

Investigating of the effect of zinc nitrate on vegetable chlorophyll parameters and biochemical parameters of Balangué (*Lallemantia iberica* L.) under different irrigation regimes

L. Akbari^{1*}, Z. Chaghakaboodi¹

1. Assistant Professor of Biotechnology, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Engineering Sciences, Razi University, Agriculture and Natural Resources Campus, Kermanshah, Iran

Received 18 December 2023; Accepted 26 May 2024

Extended abstract

Introduction

One of the most significant global challenges is drought stress, which leads to a reduction in agricultural and horticultural crop yields and an increase in secondary metabolites. Zinc, as a mitigating factor against drought stress, plays a crucial role in this context. Chlorophyll fluorescence parameters are essential for assessing the photosynthetic capacity throughout the plant's lifecycle. This study aimed to compare resistance to varying moisture levels, evaluate physiological indicators, and assess the functionality of photosystem II using chlorophyll fluorescence parameters and biochemical characteristics. Plant adaptation to drought is examined through various physiological, morphological, biochemical, and molecular responses and adjustments. Soluble sugars help prevent protein and cell membrane dehydration by maintaining osmotic pressure in plant leaves under drought stress conditions.

Materials and methods

In a factorial experiment with a completely randomized design, the first factor comprised three levels of drought stress (75%, 50%, and 25% of field capacity), while the second factor included three concentrations of zinc nitrate (0, 5, and 10 mg.l⁻¹) applied to the Balangué (*Lallemantia iberica*) plant. The uppermost leaves of the plant were selected to determine the desired indices and were covered with special clamps for fifteen minutes. Subsequently, light was shone on the leaf for two seconds using a device, and the desired indicators were recorded. The aerial parts of the plants were harvested, dried, powdered, and soaked in ethanol and methanol at room temperature for 48 hours to assess biochemical characteristics. The concentration of methanolic and ethanolic extracts was performed using a rotary evaporator, and the samples were stored in a refrigerator.

Results and discussion

In the results comparing the mean with increasing levels of drought stress and application of foliar spraying with nitrate, there was no decrease in Pi and Fv/Fm at different stress levels. The greatest effect of foliar spraying was related to the amount of ten milligrams per liter of zinc nitrate in the investigated levels. Also, at different levels of drought stress, foliar spraying using zinc nitrate caused a significant change in the amount of phenol (13.50 mg.l⁻¹), soluble sugar (94.15 mg.l⁻¹), and flavonoid (8.49 micrograms). per liter and anthocyanin content (0.138 µg.l⁻¹).

* Corresponding author: Leila Akbari; E-Mail: L.akbari@razi.ac.ir



Conclusion

The results have shown that the application of moisture stress at the investigated levels significantly increased the content of biochemical traits (soluble sugar, total phenol, flavonoid content, and anthocyanin content) and chlorophyll fluorescence indices. Increasing the level of carbohydrates, especially sugars, plays an important role in protecting and regulating osmosis. Additionally, the accumulation of soluble sugar molecules stabilizes the structure of macromolecules and ultimately prevents the deformation and destruction of biological molecules. Therefore, the use of foliar spraying at two levels of five and ten milligrams of zinc nitrate during the stress period has shown a decrease in the level of these compounds. The highest difference was related to 50% moisture stress and the use of 10 mg.l⁻¹ of zinc nitrate. The use of zinc oxide and green zinc nanoparticles in the soil and foliar application by spray significantly increases the absorption of nitrogen, phosphorus, potassium, and zinc and reduces the adverse effects of drought stress. Therefore, under the influence of different moisture regimes at various growth stages of the plant, it is possible to improve the growth of the plant and enhance the biochemical characteristics of the balangue plant under drought stress conditions by using foliar spraying.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, Foliar Spraying, Total phenol, Water Stress, Zinc Nitrate

بررسی تأثیر نیترات روی بر پارامترهای کلروفیل سبزینه و صفات بیوشیمیایی گیاه بالنگو تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری

لیلا اکبری^{۱*}، زینب چقاكبودی^۱^۱. استادیار بیوتکنولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم مهندسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، کرمانشاه

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی:	یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های موجود در کشت گیاهان زراعی و باغی در جهان تنش کم‌آبی است که سبب بروز اختلالات متابولیسمی و کاهش عملکرد می‌گردد. در این میان عنصر روی به‌عنوان یکی از عوامل کاهش‌دهنده اثرات تنش کم‌آبی حائز اهمیت است. پارامترهای کلروفیل فلورسانس از مهم‌ترین فاکتورها برای تعیین ظرفیت فتوسنتزی در طول زندگی گیاهان است. بدین منظور، آزمایشی با هدف مقایسه میزان مقاومت به سطوح مختلف تنش کم‌آبی، ارزیابی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی و ارزیابی کارکرد فتوسیستم II با استفاده از پارامترهای فلورسانس کلروفیل و برخی خصوصیات بیوشیمیایی انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی، فاکتور اول شامل سه سطح تنش خشکی (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم سه سطح نیترات روی (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) بر روی گیاه بالنگو انجام شد. در نتایج مقایسه میانگین با افزایش سطوح تنش خشکی و اعمال محلول پاشی با نیترات روی روند کاهشی در میزان F_v/F_m و P_i در سطوح مختلف تنش مشاهده نشد. بیشترین تأثیر در محلول پاشی مربوط به مقدار ده میلی‌گرم بر لیتر نیترات روی در سطوح مورد بررسی بود. هم‌چنین در سطوح مختلف تنش کم‌آبی محلول پاشی با استفاده از نیترات روی سبب تغییر معنی‌دار در میزان فنول (۱۳/۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، قند محلول (۹۴/۱۵ میلی‌گرم در لیتر)، فلاونوئید (۸/۴۹ میکروگرم در لیتر) و محتوای آنتوسیانین (۰/۱۳۸ میکروگرم در لیتر) گردید. با توجه به نمودارهای به‌دست آمده و پارامترهای مورد بررسی در طول دوره تنش می‌توان گفت، محلول پاشی با نیترات روی به‌عنوان یکی از عناصر ضروری در غلظت‌های مناسب می‌تواند به‌عنوان عامل مناسبی کاهش اثرات کم‌آبی در مراحل مختلف رشدی گیاه بالنگو برای مقابله با شرایط خشکی مؤثر باشد.
تاریخ دریافت:	
۱۴۰۲/۰۹/۲۷	
تاریخ پذیرش:	
۱۴۰۳/۰۳/۰۶	
تاریخ انتشار:	
تابستان ۱۴۰۴	
۲۶۲-۲۵۱ (۲): ۱۸	

