University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 2, pp. 315-331 (Summer 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4577.2043

Original article

The effect of seed pretreatment and foliar application of melatonin and spermidine on germination and physicochemical traits of kodo (*Fagopyum esculentum* Moenc) under drought stress

M. Miri[1*], M.R. Amerian[2], M. Edalat[3], M. Baradaran Firouzabadi[2], H. Makarian[2]

1. PhD. Student of Agronomy- Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Shahroud University of Technology, Iran
2. Associate professor of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahroud University of Technology, Iran
3. Associate professor of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran

Received 10 August 2021; Accepted 09 October 2021

Extended abstract

Introduction

Drought stress is one of the affecting factors on physiological traits in arid and semi-arid regions, especially in Iran. Recently, the role of polyamines has been considered to increasing plant tolerance to stresses, including drought. Polyamines are a new group of growth regulators and are involved in a wide range of physiological and biochemical processes such as stress resistance, phospholipid membrane stability and osmotic regulation (zakai, khosroshahi and duodenal, 2008). The aim of this experiment was to investigate the effect of seed pretreatment and seedling foliar application with melatonin and spermidine on kodo physicochemical traits under drought stress in laboratory and greenhouse.

Materials and methods

In this study, experiments were performed in two stages. In the first stage (laboratory), the experiment was performed as a two-factor split factorial in the form of completely randomized blocks with four replications. Experimental treatments including drought stress as the main factor in seven levels of zero osmotic potential (control), -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1 and -1.2 MPa, pretreatment seeding with spermidine at five levels, zero, 0.5, 1, 1.5 and 2 mM and pre-seeding with melatonin at five levels, zero, 0.125, 0.250, 0.375 and 0.500 mM were sub-factors. After performing the first stage, the best experimental treatments were selected and in the next stage (greenhouse), the experiment was performed as a three-factor split factorial in the form of completely randomized blocks with three replications. Drought stress was the main factor in three levels of irrigation in 10% of field capacity depletion (optimal irrigation), irrigation in 40% of field capacity depletion (mild stress) and irrigation in 70% of field capacity depletion, seed pre-selection as a secondary factor at three levels: no pre-treatment (control), pre-treatment with spermidine, pre-treatment with melatonin and also seedling foliar application was applied as a sub-factor at three levels: no foliar application, spermidine foliar application and solution Spraying with melatonin.

Results and discussion

The results showed that concentrations of 1.5 spermidine and 0.375 mM melatonin had the highest percentage and germination rate. In the greenhouse, experimental treatments showed a significant

* Corresponding author: Meysam Miri; E-Mail: Miri.Meysam67@gmail.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

effect on increasing stomatal conductance, relative leaf moisture, and catalase enzyme and leaf soluble protein. In general, seed pretreatment as well as seedling foliar application with 0.375 mM melatonin had the greatest effect on drought stress modulation.

Conclusion
The results showed that concentrations of 1.5 spermidine and 0.375 mM melatonin had the highest percentage and germination rate. In the greenhouse, experimental treatments showed a significant effect on increasing stomatal conductance, relative leaf moisture, and catalase enzyme and leaf soluble protein. In general, seed pretreatment as well as seedling foliar application with 0.375 mM melatonin had the greatest effect on drought stress modulation.

***Keywords*:** Chlorophyll, Enzyme, Protein, Stomatal conductance

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4577.2043

مقاله پژوهشی

بررسی اثر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی ملاتونین و اسپرمیدین بر جوانه‌زنی و صفات فیزیکوشیمایی دیلار (*Fagopyum esculentum* Moenc) تحت تنش خشکی

میثم میری[1*]، محمدرضا عامریان[2]، محسن عدالت[3]، مهدی برادران فیروزآبادی[2]، حسن مکاریان[2]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آنزیم
پروتئین
کلروفیل
هدایت روزنه

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۷/۱۷

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۲

۱۶(۲): ۳۱۵-۳۳۱

چکیده

به‌منظور تعدیل اثرات تنش خشکی بر گیاه دیلار، پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی گیاهچه با اسپرمیدین و ملاتونین در دو مرحله جداگانه در آزمایشگاه و گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۸ – ۱۳۹۹ اجرا شد. در مرحله اول، آزمایش به‌صورت فاکتوریل دو فاکتوره در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی در هفت سطح پتانسیل اسمزی صفر (شاهد)، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال، پیش‌اندازی بذر با اسپرمیدین در پنج سطح، صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی-مولار و پیش‌اندازی بذر با ملاتونین در پنج سطح، صفر، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵۰، ۰/۳۷۵ و ۰/۵۰۰ میلی مولار بودند. پس از اجرای مرحله اول بهترین تیمارهای آزمایشی انتخاب شد و در مرحله بعد (گلخانه)، آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه فاکتوره در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گردید. تنش خشکی در سه سطح آبیاری در ۱۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی (آبیاری مطلوب)، آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و آبیاری در ۷۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی بود، پیش‌اندازی بذر در سه سطح: بدون پیش‌اندازی (شاهد)، پیش‌اندازی با اسپرمیدین، پیش‌اندازی با ملاتونین و همچنین محلول‌پاشی گیاهچه در سه سطح: بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با اسپرمیدین و محلول‌پاشی با ملاتونین اعمال شدند. پیش‌اندازی بذر با بهترین تیمار آزمایشگاه قبل از کشت بذر و محلول‌پاشی با بهترین تیمار انتخابی آزمایشگاه در مرحله ساقه‌روی و ابتدای گلدهی انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت‌های ۱/۵ اسپرمیدین و ۰/۳۷۵ میلی‌مولار ملاتونین بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را داشتند. در گلخانه نیز تیمارهای آزمایشی اثر معنی‌داری بر افزایش هدایت روزنه، رطوبت نسبی برگ، کاتالاز و پروتئین محلول در برگ نشان دادند. به‌طورکلی پیش‌تیمار بذر و همچنین محلول‌پاشی گیاهچه با ۰/۳۷۵ میلی‌مولار ملاتونین بیشترین تأثیر را بر تعدیل تنش خشکی داشت.

مقدمه

امروزه کشت گیاهان دارویی در سطح وسیع به علت تأثیر سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی در بیماران و همچنین به علت نیاز مواد اولیه کارخانه‌های داروسازی مدنظر محققان قرار گرفته است و از طرفی، شرایط اکولوژیک مختلف در کشور پتانسیل خوبی را برای توسعه کشت این گیاهان فراهم نموده است (Azadvari et al., 2021). دیلار با نام علمی *Fagopyrum esculentum* گیاهی دارویی از خانواده Polygonaceae است (Omidbaigi, 2010) و دارای ترکیبات پروتئینی و آمینواسیدهای متعادلی بوده که مکمل خوبی برای غلات به‌حساب می‌آید (Ahmed et al., 2014). برخی تحقیقات نشان داده است که دیلار به علت داشتن سازگاری اکولوژیکی بالا مستعد کشت در مناطق گسترده است (Montgomery, 2009). ولی محدودیت آب به‌عنوان بازدارنده رشد در کاهش عملکرد آن تأثیر بسزایی نشان داده

