فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۷-۳۷
https://doi.org/10.22034/13.60.17

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی بر برخی صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد اقتصادی گیاه گل‌راعی (*Hypericum perforatum* L.) تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت

گودرز باقری‌فرد[۱]، امین صالحی*[۱] محسن موحدی دهنوی[۱]، محمد صدقی‌اصل[۱] و علیرضا یدوی[۲]
[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
[۲] گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲)

چکیده
گل‌راعی (*Hypericum perforatum* L.) گیاهی دارویی با قدمت بیش از ۲۰۰۰ سال است. تنش خشکی از محدودکننده‌ترین عوامل محیطی در رشد و تولید گیاهان است. همزیستی گیاهان با قارچ‌های مایکوریزا و محلول‌پاشی عناصر ضروری می‌تواند یکی از راه‌کارهای مؤثر برای مقابله با تنش‌خشکی باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکرد اقتصادی در گل‌راعی تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار طی سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ اجرا شد. عامل اصلی رژیم‌های آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی به صورت فاکتوریل شامل محلول‌پاشی با سولفات روی در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ در هزار) و تلقیح با مایکوریزا (*Funneliformis mosseae*) در دو سطح (تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده) انجام شد. نتایج نشان داد، که برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری+ محلول‌پاشی+ مایکوریزا در هر سه سال اثری معنی‌دار بر محتوای کلروفیل، پرولین، قندهای محلول، مالون دی‌آلدهید و عملکرد اقتصادی داشت. افزایش تنش آبیاری اثری کاهنده بر محتوای کلروفیل، عملکرد اقتصادی و محتوای آب نسبی برگ داشت، اما بر پرولین، قندهای محلول و مالون دی‌آلدهید اثری افزایشی داشت. در هر سطح تنش بیشترین عملکرد اقتصادی در تیمار ۶ در هزار محلول‌پاشی+ تلقیح با میکوریزا حاصل شد. به‌طورکلی محلول‌پاشی روی+ مایکوریزا با افزایش محتوای کلروفیل، قندهای محلول و محتوای آب نسبی برگ سبب تعدیل شرایط تنش و افزایش مقاومت گیاه در برابر خشکی شد و با ارتقاء کمی و کیفی صفات بیوشیمیایی، عملکرد اقتصادی گیاه گل‌راعی را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش خشکی، کلروفیل، *Hypericum perforatum*

مقدمه
گل‌راعی (*Hypericum perforatum* L.) از خانواده هایپریکاسه (Hypericaceae)، گیاه دارویی چند ساله علفی است، که در سراسر جهان پراکنش وسیعی دارد (Sun *et al.*, 2018) و قرن‌ها است، که به‌عنوان یک گیاه دارویی ضدالتهاب، ضدافسردگی، ضددرد با اثرات مدر و آرام‌بخش مورد استفاده

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: aminsalehi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

بوده است (Zirak *et al*., 2019; Barnes *et al*., 2001). اکنون نیز به عنوان دارویی مؤثر برای پیشگیری و درمان افسردگی (Benitez *et al*., 2022)، سرطان (Menegazzi *et al*., 2021)، سوختگی‌ها و زخم‌ها (Isacchi *et al*., 2007) و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میان گونه‌های Hypericum گونه *Hypericum perforatum* مشهورترین گونه است (Coste *et al*., 2020)، اما مطالعات اندکی در مورد تأثیر شرایط مطلوب و نامطلوب محیطی بر روی آن وجود دارد. با افزایش تقاضا برای محصولات طبیعی نشأت‌گرفته از گیاهان دارویی و معطر، کشت این گونه‌های گیاهی مورد توجه قرار گرفته است.