مقدمه

می‌شوند (Amin, 1991; Mozafarian, 1996). گیاه بالنگو به دلیل حضور ژن‌های متحمل به خشکی با سازش در برابر تنش کم‌آبی در اکثر مناطق به‌صورت آبی و دیم کشت می‌گردد. در بعضی از مناطق با شرایط کشت دیم کاهش عملکرد و ارتفاع گیاه مشاهده شده است. تنش کم‌آبی با تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد و در نتیجه بهره‌وری محصول کاهش می‌یابد. پاسخ گیاهان به‌عنوان موجودات چند سلولی در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی بسیار پیچیده است

گیاه دارویی بالنگو گیاهی یک‌ساله، روغنی، زودرس و سرمادوست است. گیاهی با کاربردهای متنوع و با امکان کشت دیم است. گیاه دارویی بالنگو ارزش دارویی و صنعتی دارد. دانه‌های بالنگو منبع خوبی از فیبر (۳۰/۶۷)، روغن (۲۸-۲۰٪) و پروتئین (۱۸٪) بوده و اثرات دارویی و تغذیه‌ای زیادی دارند (Amanzadeh et al., 2011). این جنس دارای پنج گونه مختلف از جمله *iberica*, *royleana*, *peltata*, *baldshuanica* و *canescen* است. بذرها *Lallemantia* *iberica* در زبان فارسی با نام «بالنگوی شهری» شناخته

اساسی در مقاومت محصول در برابر تنش کم‌آبی ایفا می‌کند. در شرایط تنش کم‌آبی، سبب بهبود جوانه‌زنی بذر، روابط آبی گیاه، پایداری غشای سلولی، تجمع اسمولیت، تنظیم روزنه‌ای، راندمان مصرف آب و فتوسنتز گردد و در نتیجه عملکرد گیاه به‌طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. علاوه بر این، تعامل روی با هورمون‌های گیاهی سبب افزایش بیان پروتئین‌های استرس می‌شود و سبب تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با اثرات خشک‌سالی می‌شود (Rana et al., 2013). نانوذرات روی پایدار و مقرون‌به‌صرفه برای سنتز هستند و پتانسیل قابل توجهی برای بهبود تولید محصول تحت تنش‌های غیرزیستی نشان داده‌اند. به‌عنوان مثال، اشاره شده است که تجمع نانوذرات پایه‌های فلزی و اکسید فلزی توسط ریشه به‌طور قابل توجهی توسط خواص نانوذرات (NPs) و شرایط محیطی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Ali et al., 2021). در مقابل، نقش روی در تحمل به خشکی هنوز به خوبی درک نشده است.

در مطالعات زیادی رابطه بین کارایی فتوسنتزی گیاه و فلورسانس کلروفیل تحت شرایط تنش کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور جهت تعیین وضعیت فیزیولوژیکی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی در شرایط تنش از سنجش فلورسانس کلروفیل استفاده می‌شود. در حقیقت، مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی، سالم بودن غشاء تایلاکوئید، کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I و همچنین میزان آسیبی که در شرایط تنش به گیاه وارد می‌گردد را به خوبی نشان دهد. تنش کم‌آبی، باعث ایجاد اختلال و تخریب ساختمان پروتئین D1 موجود در فتوسیستم II و در نتیجه فعالیت فتوسیستم II و همچنین سبب کاهش نسبت F_v/F_m ^۱ می‌گردد (Rahbarian et al., 2013).

به‌منظور ارزیابی فعالیت فتوسنتزی برگ و میزان آسیب وارده به گیاه سنجش فلورسانس کلروفیل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hosseinzadeh et al., 2016). عملکرد کوانتومی یا کارایی فتوسیستم II به‌عنوان شاخصی مهم در ارزیابی تحمل به تنش‌های محیطی گونه‌های مختلف گیاهی از جمله تنش کم‌آبی محاسبه می‌گردد (Massacci et al., 2008). نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر فلورسانس (F_v/F_m)

(Sheykhi Sanandaji and Pirzad., 2019). گیاهان به دلیل عدم تحرک و جابجایی مکانیسم‌های متفاوتی برای مقاومت در برابر شرایط تنش انجام می‌دهند. مکانیسم‌های مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی بر سه راهبرد اصلی فرار از خشکی، اجتناب و تحمل خشکی است (Umar Hassan et al., 2020). سازگاری گیاهان با خشکی به‌منظور مقابله با شرایط تنش از طریق واکنش‌های مختلف و سازش‌های متنوع فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی مورد شناسایی و بررسی قرار می‌گیرد. قندهای محلول در شرایط تنش کم‌آبی به‌واسطه حفظ فشار اسمزی در برگ‌های گیاهان، از دهیدراسیون پروتئین‌ها و غشاهای سلولی جلوگیری می‌کنند (Oukarroum et al., 2007). یکی از تنش‌های محیطی مهم که گیاه در طول چرخه زندگی و مراحل مختلف رشد گیاه با آن روبرو می‌شود تنش کم‌آبی است و به‌عنوان مهم‌ترین عامل در کاهش عملکرد در گیاهان مختلف است (Deepak et al., 2019). در اثر تنش کم‌آبی رشد و نمو گیاهان دارویی مانند سایر گیاهان کاهش می‌یابد. شرایط تنش‌زا معمولاً سبب تشدید سنتز مواد مؤثره گیاهان دارویی (متابولیت‌های ثانویه) می‌گردد. در شرایط وقوع تنش کم‌آبی کنترل‌شده و ملایم کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی نیز افزایش می‌یابد، زیرا قسمت عمده تأثیر دارویی اسانس این گیاهان ناشی از افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه گیاهان است (Petroopoulos et al., 2008). اتخاذ سیاست‌هایی برای محافظت از محصولات در برابر حوادث شدید آب و هوایی از جمله خشکسالی ضروری است. توسعه محصولات مقاوم به خشکی یکی از رویکردهای ضروری برای مقابله با این شرایط است. با این حال، این رویکرد زمان‌بر است و نیاز به سرمایه‌گذاری‌های عظیم دارد. برعکس، رویکردهای مدیریتی دیگری نیز وجود دارد که می‌تواند راه حل‌های سریعی برای این مشکل ارائه دهد. در این میان، استفاده از مواد مغذی معدنی یکی از امیدوارکننده‌ترین رویکردها برای کاهش اثر خشکسالی در نظر گرفته می‌شود. نقش مواد مغذی معدنی، به ویژه روی، در رشد و نمو گیاهان در شرایط عادی به خوبی شناخته شده است. (Umar Hassan et al., 2020).

