

Responses of dragon head (*Lallemantia iberica*) and Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) to nano-iron chelate under different irrigation regimes

A. Paravar¹, S. Maleki Farahani^{1*}, A. Rezazadeh²

1. Department of Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

2. Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

Received 21 November 2021; Accepted 14 February 2022

Extended abstract

Introduction

Water deficit is as one of the most ominous abiotic factors that limits the growth and yield of crops and reduced photosynthesis content (Askary et al., 2017). The common symptoms determined in plants after encountering water deficit include a hindrance to growth, a reduction in the rate of photosynthesis, an acceleration oxidative stress (Aalipour et al., 2020). A balanced nutrient concentration in the soil is known as another essential element for plant growth regulation (Taghizadeh et al. 2019). This can be supplied by the application of chemical fertilizers (nano iron chelate). Nano iron chelate fertilizer can also protect plants against water deficit stresses and improves photosynthesis and assimilates transportation to sinks and eventually amends grain yield and oil content (Moradbeygi et al., 2020). The aim of this study was to investigate the response of Dragon head (*Lallemantia iberica*) and Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) to the application of nano-chelate fertilizer in different irrigation regimes.

Materials and methods

The field trial was conducted at the Research Farm of the Agricultural Faculty of Shahed University, Tehran, during the cropping season of 2018 and 2019. A split-factorial experiment was employed in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plot consisted of three-level of irrigation regime (30% (I₃₀; without stress), 60% (I₆₀; mild stress), and 90% (I₉₀; sever stress) depletion of available water resource). The sub plots were factorial combination nano-iron chelate (without fertilizer and nano-iron chelate) and plant species of *Lallemantia* (*L. iberica* and *L. royleana*).

Results and discussion

By increasing water deficit reduced, chlorophyll a and b, CAT and APXs enzyme activity, plant height, root length, seed yield, content of mucilage and oil. The reduction of plant growth parameters and seed yield of both species *Lallemantia* may be due to extended irrigation intervals which caused decline in Chl concentration, stomata closure, and decreased CO₂ uptake for photosynthesis (Paravar et al., 2021). Our results showed that the highest chlorophyll a and b, CAT and APXs enzyme activity, plant height, root length, seed yield, content of mucilage and oil was obtained at 60% available water soil of depletion (moderate drought stress). The application nano-iron chelate in all cases mitigated the negative effects of water deficit stress on chlorophyll a and b, CAT and APXs enzyme activity, plant height, root length,

* Corresponding author: Saeideh Maleki Farahani; E-Mail: maleki@shahed.ac.ir



seed yield, content of mucilage and oil. Increasing in growth parameters and seed yield under drought stress of *Lallemantia* species under application of nano-iron chelate condition in drought stress may be due to the role of iron the chlorophyll structure and plant photosynthesis system (Moradbeygi et al., 2020). Indeed application of nano-iron chelate by photosynthesis improvement and material production in the plant causes the increasing growth and yield. (Iqbal and Umar, 2019). In addition, in this study observed nano-iron chalet application played the important role on the increasing of CAT and APXs enzyme activity under drought stress. It has been reported that micronutrients such as iron has a structural role in some enzyme such as CAT and APXs (Moradbeygi et al., 2020). Higher seed yield and seed oil *L.iberica* than *L.royleana* under application nano-iron chelate and different levels of irrigation regimes may be due to the increasing chlorophyll a and b (Paravar et al., 2022). Compared with *L.iberica*, the greater CAT and APXs enzyme activity in *L.royleana* is probably due to the mucilage around roots of *L.royleana* that has caused the reduction of oxidative stress (Paravar et al., 2021).

Conclusion

Therefore, in general in this research, it can be concluded that under water deficit stress conditions, we can reduce damages from water deficit stress in both species of *Lallemantia* with careful irrigation management (using an irrigation regime of 60% available water soil of depletion) and application nano-iro chelate.

Acknowledgments

We kindly acknowledge the Shahed University of Tehran for their support of this research.

Keywords: APXs, CAT, Seed yield, Seed mucilage, Seed oil



<https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.4889.2086>

مقاله پژوهشی

واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) به کاربرد کود نانو آهن کلات در رژیم‌های متفاوت آبیاری

آرزو پراور^۱، سعیده ملکی فراهانی^{۲*}، علیرضا رضازاده^۲

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران

۲. گروه گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران

چکیده	مشخصات مقاله
هدف از این مطالعه بررسی واکنش بالنگو شهری (<i>Lallemantia iberica</i>) و شیرازی (<i>Lallemantia royleana</i>) به کاربرد کود نانو آهن کلات در رژیم‌های متفاوت آبیاری بود. آزمایش به صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. عامل اصلی، رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) و ترکیب فاکتوریل کود نانو آهن کلات (کاربرد و عدم کاربرد) و گونه گیاهی بالنگو (<i>L. iberica</i>) و بالنگو شیرازی (<i>L. royleana</i>) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. کم آبیاری در هر دو گونه باعث کاهش محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ویژگی‌های رشد، عملکرد بذر، محتوای موسیلاژ و روغن بذر شد؛ به طوری که کمترین این صفات در تیمار ۹۰ درصد تخلیه آب به دست آمد اما کاربرد کود نانو آهن کلات تأثیر مثبت بر روی این صفات در هر دو گونه گذاشت. در هر دو گونه رشد یافته در شرایط کاربرد کود نانو آهن کلات، میانگین صفاتی چون محتوای رنگیزه فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، طول ریشه، ارتفاع بوته، عملکرد بذر، محتوای موسیلاژ و روغن بذر در تیمار آبیاری پس از ۶۰ درصد تخلیه آب، بیشتر از سایر تیمارهای آبیاری بود. بیشترین میزان عملکرد بذر و روغن بذر در بالنگو شهری احتمالاً به دلیل افزایش محتوای رنگیزه فتوسنتزی بود. در مقابل افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز نشان‌دهنده بیشترین مقاومت بالنگو شیرازی به تنش اکسیداتیو القاشده از تنش خشکی بود. به طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد کود نانو آهن کلات توانست اثرات منفی تنش کم آبی را بر عملکرد بالنگو شهری و شیرازی کاهش دهد و رشد و عملکرد آن‌ها را بهبود ببخشد.	واژه‌های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز روغن بذر عملکرد بذر کاتالاز موسیلاژ بذر تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۱ تاریخ انتشار: پائیز ۱۴۰۲ ۶۷۴-۶۵۹: ۱۶(۳)

مقدمه

امولسیون و سوسپانسیون کنندگی بالا در صنعت دارویی و بستنی‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Paravar et al., 2018). گزارش شده است که مقدار روغن در بذره‌های بالنگو در مقایسه با اکثر بذره‌های روغنی حتی کتان^۳، بالاتر است (Zlatanov et al., 2012). هر دو گونه بالنگو جزء گیاهان دارویی محسوب می‌شوند، اما به دلیل بالا بودن محتوای

بالنگو شهری^۱ و بالنگو شیرازی^۲ از گیاهان یک‌ساله ارزشمند تیره نعناعیان هستند که از دیرباز بذر آن‌ها به دلیل فراوان بودن روغن و موسیلاژ در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Paravar et al., 2021). روغن بالنگو شهری و شیرازی نقش مؤثری در کاهش چربی و کلسترول خون دارند (Paravar, 2021) و همچنین موسیلاژ آن‌ها، به دلیل

³ *Linum usitatissimum*

¹ *Lallemantia iberica*

² *Lallemantia royleana*

اثبات رساننده است. نانوفناوری کاربردهای گسترده‌ای در کشاورزی همانند افزایش بهره‌وری محصولات، کاهش مصرف کودها و سموم دفع آفات و کمک به حفظ منابع طبیعی روی زمینی دارد (Rui et al., 2016). گزارش شده است که از تأثیرات منفی تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است که مانع از فراهم شدن مواد غذایی توسط ریشه می‌شود. بنابراین برای فائق آمدن بر این مشکلات می‌توان با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف، وضعیت رشد گیاه را در شرایط کم‌آبی بهبود بخشید (Aghajani and Soleymani, 2017). در بین عناصر کم‌مصرف، آهن علاوه بر این‌که نقش مهمی در متابولیسم سلولی، تثبیت نیتروژن و فعالیت آنزیمی مانند کاتالاز، پراکسیداز و سیتوکروم اکسیداز در شرایط کم‌آبی دارد، بلکه کاربرد آن تأثیر بسیار زیادی بر افزایش مقدار غلظت کلروفیل در برگ و افزایش عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی از قبیل برگ و بذر دارد (Mohammadghasemi et al., 2021). گزارش شده است که آهن با فعال کردن سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز سبب افزایش مقاومت گیاه بادنرجبویه^۶ در برابر تنش کم‌آبی شد (Moradbeygi et al., 2020).