* نگارنده پاسخگو: میثم میری. پست الکترونیک: Miri.Meysam67@gmail.com

است (Aghighi Shahverdi et al., 2018). اشرفی و همکاران (Ashrafi et al., 2018) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر متابولیت‌های ثانویه دو گونه آویشن گزارش دادند که با ایجاد شرایط تنش خشکی، صفات فیزیولوژیکی و متابولیکی هر دو گونه به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفت. به اعتقاد برخی پژوهشگران، مراحل اولیه رشد گیاهچه نسبت به تنش خشکی حساسیت زیادی نشان داده است و کشت بذر در بستری با آب ناکافی موجب غیریکنواختی جوانه‌زنی و ضعف گیاهچه‌ها شده است (Rahimi et al., 2019). تنش خشکی با اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، کاهش سطح برگ را موجب می‌شود (Wu et al., 2009). برخی پژوهشگران اثر معنی‌دار تنش خشکی بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa*) گزارش نمودند (Dashab and Omidi, 2021)، به‌طورکلی در سال‌های اخیر مطالعات زیادی براثر تنش خشکی بر متابولیسم گیاهان انجام شده است اما در خصوص واکنش گیاهان دارویی به تنش خشکی، اطلاعات محدود است (Salehi Shanjani et al., 2020). با توجه به گزارش‌های اندک منتشرشده یکی از تیمارهایی که در شرایط خشکی بر رشد و تولید گیاه تأثیر مثبت داشته، پیش‌تیمار و محلول‌پاشی پلی آمین‌ها است (Arnao and Hernández-Ruiz, 2015). پلی‌آمین‌ها یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد به شمار می‌آیند و در سطح وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند مقاومت در برابر تنش‌ها، پایداری غشا فسفولیپیدی و تنظیم اسمزی، تقسیم سلولی، طویل شدن سلول نقش ایفاء می‌نمایند (Zokaee Khosroshahi and Esna Ashari, 2008). امروزه اهمیت پلی‌آمین‌ها در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها ازجمله خشکی موردتوجه برخی از پژوهشگران قرار گرفته است (Darvizheh et al., 2018). ملاتونین از مولکول‌های ایندول آمین طبیعی بوده که با غلظت‌های متفاوت در گیاهان گزارش شده است و همچنین به‌عنوان محرک زیستی یا مولکول تحریک‌کننده رشد مدنظر برخی محققین قرار گرفته است (Arnao and Hernández-Ruiz, 2015). برخی یافته‌ها نشان داده است که از محلول ملاتونین می‌توان به‌عنوان ترکیب بسیار مفید برای کاهش اثرات تنش‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه تنش خشکی استفاده نمود (Shi et al., 2016). اسپرمیدین پلی‌آمینی با وزن مولکولی کم بوده و در طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه ازجمله تثبیت غشاء، فعال‌کننده آنزیم‌ها، تقسیم سلولی و در رشد و توسعه سلول‌ها (Kaur-Sawhney et al., 2003)، جنین‌زایی، جوانه‌زنی بذر و واکنش به تنش‌ها محیطی مؤثر واقع شده‌اند (Saeidnejad et al., 2012). اثرات فیزیولوژیکی و عملکرد کتان (*Linum usitatissimum*) را تحت شرایط تنش خشکی مطالعه شد، پژوهشگران گزارش کردند که تنش خشکی در سطوح متوسط نیز موجب افزایش رشد و عملکرد ریشه می‌شود که این افزایش کاهش تولید و درنهایت کاهش عملکرد را در پی خواهد داشت (Niu et al., 2018). در تحقیقی بر روی اثر ملاتونین بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه لوبیا رقم صدری (*phasweolus vulgaris* cv. Sadri) تحت تنش شوری نشان داد که ملاتونین موجب افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شده و تأثیر معنی‌داری بر افزایش مقاومت گیاه لوبیا به تنش شوری داشت (Azizi et al., 2019). بررسی اثرات کاربرد متقابل اسپرمیدین و تنش شوری در گیاه شنبلیله نشان داد محلول‌پاشی اسپرمیدین موجب مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شود (Hamzei and IranNezhad, 2013). آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی گیاهچه با ملاتونین و اسپرمیدین بر صفات فیزیکوشیمیایی دیلار در شرایط تنش خشکی در آزمایشگاه و گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر اسپرمیدین و ملاتونین بر جوانه‌زنی و صفات فیزیکوشیمیایی دیلار تحت تنش خشکی، آزمایش در دو مرحله جداگانه در آزمایشگاه و گلخانه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۸ – ۱۳۹۹ اجرا شد.

الف) مرحله اول (بخش آزمایشگاهی)

انتخاب بهترین تیمار پیش‌اندازی بذر و محلول‌پاشی ملاتونین و اسپرمیدین: در این مرحله تعداد ۲۵ عدد بذر از هر تیمار (پیش‌اندازی بذر) در ظرف‌های پتری‌دیش نه سانتی‌متر که حاوی دو عدد کاغذ صافی واتمن شماره یک و ۱۰ میلی‌لیتر از آب مقطر یا محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG6000) بود قرار داده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل دو فاکتوره در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و با چهار تکرار و بر اساس

تیمار، پیش‌اندازی بذر در دو ژرمیناتور جداگانه انجام شد. تیمارها شامل تنش خشکی در هفت سطح پتانسیل اسمزی صفر (شاهد)، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۱- و ۱/۲- مگاپاسکال، برای تهیه محلول‌های اسمزی از فرمول میشل و کافمن (Michel and Kaufmann, 1973) استفاده شد.

$$\pi=-(1.18\times10^{-2})C - (181\times10^{-4})C^2 + (2.67\times10^{-4})CT + (8.39\times10^{-7})CT \quad [۱]$$

که در آن π: پتانسیل اسمزی (بار)، C: غلظت یا مقدار پلی‌اتیلن گلایکل، T: دمای محیط (درجه سانتی‌گراد) هستند.

پیش‌اندازی بذر با اسپرمیدین در پنج سطح، صفر، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار و پیش‌اندازی بذر با ملاتونین در پنج سطح، صفر، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵۰، ۰/۳۷۵ و ۰/۵۰۰ میلی‌مولار بودند. صفات ارزیابی‌شده در این مرحله شامل درصد جوانه-زنی و سرعت جوانه‌زنی بودند که مطابق با روابط زیر محاسبه شدند.

درصد جوانه‌زنی از رابطه ۲ محاسبه شد (Ansari et al., 2012).

$$GP=100 \times (N/NT) \quad [۲]$$

که در آن GP: درصد جوانه‌زنی، N: تعداد بذر جوانه‌زده، NT: تعداد بذر کشت‌شده هستند

سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۳ محاسبه شد (Ellis and Roberts, 1981).

$$GR=\sum(n_i/d_i) \quad [۳]$$

که در این معادله، GR: سرعت جوانه‌زنی، n_i: تعداد بذر جوانه-زده در روز i ام d_i: iامین پس از کشت برحسب روز هستند.

همچنین با استفاده از داده‌های طول گیاهچه و قابلیت جوانه‌زنی بذر شاخص طولی بنیه گیاهچه با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

[۴] *شاخص طولی گیاهچه= قابلیت جوانه‌زنی× طول گیاهچه*

ب) مرحله دوم (بخش گلخانه‌ای)

با توجه به بزرگ بودن گلخانه و تفاوت شرایط نور و دما در زمان انجام آزمایش برای گلدان‌ها، در گلخانه آزمایش به‌صورت فاکتوریل سه فاکتوره در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. تنش خشکی خاک (پتانسیل آب خاک) به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح با استفاده از منحنی رطوبتی خاک مورداستفاده توسط صفحات فشاری تعیین و بر اساس آن پتانسیل آبی خاک در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۰/۰۳-، ۰/۲- و ۱- مگا پاسکال (تنش سطح طبیعی، تنش متوسط و تنش شدید) است، پیش‌اندازی بذر در سه سطح: بدون پیش‌اندازی (شاهد)، پیش‌اندازی با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین، پیش‌اندازی با غلظت ۰/۳۷۵ میلی‌مولار ملاتونین و همچنین محلول‌پاشی گیاهچه در سه سطح: بدون محلول‌پاشی، محلول‌پاشی گیاهچه با اسپرمیدین ۱/۵ میلی‌مولار و محلول‌پاشی گیاهچه با ملاتونین ۰/۳۷۵ میلی‌مولار (غلظت مواد پیش‌تیمار و محلول‌پاشی از بهترین تیمارهای آزمایشگاه انتخاب شدند) اعمال شدند. پیش‌اندازی بذر قبل از کشت بذر و محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌روی و ابتدای گلدهی انجام شد. پس از پیش‌اندازی بذر، تعداد ۸۱ گلدان با مقادیر یکسان و مشخص از خاک پر شدند و تعداد ۱۰ بذر درون هر گلدان کشت گردید. در این روش ابتدا به هر گلدان وزن مشخصی از خاک مزرعه به‌صورت یکنواخت ریخته شد. برای تعیین مقدار رطوبت موجود در خاک ریخته شده به گلدان‌ها، نمونه‌ها پس از توزین به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک می‌شدند و با استفاده از میانگین وزن نمونه‌ها وزن خشک هر گلدان مشخص گردید. سپس به هر گلدان به‌قدری آب اضافه گردید تا به نقطه اشباع رسید. ۲۴ ساعت پس از آبدهی کامل گلدان‌ها نمونه‌های ده‌تایی دوباره در آون و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و به این طریق مقدار آب ظرفیت زراعی گلدان‌ها مشخص گردید. صفات مدنظر شامل: محتوای نسبی رطوبت برگ، هدایت روزنه، کلروفیل a، کلروفیل b، شاخص سطح برگ (با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل CRLA1- Iran)، آنزیم کاتالاز و میزان پروتئین محلول در برگ بودند که در مرحله ۵۰ درصد گل-دهی ارزیابی شدند.