از سوی دیگر روی (Zn) به‌عنوان یک ریزمغذی ضروری که با تنظیم مکانیسم‌های مولکولی و فیزیولوژیکی مختلف، نقش

¹ Maximum photochemical quantum yield

(Esmailpour et al., 2020). به منظور بررسی تأثیر محلول پاشی نانو اکسید آهن در شرایط تنش کم آبی بر کیفیت فیزیولوژیک بذر کنگد آزمایشی انجام شد و نتایج نشان داد که تنش سبب کاهش کیفیت بذر از نظر درصد جوانه زنی، یکپارچگی غشاء سلولی، وزن تر و خشک گیاهچه و بنیه بذر شد. کاربرد نانو اکسید آهن در شرایط کم آبی توانست برخی صفات کیفی مثل بنیه بذر، وزن خشک و وزن تر گیاهچه و سرعت جوانه زنی را بهبود بخشد (Karamian et al., 2018). کمبود آب همواره یکی از عوامل محدود کننده عملکرد گیاهان در اکثر مناطق ایران است. با توجه به اینکه در شرایط تنش رطوبتی جذب مواد غذایی در خاک توسط گیاه به درستی انجام نمی شود، محلول پاشی با استفاده از عناصر راهی برای رفع کمبود عناصر غذایی در شرایط تنش کم آبی با استفاده از شیوه های افزایش تحمل به تنش خشکی در گیاهان است. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر محلول پاشی نیترات روی در سطوح مختلف تنش رطوبتی بالنگو به منظور کاهش مشکلات فیزیولوژیکی و تشخیص جایگاه نیترات روی در کاهش صدمات ناشی از تنش رطوبتی در گیاه بالنگو است.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سطوح مختلف تنش کم آبی (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان فاکتور اول و محلول پاشی با نیترات روی ($Zn(NO_3)_2$) خریداری شده از شرکت سیگما در سه سطح (صفر، پنج و ده میلی گرم در لیتر) به عنوان فاکتور دوم بود. بذر گیاه بالنگو از مرکز تحقیقات دیم سرارود بخش دانه های روغنی تهیه گردید. تعدادی از گیاهچه ها پس از گذراندن مرحله چهار برگه حذف و تنها سه بوته در هر گلدان جهت اعمال تنش در مرحله قبل از گلدهی نگهداری گردید. آبیاری تا مرحله چهار برگه انجام و پس از آن به مدت دو هفته تنش اعمال گردید. از روش وزنی برای اعمال سطوح مختلف تنش استفاده شد. جهت اعمال تیمارهای رطوبتی، گلدان هایی با طول ۱۸ سانتی متر انتخاب و سپس به صورت یکسان با ترکیب خاک، ماسه و کود حیوانی با نسبت ۱:۱:۳

به صورت پتانسیل عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نشان داده می شود و دامنه آن در شرایط غیر تنش بین ۰/۸۵ - ۰/۶۵ است. چنانچه گیاهان در شرایط تنش هایی همچون شوری، خشکی و گرما قرار بگیرند، این مقدار کاهش خواهد یافت. به منظور ارزیابی اثر تنش کم آبی بر سیستم فتوسنتزی گیاه و تخمین میانگین کارایی کوانتوم فتوسیستم II از پارامترهای فلورسانس کلروفیل استفاده های زیادی شده است. در واقع، تنش کم آبی با تأثیر سوئی که بر همانندسازی کربن می گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه سیستم به سرعت به F_m می رسد که نتیجه آن کاهش فلورسانس متغیر (F_v) خواهد بود. از طرفی، با افزایش شدت نور، سیستم فتوسنتزی با یک روش تنظیمی برای کاهش انرژی القاشده تحریکی، انرژی مازاد را از طریق افزایش خاموشی غیر فتوشیمیایی به صورت فرآیند غیر تشعشعی از دست می دهد. با این مکانیسم تنظیمی، ضمن حفاظت از مرکز واکنش، موجب می گردد که حداقل صدمه به این مرکز وارد شود. از این رو، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به صورت نسبت F_v/F_m نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر بیان می شود؛ بنابراین، تنش های محیطی با تأثیر بر فتوسیستم II باعث کاهش این نسبت می شوند (Keshavarznia et al., 2017).

