با عصاره گل کلم به‌طور معنی‌داری، بیشتر از محلول پاشی با محلول ۲۴-اپی براسینولید بود. از همین روی به‌نظر می‌رسد با توجه به سازگار بودن با طبیعت و در دسترس بودن گل کلم، برای افزایش پروتئین خام بهتر است از عصاره گل کلم استفاده نمود.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین تغییرات پروتئین خام علوفه کینوا تحت اثر متقابل شوری  $\times$  محلول پاشی (الف) و اثر متقابل رقم  $\times$  محلول پاشی (ب).

Figure 11- Mean comparison of crude protein of forage in effect of salinity  $\times$  foliar application (a) and cultivar  $\times$  foliar application (b).

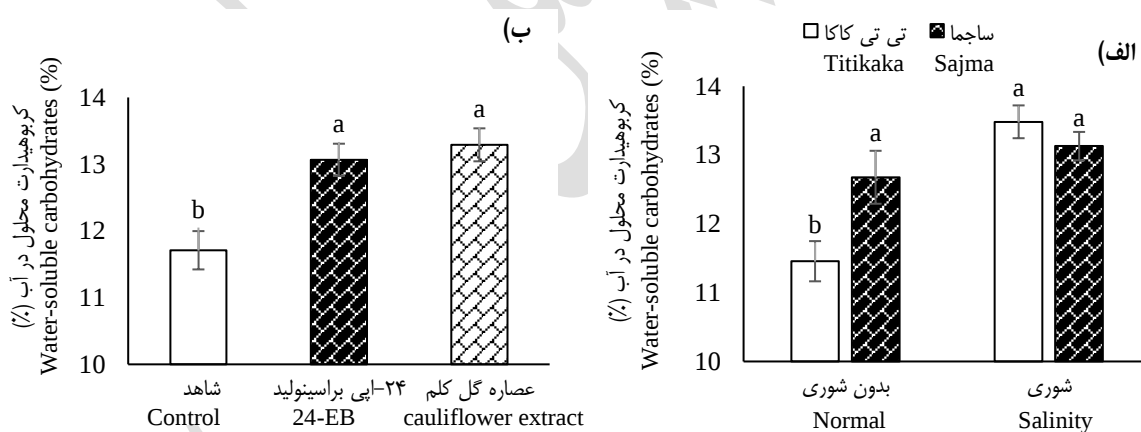
حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (Error Bars =  $\pm$ SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars =  $\pm$ SD).

از دیگر عوامل تعیین کننده کیفیت علوفه، می توان به پروتئین خام بالای آن اشاره نمود. گزارش شده است که تنش شوری با افزایش درصد پروتئین خام علوفه، تأثیر مثبتی بر کیفیت یونجه دارد (Ferreira *et al.*, 2015). همان طور که گفته شد در پژوهش حاضر تنش شوری اثر افزایشی بر درصد پروتئین خام هر دو رقم حساس و متحمل کینوا داشت. پژوهش های دیگر محققین نیز نشان می دهد، شوری با افزایش درصد پروتئین خام یونجه رابطه مستقیم دارد (Suyama *et al.*, 2007; Qiu *et al.*, 2023). افزایش سنتز پروتئین و جذب نیتروژن توسط هورمون براسینولید می تواند دلیلی بر افزایش پروتئین خام علوفه باشد که در نتایج پژوهش حاضر در محلول پاشی ۲۴-آپی براسینولید درصد پروتئین خام علوفه افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشت.

### کربوهیدرات های محلول در آب

بالا بودن درصد کربوهیدرات های محلول در آب یکی از تعیین کننده ترین شاخص های کیفیت علوفه به حساب می آید (Humphreys, 1999). نتایج مقایسه میانگین درصد کربوهیدرات های محلول در آب نشان می دهد، درصد این مواد در رقم متحمل تی تی کاکا در شرایط تنش به طور معنی داری افزایش پیدا کرد، در حالی که تفاوت معنی داری بین شرایط نرمال و تنش شوری در رقم حساس ساجما مشاهده نشد (شکل ۱۲-الف). همچنین نتایج نشان داد، محلول پاشی به طور معنی داری باعث افزایش درصد کربوهیدرات های محلول در آب می شود و جالب این که بین دو محلول از نظر افزایش درصد کربوهیدرات های محلول در آب تفاوت معنی داری وجود نداشت (شکل ۱۲-ب).



شکل ۱۲- مقایسه میانگین کربوهیدرات های محلول در آب علوفه تحت اثر شوری × رقم (الف) و محلول پاشی (ب).