محققان بر این باورند که استفاده از کودهای آهن در ابعاد نانو می‌تواند به دلیل اندازه کوچک و حلالیت بالای نانو ذرات آهن، این عنصر، سریع‌تر جذب گیاه شود، کمبود تغذیه گیاه را نیز برطرف کرده و سبب فراهم آوردن شرایط بهینه برای رشد گیاه در شرایط کم‌آبی شود (Moradbeygi et al., 2020). لذا با توجه به اهمیت و ضرورت توسعه کشت گیاهان دارویی و وجود عوامل محدودکننده به‌ویژه کم‌آبی در مناطق مختلف ایران ضروری به نظر می‌رسد که واکنش بالنگو شهری و شیرازی به کاربرد نانو کود کلات آهن در شرایط تنش خشکی مورد مطالعه قرار گیرد تا در صورت حصول نتایج امیدبخش، بتوان از این فناوری نوین در تولید این گیاهان در شرایط محدودیت منابع آبی بهره برد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و

روغن، به‌عنوان گیاه روغنی نیز کشت می‌شوند. بنابراین به دلیل ویژگی‌های مفید و مؤثری که در صنایع دارویی، غذایی و کشاورزی دارند، هر دو گیاه به‌عنوان گیاهانی چندمنظوره محسوب می‌شوند (Paravar, 2021).

در محیط طبیعی، گیاهان به‌طور مداوم در معرض شرایط متنوع محیطی هستند که ممکن است بر بقا گیاه، توسعه و بهره‌وری گیاه اثری منفی بگذارد (Attarzadeh et al., 2019). کم‌آبی، یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که سبب محدودیت کشت و تولید گیاه در بسیاری نقاط جهان می‌شود (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018). اولین علامت تنش خشکی، انتقال سیگنال از ریشه به ساقه است که می‌تواند سرعت فتوسنتز، تنفس، انتقال کربوهیدرات را کاهش دهد (Tai et al., 2020) و باعث اختلال تغذیه‌ای، کاهش کیفیت بذر و ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان شود (Paravar et al., 2021). باین‌حال، گیاهان با تنش خشکی از طریق واکنش‌های مختلف مورفولوژیک، فیزیولوژیک، مولکولی و سلولی مانند تجمع اسمولیت‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی و بیوسنتز هورمون‌ها مقابله می‌کنند (Khan et al., 2019). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز^۴ و کاتالاز^۵ می‌توانند به‌طور مؤثری تشکیل‌دهنده‌های فعال اکسیژن را کاهش دهند. بنابراین غشاء سلولی را از آسیب‌های ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی تحت تنش خشکی محافظت کنند (Shukla et al., 2018). گزارش شده است که کمبود آب منجر به القاء تنش اکسیداتیو در بالنگو شهری و شیرازی می‌شود که در نتیجه تأثیر منفی بر رشد، عملکرد و کیفیت بذر می‌گذارد (Paravar et al., 2021).

اگرچه استراتژی‌هایی مانند اصلاح نباتات و مهندسی ژنتیک می‌توانند نویدبخش افزایش تحمل به تنش‌های محیطی باشند، اما کاربرد آن‌ها نسبتاً گران و زمان‌بر بوده است (Padikasan et al., 2018). روش‌های به زراعی همواره کم‌هزینه و قابل‌دسترس‌تر بوده‌اند اما در برخی موارد کارایی چندان بالایی ندارند. امروزه کاربرد فناوری‌های نوین توانسته است تا حدودی باعث افزایش کارایی استفاده از نهاده‌ها در نظام‌های کشاورزی شود. نانوفناوری به‌عنوان یک فناوری نوین میان‌رشته‌ای و پیشگام در حل اکثر مسائل علمی، خود را به‌خوبی در علوم کشاورزی و صنایع مرتبط به

⁶ *Dracocephalum moldavica*

⁴ Ascorbate peroxidase enzyme activity

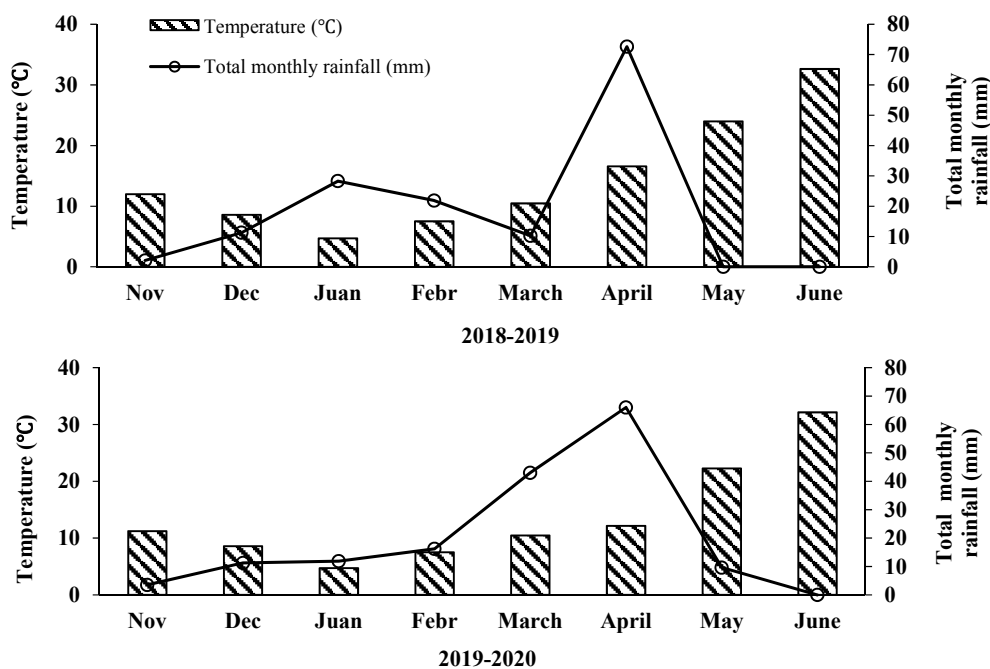
⁵ Catalase enzyme activity

تهیه نمونه مرکب به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به میانگین دما و بارش در طول دوره رشد در شکل ۱ ارائه شده است.

۳۴ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۹۰ متر از سطح دریا اجرا شد. قبل از اجرا آزمایش، به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد آزمایش، چند نمونه تصادفی از عمق‌های صفر تا ۳۰ سانتی‌متر توسط اوگر برداشت و پس از

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸.

سال	بافت خاک	نیترژن	آهن	فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی	اسیدیته خاک
Year	Texture	N	Fe	P	K	EC	Ph
		%		mg.kg ⁻¹		dSm ⁻¹	
2018-19	Loamy	0.11	2.1	8.52	376	4.20	7.10
2019-20	Loamy	0.05	2.9	8.78	383	4.10	7.40



شکل ۱. بارش کل و متوسط دمای ماهانه در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

Fig. 1. Total rainfall and average monthly air temperature in the 2018 - 2019 growing seasons.