در مطالعه محلول پاشی نانوذره سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه بالنگوی شهری تحت رژیم های مختلف رطوبتی نتایج حاکی از آن است که بهترین غلظت مورد استفاده ده میلی گرم بر لیتر سلمات سلنیوم است که تأثیر مثبتی بر عملکرد و وزن گیاه و همچنین افزایش محتوای پروتئین، پروتئین و قند محلول داشته است که می تواند مربوط به نقش آنتی اکسیدانی سلنیوم باشد (Amerian et al., 2020). در بررسی اثر تنش کم آبی بر روی صفات فیزیولوژیک، فعالیت آنزیم پراکسیداز و عملکرد دانه پنج جمعیت گیاه دارویی بالنگوی شیرازی نتایج نشان داد که تنش خشکی بر روی صفات مورد مطالعه معنی دار است و با افزایش سطوح تنش خشکی ترکیب های فنلی و آنتوسیانین افزایش یافت (Ahmadi and Omid, 2019). در آزمایشی که به منظور تأثیر نیتریک اکسید بر خصوصیات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه ریحان در شرایط تنش کم آبی انجام شد نتایج نشان داد که محلول پاشی نیتریک اکسید در شرایط تنش خشکی با ایجاد تنظیم اسمزی و جلوگیری از تجزیه کلروفیل در بهبود رشد گیاه ریحان مؤثر بوده است

های متانولی و اتانولی با استفاده از روتاری انجام شد و نمونه‌ها در یخچال نگهداری شدند. تعیین محتوای صفات بیوشیمیایی موردبررسی در این تحقیق، استخراج عصاره بر اساس روش (Sepehrifar and Hasanloo, 2010)، تعیین محتوای فنل کل (Pandjaitan et al., 2005)، مقدار آنتوسیانین (Roberta et al., 2005) تعیین میزان قند محلول و میزان فلاونوئید کل (Faraji et al., 2020) انجام شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها، آنالیز واریانس و مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات موردبررسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS.19 و هم چنین رسم نمودارهای مقایسه میانگین نیز با برنامه آماری Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آنالیز واریانس شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و صفات بیوشیمیایی موردبررسی نشان داد که اثر متقابل کم‌آبی و سطوح مختلف نیترات روی (صفر، پنج و ده میلی گرم در لیتر) در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار است. فاکتور تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر همه صفات و شاخص‌های موردبررسی داشت. فاکتور نیترات روی نیز اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر صفت قند محلول و در سطح پنج درصد بر صفت آنتوسیانین و هم‌چنین تأثیر غیرمعنی‌دار برای صفات فنل کل و فلاونوئید داشت. در بررسی اثر متقابل بین کم‌آبی و سطوح مختلف نیترات روی نیز نتایج معنی‌دار بوده است (جدول ۱).

بر اساس مقایسه میانگین اثرات متقابل بین سطوح کم‌آبی و نیترات روی نتایج حاکی از آن است که با افزایش سطوح کم‌آبی بر اساس درصد ظرفیت زراعی، کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II دچار کاهش شده است. با افزایش سطح کم‌آبی، روند کاهشی در مقدار Fv/Fm ایجاد شده، به‌طوری‌که بیشترین نسبت Fv/Fm که شاخص مناسبی برای نشان دادن کارایی فتوسیستم II است در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تنش خشکی و در شرایط تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نیز محلول‌پاشی در غلظت‌های پنج و ده میلی گرم بر لیتر در دامنه بین ۰/۸۵-۰/۶۵ بوده است (شکل ۱). با افزایش تنش رطوبتی میزان Fv/Fm کاهش می‌یابد؛ که می‌تواند به دلیل تغییر در ساختار کلروپلاست و کاهش محتوای کلروفیل موجود در برگ باشد. مقایسه میانگین تیمارها در پارامتر Pi

پرس شدند، سه گلدان به‌طور کامل آبیاری و سپس به مدت ۲۴ ساعت بر روی سطح مشبک جهت رسیدن به ظرفیت زراعی قرار داده شدند، پس از آن گلدان‌ها وزن شدند و برای اندازه‌گیری وزن خشک به آن به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. رطوبت خاک طبق فرمول زیر محاسبه گردید. پس از محاسبه ظرفیت زراعی (FC) جهت اعمال سایر سطوح تنش به‌صورت درصدی از ظرفیت زراعی در نظر گرفته شدند. مقدار کاهش رطوبت تا رسیدن به مقدار رطوبت موردنظر برحسب گرم آب با استفاده از ترازوی دیجیتال محاسبه و به گلدان‌ها اضافه گردید، وزن گلدان‌ها برای هر یک از سطوح تنش موردبررسی اندازه‌گیری و جهت رسیدن وزن گلدان‌ها به مقدار FC موردنظر (بر اساس گرم) آب اضافه شد و پس از رسیدن به سطح موردنظر در همان روز به همان صورت حفظ گردید، اعمال شرایط تنش و رسیدن به ظرفیت زراعی برای تمامی تیمارها در طول مدت تنش اعمال شده روزانه محاسبه گردید (Schonfeld et al., 1988).

$$FC = \frac{(FCW - DW)}{DW} \times 100 \quad [1]$$

که در آن FC: ظرفیت زراعی، FCW: وزن خاک در ظرفیت زراعی (گرم)، DW: وزن خاک خشک‌شده در آن (گرم) هستند.

شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (Pi): ضریب خاموشی فتوشیمیایی و Fv/Fm: بیشینه کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی (Fv): فلورسانس متغیر و Fm: حداکثر فلورسانس با استفاده از دستگاه تنش‌سنج کلروفیل سبزینه (Hansatech instruments pocket PEA) شاخص‌ها اندازه‌گیری گردید و خروجی داده‌ها و رسم نمودار نیز با استفاده از نرم‌افزار Chlorophyll fluorescence Software (PEA Plus) انجام شد. برای اندازه‌گیری شاخص‌های موردنظر، بالاترین برگ هر گیاه انتخاب و به‌منظور جلوگیری از ورود نور به برگ به مدت پانزده دقیقه سطح برگ‌های انتخاب‌شده با استفاده از گیره‌های مخصوص پوشیده شد. سپس نور به مدت دو ثانیه توسط دستگاه به برگ تابیده و شاخص‌های موردنظر ثبت شد. سپس اندام‌های هوایی گیاه جمع‌آوری، خشک و پودر شده و جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی با اتانول و متانول در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت خیسانده شدند. تغلیظ عصاره

¹Photochemical coefficient

نشان نیز می‌دهد. بالاترین میزان این پارامتر مربوط به شاهد است. با افزایش سطح تنش میزان آن کاهش می‌یابد و محلول‌پاشی توسط نیترات روی در سطح پنج و ده میلی گرم

تأثیر مثبتی در تغییر روند کاهشی این میزان داشته است (شکل ۲).