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیستی محدودکننده رشدونمو گیاهان است، که همه جنبه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و به‌طور قابل‌توجهی رشد گیاهان را کاهش می‌دهد (Pitman and Lauchli, 2002). یکی از راهکارهای مقابله با تنش خشکی همزیستی با قارچ مایکوریزای آربوسکولار (Arbuscular Mycorhizal Fungi, AMF) است. قارچ مایکوریزا یکی از بازیگران مهم در اکوسیستم است و نقش مهمی در مبارزه با تنش‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی دارد (Bennett and Classen, 2020). در گیاهان همزیست با قارچ مایکوریزای آربوسکولار گسترش ریسه‌های قارچی، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای، هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها (Zhang *et al*., 2018)، جذب بیشتر آب در شرایط رطوبتی کم، تعادل اسمزی، فعالیت فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات‌ها و پرولین (Deepika and Kothamasi, 2015) و در نهایت افزایش رشد و تجمع زیست‌توده، تحت شرایط تنش خشکی می‌گردد (Chandrasekaran, 2022). قارچ مایکوریزای آربوسکولار همچنین کربن و لیپیدها را از گیاه دریافت می‌کند و در مقابل به‌دست آوردن مواد مغذی، جذب آب و مواد معدنی کمیاب را برای گیاه تسهیل می‌کند (Bennett and Classen, 2020). در تحقیقی بر گیاهان اسطوخودوس، رزماری و آویشن (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*) تحت رژیم‌های آبیاری مختلف، گزارش شد، که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد اقتصادی گیاهان تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده با قارچ مایکوریزا شد، اما تلقیح با قارچ مایکوریزا در کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی بسیار مؤثرتر بود (Pirzad and Mohammadzadeh, 2018).

گیاهان در شرایط محیطی متفاوت، برای تنظیم پتانسیل اسمزی درون سلول، مواد محلول با وزن مولکولی کم و سازگار را تولید و انباشته می‌کنند. این مواد عموماً شامل اسیدهای آمینه، قندهای محلول واسیدهای آلی هستند، که در بین آنها احتمالاً پرولین گسترده‌ترین نوع اسمولیت است (امیدی و همکاران، ۱۳۹۰). پرولین یک شاخص قابل اطمینان برای مطالعه اثر تنش‌های محیطی در گیاهان است (Claussen, 2005). محققین زیادی نیز به نقش قندهای محلول در حفاظت سلول‌ها در برابر تنش‌ها اشاره کرده‌اند (Finkelstein and Gibson, 2001; Yamada and Osakabe, 2018; Karimi *et al*., 2012). محتوای کلروفیل و فتوسنتز نیز طی تنش خشکی کاهش می‌یابد (Begum *et al*., 2019)، زیرا کلروفیل در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید ناپدید و اکسیژن فعال تولید می‌شود (Samira *et al*., 2020). درحالی‌که در گیاهان مایکوریزایی تحت تنش خشکی محتوای کلروفیل افزایش می‌یابد (Hazzoumi *et al*., 2015).

کاربرد روی نیز از جمله راهکارهای کاهش تنش خشکی است. ریزمغذی روی در سنتز کربوهیدرات و سوخت‌وساز پروتئین و اسیدهای آمینه از جمله پرولین نقش اساسی دارد (Kobraee *et al*., 2011). سولفات روی در تأمین و ایجاد تعادل بین عناصر غذایی بسیار مؤثر است و به تنهایی یا در ترکیب با رژیم‌های آبیاری معین می‌تواند در بهبود عملکرد گیاه تأثیر مثبتی داشته باشد (ریاضی و همکاران، ۱۳۹۵).

پیش‌بینی می‌شود که تغییرات آب‌وهوایی اثرات خشکسالی را در آینده تشدید کند، که هم بر تولید محصول و هم بر تنوع زیستی گیاهی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، درک عمیق مکانیسم‌های سازگاری گیاه با تنش خشکی به عنوان یکی از تنش‌های مهم غیرزیستی، که بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد، برای غلبه بر چالش‌های آینده ضروری است.