درصد محتوای نسبی رطوبت برگ با استفاده از تکه‌های یک سانتی‌متری برگ گیاهان هر گلدان و اندازه‌گیری وزن تر آن‌ها و قرار دادن در آب به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و تعیین وزن اشباع و سپس وزن خشک (۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$\text{محتوای نسبی رطوبت برگ} = (\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}) / (\text{وزن تر در شرایط اشباع} - \text{وزن خشک}) \times ۱۰۰ \quad [۵]$$

به‌منظور اندازه‌گیری میزان هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) از دستگاه IRGA مدل Biosentetic ADC، LCA4 (LTD Hoddoson UK) استفاده گردید. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱-۹ صبح در شدت نور ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع صورت پذیرفت، زیرا تبادلات گازی در این محدوده زمانی تغییرات قابل‌توجهی ندارد (França et al., 2002).

مقادیر کلروفیل a و b طبق روش آرنون و روی طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (Jenway 7315- England) ارزیابی شد (Arnon, 1949).

پروتئین‌های محلول از روش برادفورد (Bradford, 1976) و در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (Jenway 7315- England) اندازه‌گیری شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه دیلار به روش ابی (Aebi, 1984) و در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل (Jenway 7315- England) اندازه‌گیری شد.

درنهایت پس از ارزیابی صفات، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج بخش آزمایشگاهی

در مطالعات آزمایشگاهی اثر متقابل تنش خشکی در پیش تیمار بذر با ملاتونین و اسپرمیدین بر جوانه‌زنی بذر اثبات شد (جدول ۱) و همچنین مشخص شد که تنش خشکی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر دیلار می‌شود به‌طوری‌که با افزایش سطوح تنش از ۰/۲- تا ۱/۲- مگاپاسکال، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. شاخص طولی بنیه گیاهچه نیز تحت تأثیر اثر متقابل تنش در پیش‌تیمار بذر قرار گرفت به‌طوری‌که کاربرد پیش‌تیمار بذر با ملاتونین و اسپرمیدین، هم در شرایط نرمال رطوبتی و هم در شرایط تنش خشکی موجب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه شدند (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و پیش‌تیمار بذر با ملاتونین و اسپرمیدین بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر دیلار

Table 1. Analysis of variance effect drought stress and melatonin and spermidine pretreatment on germination and germination rate of seed Buckwheat

			ملاتونین Melatonin		
S.O. V	منابع تغییر	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigour index	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
Block	بلوک	3	8.09	2941.63	0.09
Drought stress (D.S)	تنش خشکی	6	11023.17**	1779172.67**	10.34**
Pretreatment (P)	پیش‌تیمار	4	791.60**	45888.63**	5.89**
(D.S) ×(P)	(D.S) ×(P)	24	20.73**	15037.80**	0.105**
Error	خطا	102	5.19	1552.98	0.014
C.V%	ضریب تغییرات	-	*3.59*	*10.49*	*4.48*

جدول ۱. ادامه

Table 1. Continued

			اسپرمیدین Spermidine		
S.O. V	منابع تغییر	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigour index	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
Block	بلوک	3	25.7	6345.98	0.006
Drought stress (D.S)	تنش خشکی	6	9652.54**	1950189.75**	8.78**
Pretreatment (P)	پیش‌تیمار	4	591.7**	34497.95**	3.34**
(D.S) ×(P)	(D.S) ×(P)	24	14.52**	21172.96**	0.07**
Error	خطا	102	4.5	1908.99	0.006
C.V%	ضریب تغییرات	-	*3.53*	*11.60*	*3.87*

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

ns* and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

کاهش صفات مرتبط با جوانه‌زنی دیلار قبلاً توسط عقیقی شاهوردی و همکاران (Aghighi Shahverdi et al., 2018) گزارش شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در این پژوهش، با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی، آب قابل‌دسترس گیاه نیز کاهش یافته و به‌تبع آن درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش نشان داد. کاهش در سرعت جوانه‌زنی احتمالاً به دلیل وقفه‌هایی است که در شروع فرآیند جوانه‌زنی ایجاد می‌شود. علت وقفه ایجادشده را می‌توان چنین توجیه کرد که بذرها برای جبران خسارت‌های واردشده به غشاء و دیگر قسمت‌های سلول و همچنین آغاز مجدد فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و جلوگیری از بروز تنش اکسیداتیو نیاز به زمان دارد و جبران این خسارت‌ها ممکن است پس از جذب آب توسط بذر امکان‌پذیر شود. در این خصوص رسام و دادخواه (Rassam and Dadkhah, 2012) گزارش کردند وقوع فرآیند جوانه‌زنی نیازمند داشتن رطوبت کافی در بستر رشد بذر و جذب آب از محیط کشت بوده و کاهش یا

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش خشکی در اسپرمیدین و تنش خشکی در ملاتونین بر صفات جوانه‌زنی دیلار

Table 2. Comparison of means of interaction drought stress in spermidine and melatonin on germination of Buckwheat

تنش خشکی Drought stress	اسپرمیدین Spermidine	درصد جوانه‌زنی Germination	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigour index
MPa	mmol	%	day	
	0	82^{kg}	2.40^{lj}	677.7^{e}
	0.5	84.5^{efg}	2.98^{det}	885.3^{c}
0	**1**	88.28^{bcd}	3.10^{cd}	965.8^{b}
	1.5	92.0^{a}	3.46^{a}	1083^{a}
	2	83.52^{fgh}	2.88^{tg}	741.9^{d}
	0	81.27^{lh}	2.37^{jk}	575.2^{gh}
	0.5	83.0^{ghi}	2.96^{et}	635^{ef}
- 0.2	**1**	87.77^{bcd}	3.07^{cde}	598.9^{fg}
	1.5	90.25^{ab}	3.41^{a}	647.1^{ef}
	2	81.0^{lh}	2.8^{tg}	602.2^{fg}
	0	79.5^{kl}	2.17^{m}	461.5^{jk}
	0.5	81.5^{kh}	2.79^{gh}	505.4^{ij}
- 0.4	**1**	87.0^{cde}	2.89^{tg}	457.6^{jk}
	1.5	89.75^{abc}	3.13^{bc}	524.5^{hi}
	2	80.5^{li}	2.69^{h}	406.5^{kl}
	0	73.5^{m}	2.23^{lm}	235.4^{no}
	0.5	81.0^{lh}	2.81^{gh}	337.1^{m}
- 0.6	**1**	86.0^{def}	2.90^{tg}	386.9^{lm}
	1.5	88.5^{bcd}	3.24^{b}	347.2^{m}
	2	78.5^{l}	2.70^{h}	331.8^{m}
	0	65.75^{o}	1.63^{o}	206.2^{o}
	0.5	75.25^{m}	2.32^{jkl}	190.8^{o}
- 0.8	**1**	80.0^{jkl}	2.42^{lj}	238.8^{no}
	1.5	82.5^{gj}	2.86^{tg}	262.4^{n}
	2	70.5^{n}	2.16^{m}	211.8^{no}
	0	44.76^{s}	1.37^{p}	98.50^{p}
	0.5	52.0^{q}	2.12^{m}	96.39^{p}
- 1	**1**	57.0^{p}	2.23^{klm}	102.9^{p}
	1.5	57.75^{p}	2.53^{l}	93.68^{pq}
	2	48.75^{r}	1.91^{n}	108^{p}
	0	25.75^{u}	1.04^{r}	24.33^{r}
	0.5	28.49^{tu}	1.15^{qr}	40.41^{qr}
-1.2	**1**	28.25^{tu}	1.12^{qr}	23.67^{r}
	1.5	30.73^{t}	1.21^{q}	29.86^{r}
	2	27.0^{u}	1.09^{qr}	14.12^{r}