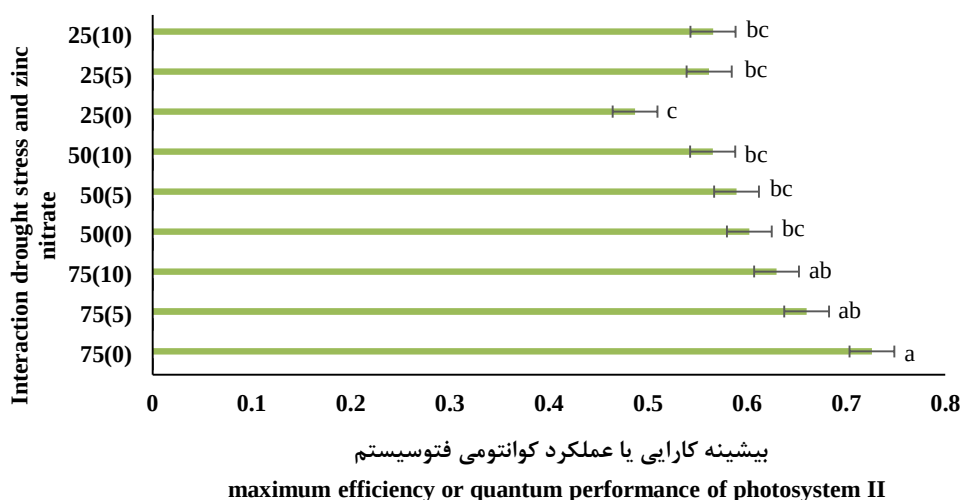
جدول ۱. میانگین مربعات شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و صفات بیوشیمیایی تحت محلول‌پاشی در شرایط تنش کم‌آبی

Table 1. Mean square of chlorophyll fluorescence indices and biochemical traits under foliar spraying under drought stress conditions

منابع تغییرات	درجه آزادی	Pi	Fv/Fm	قند محلول soluble sugar	فنل کل phenol	فلاونوئید flavonoids	آنتوسیانین anthocyanin
Source of Variation	dF	Pi	Fv/Fm	soluble sugar	phenol	flavonoids	anthocyanin
تنش کم‌آبی	2	6.588 ^{ns}	0.025*	4156.287**	121.726**	40.058**	0.17**
Drought Stress							
نیترات روی	2	12.741 ^{ns}	0.008 ^{ns}	1637.192**	12.883 ^{ns}	4.125 ^{ns}	0.012 ^{ns}
Zinc nitrate							
کم‌آبی × نیترات روی	4	20.618**	0.011*	5523.149**	86.463**	33.511**	0.02*
Drought × Zinc nitrate							
خطای آزمایشی	18	4.365	0.004	352.617	5.041	2.279	0.008
Experimental error							
ضریب تغییرات		17.430	10.241	21.037	18.175	19.034	14.29
CV%							

ns: غیر معنی دار، *، ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: non-significant, *, ** significant at 5 and 1 percent probability level, respectively



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف تنش کم‌آبی و نیترات روی بر Fv/Fm بیشینه کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی در گیاه بالنگو

Fig. 1. Comparison of the average interaction effect of drought stress and zinc nitrate on Fv/Fm maximum efficiency or quantum performance of photosystem II in dark-adapted conditions in Balanque plant

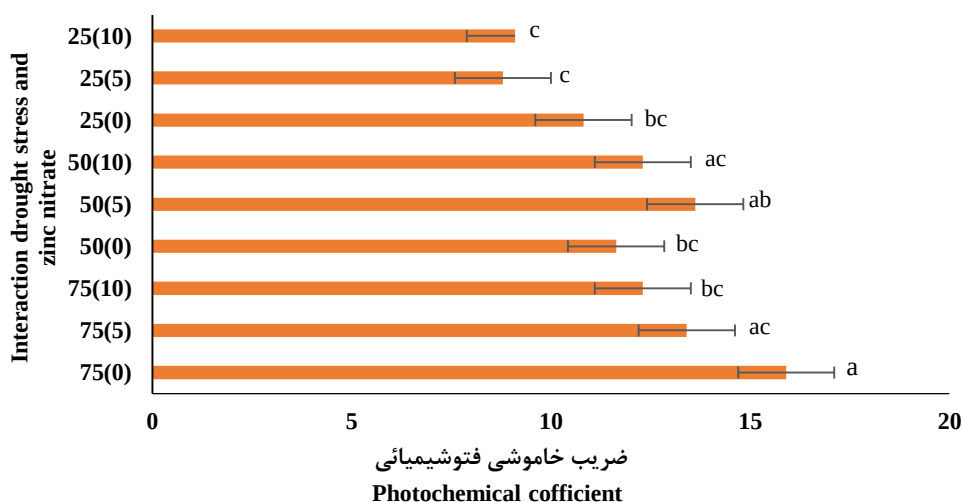
برای پارامتر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نسبت به Pi به‌دست‌آمده است (شکل ۳).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین به‌دست‌آمده در شرایط تنش کم‌آبی در بررسی کارایی فتوشیمیایی سیستم فتوسنتزی II نشان داده شد که محلول‌پاشی با نیترات روی

در نمودار رسم شده با نرم‌افزار کلروفیل فلورسانس نیز میزان پراکندگی داده‌ها بر اساس شاخص‌های Pi و Fv/Fm نشان می‌دهد که با توجه به تأثیر محلول‌پاشی نیترات روی بر شاخص‌های کلروفیل فلورسانس اختلاف قابل‌توجهی بین پراکندگی میانگین‌های به‌دست‌آمده در سطوح مختلف کم‌آبی