لذا با توجه به قرارگیری کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان، این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر همزمان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا و محلول‌پاشی سولفات روی بر برخی صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد اقتصادی گیاه گل‌راعی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در شهرستان بویراحمد انجام شد، تا با بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و ارتباط این پاسخ‌ها با عملکرد اقتصادی در شرایط تنش خشکی، گام مثبتی در جهت توسعه و تولید پایدار گیاه دارویی باارزش گل راعی در منطقه مورد مطالعه برداشته شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات طرح و تیمارهای آزمایش: این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چم‌خانی یاسوج در استان کهگیلویه و بویراحمد در فاصله ۵ کیلومتری جنوب غربی شهر یاسوج، با مختصات UTM 549635E , 339679N 39R و ارتفاع ۱۷۳۰ متر از سطح دریا تحت رژیم‌های آبیاری متفاوت در سه سال زراعی متوالی (۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰) به صورت اسپلیت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی رژیم‌های آبیاری متفاوت در سه سطح؛ بدون تنش (آبیاری با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری گیاه)، تنش ملایم (آبیاری با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبیاری گیاه) و تنش شدید (آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبیاری گیاه) و عامل فرعی به‌صورت فاکتوریل شامل تلقیح با مایکوریزا (*Funneliformis mosseae*) در دو سطح (بدون قارچ و با قارچ) و محلول‌پاشی با منبع سولفات روی ($ZnSO_4 7H_2O$) در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ قسمت در هزار) بود.

در این آزمایش کود زیستی مایکوریزا طبق دستور شرکت سازنده (کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک همدان، با تعداد ۱۲۰ اسپور زنده در هر گرم بستر خاک) در حین انجام عملیات خاکورزی ثانویه به صورت مایع تلقیح با آغشته‌کردن ریشه‌ها در بستر کاشت و محلول‌پاشی با سولفات روی همزمان با شروع تنش خشکی (دو هفته پس از استقرار گیاهچه‌ها در سال اول و شروع اولین آبیاری در سال‌های دوم و سوم) به‌میزان نیم لیتر در هر مترمربع مورد استفاده قرار گرفت.

برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه، پیش از عملیات کاشت و در حین آماده‌سازی زمین نمونه‌هایی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به‌طور تصادفی برداشت و آزمایش شد (جدول ۱). پس از شخم، تسطیح و ایجاد جوی و پشته، زمین به ۵۴ کرت جداگانه به ابعاد ۳/۵ × ۲/۵ متر تقسیم شد. در هر کرت پنج پشته با فواصل مساوی ایجاد شد. برای به حداقل رساندن خطاها و اثر حاشیه‌ای، فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر، فاصله بین کرت‌های اصلی (تیمار آبیاری) دو متر و کرت‌های فرعی یک متر از همدیگر در نظر گرفته شد. نشاء مورد نیاز از رقم توپاز تهیه و با فاصله ۲۵ سانتی‌متری روی ردیف‌ها (با تراکم هشت بوته در هر مترمربع) در تاریخ مناسب (اواخر اردیبهشت‌ماه) کاشته شد.

عملیات تلقیح قارچ فقط در سال اول و همزمان با کاشت نشاءها انجام شد. محلول‌پاشی با سولفات روی در سطوح پیشنهادی در هر سه سال همزمان با شروع تنش آبیاری انجام شد. عمل وجین علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله؛ ۲۰ و ۴۰ روز بعد از کاشت و در سال‌های دوم و سوم متناسب با نیاز انجام شد. روش آبیاری به‌صورت نوار تیپ قطره‌ای و آبیاری هر هفت روز یک بار و با نصب کنتور حجمی بر اساس تیمارهای بیان‌شده انجام گرفت.

تعیین نیاز آبی گیاه: به منظور اعمال سطوح مختلف تنش آبیاری، نیاز آبی گیاه از مدل نرم‌افزاری CROPWAT ارائه‌شده توسط FAO (۱۹۹۲)، Smith و Kivumbi (۲۰۰۴) با استناد به روش Allen (Allen *et al.*, 1998) محاسبه شد (اکبرزاده مقدم سه قلعه، و مطلبیان، ۱۳۸۹). داده‌های هواشناسی منطقه شامل دمای حداقل و حداکثر، مقدار بارندگی، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی در یک دوره درازمدت سی ساله، از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه یاسوج (در فاصله دو کیلومتری محل اجرای طرح) اخذ و لحاظ شد.