Figure 12- Mean comparison of water-soluble carbohydrates in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b).

حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

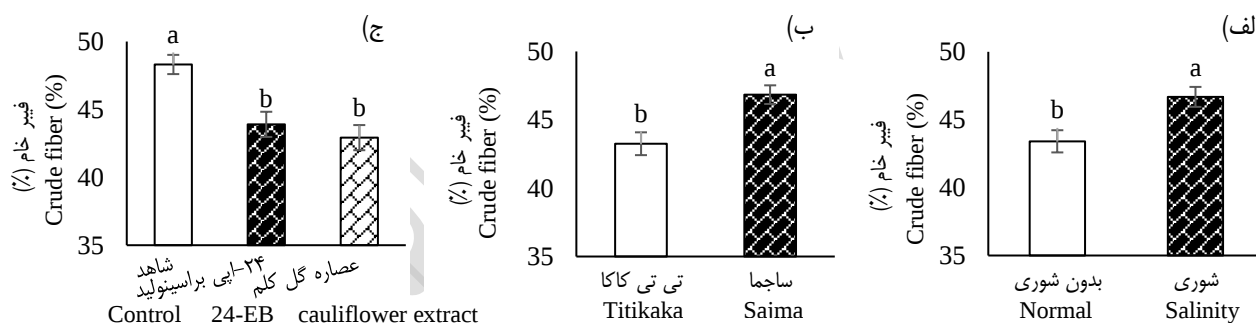
کربوهیدرات های محلول در آب علاوه بر نقش مهمی که در افزایش کیفیت علوفه دارند، اثر بالقوه ای در مقاومت به سرما و مقاومت به چرای دام نیز دارا هستند، بنابراین از آن ها به عنوان مهم ترین ویژگی کیفی بعد از قابلیت هضم نامبرده می شود (Humphreys, 1999). در بررسی حاضر تحت

تنش شوری درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب علوفه افزایش داشت. این نتایج هم‌راستا با یافته‌های توکاس و همکاران (Tokas et al., 2021) است.

## فیبر خام

محتوای فیبر کم در کنار محتوای پروتئین بالا، در افزایش قابلیت هضم و خوش خوراکی علوفه مؤثر بوده و موجب افزایش کیفیت آن می‌شود (Ferreira et al., 2015). نتایج نشان داد، شوری به‌طور قابل توجهی موجب افزایش فیبر خام شده و به این طریق از قابلیت هضم و کیفیت علوفه کینوا می‌کاهد (شکل ۱۳-الف). از طرفی مشاهده شد که رقم متحمل تی‌تی‌کاکا در مقایسه با رقم حساس به شوری ساجما از مقدار فیبر کمتری برخوردار بود (شکل ۱۳-ب). مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی مواد تعدیل‌کننده تنش شوری در درصد فیبر خام نشان می‌دهد، این مواد به‌طور معنی‌داری باعث کاهش فیبر خام و در نتیجه افزایش قابلیت هضم و بالا رفتن کیفیت آن می‌شود. در این میان، بین دو محلول مورد استفاده از نظر آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۳-ج).

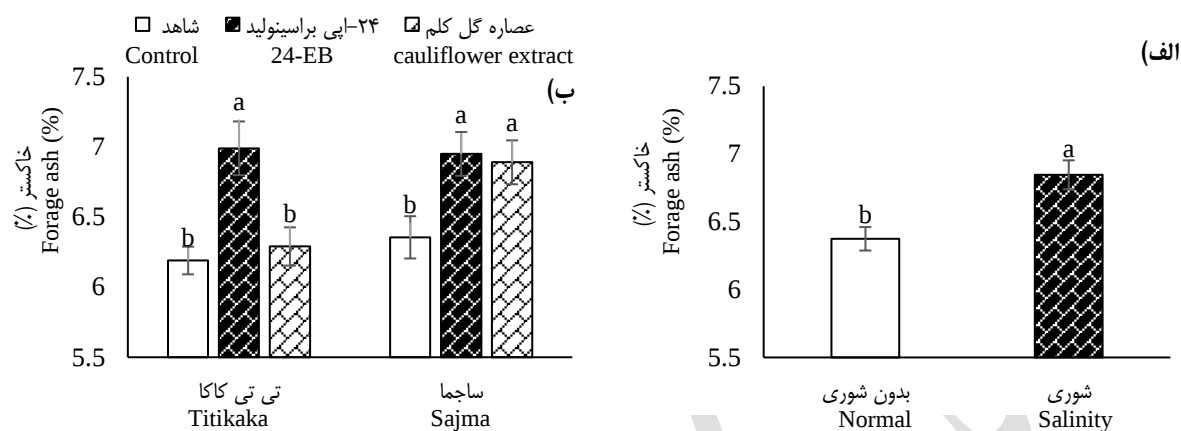
بررسی که توسط دیانتی و همکاران (Dianati et al., 2015)، روی دو گیاه *M. polymer* و *M. scutellata* انجام شد، نشان داد تنش شوری در افزایش فیبر خام آن‌ها تأثیر داشته که این نتایج مؤید یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین تغییرات فیبر خام علوفه کینوا تحت تأثیر شوری (الف)، رقم (ب) و محلول‌پاشی (ج).  
**Figure 13- Mean comparison of crude fiber in effect of salinity (a) cultivar (b) and foliar application (c).**  
 حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).  
 Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## درصد خاکستر