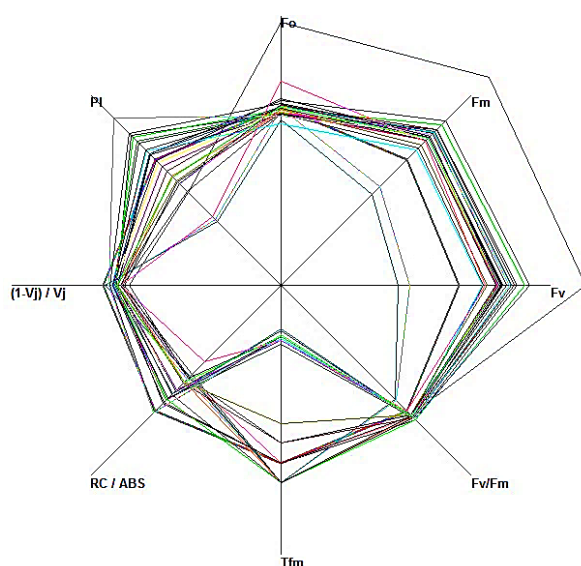
مسیرهای تنفسی و یا افزایش حجم ریشه باشد (Rezapor et al., 2011). در مطالعه تأثیر محلول پاشی سلنیم بروی رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاه دارویی بالنگوی شیرازی تحت شرایط تنش آبی نتایج نشان داده است که با افزایش درصد رطوبت ظرفیت زراعی، کلروفیل کل و کاروتنوئید و وزن خشک بوته در گیاهان شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. همچنین مقایسه میانگین صفات موردبررسی در تیمار با سلنیوم نیز در غلظت دو میلی گرم در لیتر تحت شرایط تنش رطوبتی آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل گردید (Esmailpour et al., 2019).

می‌تواند سبب تعدیل شرایط تنش نسبت به شاهد گردد. ژنوتیپ‌های با نسبت بالاتر F_v/F_m ، از کارایی فتوسنتزی بالاتری برخوردار هستند (Soheili Movahed et al., 2017). تنش کم‌آبی سبب ایجاد تغییرات در رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، تخریب سیستم فتوسنتزی II و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوین شده که در نهایت سبب کاهش عملکرد محصولات می‌گردد (Fu et al., 2001). محققان کاهش زیست‌توده و عملکرد بیولوژیک سیاه‌دانه در واکنش به تنش خشکی را گزارش نموده و بیان کردند که کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده، کاهش تولید کلروفیل، افزایش انرژی مصرفی گیاه برای بالا بردن غلظت شیره سلولی، تغییر در



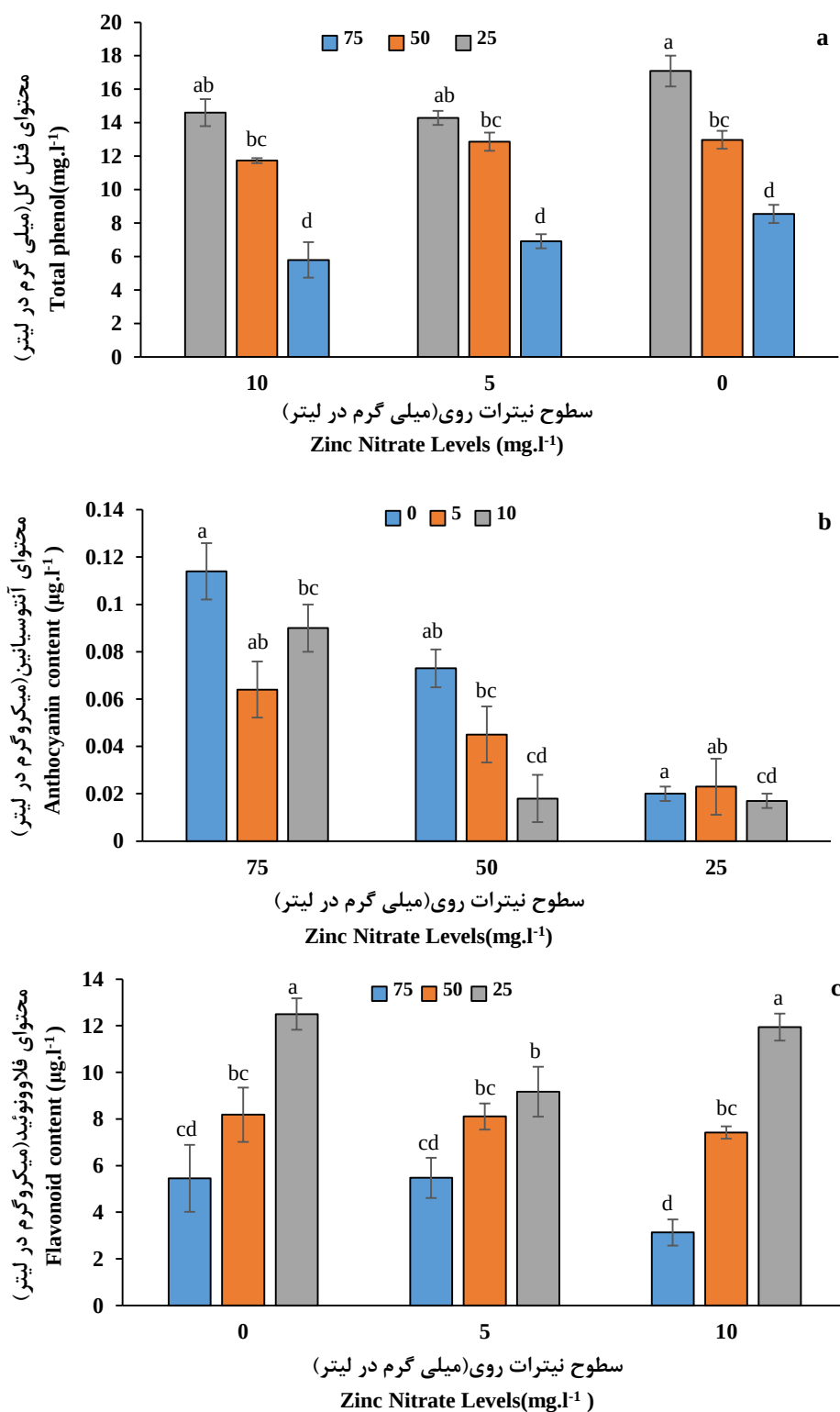
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف تنش کم‌آبی و نیترات روی بر پارامتر P_i