پس از ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک (تنش شدید) بود. ترکیب فاکتوریل کود (کاربرد و عدم کاربرد نانو آهن کلات) گونه گیاهی بالنگو (بالنگو شهری) و بالنگو شیرازی به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

بذرهای بالنگو شهری و شیرازی به ترتیب از مرکز تحقیقات شهرستان سلماس در آذربایجان غربی و شهرستان کلات در مشهد تهیه گردید. ترکیب نانو آهن کلات با نام تجاری نانو آهن کلات خضرا (محلول ۹ درصد آهن در آب)

مشخصات آماری و اجرای طرح

به منظور بررسی واکنش بالنگو شهری و شیرازی به کود نانو آهن کلات در رژیم‌های متفاوت آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای عامل اصلی شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری پس از ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده (شاهد)، آبیاری پس از ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک (تنش متوسط) و آبیاری

به‌منظور اعمال رژیم‌های آبیاری، مقادیر رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (۲۰/۸۶ درصد) و پژمردگی دائم (۱۰/۸۱ درصد) با استفاده از صفحات فشاری در گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شد. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری در یک نوبت در وسط هرروز از عمق توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت موردنظر تعیین شد. میزان آب آبیاری برای هر کرت با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر)، مساحت کرت و رطوبت ظرفیت زراعی خاک برحسب مترمکعب محاسبه شد (جدول ۲) (Mohammadi et al., 2018; Xu et al., 2018). آبیاری به‌صورت جوی و پشته انجام شد و انتهای کرت‌ها برای جلوگیری از خروج آب به‌طور کامل بسته شد. مقدار آب لازم برای هر تیمار با استفاده از کنتور که در مزرعه نصب گردید اندازه‌گیری شد (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019).

به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خاک مصرف بعد از آبیاری سوم در مزرعه نیز اعمال شد. ابعاد هر کرت آزمایشی چهار مترمربع (طول دو متر × عرض دو متر)، فاصله بین کرت‌ها یک متر (برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی قارچ‌ها یک متر به‌صورت نکاشت به‌عنوان محافظ بین کرت‌ها قرار گرفت. فاصله بین تیمارهای اصلی دو متر (برای جلوگیری از نفوذ آب در تنش کم‌آبی بین کرت‌های اصلی) در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌ها ۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019). میزان بذر مصرفی بالنگو شهری و شیرازی به ترتیب ۰/۶ و ۰/۲ کیلوگرم در هکتار بود. پس از سبز شدن بوته‌ها تنک شده و جمعیت نهایی بوته‌ها به ۴۰ بوته در مترمربع رسید. هر دو گونه بالنگو به ترتیب در ۱۵ و ۲۳ آبان‌ماه در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ کشت شدند. بعد از استقرار گیاهان (در مرحله هشت برگگی) تیمارهای خشکی نیز اعمال شدند (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019). در طول آزمایش مراحل داشت مثل وجین و تنک برحسب نیاز اعمال شد.

جدول ۲. تعداد آبیاری و مقدار کل آبیاری اعمال‌شده هر تیمار آبیاری به کرت‌های گونه‌های گیاهی بعد از شروع رژیم آبیاری

Table 2. Irrigations number and amount of water applied per irrigation treatments to *Lallemantia* species plots after starting water regimes

گونه گیاهی Plant species	رژیم آبیاری Irrigation regime	تعداد آبیاری Number of irrigation	مقدار کل آبیاری اعمال‌شده Total amount of applied water (m ³)
بالنگو شهری (<i>L.iberica</i>)	30%	18	0.652
	60%	11	0.794
	90%	8	0.864
بالنگو شیرازی (<i>L.royleana</i>)	30%	15	0.543
	60%	9	0.650
	90%	7	0.756

دور در دقیقه رسوب داده شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از فاز رویی برای اندازه‌گیری کلروفیل و کارتنوئید داخل کیوت ریخته و با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید (Arnon, 1949).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز
برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز (در مرحله ۳۰ روز بعد از گل‌دهی) ابتدا عصاره آنزیمی استخراج گردید. ۰/۵ گرم از برگ منجمد شده در بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار حاوی پلی وینیل پیرولیدون ۱ درصد و EDTA یک میلی‌مولار همگن گردیدند. همگن‌های حاصل

فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی

در مرحله ۳۰ روز بعد از گل‌دهی (۱۴ فروردین ۱۳۹۷ و ۱۷ فروردین ۱۳۹۸)، سه بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب‌شده و میزان محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a و b انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل b، a و کارتنوئید، ۰/۱ گرم از نمونه تر برگ و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد که به‌تدریج اضافه شد، در داخل هاون چینی به‌خوبی سائیده شدند. عصاره به‌دست‌آمده به مدت ۱۵ دقیقه در سانتی‌فیوژ با دور ۶۰۰۰

محلول مذکور و قرار دادن آن به مدت پنج ساعت در یخچال رسوب موسیلاژی به دست آمد که پس از صاف کردن، در آن در درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفت و سپس توزین گردید و مقدار موسیلاژ برحسب گرم در هر گرم بذر تعیین و به‌صورت درصد ثبت شد (Sharma et al., 2016). محتوای روغن بذر، از روش استخراج با حلال آلی هگزان و با استفاده از دستگاه سوکسله مدل SOX4060 اندازه‌گیری شد. ۱۵۰ میلی‌لیتر از حلال در سوکسله ریخته شد و سپس بذرهای پودر شده اضافه گردید. این روند تراکم تبخیر به مدت ۱۰ ساعت ادامه یافت و پس از برداشتن حلال، روغن نیز از بذرهای قهوه‌ای نیز استخراج شد (Visavadiya et al., 2009).

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها و آزمون F بر اساس امید ریاضی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3.1 انجام شد. آزمون مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر محتوای کلروفیل a و b معنی‌دار بود (جدول ۳).

مشاهده شد که محتوای کلروفیل a و b هر دو گونه بالنگو تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل a و b به ترتیب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده خاک مشاهده شد (شکل b2 و a2). کاهش محتوای فتوسنتزی هر دو گونه بالنگو ممکن است به دلیل کاهش محتوای رطوبتی خاک باشد به دلیل اینکه کم شدن میزان رطوبت خاک باعث آسیب رسیدن به کلروپلاست توسط گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که در پی این افزایش پراکسیداسیون لیپید غشاء رخ داده و رنگیزه‌ها تجزیه می‌شوند (Siddique et al., 2016). در واقع کاهش شدید محتوای فتوسنتزی در مقابل تنش شدید احتمالاً به دلیل اثر روزنه‌ای با افزایش مقاومت مزوفیلی و اثر شدید تنش بر غشاء تیلاکوئید باشد (Talbi et al., 2020)؛ اما کاربرد کود نانو آهن کلات تأثیر مثبت و افزایشی بر بهبود محتوای کلروفیل a و b داشت (شکل b2 و a2). کاهش محتوای کلروفیل a و b هر دو گونه بالنگو در شرایط تنش خشکی،

در g ۱۰۰۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتیفریوژ و بخش رویی برای سنجش آنزیم مورد استفاده قرار گرفت (Alexieva et al., 2001). بدین‌جهت، مخلوط واکنشی محتوی ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۱۵ میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۵۰ میلی‌مولار بافر پتاسیم فسفات (۳۰ میلی‌مول بر لیتر و pH=۷) است. جذب پراکسید هیدروژن در مدت ۳۰ ثانیه در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bailly et al., 1998). جهت اندازه‌گیری آنزیم آسکوربات پراکسیداز، میزان ۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج را با ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۰/۰۵ مولار با pH=۷ و ۲۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار در حمام یخ مخلوط کرده و بلافاصله به آن ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه گردید. در نهایت با اضافه کردن ۱۰ میکرولیتر آسکوربات (اسید آسکوربیک) ۵۰ میکرو مولار منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه قرائت گردید (Nakano and Asada, 1981). برای اندازه‌گیری پروتئین، مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره پروتئینی و پنج میلی‌لیتر معرف بیوره افزوده و سریعاً ورتکس شد. پس از دو دقیقه و قبل از یک ساعت جذب آن‌ها با دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد با کمک آل‌بومن گاو محاسبه گردید (Bradford, 1976).

ویژگی‌های رشدی و عملکرد بذر

در پایان فصل رشد، (۱۲ خرداد ۱۳۹۷ و ۲۵ خرداد ۱۳۹۸)، زمانی که گیاهان شروع به زرد شدن کردند، ۲۰ بوته به‌طور تصادفی از سطح داخلی هر کرت برداشت و در دمای اتاق (دور از نور مستقیم خورشید) به مدت ۱۰ روز خشک شدند. ابتدا بوته‌ها خرمن کوب شدند و عملکرد بذر اندازه‌گیری شد (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019). ارتفاع و طول ریشه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد (El-Nashar et al., 2021).