نتایج مقایسه میانگین درصد خاکستر علوفه نشان می‌دهد، تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار (۶/۸۹ درصد) درصد خاکستر علوفه می‌شود (شکل ۱۴-الف). همچنین نتایج نشان می‌دهد، محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش در افزایش خاکستر علوفه تأثیر داشته است (شکل ۱۴-ب). مقایسه محلول‌های مورد استفاده نشان می‌دهد، در رقم حساس ساجما، هر دو محلول به یک اندازه در افزایش درصد خاکستر علوفه کینوا مؤثر بودند، در حالی که در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا، این مقدار افزایش در کاربرد محلول ۲۴-اپی براسینولید به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد عصاره گل کلم بود.



شکل ۱۴- مقایسه میانگین تغییرات خاکستر علوفه کینوا تحت اثر شوری (الف) و رقم × محلول پاشی (ب).

Figure 14- Mean comparison of forage ash in effect of salinity (a) and foliar application (b).

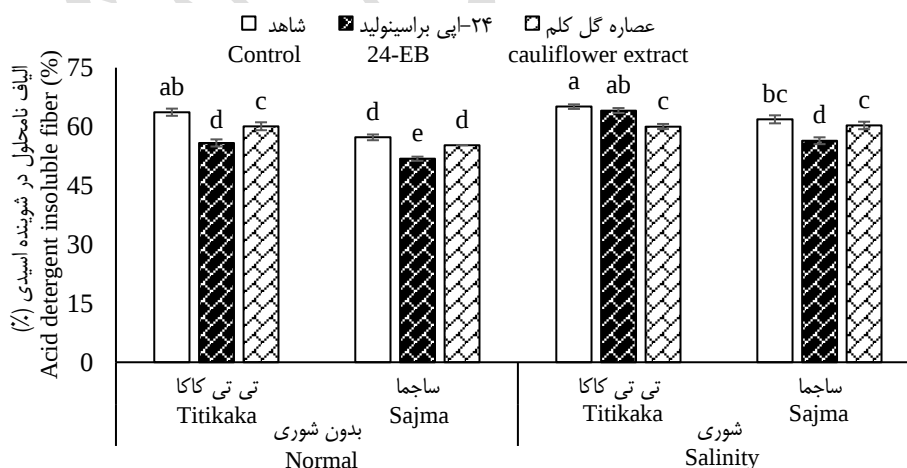
حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

## الیاف نامحلول

### الیاف نامحلول در شوینده اسیدی

مقایسه میانگین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان می دهد، تنش شوری موجب افزایش این نوع الیاف شد، هرچند این مقدار افزایش در شاهد (بدون محلول پاشی) در رقم متحمل تی تی کاکا معنی دار نبود (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- مقایسه میانگین تغییرات الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه تحت اثر شوری × رقم × محلول پاشی.

Figure 15- Mean comparison of acid detergent insoluble fiber in effect of salinity × cultivar × foliar application.