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

تنش خشکی Drought stress	ملاتونین Melatonin	درصد جوانه‌زنی Germination	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigour index
MPa	mmol	%	day	
	0	83.0^{gh}	2.40^{jk}	713.5^{d}
	0.125	90.5^{fc}	3.05^{f}	918.2^{b}
0	**0.250**	92.75^{bcd}	3.45^{bc}	899b^{c}
	0.375	96.14^{a}	3.68^{a}	1054^{a}
	0.500	93.5^{abc}	3.31^{cd}	930^{b}
	0	81.25^{gh}	2.37^{kl}	578.2^{e}
	0.125	89.5^{def}	3.06^{f}	529.1^{e}
-0.2	**0.250**	91.2^{eb}	3.45^{bc}	842.6^{c}
	0.375	94.0^{ab}	3.66^{a}	559.8^{e}
	0.500	91.11^{eb}	3.30^{cd}	734.2^{d}
	0	79.5^{hi}	2.17^{m}	461.5^{f}
	0.125	90.0^{def}	2.85^{g}	347^{g-i}
-0.4	**0.250**	91.05^{eb}	3.26^{de}	436.7^{f}
	0.375	92.06^{eb}	3.46^{bc}	463.8^{f}
	0.500	89.0^{def}	3.10^{ef}	402.9^{f-h}
	0	73.5^{j}	2.23^{lm}	235.4^{kl}
	0.125	83.0^{g}	2.86^{g}	310.6^{ij}
-0.6	**0.250**	87.68^{f}	3.30^{cd}	343.9^{hi}
	0.375	89.25^{ef}	3.52^{ab}	405.9^{fg}
	0.500	90.27^{def}	3.13^{ef}	318.9^{ij}
	0	65.75^{k}	1.63^{n}	206.7^{l}
	0.125	74.0^{j}	2.34^{kl}	238.4^{kl}
-0.8	**0.250**	78.0^{i}	2.79^{gh}	194.8^{l}
	0.375	83.28^{g}	3.18^{def}	277.5^{jk}
	0.500	83.0^{g}	2.66^{hi}	200.7^{l}
	0	44.72^{n}	1.37^{o}	98.50^{m}
	0.125	54.0^{m}	2.11^{m}	87.77^{mn}
-1	**0.250**	58.7^{l}	2.56^{ij}	92.67^{m}
	0.375	60.0^{l}	2.78^{gh}	102^{m}
	0.500	61.02^{l}	2.35^{kl}	100.1^{m}
	0	25.75^{p}	1.04^{q}	24.41^{o}
	0.125	28.0^{op}	1.13^{pq}	18.06^{o}
-1.2	**0.250**	28.0^{op}	1.23^{op}	12.41^{o}
	0.375	30.28^{o}	1.33^{o}	31.09^{no}
	0.500	28.2^{op}	1.22^{op}	15.32^{o}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نیستند

Values followed by different letters are significantly different according to Duncan test, P= 0.05.

تأخیر جوانه‌زنی در شرایط تنش‌های محیطی با استقرار ضعیف و تراکم پایین گیاهچه همراه است. پیش تیمار بذر با غلظت‌های مختلف اسپرمیدین و ملاتونین باعث کاهش اثر تنش خشکی شدند. با افزایش غلظت اسپرمیدین تا ۱/۵ میلی‌مولار، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی افزایش نشان داد و پس‌ازآن در غلظت ۲ میلی‌مولار صفات جوانه‌زنی کاهش نشان داد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که تا غلظت ۰/۳۷۵ میلی‌مولار ملاتونین، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی روند صعودی داشتند و پس‌ازآن در غلظت ۵۰۰ میلی‌مولار، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت.

وانگ و همکاران (Wang et al., 2013) با مطالعه بر روی اثر پیش‌تیمار بذر گندم با برخی پلی‌آمین‌ها بر بهبود جوانه-زنی در شرایط تنش خشکی گزارش کردند که پیش تیمار اسپرمیدین با تأثیر بر هورمون‌ها و متابولیسم نشاسته موجب بهبود جوانه‌زنی بذر گندم تحت شرایط تنش خشکی شد. همچنین حشمتی و همکاران (Heshmati, et al., 2019) پرایمینگ بذور زوال یافته طبیعی با ملاتونین بر خصوصیات سبز شدن و رشد گیاهچه گلرنگ تحت تنش خشکی را موردبررسی قرار دادند و گزارش کردند با استفاده از روش مقرون‌به‌صرفه پیش‌تیمار بذر با ملاتونین تا حد بسیار قابل‌توجهی، می‌توان آسیب ناشی از زوال را تحت این شرایط، کاهش داد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. مطالعات

نشان داده است که ترکیبات پلی‌آمینی مانند ملاتونین ایفاگر عملکردهای ضروری در تنظیم رشد و نمو گیاه شامل فرآیندهای تحریک رشد رویشی، جوانه‌زنی و ریشه‌دهی است (Arnao and Hernández-Ruiz, 2015). به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در آزمایشگاه، پیش‌تیمار بذر با ۱/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و ۰/۳۷۵ میلی‌مولار ملاتونین بالاترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را به خود اختصاص دادند و جهت بررسی در گلخانه انتخاب شدند (جدول ۲).

نتایج بخش گلخانه

رطوبت نسبی برگ

پس از انتخاب بهترین تیمارهای آزمایشگاهی و سپس بررسی آن در گلخانه، مشخص شد که پیش‌تیمار بذر و همچنین محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی دیلار داشتند. اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی در پیش‌تیمار در محلول‌پاشی بر محتوای نسبی رطوبت برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). اعمال تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای، کاهش رطوبت نسبی برگ را به دنبال داشت، به نظر می‌رسد که بین میزان رطوبت نسبی برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد که با کاهش رطوبت خاک، محتوای نسبی رطوبت برگ کاهش می‌یابد. برخی محققین معتقدند که کاهش میزان محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش کم‌آبی مربوط به بسته‌شدن روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسیزیک اسید می‌دانسته‌اند به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی در ریشه ساخته‌شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع یافته است (Khan et al., 2007). همچنین در این راستا گرگینی و همکاران (Gorgini Shabankareh et al., 2015) در گیاه بادرشبو نتایج مشابهی را ارائه نمودند. در پژوهش حاضر پیش‌تیمار بذر و همچنین محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین موجب افزایش محتوای نسبی رطوبت برگ تحت تنش خشکی شد به‌طوری‌که بیشترین محتوای نسبی رطوبت برگ (۹۰/۵ درصد) با پیش‌تیمار بذر و محلول-پاشی ملاتونین با غلظت ۰/۳۷۵ میلی‌مولار حاصل شد (جدول ۴). در تحقیقات داوود و همکاران (Dawood et al., 2018) روی نخود و محمدی و همکاران (Mohammadi, et al., 2020) در سویا نتایج مشابهی گزارش شده است. همچنین در این خصوص برخی تحقیقات نشان داده است پلی‌آمین‌ها اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را در شبدر سفید با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، پایداری غشای سلولی، افزایش محتوای آب نسبی با بسته شدن روزنه‌ها و تغییر شکل آن‌ها که به شکل قابل‌توجهی کوتاه‌تر و باریک‌تر می‌شوند و بیان ژن‌های مربوط به آنتی‌اکسیدان کاهش می‌دهند (Li et al., 2015).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر پیش تیمار و محلول‌پاشی ملاتونین و اسپرمیدین بر صفات فیزیکوشیمیایی دیلار تحت تنش خشکی

Table3. Analysis of variance squares mean of the effect of pretreatment and spraying Melatonin and spermidine on physiochemistry in Buckwheat drought stress