محتوای موسیلاژ و روغن بذر

جهت اندازه‌گیری موسیلاژ بذر، یک گرم بذر خشک با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک درصد نرمال تا تغییر رنگ پوسته بذر حرارت داده شد. محلول موسیلاژی حاصل جدا گردید و بذرها دو بار با پنج میلی‌لیتر آب جوش شستشو داده شدند و محلول‌های حاصل به محلول موسیلاژ اولیه اضافه گردید. با افزودن ۶۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درصد به

توسط نانو آهن کلات در شرایط کم‌آبی ممکن است به این دلیل باشد که عنصر آهن سبب افزایش میزان کربن تولیدی و اختصاص آن‌ها به اندام‌های گیاه شده است و سبب بهبود فتوسنتز شده است (Taghizadeh et al., 2019). افزایش بیشتر محتوای کلروفیل a و b در بالنگو شهری در مقایسه با بالنگو شیرازی در برابر تمامی رژیم‌های آبیاری و کودی (شکل b2 و a2) ممکن است به دلیل افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای این گونه باشد که سبب شده آب و عناصر غذایی را از منافذ بسیار دور و ریز جذب کند و مانع از بسته شدن روزنه‌ها و ورود CO₂ به داخل برگ شود (Hosseinzadeh et al., 2021).

ممکن است دلیل افزایش میزان تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد اما در مقابل، کاربرد نانو آهن به‌عنوان یک کوفاکتور ریزمغذی، با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط کم‌آبی، منجر به حفظ و پایداری غشاء سلولی شده و توان ظرفیت فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد و از صدمات تنش اکسیداتیو نیز جلوگیری می‌کند (Mohammad Ghasemi et al., 2020). علاوه بر این گزارش شده است که کاربرد نانو آهن کلات در شرایط کم‌آبی، از طریق بهبود سنتز رنگ‌دانه‌های کلروفیل و تقویت گیاه گندم در برابر تنش خشکی، ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش داد (Adrees et al., 2020). به‌علاوه، بهبود محتوای فتوسنتزی

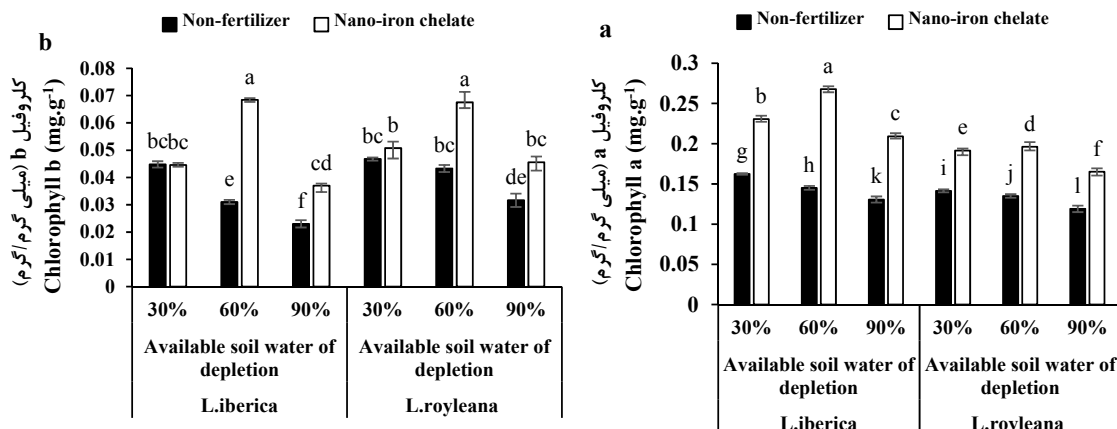
جدول ۳. تجزیه واریانس واکنش بالنگو شهری و شیرازی به کاربرد نانو آهن کلات در رژیم‌های متفاوت در آبیاری

Table 3. Analysis of variance of *L.iberica* and *L.royleana* to the application of nano-iron chelate in different irrigation regimes

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	آنزیم			
			کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	آنزیم کاتالاز CAT	پراکسیداز APXS
Y	سال	1	0.0000071 ^{n.s}	0.0000135 ^{n.s}	0.242 ^{n.s}	0.023 ^{n.s}
Block (Y)	بلوک (سال)	4	0.0001956	0.0000473	0.169	0.025
IR	رژیم آبیاری	2	0.0077187**	0.0013917**	7.857**	5.518**
Y×IR	سال×رژیم آبیاری	2	0.0000049 ^{n.s}	0.0000003 ^{n.s}	0.0056 ^{n.s}	0.01 ^{n.s}
Block (Y×IR)	بلوک (سال×رژیم آبیاری)	8	0.0000366	0.0000237	0.102	0.057
N	نانو آهن کلات	1	0.0071826*	0.0028961*	17.454*	27.739*
PS	گونه گیاهی	1	0.0908283**	0.0024823*	206.688**	73.791**
Y×N	سال×نانو آهن کلات	1	0.0000406 ^{n.s}	0.0000051 ^{n.s}	0.006 ^{n.s}	0.014 ^{n.s}
PS×Y	سال×گونه گیاهی	1	0.0000073 ^{n.s}	0.0000115 ^{n.s}	0.024 ^{n.s}	0.0006 ^{n.s}
N×IR	رژیم آبیاری×نانو آهن کلات	2	0.0009377*	0.00079**	0.884**	0.526 ^{n.s}
PS×IR	رژیم آبیاری×گونه گیاهی	2	0.0025779*	0.0002982*	4.601**	2.038*
P×N	نانو آهن کلات×گونه گیاهی	1	0.0095283**	0.0004085*	11.069*	0.075 ^{n.s}
PS×M×IR	رژیم آبیاری×نانو آهن کلات×گونه گیاهی	2	0.0025876**	0.0004684**	1.64*	0.261*
Y×IR×N	سال×رژیم آبیاری×نانو آهن کلات	2	0.0000293 ^{n.s}	0.0000078 ^{n.s}	0.001 ^{n.s}	0.061 ^{n.s}
PS×IR×Y	سال×رژیم آبیاری×گونه گیاهی	2	0.0000387 ^{n.s}	0.0000038 ^{n.s}	0.016 ^{n.s}	0.021 ^{n.s}
PS×N×Y	سال×نانو آهن کلات×گونه گیاهی	1	0.0000012 ^{n.s}	0.0000088 ^{n.s}	0.013 ^{n.s}	0.007 ^{n.s}
IR× Y× M×PS	سال×رژیم آبیاری×نانو آهن کلات×گونه گیاهی	2	0.0000005 ^{n.s}	0.0000222 ^{n.s}	0.023 ^{n.s}	0.006 ^{n.s}
Error	خطا	36	0.000093	0.000025	0.12	0.025
CV(%)	ضریب تغییرات		5.53	11.26	3.21	1.82

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۲. تأثیر رژیم آبیاری و کود نانو آهن کلات بر کلروفیل a (a) و کلروفیل b (b) بالنگو شهری و شیرازی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

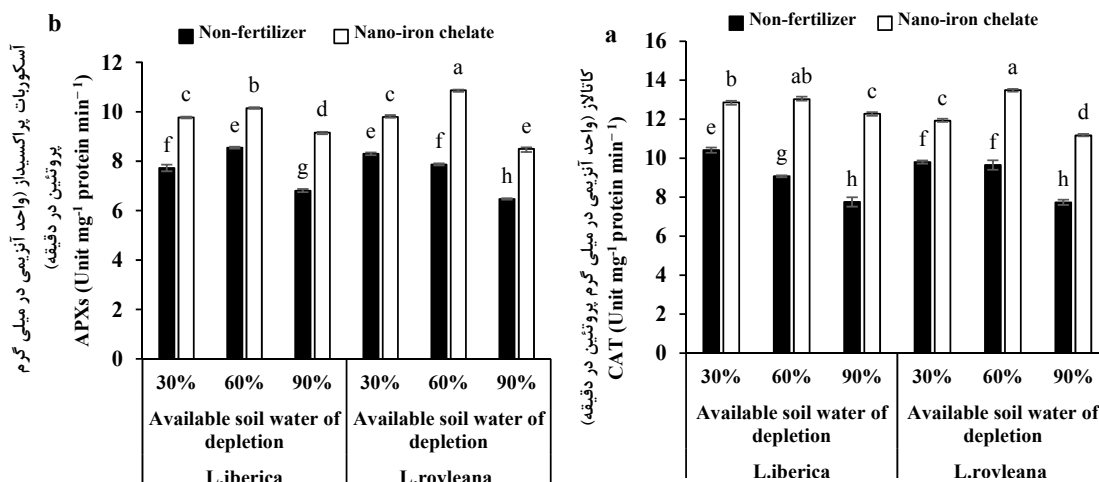
Fig. 2. The effect of irrigation regimes and nano-iron chelate on chlorophyll a (A) and chlorophyll b (B) of *L.iberica* and *L.royleana*. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $\alpha=5\%$ probability level, The bars indicate the standard error of the means.