Fig. 2. Comparison of the average interaction effect of different levels of dryness and zinc nitrate on the P_i parameter



شکل ۳. نمودار پارامترهای موردبررسی تحت تنش با اعمال تیمار محلول پاشی

Fig. 3. Diagram of chlorophyll fluorescence parameters investigated under stress by applying foliar treatment



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرات متقابل درصد تنش کم آبی و محلول پاشی نیترات روی در صفات فنل کل (A)، آنتوسیانین (B) و فلاوونوئید (C)
 Fig. 4. Comparison of the average mutual effects of moisture stress percentage and zinc nitrate foliar spraying on the traits of total phenol (A), anthocyanin (B), and flavonoid (C)

معنی دار وجود دارد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۴) تنش کم آبی اثر منفی بر صفات بیوشیمیایی داشت؛ اما با افزایش میزان محلول پاشی نیترات روی تأثیر تنش کم آبی

در نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی مورد بررسی نیز نتایج حاکی از آن است که در بررسی اثر متقابل تنش کم آبی و سطوح مختلف محلول پاشی اختلاف

جلبک دریایی سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش کم‌آبی گردیده است (Esmailpour et al., 2020). یکی از دلایل اثرات تنش کم‌آبی از بین رفتن تعادل بین عناصر تغذیه‌ای در گیاهان است. از طریق محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف می‌توان شرایط کم‌آبی را برای گیاه تا حدی بهبود بخشید. در نتیجه کاربرد مواد معدنی در مناطقی که در معرض تنش کم‌آبی هستند و تغییر مؤثر در شرایط فیزیولوژیک، گیاه می‌تواند شرایط رشدی و حصول عملکرد دانه را بهبود بخشد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج نشان داده است که اعمال تنش کم‌آبی در سطوح موردبررسی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش محتوای صفات بیوشیمیایی (قند محلول، فنل کل، محتوای فلاونوئید و میزان آنتوسیانین) و شاخص‌های کلروفیل فلورسانس گردیده است. افزایش سطح کربوهیدرات‌ها به‌ویژه قندها اثر مهمی در حفاظت و تنظیم اسمزی ایفا می‌کند. همچنین، تجمع مولکول‌های قند محلول سبب پایداری ساختمان ماکرومولکول‌ها می‌شود و در نهایت از تغییر شکل و از بین رفتن مولکول‌های زیستی جلوگیری می‌کند؛ بنابراین استفاده از روند محلول‌پاشی در دو سطح پنج و ده میلی گرم نیتрат روی در طول دوره تنش سبب کاهش سطح این ترکیبات بوده است. بیشترین میزان اختلاف مربوط به تنش رطوبتی ۵۰ درصد و استفاده از ۱۰ میلی گرم بر لیتر نیترات روی بوده است؛ بنابراین با توجه به نقش روی در ساختار DNA، RNA و حضور آن به‌عنوان یکی از اجزاء اصلی در ساختار و فعالیت پروتئین‌ها مانند عوامل رونویسی و متالوآنزیم‌ها نقش مهمی در فعالیت‌های حیاتی گیاه داشته و در شرایط تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصولات زراعی می‌گردد. استفاده از اکسید روی و نانوذرات سبز روی در خاک و هم چنین به‌صورت محلول‌پاشی با اسپری به‌طور قابل‌توجهی جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و روی را افزایش و سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی می‌گردند؛ بنابراین تحت تأثیر رژیم‌های مختلف رطوبتی در مراحل مختلف رشدی گیاه می‌توان با استفاده از محلول‌پاشی نیترات روی سبب بهتر شدن رشد گیاه و نیز بهبود خصوصیات بیوشیمیایی گیاه بالنگو در شرایط تنش کم‌آبی گردید.

کنترل گردید و در غلظت ده میلی گرم بر لیتر نیترات روی در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد بیشترین مقادیر برای صفات بیوشیمیایی مشاهده گردید.

در شرایط تنش کم‌آبی، فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه مانند فتوسنتز، تنفس، جذب، انتقال یون‌ها و متابولیسم کاهش می‌یابد. مطالعه حاضر نشان‌دهنده اثر مثبت استفاده از نیترات روی در کاهش اثرات تنش کم‌آبی است؛ بنابراین استفاده از ده میلی گرم در لیتر نیترات روی می‌تواند یک راهکار مهم و مفید برای بهبود رشد و صفات بیوشیمیایی بالنگوی شیرازی تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد. عنصر روی نقش مهمی در فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین‌ها، فعالیت هورمون‌های گیاهی، کلروفیل، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، فتوسنتز و همچنین مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها را در گیاهان ایفا می‌کند. استفاده از نانوذرات به‌عنوان یک تکنیک مؤثر سبب افزایش جذب مواد مغذی شده که فتوسنتز را بهبود، سنتز کلروفیل و کارایی PS-II را بهبود می‌بخشد. تنش خشکی به‌طور قابل‌توجهی تجمع ترکیبات فنلی را کاهش می‌دهد. باین‌حال، نانوذرات پتانسیل بسیار خوبی برای بهبود تجمع خود در گیاهان دارند. استفاده برون‌زا از نانوذرات اکسید روی (۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر) به‌طور قابل‌توجهی غلظت ترکیبات فنلی تحت شرایط تنش را افزایش داده است (El-Zohri et al., 2021).