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی df	رطوبت نسبی برگ RWC	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	هدایت روزنه Stomatal conductance	کاتالاز Catalase	پروتئین محلول برگ Leaf soluble protein	سطح برگ Leaf area
بلوک Block	2	0.12	0.1	0.09	7.19	17.75	0.14	0.70
تنش خشکی Drought stress (D)	2	2778.9**	35.57**	6.22**	9461.23**	64026**	148.38**	15389**
پیش‌تیمار Pretreatment (P)	2	109.52**	10.10**	1.68**	1855.27**	2923**	45.54**	193.13**
D × P	4	0.72*	0.39**	0.018ns	12.8**	76.52	0.16**	8.91*
محلول‌پاشی Spraying (S)	2	134.52**	9.73**	1.65**	1546.03**	2592**	73.56**	198.8**
D × S	4	0.82*	0.096*	0.019*	21.73**	55.65**	0.12ns	3.17ns
D × P	4	7.18**	0.13**	0.05**	94.95**	145.3**	8.65**	11.64*
D × P × S	8	2.77**	0.18**	0.05*	4.92*	23.6**	0.13ns	2.20ns
خطا Error	52	0.27	0.03	0.007	3.22	4.54	0.14	3.24
ضریب تغییرات C.V %	-	*2.64*	*2.00*	*1.93*	*1.93*	*2.26*	*2.16*	*3.20*

ns، *، ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد

ns* and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش خشکی در ملاتونین در اسپرمیدین بر صفات فیزیکوشیمیایی دیلار

Table 4. Continuation Mean comparison of effect of Drought stress in Pretreatment and Spraying spermidine and Melatonin on phicikochimestery Buckwheat

تنش خشکی Drought stress	پیش‌تیمار Pretreatment	محلول‌پاشی Spraying	رطوبت نسبی برگ Leaf RWC	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	کاتالاز Catalase
			%	----------mg.g^{-1} FW----------		mol.m^{-2}s^{-1}	mg min^{-1}
آبیاری در ۱۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی Irrigation 10% Field capacity	بدون پیش‌تیمار No-Pretreatment	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	82.65^{h}	9.11^{f}	4.56^{ef}	199.2^{g}	122^{p}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	83.8^{fg}	9.41^{de}	4.68^{de}	204.3^{t}	131.5^{o}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	84.28^{f}	9.71^{c}	4.80^{cd}	207.6^{de}	135.6^{mn}
	پیش‌تیمار با اسپرمیدین Pretreatment spermidine	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	83.59^{fg}	9.3^{ef}	4.68^{de}	206.5^{et}	132.3^{no}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	83.15^{e}	10.29^{b}	5.12^{b}	216.9^{bc}	143.1^{jk}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	88.31^{b}	10.35^{b}	5.25^{b}	216^{c}	146.5^{ij}
	پیش‌تیمار با ملاتونین Pretreatment Melatonin	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	84.28^{f}	9.56^{cde}	4.78cd	208.8^{de}	136.7^{lm}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	87.09^{c}	10.47^{b}	5.19^{b}	219^{b}	149.4^{i}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	90.55^{a}	11.2^{a}	5.6^{a}	227.1^{a}	159.9^{gh}
آبیاری در ۴۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی Irrigation 40% Field capacity	بدون پیش‌تیمار No-Pretreatment	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	80.94^{i}	7.84^{i}	4.15^{h}	187.7^{j}	187.7^{o}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	83.04^{gh}	8.27^{h}	4.19^{h}	193^{i}	139.7^{kl}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	83.24^{gh}	8.52^{gh}	4.42^{tg}	196.8^{gh}	142.1^{k}
	پیش‌تیمار با اسپرمیدین Pretreatment spermidine	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	82.43^{h}	8.31^{gh}	4.20^{h}	194.9^{hi}	140.5^{k}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	84.21^{f}	9.34^{def}	4.75^{cd}	207.1^{def}	158.5^{h}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	86.65^{cd}	9.53^{cde}	4.82^{cd}	206.9^{ef}	158.4^{k}
	پیش‌تیمار با ملاتونین Pretreatment Melatonin	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	83.21^{gh}	8.43^{gh}	4.40^{g}	197^{gh}	142.5^{k}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	86.08^{d}	9.62^{cd}	4.82^{cd}	210^{d}	157.9^{h}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	89.1^{b}	9.75^{c}	4.90^{c}	217.9^{bc}	162.9^{g}
آبیاری در ۷۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی Irrigation 40% Field capacity	بدون پیش‌تیمار No-Pretreatment	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	61.76^{n}	5.79^{l}	3.37^{j}	156.4^{n}	208.2^{f}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	65.51^{m}	7.02^{k}	3.81^{i}	166.7^{m}	215.7^{e}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	67.4^{l}	7.34^{j}	3.92^{i}	171^{l}	220^{d}
	پیش‌تیمار با اسپرمیدین Pretreatment spermidine	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	65.86^{m}	7.34^{j}	3.92^{i}	168.2^{lm}	216.4^{e}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	68.73^{k}	8.37^{gh}	4.24^{h}	182.9^{k}	231.2^{c}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	68.78^{k}	8.57^{g}	4.28^{gh}	183^{k}	238.6^{b}
	پیش‌تیمار با ملاتونین Pretreatment Melatonin	بدون محلول‌پاشی No- Spraying	66.7^{l}	7.44^{j}	3.90^{i}	170.5^{l}	221.1^{d}
		محلول‌پاشی با اسپرمیدین Spraying spermidine	68.4^{k}	8.56^{g}	4.30^{gh}	184.7^{k}	240.6^{b}
		محلول‌پاشی با ملاتونین Spraying Melatonin	73.29^{j}	8.35^{gh}	4.27^{gh}	194.9^{hi}	259.8^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند

Values followed by different letters are significantly different according to Duncan test, P= 0.05

کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین در تنش خشکی بر میزان کلروفیل a و b معنی‌دار بودند (جدول ۳).

تنش خشکی اثر منفی و تیمارهای آزمایشی اثرات مثبت بر میزان کلروفیل داشتند. بیشترین میزان کلروفیل a و b به ترتیب با مقدار عددی ۱۱/۲ mg/g^{-1} FW و ۵/۶ ، در پیش-تیمار ملاتونین و محلول‌پاشی آن و در شرایط مطلوب آبیاری مشاهده شد (جدول ۴). توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2009) در تحقیقات خود به کاهش محتوای کلروفیل طی تنش خشکی در ارقام گندم اشاره داشتند. ازجمله دلایلی که برای کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی عنوان‌شده می‌توان به تخریب غشاهای تیلاکوئیدی کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن اشاره داشت (Aghighi Shahverdi et al., 2018). مطالعات نشان داده است که کلروفیل در واکنش به تنش‌های محیطی یا پیری برگ کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که پلی‌آمین‌ها باعث کاهش تخریب کلروفیل شده و منجر به دریافت بیشتر نور برای بهبود سرعت فتوسنتز می‌شوند؛ اما در خصوص مکانیسم مولکولی آن‌ها هنوز اطلاعاتی گزارش نشده است (Chattopadhayay et al., 2002). برخی محققین تأثیر مثبت ملاتونین را در جلوگیری از تخریب کلروفیل در برگ‌های در حال رشد گونه *Malus Hapehensis* که باعث کنترل پیری می‌شود را تأیید می‌نمایند (Shi et al., 2016). همچنین قنبری و همکاران (Ganbari et al., 2018) در برگ‌های کدو شاهد افزایش میزان کلروفیل با کاربرد اسپرمیدین بودند. مطالعات نشان داده است که یکی از مهم‌ترین نقش‌های ترکیبات پلی‌آمین‌ها ازجمله ملاتونین در گیاهان این است که به-عنوان اولین خط دفاعی گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و محافظت‌کننده قوی ایفای نقش می‌کنند و از این طریق موجب حفظ کارتنوئیدها در برابر انواع تنش‌ها، به‌ویژه تنش‌های اکسیداتیو می‌گردد (Abbasi et al., 2018).