به دلیل توانایی گیاه در ذخیره‌سازی بیشتر آهن آزاد شده از نانو آهن باشد و بهترین سازوکار جذب آهن از سمت ریشه به ساقه رخ داده و منجر به حفظ ساختار کلروپلاست و محتوای کلروفیل شده است (Mohammadghasemi et al., 2021). بالاتر بودن فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در بالنگو شیرازی در مقایسه با بالنگو شهری در برابر رژیم‌های متفاوت آبیاری و کودی (شکل ۳a و ۳b) احتمالاً به دلیل لایه‌های موسیلاژی در اطراف ریشه بالنگو شیرازی است که منبعی از کربوهیدرات است که مانع از ورود گازهای اکسیژن به داخل گیاه شده و از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه جلوگیری می‌کند (Paravar et al., 2021). نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین میزان طول ریشه هر دو گونه بالنگو در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۴a). کاهش معنی‌دار طول ریشه هر دو گونه بالنگو در اثر افزایش تنش خشکی ممکن است به دلیل تحت تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء گیاه در اثر این پدیده محیطی باشد. در واقع با کاهش بیشتر مقدار رطوبت در خاک، همچنان که فتوسنتز برگ کاهش پیدا می‌کند، احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان زیاد شده و به دنبال آن رشد ریشه به‌طور اجتناب‌پذیری متوقف شده می‌شود (Symanczik et al.,

نتایج معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را نشان داد (جدول ۳). بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به ترتیب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۳a و ۳b). گزارش شده است که فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بالنگو شهری و شیرازی با افزایش تنش خشکی کاهش یافت (Paravar et al., 2021). در واقع سیستم‌های متابولیک در گیاهان برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش خشکی نامنظم هستند که می‌توانند منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، اکسیداسیون پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، لیپیدها و اسیدهای نوکلئیک و فعال شدن مسیر برنامه‌ریزی شده مرگ سلولی شود (Aalipour et al., 2020). در برابر تنش خشکی، کاربرد کود نانو آهن کلات تأثیر مثبت و معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز داشت (شکل ۳b و ۳a) که نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش مطابق با یافته‌های محمدقاسمی و همکاران (Mohammad Ghasemi et al., 2020) بر روی بالنگو شهری است که گزارش کرده‌اند کاربرد کود نانو آهن نقش غالبی را بر کاهش تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن با فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی داشت. در واقع علت افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با کاربرد کود نانو آهن ممکن است

معنی‌دار و افزایشی بر توسعه طول ریشه بالنگو شهری داشت (Mohammad Ghasemi et al., 2020). در مقایسه با بالنگو شیرازی، بالاتر بودن رشد ریشه بالنگو شهری در برابر تمامی رژیم‌های آبیاری و کودی (شکل ۴a). احتمالاً به دلیل جذب بالاتر ریشه‌های بالنگو شهری در جذب عناصر غذایی در حجم وسیعی از خاک بود (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019).

2018). بهبود رشد ریشه در هر دو گونه بالنگو تیمار شده با کود نانو آهن کلات در شرایط کم‌آبی ممکن است (شکل ۴a) به دلیل افزایش سرعت جذب مواد مغذی توسط کودهای نانو آهن باشد که باعث می‌شود مواد بیشتری در اختیار گیاه نیز قرار گیرد و سبب توسعه ریشه گیاه در شرایط تنش‌های محیطی شود (Iqbal and Umar, 2019). مطابق با نتایج این مطالعه، گزارش شده است که کاربرد کود نانو آهن تأثیر



شکل ۳. تأثیر رژیم آبیاری و کود نانو آهن کلات بر فعالیت آنزیم کاتالاز (a) و آسکوربات پراکسیداز (b) بالنگو شهری و شیرازی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیست. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین است.

Fig. 3. The effect of irrigation regime and nano-iron chelate on CAT (a) and APXs (b) enzyme activity of *L.iberica* and *L.royleana*. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $\alpha=5\%$ probability level, The bars indicate the standard error of the means.

(شکل ۴b). در واقع افزایش ارتفاع بوته به‌واسطه کود نانو آهن مربوط به نقش عنصر آهن در فتوسنتز گیاه است که منجر به افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌های جوان و افزایش تنظیم‌کننده‌های شده و سبب بهبود فتوسنتز در شرایط کم‌آبی شده است و در نتیجه باعث شده است که مواد فتوسنتزی بیشتری را به قسمت‌های مختلف گیاه از جمله ساقه وارد کند و باعث افزایش ارتفاع گیاه شود (Askary et al., 2017). حداقل بودن میزان ارتفاع بوته بالنگو شیرازی در مقایسه با بالنگو شهری در برابر تمامی رژیم‌های آبیاری و کودی (شکل ۴b) احتمالاً به دلیل ممکن است به دلیل کاهش رشد ریشه بالنگو شیرازی باشد که قادر نبوده است آب و مواد غذایی را از حجم وسیعی از خاک جذب کند (Abdollahi and Maleki Farahani, 2019).

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر ارتفاع بوته را نشان داد (جدول ۴). با کاهش مقدار رطوبت خاک، میزان ارتفاع بوته هر دو گونه بالنگو کاهش یافت. کمترین مقدار ارتفاع بوته در هر دو گونه بالنگو در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۴b). کاهش ارتفاع بوته هر دو گونه بالنگو ممکن است به دلیل اختلال در فرایند فتوسنتز و کاهش ارائه مواد فتوسنتزی به بخش‌های در حال رشد باشد که در نتیجه باعث کاهش طول شدن سلول‌های ساقه نیز می‌شود. (Paravar et al., 2021). گزارش شده است که کاربرد کود نانو آهن کلات تأثیر مثبتی و افزایشی بر میزان ارتفاع بوته بادرنجیویه داشت (Moradbeygi et al., 2020) که مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه است

جدول ۴. تجزیه واریانس واکنش بالنگو شهری و شیرازی به کاربرد کود نانو آهن کلات در رژیم‌های متفاوت در آبیاری

Table 4. Analysis of variance of *L.iberica* and *L.royleana* to the application of nano-iron chelate in different irrigation regimes