در محلول‌پاشی اثر سلنیوم در سطوح مختلف تنش کم‌آبی بر روی بالنگوی شهری، نتایج نشان داد که با افزایش غلظت سلنیوم تا ده میلی گرم بر لیتر محتوای آب نسبی برگ، فنل کل، قند محلول، پرولین و محتوای پروتئین افزایش یافته است. افزایش محتوای فنل و پروتئین به‌عنوان اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در تحمل بالنگو به شرایط تنش رطوبتی داشته‌اند (Amerian et al., 2020). در بررسی تأثیر عصاره جلبک در شرایط تنش رطوبتی بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی نتایج حاکی از آن بوده است که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، صفات مورفولوژیک شامل وزن تر و خشک تک بوته، تعداد برگ، کلروفیل کل، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک ریشه و صفات بیوشیمیایی شامل کلروفیل b، کلروفیل a، بر اساس گرم در لیتر کاهش و میزان نش‌الکترولیت و محتوای پرولین برگ افزایش یافته است. نتایج این پژوهش نیز نشان داده است که کاربرد عصاره

منابع

- Ahmadi, K., Omidi, H., 2019. Evaluation of morphological characteristics, yield components, and catalase enzyme activity of *Lallemantia royleana* Benth. under drought stress. *Journal of Agroecology*. 11(2), 757-774. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.69373>
- Ali, S., Mahmood, A., Khan, N., 2021. Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. *Journal of Nanomaterial*. 6677616. 1-17. <https://doi.org/10.1155/2021/6677616>
- Amanzadeh, YN., Khosravi Dehaghi, AR., Gohari, HR., Monsef-Esfehani, SE., Sadat Ebrahimi, SE. 2011. Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and post-flowering stage. *Research Journal of Biological Sciences*. 6, 114-117. <https://doi.org/10.3923/rjbsci.2011.114.117>
- Amerian, M., Zebarjadi, A.R., Mehrabi, J.A. 2020. Effect of different concentrations of selenium on some morphological and physiological characteristics of dragons head (*Lallemantia iberica*) under different irrigation regimes. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science)*. 34, 415-431. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.342710.785>
- Amin, Gh.R., 1991. Popular Medicinal Plants of Iran. Iranian Research Institute of Medicinal Plants, Tehran, 66p. [In Persian].
- Deepak, SB., Thakur, A., Singh, S., Bakshi, M., Bansal, S. 2019. Changes in crop physiology under drought stress: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 8, 1251-1253. <https://doi.org/10.1234/jpp.2019.1251>
- El-Zohri, M., Al-Wadaani, N.A., Bafeel, S.O. 2021. Foliar sprayed green zinc oxide nanoparticles mitigate drought-induced oxidative stress in tomato. *Plants*. 10, 2400. <https://doi.org/10.3390/plants10112400>
- 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 of Greenhouse Culture*. 11, 60-69. [In Persian]. <https://doi.org/10.47176/jspi.11.1.10288>
- Faraji, S., Hadadinejad, M., Abdoosi V., Basaki, T., Karami, S., 2020. Effects of drought stress on the phenol, flavonoid and cyanidin 3-glucoside content of juice and fruit yield in native pomegranate genotypes (*Punica granatum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 35, 889-901. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.123934.2426>
- Fu, J., Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 45, 105-114. [https://doi.org/10.1016/s0098-8472\(00\)00084-8](https://doi.org/10.1016/s0098-8472(00)00084-8)
- 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, 87-92. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x>
- Karamian, Z., Isvand, H., Daneshvar, M., Akbarpour, A.A., 2019. The effect of foliar application of nano iron oxide under drought stress conditions on the physiological quality of sesame seeds (*Sesamum Indicum* L.). p. 29-37. The 6th National Conference of Plant Physiology of Iran. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/998012>
- Keshavarznia, R., Peyghambari, S.A., Bihamta, M.O., 2017. The impact of seedling drought stress and recovery on chlorophyll fluorescence parameters and physiological characteristics of wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 48, 39-45. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.202541.654065>
- Massacci, A., Nabiev, S.M., Pietrosanti, L., Nematov, S.K., Chernikova, T.N., Thor, K., Leipner, J., 2008. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology and Biochemistry*. 46, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.10.006>
- Mozafarian V., 1996. Dictionary of Iranian Plant Names. Tehran University of Tehran Publication. 739 pp. ISBN 9789645545404 [In Persian]
- Oukarroum, A., Madidi, S.E., Schansker, G., Strasser, R.J., 2007. Probing the responses of

- barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Environmental and Experimental Botany*. 60, 438-446. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.01.002>
- Pandjaitan, N., Howard, L.R., Morelock, T., Gil, M.I., 2005. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53, 8618-8623. <https://doi.org/10.1021/jf052077i>
- Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M. Passam, H.C., 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. *Horticultural Science*. 115, 393-397. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.008>
- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., Najafi, F., 2013. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*. 4, 87-96. [In Persian]. <https://doi.org/10.2478/v10182-011-0007-2>
- Rana, R. M., Rehman, S. U., Ahmed, J., Bilal, M., 2013. A comprehensive overview of recent advances in drought stress tolerance research in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 1, 29-37. <https://doi.org/10.12345/ajab.2013.01.0037>
- Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M., Ramrodi, M., 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 27, 384-396. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6380>
- Roberta, A., Lo Piero, I., Puglisi, I., Rapisarda, P., Petrone, G., 2005. Anthocyanins accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 53, 9083-9088. <https://doi.org/10.1021/jf051609s>
- Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carwer, B.F., Mornhinweg, D.W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*. 28, 526-531. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x>
- Sepehrifar, R., Hasanloo, T. 2010. Polyphenolics, flavonoids and anthocyanins content and antioxidant activity of Qare-Qat (*Vaccinium arctostaphylos* L.) from different areas of Iran. *Journal of Medicinal Plant Research*. 9, 66-74. [In Persian]. <https://jmp.ir/article-1-313-en.html>
- Sheykhi Sanandaji, D., Pirzad, A., 2019. Ecophysiological response of *Lallemantia iberica* L. to exogenous application of osmotic adjustments in rainfed production. *Journal of Agroecology*. 11, 1105-1121. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.72715>
- Soheili Movahed, S., Esmaili, M. A., Jabbari, F., Khoramdel, S., Fooladi, A., 2017. Effect of water deficit on leaf relative water content, chlorophyll fluorescence indices and grain yield of four maize beans. *Iranian Journal of Crop Science*. 10, 169-190. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8847.1689>
- Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., Guoqin, H., 2020. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*. 10(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>