هدایت روزنه‌ای

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، تنش خشکی، پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی ملاتونین و اسپرمیدین تأثیر معنی‌داری بر هدایت روزنه برگ دیلار داشتند (جدول ۳). تیمارهای آزمایشی اثر مثبت و سطوح تنش خشکی اثر منفی بر هدایت روزنه نشان دادند. بیشترین میزان هدایت روزنه در شرایط مطلوب آبیاری و در پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی با ملاتونین مشاهده شد (۲۲۷/۱ $mol.m^{-2}s^{-1}$) و تیمار آبیاری در مرحله ۷۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی، بدون پیش‌تیمار بذر و بدون محلول‌پاشی، کمترین هدایت روزنه را به خود اختصاص داد (۱۵۶/۴ $mol.m^{-2}s^{-1}$). مطالعات نشان داده است که پلی آمین‌ها در شرایط تنش خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شوند و از دست رفتن آب گیاه جلوگیری می‌کنند (Shi et al., 016). قنبری و همکاران (Ganbari et al., 2018) در گیاه کدو (*Cucurbita* pepo. L) و عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2018) در ژربرا (*Gerbera jamesonii*) به ترتیب اثر مثبت اسپرمیدین و ملاتونین بر افزایش هدایت روزنه را گزارش نمودند که با نتایج حاضر همخوانی دارد. تحقیقات انجام شده نشان داده است که پلی‌آمین‌ها ساختار و اعمال غشاءهای سلولی را تحت تأثیر قراردادند و این امر از طریق برهمکنش پلی‌آمین‌ها با بارهای منفی فسفولیپیدهای موجود در بین دولایه لیپیدی یا پروتئین‌های متصل به غشاء صورت می‌پذیرد. مولکول پلی آمین بااتصال به سطح غشاء باعث استحکام آن می‌شود که درنهایت منجر به تغییر در نفوذپذیری غشاء و انتقال فعال مواد از طریق آن می‌گردد (Ganbari et al., 2018).

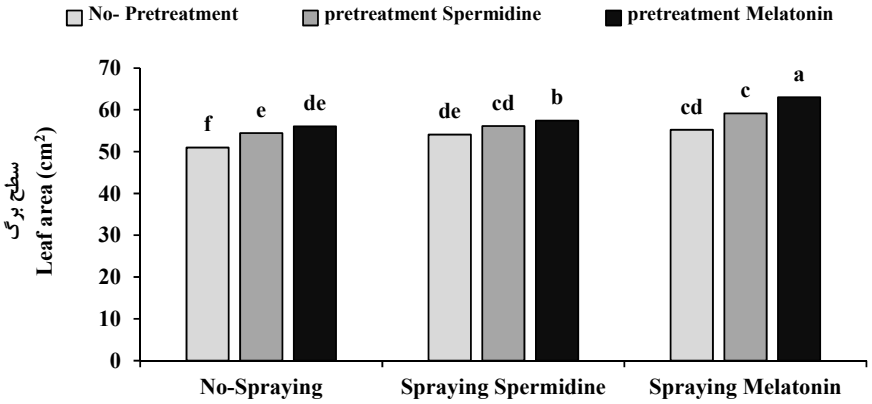
فعالیت کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سه-جانبه تنش خشکی، پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها اثبات شد که با وقوع تنش خشکی فعالیت کاتالاز در دیلار افزایش یافت که این نتایج قبلاً در مطالعات عقیقی و همکاران (Aghighi et al., 2018) گزارش شده است. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2014) افزایش فعالیت کاتالاز در شرایط تنش خشکی را به تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن نسبت دادند. مطابق با نتایج حاضر، کاربرد اسپرمیدین و ملاتونین نیز هم به‌صورت پیش‌اندازی بذر و هم به‌صورت محلول‌پاشی اثر مثبت و معنی‌داری بر میزان فعالیت کاتالاز داشتند می‌توان بیان داشت که استفاده از روش مقرون‌به‌صرفه و بسیار کارای پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی با پلی‌آمین‌ها، به دلیل توانایی از بین بردن رادیکال‌های آزاد تولیدشده در شرایط تنش،

شرایط بهتری برای رشد گیاه ایجاد می‌کند. در خصوص افزایش فعالیت کاتالاز با کاربرد اسپرمیدین و ملاتونین نتایج مشابهی در گیاه کدو و درخت هلو مشاهده شده است که صحت نتایج حاضر را تأیید می‌کند (Ganbari et al., 2018، Gao, 2016). در این پژوهش بالاترین میزان کاتالاز با پیش-تیمار بذر و همچنین محلول‌پاشی گیاهچه با ملاتونین و در شرایط آبیاری در زمان تخلیه ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (۲۵۹/ ۸ mg/min). برخی پژوهش‌گران اظهار داشتند که با کاربرد ترکیبات پلی‌آمینی، تحمل به تنش‌های محیطی، از طریق بالا رفتن توانایی آنتی‌اکسیدانی گیاه بوده است (Kandil et al., 2011).

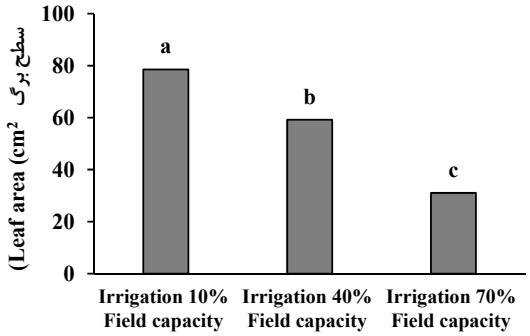
سطح برگ

با بررسی اثر پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی اسپرمیدن و ملاتونین تحت تنش خشکی مشخص شد که اثرات اصلی تیمارها و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر سطح برگ در بوته با خطای آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با اعمال تنش خشکی، شاخص سطح برگ کاهش معنی‌داری نشان داد. در این راستا اردکانی و همکاران (Ardakani et al., 2010) در گیاه بادرنجبویه شاهد کاهش سطح برگ در اثر وقوع تنش خشکی بودند. برخی محققین در شرایط تنش رطوبتی، کاهش تقسیم و توسعه سلولی با کاهش پتانسیل آبی خاک را دلیل کاهش سطح برگ دانسته‌اند (Nehbandani et al., 2016). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها در این پژوهش، پیش‌اندازی بذر و همچنین محلول پاشی گیاهچه با تیمارهای اسپرمیدین و ملاتونین اثر مثبت و معنی‌داری بر سطح برگ داشتند (شکل ۱) به‌طوری‌که بالاترین میزان سطح برگ (۲/۹) در شرایط آبیاری مطلوب (آبیاری در تخلیه ۱۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد و پیش‌اندازی بذر و محلول‌پاشی گیاهچه با تیمار ملاتونین بیشترین سطح برگ (۴/۰۳) را به خود اختصاص داد (شکل ۲). در گیاه اسفناج تأثیر مثبت پیش‌تیمار و همچنین محلول-پاشی ملاتونین بر سطح برگ گزارش شده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Amozadeh et al., 2019). در تحقیقی که کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2018) با تیمار ملاتونین بر گیاه دارویی بادرشبو انجام دادند، باعث افزایش رشد گیاه از طریق مهار آسیب غشا و کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدهید و آلدئیدهای دیگر و H_2O_2 در سطوح تنش خشکی شدید و متوسط شد و همچنین کاهش آسیب اکسیداتیو و بهبود کارایی مصرف آب در گیاهان منجر به حفظ محتوای کلروفیل بالاتر شده و درنتیجه گسترش برگ‌ها را در پی خواهد داشت.