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	طول ریشه	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	موسیلاژ بذر	روغن بذر
			Root length	Plant height	Seed yield	Seed mucilage	Seed oil
Y	سال	1	0.023n.s	0.020n.s	974.207n.s	0.003n.s	0.466n.s
Block (Y)	بلوک (سال)	4	0.017	12.012	10790.99	2.074	0.572
IR	رژیم آبیاری	2	29.694**	505.345**	1561856.263**	667.452**	13.807*
Y×IR	سال×رژیم آبیاری	2	0.0095n.s	0.083n.s	24.454n.s	0.0085n.s	0.144n.s
Block (Y×IR)	بلوک (سال×رژیم آبیاری)	8	0.007	28.399	5388.151	0.398	0.494
N	نانو آهن کلات	1	259.491**	6601.452**	274133.718**	4162.749**	2691.334**
PS	گونه گیاهی	1	29.585*	102.507**	3070801.641**	72.812*	146.918*
Y×N	سال×نانو آهن کلات	1	0.013n.s	0.146n.s	24.669n.s	0.051n.s	0.236n.s
PS×Y	سال×گونه گیاهی	1	0.02n.s	0.051n.s	46.714n.s	0.155n.s	0.193n.s
N×IR	رژیم آبیاری×نانو آهن کلات	2	0.452*	76.67**	168316.551**	384.988**	2.914*
PS×IR	رژیم آبیاری×گونه گیاهی	2	6.589**	9.79**	615929.866**	5.383**	2.642*
P×N	نانو آهن کلات×گونه گیاهی	1	1.551**	30.148**	30354.221**	134.986*	78.459*
PS×M×IR	رژیم آبیاری×نانو آهن کلات×گونه گیاهی	2	7.235**	94.511**	79320.374**	2.063*	1.406*
Y×IR×N	سال×رژیم آبیاری×نانو آهن کلات	2	0.013n.s	0.031n.s	14.854n.s	0.01n.s	0.109n.s
PS×IR×Y	سال×رژیم آبیاری×گونه گیاهی	2	0.028n.s	0.004n.s	58.522n.s	0.037n.s	0.058n.s
PS×N×Y	سال×نانو آهن کلات×گونه گیاهی	1	0.0002n.s	0.0048n.s	3.253n.s	0.315n.s	0.112n.s
IR×Y×M×PS	سال×رژیم آبیاری×نانو آهن کلات×گونه گیاهی	2	0.0103n.s	0.0289n.s	73.463n.s	0.067n.s	0.047n.s
Error	خطا	36	0.03	9.33	8947.34	0.454	0.306
CV(%)	ضریب تغییرات		1.73	4.01	10.22	5.75	2.22

ns, *, ** و n.s به ترتیب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

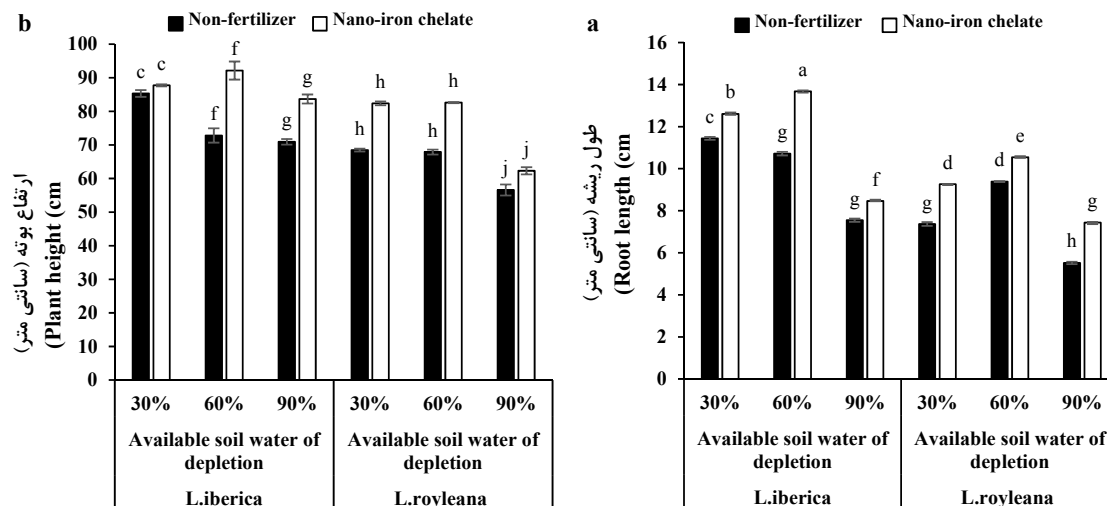
ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

در نهایت باعث کاهش میزان فتوسنتز و به تبع آن کاهش مقدار مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد می‌شود (Paravar et al., 2021). علاوه بر این در شرایط کم‌آبی، انتقال مواد غذایی از منبع به مخزن، با کم شدن مقدار رطوبت در داخل خاک کاهش می‌یابد که در نتیجه این کاهش می‌تواند تأثیری منفی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Pawar et al., 2018). افزایش میزان عملکرد بذر در هر دو گونه بالنگو رشد یافته در شرایط کود نانو آهن کلات در شرایط کم‌آبی (شکل ۵) احتمالاً به دلیل نقش مهم آهن به عنوان یکی از فاکتورهای مهم در سیستم‌های فتوسنتزی است که با افزایش میزان جذب کربن دی‌اکسید کربن نقش به سزایی در باز و بسته

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری×کود، رژیم آبیاری×گونه گیاهی، رژیم آبیاری×کود×گونه گیاهی بر عملکرد بذر معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میزان عملکرد بذر در هر دو گونه بالنگو با کم شدن مقدار رطوبت موجود در خاک کاهش یافت و بیشترین و کمترین میزان عملکرد بذر در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۵). گزارش شده است که دلیل کاهش عملکرد بذر هر دو گونه بالنگو در شرایط کم‌آبی ممکن است به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و یا به طور غیرمستقیم در اثر افزایش آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و کلروفیل باشد که

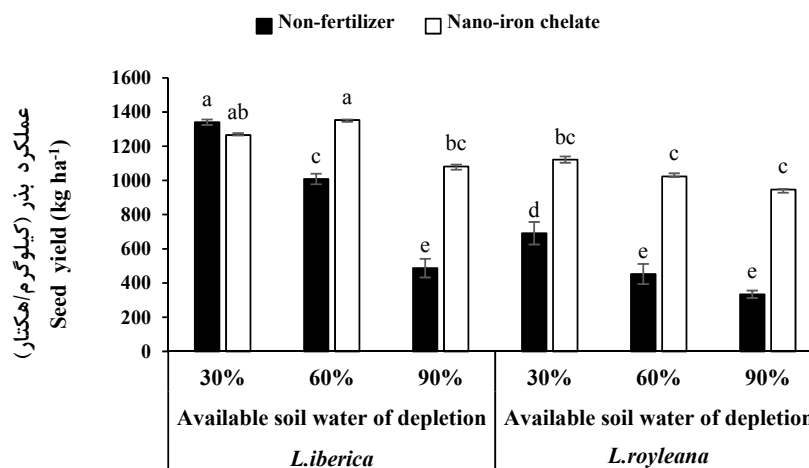
دلیل بالاتر بودن محتوای فتوسنتزی و توسعه ریشه است که باعث شده است عناصر غذایی بیشتری در اختیار بذرهاى بالنگو شهری قرار بگیرد (Paravar et al., 2021).

شدن روزنه‌ها دارد (Mahmoud and Taha, 2018). بالاتر بودن عملکرد بذر بالنگو شهری در مقایسه به بالنگو شیرازی در تمامی رژیم‌های آبیاری و کودی (شکل ۵)، ممکن است به



شکل ۴. تأثیر رژیم آبیاری و کود نانو آهن کلات بر طول ریشه (a) و ارتفاع بوته (b) بالنگو شهری و شیرازی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیست. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین است.

Fig. 4. The effect of irrigation regimes and nano-iron chelate on root length (A) and plant height (B) of *L.iberica* and *L.royleana*. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $\alpha=5\%$ probability level, The bars indicate the standard error of the means.