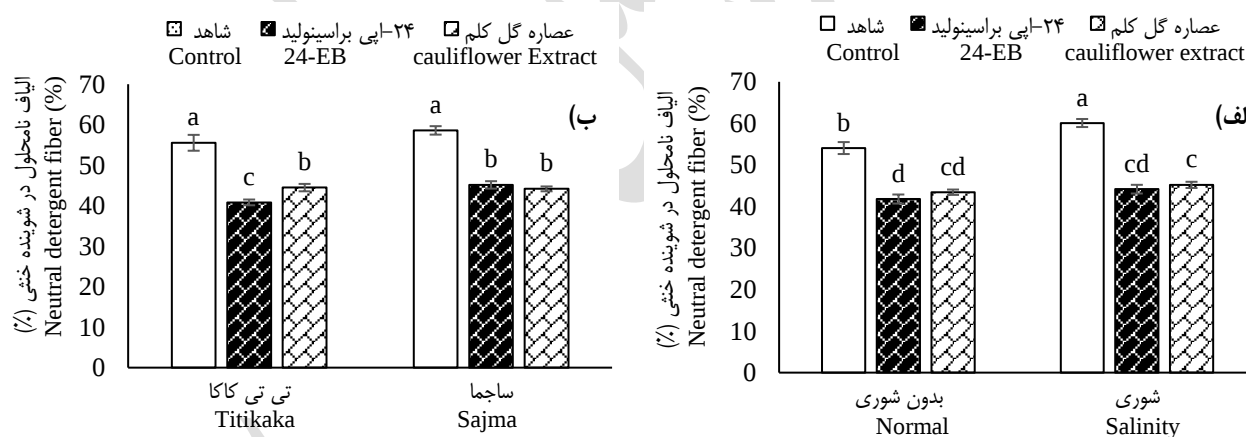
حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

همچنین نتایج نشان می‌دهد، محلول‌پاشی با هر دو ماده تعدیل‌کننده تنش شوری، در کاهش این نوع الیاف مؤثر بودند، با این حال در شرایط تنش شوری برعکس محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید که بر کاهش مقدار الیاف رقم متحمل تأثیر معنی‌داری نداشت، این محلول در رقم حساس ساجما باعث کاهش معنی‌دار الیاف گردید. مقایسه دو نوع محلول بکار رفته در پژوهش نشان می‌دهد، محلول ۲۴-اپی‌براسینولید بیشتر از عصاره موجب کاهش این الیاف می‌شود.

### الیاف نامحلول در شوینده خنثی

نتایج نشان می‌دهد، شوری موجب افزایش الیاف نامحلول در شوینده خنثی می‌شود، این افزایش در شاهد (بدون محلول‌پاشی) معنی‌دار، ولی در محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش شوری از نظر آماری بی‌معنی بود (شکل ۱۶-الف). لذا به نظر می‌رسد محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش شوری، به‌طور مؤثری از تولید الیاف نامحلول در شوینده خنثی در شرایط تنش شوری جلوگیری می‌کند. مقایسه اثر دو محلول مورد استفاده نشان می‌دهد، تفاوت معنی‌داری بین این دو محلول از نظر کاهش اثرات سوء تنش بر افزایش مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی وجود نداشته و می‌توان آن‌ها را به‌جای هم بکار برد. نتایج مقایسه میانگین رقم در محلول‌پاشی نشان می‌دهد، در رقم حساس ساجما، تفاوت آماری بین دو محلول مورد استفاده وجود نداشت، اما در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا، محلول ۲۴-اپی‌براسینولید به‌طور معنی‌داری بهتر از عصاره در کاهش این نوع الیاف مؤثر بود (شکل ۱۶-ب).



شکل ۱۶- مقایسه میانگین تغییرات الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه کینوا تحت اثر متقابل شوری × محلول‌پاشی (الف) و رقم × محلول‌پاشی (ب).

Figure 16- Mean comparison of neutral detergent fiber in effect of salinity × foliar application (a) and cultivar × foliar application (b).

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی از مهم‌ترین عوامل برای سنجش کیفیت علوفه هستند. علوفه‌هایی با مقادیر کمتر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و شوینده خنثی به دام اجازه مصرف بیشتر علوفه خشک را می‌دهند (Masters et al., 2010). الیاف نامحلول

در شوینده اسیدی تحت تأثیر شرایط محیطی و اکولوژیک قرار می‌گیرد و معرف مقادیر لیگنین و سلولز گیاه بوده که با افزایش لیگنین هضم‌پذیری کاهش می‌یابد.