شکل ۱. اثر متقابل پیش تیمار بذر و محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین بر سطح برگ دیلار

Fig. 1. Mean comparsion of interaction effect of Pretreatment Seed and Spraying spermidine and Melatonin on Leaf area in Buckwheat

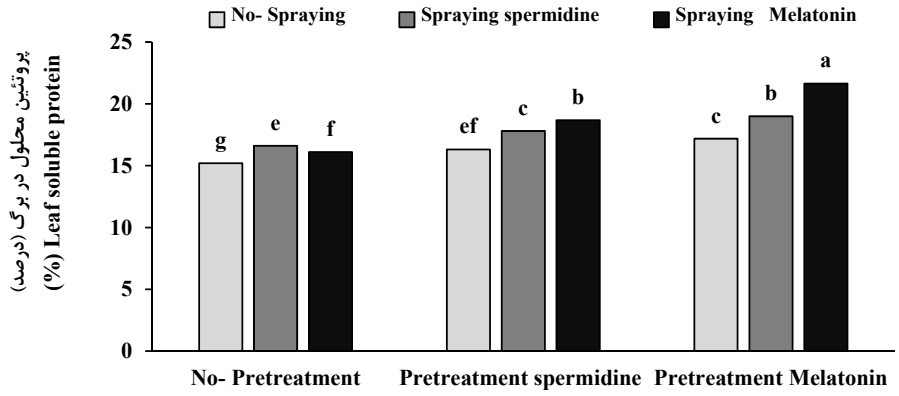


شکل ۲. اثر سطوح آبیاری بر سطح برگ در دیلار

Fig. 2. Effect of irrigation levels on Leaf area in Buckwheat

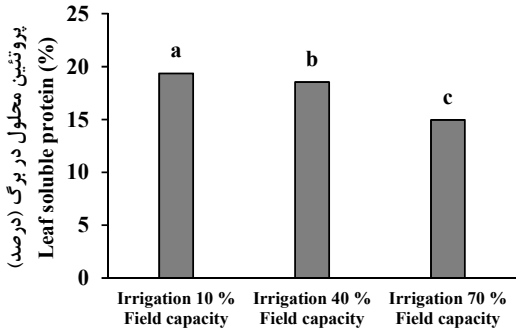
پروتئین محلول در برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که اثر متقابل دوجانبه تیمارها و اثرات اصلی تیمارهای تنش خشکی و پیش‌اندازی بذر و محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین بر پروتئین محلول در برگ دیلار معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها گویای تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی (شکل ۳) و سطوح مختلف آبیاری (شکل ۴) بودند. تنش خشکی موجب کاهش پروتئین محلول در برگ شدند در مطالعات احمد و حداد (Ahmad and Haddad, 2012)، کاهش محتوای پروتئین‌های محلول برگ در اثر تنش خشکی در ارقام گندم گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. برخی پژوهشگران کاهش غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها در اثر تنش خشکی را در افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و کاهش سنتز پروتئین دانستند (Bajji et al., 2001). بر اساس نتایج این پژوهش، تأثیر تیمارهای اسپرمیدین و ملاتونین بر محتوای پروتئین عکس تنش خشکی بود و بیشترین مقدار پروتئین محلول در برگ در تیمار محلول‌پاشی و پیش‌تیمار بذر با ملاتونین مشاهده شد. در خصوص اثر ملاتونین بر تغییرات محتوای پروتئین محلول در برگ تحت شرایط تنش خشکی تاکنون مطالعه‌ای یافت نشده است اما اثر محلول‌پاشی اسپرمیدین بر محتوای پروتئین و عصاره گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط تنش خشکی موردبررسی قرار گرفته و نتایج آن نشان داده است که مصرف اسپرمیدین محتوای پروتئین را در این گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Pazki et al., 2017) برخی معتقدند که محلول‌پاشی اسپرمیدین با کاهش آسیب اکسیداتیو موجب کاهش خسارت اثرات تنش خشکی و افزایش پروتئین شده است (Li et al., 2015).



شکل ۳. اثر متقابل پیش تیمار بذر و محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین بر پروتئین محلول در برگ دیلار

Fig. 3. Mean comparsion of interaction effect of seed oretreatment and spermidine and Melatonin spraying on leaf soluble protein in Buckwheat.



شکل ۴. اثر سطوح آبیاری بر درصد پروتئین محلول در برگ دیلار
Fig. 4. E ffect of irrigation levels on Leaf soluble protein (%) in Buckwheat

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، در گیاه دیلار، تنش خشکی، تیمارهای پیش‌اندازی بذر، محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین و همچنین اثرات متقابل این تیمارها تأثیر معنی داری بر صفات فیزیکوشیمیایی داشتند، صفاتی ازجمله درصد جوانه‌زنی، محتوای نسبی رطوبت برگ، میزان کلروفیل، هدایت روزنه، شاخص سطح برگ و پروتئین‌های محلول در برگ کاهش یافتند اما فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش در مقایسه با شرایط مطلوب آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. پیش‌تیمار بذر، محلول‌پاشی اسپرمیدین و ملاتونین و همچنین اثر متقابل آن‌ها، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر افزایش صفات داشتند. در مرحله اول آزمایش (بخش آزمایشگاه) غلظت‌های ۱/۵ میلی‌مولار اسپرمیدین و ۰/۳۷۵ ملاتونین به‌عنوان بهترین تیمارهای آزمایشی انتخاب شدند و در مرحله دوم (گلخانه) مشخص شد که پیش‌تیمار بذر و همچنین محلول‌پاشی گیاهچه با ملاتونین، بیشترین تأثیر را در تعدیل تنش خشکی داشت.

منابع

Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology. 105, 121-126.

Abbasi, J., Hassanpour Asil, M., Olfati, J.A., 2018. Effects of Melatonin and sodium nitroprusside (SNP) spray on salinity adjustment and improving the morpho-physiological traits of cut flower (*Gerbera Jamesonii*), Science and Technology of Greenhouse Culture. 11, 29-44. [In Persian with English Summary].

Abdul_Baki, A., Anderson, J.D., 1973. Vigour determination in soybean by multiple criteria. Crop Science. 13, 630-633.

Aghighi Shahverdi, M., Paravar, A., Ghasemzadeh, M., Navabi. A., 2018. The study of germination, biochemical and enzymatic characteristics of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) affected by drought and salinity stresses. Iranian Journal of Seed Science and Research. 5, 33-46. [In Persian with English Summary].

Ahmad, S.T., Haddad, R., 2012. Effect of silicon on antioxidant enzymes activities and osmotic adjustment contents in two bread wheat genotypes under drought stress conditions. Seed and Plant Production Journal. 2, 207-225.

Ahmed, A., Khalid, N., Ahmad, A., Abbasi, N.A., Latif, M.S.Z., Randhawa, M.A., 2014. Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: a review. The Journal of Agricultural Science. 152, 349.-369.

Amozadeh, S., Dashti, F., Sarikhani, H., 2019. Effect of seed priming and foliar application of melatonin on growth and flowering characteristics of spinach (*Spinacia oleraceae* cv. varamin 88), Iranian Journal of Horticultural Science and Technology. 20, 43-50. [In Persian with English Summary].

Ansari, O., Sharifzadeh, F., 2012. Osmo and hydro priming mediated germination improvement under cold stress conditions in mountain rye (Secale montanum). Cercetări Agronomice în Moldova. 3(151), 53-62.

Ardakani, M. R., Abas Zadeh, B., AshorAbadi, A., lebaschi, M. H., Moaveni, P., Mohabati, F., 2010.The effect of drought steress on growth of dracocephalum. Plant and Ecosystem, 5, 47-58. [In Persian with English Summary].

Arnao, M.B., Hernández-Ruiz, J., 2015. Functions of melatonin in plants: a review. Journal of Pineal Research. 59, 133-150.

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology.24, 1-15.

Ashrafi, M., Azimi-Moqadam, M.R., Moradi, P., MohseniFard, E., Shekari, F., Kompany-Zareh, M., 2018. Effect of drought stress on metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive

thyme. Plant Physiology and Biochemistry. 132, 391-399.

Azadvari, H., Naeemi, M., Gholizadeh, A., Moghaddam, A.N., 2021. Evaluation of salicylic acid application on the physiological responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) under different irrigation conditions, Environmental Stresses in Crop Sciences. 13, 1169-1181. [In Persian with English Summary].

Azizi, F., Amiri, H., Ismaili, A., 2019. Effect of melatonin on some morphophysiological characteristics of phaseolus vulgaris cv. sadri under salinity stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 32, 698-711. [In Persian with English Summary].

Bajji, M., Lutts, S., Kinet, J.M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science. 160, 669-681.

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical biochemistry. 72, 248-254.