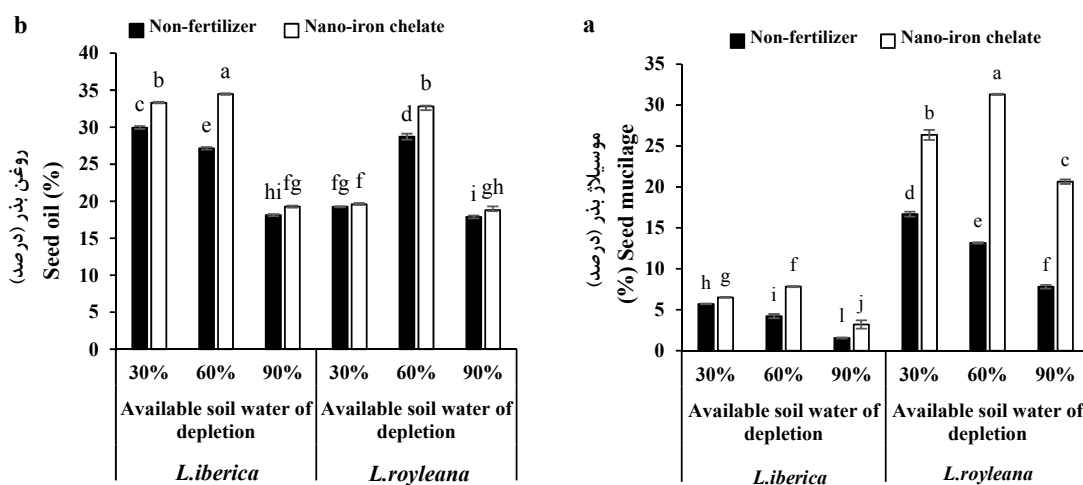


شکل ۵. تأثیر رژیم آبیاری و کود نانو آهن کلات بر عملکرد دانه بالنگو شهری و شیرازی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیست. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین است.

Fig. 5. The effect of irrigation regime and nano-iron chelate on seed yield of *L.iberica* and *L.royleana*. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $\alpha=5\%$ probability level, The bars indicate the standard error of the means.

افزایش میزان موسیلاژ بذر در گونه‌های بالنگو رشد یافته در شرایط کاربرد نانو آهن کلات احتمالاً به دلیل باز شدن روزنه‌هاست که سبب شده است کربن دی‌اکسید بیشتری جذب گیاه شود و از طرفی منجر به تجمع کربوهیدرات‌ها شود (Mahmoud and Taha, 2018). بالاتر بودن میزان موسیلاژ بالا در اطراف بذر بالنگو شیرازی در مقایسه با بالنگو شیرازی در برابر سطوح مختلف رژیم آبیاری و کودی (شکل ۶a)، به دلیل سازگاری ژنتیکی و مورفولوژیکی گیاه برای حفاظت از جنین در برابر کم‌آبی است (Paravar et al., 2021).

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر موسیلاژ بذر را نشان داد (جدول ۴). کمترین و بیشترین میزان موسیلاژ بذر در هر دو گونه بالنگو در رژیم آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد مشاهده شد (شکل ۶a) که این نتیجه مطابق با یافته‌های صورت گرفته بر روی کتان است که نشان دادند با افزایش تنش خشکی مقدار موسیلاژ بذر کاهش یافت (Rahimzadeh and Pirzad, 2019). کاربرد کود نانو آهن کلات باعث افزایش موسیلاژ بذر هر دو گونه بالنگو در تمامی تیمارهای آبیاری شد (شکل ۶a). دلیل



شکل ۶. تأثیر رژیم آبیاری و کود نانو آهن کلات بر موسیلاژ بذر (a) و روغن بذر (b) بالنگو شهری و شیرازی. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیست. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین است.

Fig. 6. The effect of irrigation regime and nano-iron chelate on seed mucilage (a) and seed oil (b) enzyme activity of *L.iberica* and *L.royleana*. Means followed by similar letters in each column are not significantly different at $\alpha=5\%$ probability level, The bars indicate the standard error of the means.

تشکیل نخستین قطره‌های روغن و ذخیره شدن آن‌ها ۱۸ روز بعد از گرده‌افشانی باشد. به دلیل اینکه میزان روغن در بذرهای روغنی در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی به سطح تقریباً ثابتی می‌رسد و نوسان ناچیزی تا زمان رسیدگی کامل دارد. لذا بالا بودن شدت تنش محیطی از زمان تشکیل بذر تا زمان رسیدگی کامل بذر بر میزان روغن تأثیر منفی می‌گذارد (Rahimzadeh and Pirzad, 2019). کاربرد نانو آهن نقش مؤثری بر افزایش محتوای روغن بذر هر دو گونه در رژیم‌های متفاوت آبیاری داشت (شکل ۶b) که مطابق با نتایج محمدی (Mohammadi, 2015) است که گزارش کرده‌اند کاربرد نانو

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر محتوای روغن بذر معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج بیشترین محتوای روغن در رژیم آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد. کاهش مقدار آب آبیاری (رژیم آبیاری ۹۰ درصد) (شکل ۶b) سبب کاهش محتوای روغن شد که با یافته‌های برزو و همکاران (Borzoo et al., 2021) بر روی گیاه کاملینا (*Camelina sativa*) مطابق بود. دلیل کاهش درصد روغن بذر هر دو گونه بالنگو در شرایط تنش خشکی شدید، ممکن است مربوط به زمان

هر دو گونه بالنگو به رژیم آبیاری ۶۰ درصد در مقایسه به دیگر سطوح رژیم‌های آبیاری، مقاومت بهتری نشان دادند. استفاده از کود نانو آهن کلات در تمامی صفات مورد بررسی توانست اثرات منفی تنش کم‌آبی را بر هر دو گونه بالنگو کاهش دهد و سبب افزایش محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، بهبود رشد ریشه و ارتفاع بوته، عملکرد بذر، محتوای موسیلاژ و روغن بذر هر دو گونه بالنگو شود. بالنگو شهری بیشترین میزان عملکرد و روغن بذر را نسبت به بالنگو شهری داشت که احتمالاً به دلیل افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی بود. در مقابل بالنگو شیرازی بیشترین مقاومت را به تنش خشکی به دلیل افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را داشت؛ بنابراین به‌طور کلی می‌توان در نتیجه گرفت که در شرایط محدودیت منابع آبی، با مدیریت دقیق آبیاری (استفاده از رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل‌استفاده خاک) و کاربرد کود نانو آهن کلات می‌توان خسارت کم‌آبی را بر روی عملکرد بذرهاى گونه‌های بالنگو کاهش داد.

آهن نقش مؤثری بر میزان روغن بذر سویا (*Glycine max*) داشت. به دلیل اینکه آهن به‌عنوان یک عنصر غذایی میکرو، اثری مثبت بر تولیدات فتوسنتزی، خصوصاً کربوهیدرات دارد (Nobahar et al., 2019) و لذا صادرات کربوهیدرات‌های ناشی شده از برگ‌های فتوسنتزی به بذر مکن است دلیل افزایش میزان روغن بذر باشد (Keymer et al., 2017)، زیرا کربوهیدرات‌ها پیش‌ساز مسیرهای بیوسنتز اسیدهای چرب روغن هستند (Mahmoud and Taha, 2018). بالاتر بودن محتوای روغن بذر در بالنگو شهری در مقایسه با بالنگو شیرازی در رژیم‌های متفاوت آبیاری و کودی (شکل ۶b) احتمالاً به دلیل بیشتر بودن میزان فسفر در بذرهاى بالنگو شهری (Paravar et al., 2021) است که نهاده ضروری ATP و NADPH را برای مسیر سنتز اسیدهای چرب را تأمین می‌کند (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این تحقیق نشان داد که با کم شدن مقدار رطوبت خاک، تمامی صفات مورد بررسی در هر دو گونه بالنگو کاهش یافت.