الیاف نامحلول در شوینده خنثی شامل لیگنین، سلولز و همی سلولز است و شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه و نیز عامل مهمی برای تعیین میزان خوردن دام است (Buxton & Brasche, 1991). الیاف نامحلول در شوینده خنثی رابطه معکوسی با قابلیت هضم مواد خوراکی دارد و غلظت دیواره سلولی را نشان می‌دهد (Mc Donald et al., 1995). هرچه مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی بیشتر باشد، کیفیت علوفه کاهش پیدا کرده و پتانسیل خوردن علوفه توسط دام کاهش می‌یابد (Dianati et al., 2015; Fisher & Burns, 1987). براساس نتایج بررسی حاضر مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه تحت تنش شوری نسبت به عدم شوری افزایش داشت.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تحت تنش شوری ویژگی‌های مورفولوژیک (طول ریشه، ارتفاع بوته و وزن‌های خشک ریشه، شاخساره و دانه)، کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و ماده خشک قابل هضم علوفه کاهش پیدا کرد، در حالی که، مقدار پرولین، فنل، کربوهیدرات‌های محلول و پراکسید هیدروژن و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت علوفه (پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، درصد خاکستر، کربوهیدرات‌های محلول در آب و فیبر خام) افزایش یافت. محلول‌پاشی ۲۴-آپی براسینولید و عصاره گل کلم باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژی، کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، فنل و کربوهیدرات‌های محلول برگ و افزایش ویژگی‌های کیفی علوفه (درصد ماده خشک قابل هضم، پروتئین خام، درصد خاکستر و کربوهیدرات‌های محلول در آب) و کاهش پراکسید هیدروژن و منفی مرتبط با کیفیت علوفه (الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و فیبر خام) شد. با توجه به نتایج کلی استفاده از دو محلول ضد تنش به‌خصوص ۲۴-آپی براسینولید به‌طور قابل توجهی آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری را با کاهش پراکسید هیدروژن و افزایش فعالیت آن‌تی اکسیدان‌های غیرآنزیمی بهبود بخشید. رقم تی‌تی‌کاکا در مقابل اثرات منفی تنش شوری بر ویژگی‌های مورفولوژی و بیوشیمیایی مقاومت بیشتری نسبت به رقم ساجما داشت و رقم ساجما تحت محلول‌پاشی عصاره گل کلم و رقم تی‌تی‌کاکا تحت محلول‌پاشی ۲۴-آپی براسینولید واکنش بهتری نسبت به شرایط شور نشان دادند. بنابراین، به‌منظور بهبود رشد و کیفیت علوفه و کاهش اثرات منفی تنش شوری، محلول‌پاشی توسط ۲۴-آپی براسینولید و عصاره گل کلم در هر دو رقم تی‌تی‌کاکا و ساجما مناسب خواهد بود.

### منابع

- Abdellatif, ASA. (2018). Chemical and technological evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivated in Egypt. *Acta Scientific Nutritional Health*, 2, 42-53.
- Ahmad, P., Abass Ahanger, M., Nasser Alyemeni, M., Wijaya, L., Alam P. & Ashraf, M. (2018). Mitigation of sodium chloride toxicity in *Solanum lycopersicum* L. by supplementation of jasmonic acid and nitric oxide. *Journal of plant interactions*, 13(1), 64-72.
- Akbari, M., Toorchi, M. & Shakiba M. R. (2016). The effects of sodium chloride stress on proline content and morphological characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.). *In Biological Forum*, 8, 379-35.