Chattopadhayay, M.K., Tiwari, B.S., Chattopadhyay, G., Bose, A., Sengupta, D.A., Ghosh, B., 2002. Protective role of exogenous polyamines on salinity-stressed rice (Oryza sativa) plants. Physiologia Plantarum, 116, 192-199.

Darvizheh, H., Zahedi, M., Abbaszadeh, B., Razmjoo, J., 2018. Effects of foliar application of salicylic acid and spermine on maternal plant under drought stress on germination indices of purple coneflower (*Echinacea purpurea*). Iranian Journal of Seed Research, 5, 1-19. [In Persian with English Summary].

Dashab, S., Omidi, H., 2021. Investigation the effect of drought tension and seed pretreatment on physiological and biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa*). Crop Physiology Journal. 12, 5-23. [In Persian with English Summary].

Dawood, M.G., 2018. Physiological effect of melatonin, IAA and their precursor on quality and quantity of chickpea plants grown under sandy soil conditions. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 19, 35-44.

Ellis, R.A., Roberts, E.H., 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Science and Technology (Netherlands). 9, 373-409.

França, M.G.C., Thi, A.T.P., Pimentel, C., Rossiello, R.O.P., Zuily-Fodil, Y., Laffray, D., 2000. Differences in growth and water relations among phaseolus vulgaris cultivars in response to induced drought stress. Environmental and Experimental Botany. 43, 227-237.

Ganbari M., Farzaneh M., Eftekharian Jahromi, A., 2018. Effect of spermidine and irrigation period on some physiological characteristics of cucurbit (*Cucurbita pepo* L.). Agronomy and Plant Breeding. 14, 75-87. [In Persian with English Summary].

Gao, H., Zhang, Z.K., Chai, H.K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D.N., Cao, W., 2016. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. Postharvest Biology and Technology. 118,103-110.

Gorgini Shabankareh, H., Asghari Pour, M.R., Fakheri B. A., 2015. The effect of bio fertilizers on some growth parameters and essential oil of moldavian dragonhead under drought conditions. Journal of Plant Ecophysiology. 7, 185-194. [In Persian with English Summary].

Hamzei, F., and IranNezhad, F., 2013. Effects of spermidine interaction and salinity stress in fenugreek. The First National Conference on Salinity Stress in Plants and Developing Strategies for Saline Agriculture. Tabriz. P.2-8 .[In Persian with English Summary].

Heidari, M., Miri. H.R., Minaei, A., 2014. Antioxidant enzymes activity and biochemical components of borage (*Borago officinalis* L.) in response to water stress and humic acid treatment. Environmental Stresses in Crop Sciences, 6, 159-170. [In Persian with English Summary].

Heshmati, S., Akbari, G. A., Soltani, E., Amini Dehaghi, M., 2019. The effect of seed priming at different seed quality by melatonin on seedling emergence and growth characteristic of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under stress combination of salinity and drought. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 1275-1289. [In Persian with English Summary].

Kabiri, R., Hatami, A., Oloumi, H., Naghizadeh, M., Nasibi, F., Tahmasebi, Z., 2018. Foliar application of melatonin induces tolerance to

drought stress in moldavian balm plants (*Dracocephalum moldavica*) through regulating the antioxidant system, Folia Horticulturae. 30, 155-167.

Kalsa, K.K., Abebie, B., 2012. Influence of seed priming on seed germination and vigor traits of vicia villosa ssp. dasycarpa (Ten.). African Journal of Agricultural Research. 7, 3202-3208.

Kandil, M.M., El-Saady, M.B., Mona, H.M., Afaf, M.H., Iman, M.E. 2011. Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of *Chrysanthemum indicum* L. plant. The Journal of American Science. 7, 399-408.

Kaur-Sawhney, R., Tiburcio, A.F., Altabella, T., Galston, A.W., 2003. Polyamines in plants: an overview. Journal of Cell and Molecular Biology, 2, 1-12.

Khan, H.R., Link, W., Hocking, T.J., Stoddard, F.L., 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.). Plant and Soil. 292, 205-217.

Li, C., Tan, D.X., Liang, D., Chang, C., Jia, D., Ma, F., 2015. Melatonin mediates the regulation of ABA metabolism, free-radical scavenging and stomatal behavior in two malus species under drought stress. Journal of Experimental Botany. 66, 669-680.

Mohammadi, Y., Baradaran Firouzabadi, M., Gholami, A., Makarian, H., 2020. The effect of vitamins B group and melatonin foliar application on yield and some of physiological traits of soybean (*Glycine max*). Journal of Plant Process and Function. 9, 359-376. [In Persian with English Summary].

Montgomery, J., 2009. The potential of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) as a forage for dairy herds in central Alberta. University of Alberta.178p.

Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 51, 914-916.

Niu, J., Zhang, S., Liu, S., Ma, H., Chen, J., Shen, Q., and Zhao, X., 2018. The compensation effects of physiology and yield in cotton after drought stress. Journal of Plant Physiology. 224, 30-48.

Nehbandani, A., Soltani, A., Darvishirad, P., 2016. Effect of terminal drought stress on water use, growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Plant Ecophysiology. 7, 17-27. [In Persian with English Summary].

Paredes, S.D., Korkmaz, A., Manchester, L.C., Tan D.X., Reiter, R.J., 2009. Phytomelatonin: a review. Journal of Experimental Botany. 60, 57-69.

Omidbaigi, R., 2010. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Quds Razavi Publications. 4, 419 p. [In Persian]

Rahimi, A.A., Modhej, A., Mojadam, M., 2019. Study of seed germination and seedling growth of alfalfa genotypes (*Medicago sativa* L.) under drought tension conditions. Crop Physiology Journal. 10, 129-144. [In Persian with English Summary].

Ranai, M.A., De Santana, D.G., 2006. How and why, it measure the germination process. Revista Brasileira de Botanica. 29, 1-11.

Rassam, G.A., Dadkhah, A., 2012. The Effect of drought stress on germination and heterotrophic seedling growth characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik). Journal of Agriculture. 6, 13-2. [In Persian with English Summary].

Saeidnejad, A.H., Pouramir, F., Naghizadeh, M., 2012. Improving chilling tolerance of maize seedlings under cold conditions by spermine application. Notulae Scientia Biologicae. 4, 110-117.

Salehi Shanjani, P., Rasoulzadeh, L., Falah Hoseini, L., Ramezani Yeganeh, M., Amirkhani, M., Pahlavani, M.R., Seyedian, S.E., 2020. Morpho-physiological responses of four chamomile species to rainfed conditions and drought stress under greenhouse conditions. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 28, 51-66. [In Persian with English Summary].

Shi, H., Reiter, R.J., Tan, D.X. Chan, Z., 2015. Indole-3-acetic acid inducible 17 positively modulates natural leaf senescence through melatonin□mediated pathway in arabidopsis. Journal of Pineal Research , 58, 26-33.

Shi, H., Chen, K., Wei, Y., He, C., 2016. Fundamental issues of melatonin mediated stress signaling in plants. Frontiers in plant Science,7, 11-24.

Tavakoli, A., Ahmadi, A., Alizadeh, H., 2009. A Study of some physiological aspects of yield in drought tolerant vs susceptible wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under post anthesis drought stress conditions. Iranian Journal of

Field Crop Science. 40, 197-211. [In Persian with English Summary].

Wang, P., Sun, X., Chang, C., Feng, F., Liang, D., Cheng, L., Ma, F., 2013. Delay in leaf senescence of Malus hupehensis by long-term melatonin application is associated with its regulation of metabolic status and protein degradation. Journal of Pineal Research. 55, 424-434.

Wu, Q., Zhao, G., Bai, X., Zhao, W., Xiang, D., Wan, Y., Zhao, J., 2019. Characterization of the transcriptional profiles in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) under PEG-mediated drought stress. Electronic Journal of Biotechnology, 39, 42-51.

Zokaee Khosroshahi, M.R., Esna Ashari, M., 2008. Effect of putrescine application on post-harvest life and physiology of strawberry, apricot, peach and sweet cherry fruits. Journal of Water and Soil Science, 12, 219-230. [In Persian with English Summary].