منابع

- Aalipour, H., Nikbakht, A., Etemadi, N., Rejali, F., Soleimani, M., 2020. Biochemical response and interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria during establishment and stimulating growth of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* G.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*. 261, 108923.
- Abdollahi, M., Maleki Farahani, S., 2019b. Seed quality, water use efficiency and eco physiological characteristics of *Lallemantia* (*Lallemantia* sp.) species as effected by soil moisture content. *Acta Agriculturae Slovenica*. 113, 307-320.
- Adrees, M., Khan, Z.S., Ali, S., Hafeez, M., Khalid, S., Ur Rehman, M.Z., Hussain, A., Hussain, K., Chatha, S.A.S., Rizwan, M., 2020. Simultaneous mitigation of cadmium and drought stress in wheat by soil application of iron nanoparticles. *Chemosphere*. 238, 124681.
- Aghajani, A., Soleymani, A., 2017. Effects of nano-fertilization on growth and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit conditions. *Current Nanoscience*. 13, 194-201.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E., 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*. 24, 1337-1344.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24, 1.
- Askary, M., Amirjani, M.R., Saberi, T., 2017. Comparison of the effects of nano-iron fertilizer with iron-chelate on growth parameters and some biochemical properties of *Catharanthus roseus*. *Journal of Plant Nutrition*. 40, 974-982.
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M.M., Salehi, A., 2019. Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 221, 238-247.
- Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., Côme, D., 1998. Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming

- in sunflower seeds. *Physiologia Plantarum*. 104, 646-652.
- Borzoo, S., Mohsenzadeh, S., Moradshahi, A., Kahrizi, D., Zamani, H., Zarei, M., 2021. Characterization of physiological responses and fatty acid compositions of *Camelina sativa* genotypes under water deficit stress and symbiosis with *Micrococcus yunnanensis*. *Symbiosis*. 83, 79-90.
- 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.
- El-Nashar, Y.I., Hassan, B.A., Aboelsaadat, E.M., 2021. Response of *Nemesia* (*Nemesia* × *hybridus*) plants to different irrigation water sources and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation. *Agricultural Water Management*. 243, 106416.
- Hosseinzadeh, M.H., Ghalavand, A., Boojar, M.M.-A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli, A., 2021. Application of manure and biofertilizer to improve soil properties and increase grain yield, essential oil and $\omega 3$ of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. *Soil and Tillage Research*. 205, 104633.
- Iqbal, M., Umar, S., 2019. Nano-fertilization to enhance nutrient use efficiency and productivity of crop plants, *Nanomaterials and Plant Potential*. Springer, pp. 473-505.
- Keymer, A., Pimprikar, P., Wewer, V., Huber, C., Brands, M., Bucerius, S.L., Delaux, P.-M., Klingl, V., von Röpenack-Lahaye, E., Wang, T.L., 2017. Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *Elife*. 6, e29107.
- Khan, M.N., Zhang, J., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Fahad, S., Xu, Z., Hu, L., 2019. Seed priming with melatonin coping drought stress in rapeseed by regulating reactive oxygen species detoxification: Antioxidant defense system, osmotic adjustment, stomatal traits and chloroplast ultrastructure perseveration. *Industrial Crops and Products*. 140, 111597.
- Kopittke, P.M., Lombi, E., Wang, P., Schjoerring, J.K., Husted, S., 2019. Nanomaterials as fertilizers for improving plant mineral nutrition and environmental outcomes. *Environmental Science: Nano*. 6, 3513-3524.
- Mahmoud, A.W.M., Taha, S.S., 2018. Main sulphur content in essential oil of *Eruca Sativa* as affected by nano iron and nano zinc mixed with organic manure. *Agriculture*. 64, 65.
- Mohammad Ghasemi, V., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Pourakbar, L., Popović-Djordjević, J., 2020. Winter cultivation and nano fertilizers improve yield components and antioxidant traits of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer). *Plants*. 9, 252.
- Mohammadghasemi, V., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Pourakbar, L., Popović-Djordjević, J., 2021. Morpho-biochemical traits and macro-elements of *Lallemantia iberica* (MB) Fischer & Meyer, as affected by winter (late autumn) sowing, chemical and nano-fertilizer sources. *Acta Physiologiae Plantarum*. 43, 1-19.
- Mohammadi, K., 2015. Grain oil and fatty acids composition of soybean affected by nano-iron chelate, chemical fertilizers and farmyard manure. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 61, 1593-1600.
- Mohammadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Pirdashti, H., Zand, B., Tahmasebi-Sarvestani, Z., 2018. How to change the ratio of unsaturated (omega 3, 6, 7 and 9) to saturated fatty acids in *Oenothera biennis* L. oil under water deficit stress, fertilizers and geographical zones. *Plant Physiology and Biochemistry*. 133, 71-80.
- Moradbeygi, H., Jamei, R., Heidari, R., Darvishzadeh, R., 2020. Investigating the enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense by applying iron oxide nanoparticles in *Dracocephalum moldavica* L. plant under salinity stress. *Scientia Horticulturae*. 272, 109537.
- Nakano, Y., Asada, K., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*. 22, 867-880.
- Nobahar, A., Zakerin, H.R., Mostafavi Rad, M., Sayfzadeh, S., Valadabady, A.R., 2019. Response of yield and some physiological traits of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) to topping height and application methods of Zn and Ca nano-chelates. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 50, 749-762.
- Padikasan, I.A., Chinnannan, K., Kumar, S., Subramaniyan, G., 2018. Agricultural biotechnology: engineering plants for improved productivity and quality, *Omics*

- Technologies and Bio-Engineering. Elsevier, pp. 87-104.
- Paravar, A., Farahani, S.M., Rezazadeh, A., 2021. The effect of mycorrhiza on catalase enzyme activity and growth and qualitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) under deficit irrigation. *Industrial Crops and Products*. 10, 235-248.
- Paravar, A., Maleki Farahani, S., Rezazadeh, A., 2018. Effect of drought stress during seed development on seed vigour, membrane peroxidation and antioxidant activity in different species of Balangu. *Journal of Crops Improvement*. 20, 145-159.
- Pawar, P.B., Khadilkar, J.P., Kulkarni, M.V., Melo, J.S., 2018. An approach to enhance nutritive quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil through endo mycorrhizal fertigation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 14, 18-22.
- Pirzad, A., Mohammadzadeh, S., 2018. Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). *Agricultural Water Management*. 204, 1-10.
- Rahimzadeh, S., Pirzad, A., 2019. Pseudomonas and mycorrhizal fungi co-inoculation alter seed quality of flax under various water supply conditions. *Industrial Crops and Products*. 129, 518-524.
- Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z., Hou, T., 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in Plant Science*. 7, 815.
- Sharma, P.N., Tripathi, A., Kumar, N., Gupta, S., Kumar, P., Chatterjee, J., Tewari, R.K., 2016. Iron plays a critical role in stomatal closure in cauliflower. *Environmental and Experimental Botany*. 131, 68-76.
- Shukla, P.S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A.T., Prithiviraj, B., 2018. Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*. 10, plx051.
- Siddique, Z., Jan, S., Imadi, S.R., Gul, A., Ahmad, P., 2016. Drought stress and photosynthesis in plants. In: Ahmad, P. (Ed.), *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*. John Wiley and Sons. pp. 1-11. <https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch1>
- Symanczik, S., Lehmann, M.F., Wiemken, A., Boller, T., Courty, P.-E., 2018. Effects of two contrasted arbuscular mycorrhizal fungal isolates on nutrient uptake by *Sorghum bicolor* under drought. *Mycorrhiza*. 28, 779-785.
- Taghizadeh, Y., Jalilian, J., Moghaddam, S.S., 2019. Do fertilizers and irrigation disruption change some physiological traits of safflower? *Journal of Plant Growth Regulation*. 38, 1439-1448.
- Tai, W., He, L., Zhang, X., Pu, J., Voronin, D., Jiang, S., Zhou, Y., Du, L., 2020. Characterization of the receptor-binding domain (RBD) of 2019 novel coronavirus: implication for development of RBD protein as a viral attachment inhibitor and vaccine. *Cellular and Molecular Immunology*. 17, 613-620.
- Talbi, S., Rojas, J.A., Sahrawy, M., Rodríguez-Serrano, M., Cárdenas, K.E., Debouba, M., Sandalio, L.M., 2020. Effect of drought on growth, photosynthesis and total antioxidant capacity of the saharan plant *Oudeneya africana*. *Environmental and Experimental Botany*. 176, 104099.
- Visavadiya, N.P., Soni, B., Dalwadi, N., 2009. Free radical scavenging and antiatherogenic activities of *Sesamum indicum* seed extracts in chemical and biological model systems. *Food and Chemical Toxicology*. 47, 2507-2515.
- Xu, X., Zhang, M., Li, J., Liu, Z., Zhao, Z., Zhang, Y., Zhou, S., Wang, Z., 2018. Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. *Field Crops Research*. 221, 219-227.
- Zlatanov, M., Antova, G., Angelova-Romova, M., Momchilova, S., Taneva, S., Nikolova-Damyanova, B., 2012. Lipid structure of *Lallemantia* seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids for nutritional supplements. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89, 1393-1401.