- Alan, B. (2011). Quinoa an ancient crop to contribute to world food security. 37<sup>th</sup> FAO Conference.
- Albaladejo, I., Egea, I., Morales, B., Flores, F.B., Capel, C. & Lozano, R. (2018). Identification of key genes involved in the phenotypic alterations of res (restored cell structure by salinity) tomato mutant and its recovery induced by salt stress through transcriptomic analysis. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1-19.
- AOAC. (1999). In: Cunnif P. (Ed.) Official methods of analysis of the association of official analytical chemists 16<sup>th</sup> ed. AOAC International Gaithersburg MD USA.
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Bhargava, A., Shukla, S. & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa* - an Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, 23(1), 73-87.
- Buxton, D.R. & Brasche, M.R. (1991). Digestibility of structural carbohydrates in cool-season grass and legume forages. *Crop Science*, 31(5), 1338-1345.
- Cheraghi, M., Hatamnia, A.A. & Ghanbari, F. (2023). Effects of salinity stress on calendula (*Calendula officinalis* L.) by exogenous application of melatonin. *Plant Process and Function*, 12(54), 2. (in Persian with English abstract)
- Chien, S.W.C., Liao, J.H., Wang, M.C. & Manneppalli, M.R. (2009). Effect of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and fulvate anions on  $\text{Cd}^{2+}$  free ion concentrations in simulated rhizosphere soil solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2-3), 809-817. *Hazardous Materials*
- Claussen, W. (2005). Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science*, 168(1), 241-248.
- de Oliveira, V.P., Lima, M.D.R., da Silva, B.R.S., Batista, B.L. & da Silva Lobato, A.K. (2019). Brassinosteroids confer tolerance to salt stress in *Eucalyptus urophylla* plants enhancing homeostasis antioxidant metabolism and leaf anatomy. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 557-573.
- Dianati, T.G.A., Salehi, S. & Sadati, E. (2015). Effect of salinity stress ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) on forage quality of *Medicago polymorpha* and *Medicago scutellata*. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-va-Sazandegi)*, 28(107), 57-65.
- FAO. (2024). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farzi-Aminabad, R., Nasrollah zadeh, S. & Ghassemi-Golezani, K. (2021). Response of sunflower in water deficit and foliar application of putrescine and 24-epibrassinolide. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 289-302. (in Persian with English abstract). doi:10.22034/saps.2021.13110
- Ferreira, J.F., Cornacchione, M.V., Liu, X. & Suarez, D.L. (2015). Nutrient composition forage parameters and antioxidant capacity of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in response to saline irrigation water. *Agriculture*, 5(3), 577-597.
- Firoozeh, R., Khavarinejad, R., Najafi, F. & Saadatmand, S. (2019). Effects of gibberellin on contents of photosynthetic pigments proline phenol and flavonoid in savory plants (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 31(4), 894-908. (in Persian with English abstract)
- Fisher, D.S. & Burns, J.C. (1987). Quality analysis of summer-annual forages. II. Effects of forage carbohydrate constituents on silage fermentation 1. *Agronomy Journal*, 79(2), 242-248.
- Foti, C., Khah, E.M. & Pavli, O.I. (2019). Germination profiling of lentil genotypes subjected to salinity stress. *Plant Biology*, 21(3), 480-486.
- Ghasemi, M., Jahanbin, S., Latifmanesh, H., Farajee, H. & Mirshekari, A. (2021). Effect of brassinolide foliar application on some physiological and agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Crop Production*, 14(1), 31-48. (in Persian with English abstract). doi:10.22069/ejcp.2021.18084.2339
- Humphreys, M.O. (1999). Water-soluble carbohydrates in perennial ryegrass breeding. *Grass Forage Science*, 44: 423-430.
- Ismail, A.M. & Horie, T. (2017). Genomics physiology and molecular breeding approaches for improving salt tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 68, 405-434.
- Julkowska, M.M., Koevoets, I.T., Mol, S., Hoefsloot, H., Feron, R. & Tester, M.A. (2017). Genetic components of root architecture remodeling in response to salt stress. *The plant cell*, 29(12), 3198-213.

Kagale, S., Divi, U.K., Krochko, J.E., Keller, W.A. & Krishna, P. (2007). Brassinosteroid confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. *Planta*, 225(2), 353-364.

Kaymakanova, M. & Stoeva, N. (2008). Physiological reaction of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) to salt stress. *General and Applied Plant Physiology*, 34, 177-188.

Liang, W., Ma, X., Wan, P. & Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 495(1), 286-291.

Lopez-Gomez, M., Hidalgo-Castellanos, J., Lluch, C. & Herrera-Cervera, J.A. (2016). 24-Epibrassinolide ameliorates salt stress effects in the symbiosis *Medicago truncatula*-*Sinorhizobium meliloti* and regulates the nodulation in cross-talk with polyamines. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108, 212-221.

Maia Júnior, S.D.O., Andrade, J.R.D., Nascimento, R.D., Lima, R.F.D., Bezerra, C.V.D.C. & Ferreira, V.M. (2022). Brassinosteroid application increases tomato tolerance to salinity by changing the effects of stress on membrane integrity and gas exchange. *Acta Scientiarum Agronomy*. 44. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.55647>

Masters, D., Tiong, M., Vercoe, P. & Norman, H. (2010). The nutritive value of river saltbush (*Atriplex amnicola*) when grown in different concentrations of sodium chloride irrigation solution. *Small Ruminant Research*, 91(1), 56-62.

Mc Donald, P., Edwards, R.A., Greanhalgh, J.F.D. & Morgan, C.A. (1995). *Animal Nutrition*. Addison Wesley Longman Inc. UK. ISE reprint. 607.

Melchiorre, M., Quero, G.E., Parola, R., Racca, R., Trippi, V.S. & Lascano, R. (2009). Physiological characterization of four model *Lotus* diploid genotypes: *L. japonicus* (MG20 and Gifu) *L. filicaulis* and *L. burtii* under salt stress. *Plant Science*, 177(6), 618-628.

Mezni, M., Albouchi, A., Bizid, E. & Hamza, M. (2010). Minerals uptake organic osmotica contents and water balance in alfalfa under salt stress. *Journal of Phytology*, 2(11).

Mohammadi Khalifelouiy, Z., Abbasifar, A.R., Khadivi, A. & Akramian, M. (2020). The effect of proline and 24-epibrassinolide on growth indices and biochemical characteristics of the summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(4), 925-940. (in Persian with English abstract).

Oliveira Neto, C.F.D., Lobato, A.K.D.S., Gonçalves-Vidigal, M.C., Costa, R.C.L.D., Santos Filho, B.G.D., Alves, G.A.R. & Lopes, M.S. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 7(3,4), 588-593.

Otie, V., Udo, I., Shao, Y., Itam, M.O., Okamoto, H., An, P. & Eneji, E.A. (2021). Salinity effects on morpho-physiological and yield traits of soybean (*Glycine max* L.) as mediated by foliar spray with brassinolide. *Plants*, 10(3), 541.

Ouji, A., El-Bok, S., Mouelhi, M., Younes, M.B. & Kharrat, M. (2015). Effect of salinity stress on germination of five Tunisian lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes. *European Scientific Journal*, 11(21).

Panda, D., Ghosh, D.C. & Kar, M. (2013). Effect of salt stress on the pigment content and yield of different rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 4(3), 431-434.

Parvin, K., Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.B., Mohsin, S.M. & Fujita, M. (2019). Quercetin mediated salt tolerance in tomato through the enhancement of plant antioxidant defense and glyoxalase systems. *Plants*, 8(8), 247.

Pavli, O.I., Foti, C., Skoufogianni, G., Karastergiou, G. & Panagou, A. (2021). Effect of salinity on seed germination and seedling development of soybean genotypes. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*, 27(2), 556210. DOI: 10.19080/IJESNR.2021.27.556210

Pourasadollahi, A., Siosemardeh, A., Hosseini-panahi, F., Sohrabi, Y. (2020). Effect of spraying of growth regulators on water use efficiency some osmolites and physiological traits of potato in drought stress conditions. *Plant Process and Function*, 9(35), 329-345. (in Persian with English abstract)

Pulvento, C., Jacobsen, S.E., Alandia, G., Prins, U., Andria, R., Sellami, M.H., Grimberg, A., Carlsson, A.S., Capannini, S. & Lavini, A. (2016). Evaluation of quinoa adaptability under European conditions to enhance high quality food protein production. In *Proceedings of the Quinoa for Future Food and Nutrition Security in Marginal Environments Conference Dubai United Arab Emirates*. 28.

Qiu, Y., Wang, Y., Fan, Y., Hao, X., Li, S. & Kang, S. (2023). Root yield and quality of alfalfa affected by soil salinity in northwest China. *Agriculture*, 13(4), 750.

Rady, M.M. (2011). Effect of 24-epibrassinolide on growth yield antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 232-237.

Ramaswamy, A. & Seeta, R.R.S. (2018). Effect of salinity stress on seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. *International Journal of Biology Research*, 3(1), 70-75.

Ruiz, K.B.S., Biondi, R., Oses, I.S., Acuña-Rodríguez, I.S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E.A., Molina-Montenegro, M.A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A. & Bazile, D. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 349-359.

Sasse, J.M. (2003). Physiological actions of brassinosteroids: an update. *Journal of plant growth regulation*, 22(4), 276-288.

Shamon, M.S., El-Awadi, M.E., Gergis, M.D. & El-Rorkiek, G.A. (2020). Physiological Role of Brassinosteroids and cauliflower extract on quinoa plant grown under sandy soil. *Asian Journal of Applied Sciences*, 13(2), 68-75.

Shin, Y.K., Bhandari, S.R., Cho, M.C. & Lee, J.G. (2020). Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters and proline content in tomato seedlings grown under different salt stress conditions. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 61, 433-443.

Singh, M., Singh, V.P. & Prasad, S.M. (2019). Nitrogen alleviates salinity toxicity in *Solanum lycopersicum* seedlings by regulating ROS homeostasis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 466-476.

Su, Q., Zheng, X., Tian, Y. & Wang, C. (2020). Exogenous brassinolide alleviates salt stress in *Malus hupehensis* Rehd. by regulating the transcription of NHX-Type Na<sup>+</sup>(K<sup>+</sup>)/H<sup>+</sup> antiporters. *Frontiers in plant science*, 11, 38.

Suyama, H., Benes, S.E., Robinson, P.H., Grattan, S.R., Grieve, C. & Mand Getachew, G. (2007). Forage yield and quality under irrigation with saline-sodic drainage water: Greenhouse evaluation. *Agricultural Water Management*, 88(1-3), 159-172.

Swamy, K., Rao, N.S. & Ram, S. (2010). Effect of brassinosteroids on rooting and early vegetative growth of *Coleus* [*Plectranthus forskohlii* (Willd.) Briq.] stem cuttings. *Indian Journal of Natural Products Resources*, 1(1), 68-73.

Tavoosi, M., Anafjeh, Z., & Mahdavi Majd, J. (2021). Effect of different salinity levels on germination indices of 20 new quinoa genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3), 837-847.

Tawaha, K., Alali, F.Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M. & El-Elmat, T. (2007). Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chemistry*, 104(4), 1372-1378.

Teakle, N.L. & Tyerman, S.D. (2010). Mechanisms of Cl-transport contributing to salt tolerance. *Plant cell and environment*, 33(4), 566-589.

Tokas, J., Punia, H., Malik, A., Sangwan, S., Devi, S. & Malik, S. (2021). Growth performance nutritional status forage yield and photosynthetic use efficiency of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under salt stress. *Range Management and Agroforestry*, 42(1), 59-70.

Turner, N.C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58, 339-366.

Vardhini, B.V. (2012). Application of brassinolide mitigates saline stress of certain metabolites of sorghum grown in Karaikal. *Journal of Phytology*, 4(4).

Verma, V., Ravindran, P. & Kumar, P.P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC Plant Biology*, 16(1), 1-10.

Wani, A.S., Tahir, I., Ahmad, S.S., Dar, R.A. & Nisar, S. (2017). Efficacy of 24-epibrassinolide in improving the nitrogen metabolism and antioxidant system in chickpea cultivars under cadmium and/or NaCl stress. *Scientia Horticulturae*, 225, 48-55.

Wu, W., Zhang, Q., Ervin, E.H., Yang, Z. & Zhang, X. (2017). Physiological mechanism of enhancing salt stress tolerance of perennial ryegrass by 24-epibrassinolide. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1017.

Wu, X.X., Ding, H.D., Zhu, Z.W., Yang, S.J. & Zha, D.S. (2012). Effects of 24-epibrassinolide on photosynthesis of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings under salt stress. *African Journal of Biotechnology*, 11(35), 8665-8671.

- Xue-feng LIN, L.X., Hong-tao XIE, X.H., Mu-kui Yu, Y.M. & Shun-wei Chen, C.S. (2018). Morphological and physiological response and salt-tolerance differences of three coastal plants under salt stress. *31*(3), 95-103.
- Yang, A.J., Anjum, S.A., Wang, L., Song, J.X., Zong, X.F., Lv, J. & Wang, S.G. (2018). Effect of foliar application of brassinolide on photosynthesis and chlorophyll fluorescence traits of *Leymus chinensis* under varying levels of shade. *Photosynthetica*, 56, 873-883.
- Yusuf, M., Fariduddin, Q., Khan, T.A. & Hayat, S. (2017). Epibrassinolide reverses the stress generated by combination of excess aluminum and salt in two wheat cultivars through altered proline metabolism and antioxidants. *South African Journal of Botany*, 112, 391-398.
- Zahedi, S.M., Asgarian, Z.S., Gholami, R. & Karami, F. (2019). Effect of 24- Epibrassinolide foliar application on the "Camarosa" strawberry plant growth and fruit yield under salinity stress condition in soilless culture. *Journal of Plant Production Research*, 26(1), 169-183. (in Persian with English abstract). doi:10.22069/jopp.2019.14493.2300
- Zhang, J., Jia, W., Yang, J. & Ismail, A.M. (2006). Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. *Field crops research*, 97(1), 111-119.
- Zhang, Q. & Dai, W. (2019). Plant response to salinity stress. In *Stress, physiology of woody plants*. 155-173. CRC Press.
- Zheng, Q., Liu, J., Liu, R., Wu, H., Jiang, C., Wang, C. & Guan, Y. (2016). Temporal and spatial distributions of sodium and polyamines regulated by brassinosteroids in enhancing tomato salt resistance. *Plant and Soil*, 400, 147-164.