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل: اندازه‌گیری کلروفیل کل با روش Arnon (۱۹۴۹) از طریق نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون انجام شد. جذب نور توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Lambada Ez 210 در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک

Texture	Sand	Silt	Clay	N	O.C	T.N.V	SP	pH	E.C ۱۰^{۳}×	K	P	Cu	Mn	Fe	Zn
	(%)								(ppm)						
Cl-L	۲۲	۴۲	۳۶	۱۱۹/۰	۲۰۴/۱	۰/۱۶	۲۳/۵۷	۶/۷	۶۳۴/۰	۴۱۲	۲۵/۱۲	۸۴/۱	۵/۷	۵/۱۲	۸/۰

طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر انجام شد. در نهایت، غلظت ترکیبات ذکرشده در بالا با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد.

رابطه (۱)

$$Chl\ a = \frac{(12.7 \times OD663) - (2.69 \times OD645) \times V}{(1000 \times W)}$$

رابطه (۲)

$$Chl\ b = \frac{(22.9 \times OD645) - (4.68 \times OD663) \times V}{(1000 \times W)}$$

رابطه (۳)

$$Chl\ a+b = \frac{(8.02 \times OD663) + (20.2 \times OD645) \times V}{(1000 \times W)}$$

که در آن V، OD، W، Chl a و Chl b به ترتیب حجم نمونه، میزان جذب، وزن تازه نمونه، کلروفیل a و b است.

اندازه‌گیری پرولین برگ: میزان پرولین با استفاده از روش Murillo-Amador و همکاران (۲۰۱۴) برآورد شد. بعد از تهیه عصاره الکلی از برگ‌های فریزشده (در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد) و افزودن نین‌هیدرین به عصاره الکلی و طی مراحل جوشاندن، خنک‌کردن، و افزودن تولوئن، غلظت پرولین با اسپکتوفتومتر مدل Lambada Ez 210 در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد تعیین شد.

اندازه‌گیری قندهای محلول کل: قندهای محلول کل با استفاده از روش Zan و همکاران (۲۰۰۷) تعیین شد. در این روش با افزودن آنترون تازه تهیه‌شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر H_2SO_4 ۷۲ درصد) به عصاره الکلی و بعد از گذاشتن محلول در حمام آب جوش به مدت ۱۰ دقیقه و سرد کردن، غلظت TSS در طول‌موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از اسپکتوفتومتر مدل Lambada Ez 210 و گلوکز به عنوان استاندارد تعیین شد.

اندازه‌گیری فعالیت مالون دی‌آلدهید (MDA): فعالیت MDA براساس روش پیشنهادی Heath و Packer (۱۹۶۸) تعیین شد. نمونه‌ها در اسید تری‌کلرو استیک (TCA) ۰/۱ درصد و تیوباربیتوریک اسید (TBA) ۰/۵ درصد عصاره‌گیری شدند. سپس محتوای MDA توسط اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری و بیان شد.

اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ (RWC): جهت اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. ابتدا وزن تر (FW) برگ‌های کاملاً بالغ بلافاصله پس از جمع‌آوری اندازه‌گیری شد، سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر قرار داده شدند. بعد رطوبت سطحی برگ‌ها با کاغذ صافی گرفته شد و وزن آماس (TW) محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک (DW)، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و در نهایت RWC با استفاده از رابطه (۴) تعیین شد (Mishra and Choudhuri, 1999).

رابطه (۴)

$$RWC\% = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

عملکرد اقتصادی گیاه: به منظور اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی گیاه در مرحله گلدهی کامل، بوته‌های موجود در هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در یک مترمربع از مساحت کرت و از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری سطح زمین برداشت و نمونه‌ها جهت حفظ کیفیت برگ و گل‌های برداشت‌شده در دمای محیط (میانگین ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۶ ساعت)، در سایه و به دور از تابش مستقیم نور خورشید خشک، سپس با ترازوی دیجیتالی وزن و بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند (Stuart and Wills, 2003).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS صورت گرفت. ابتدا آزمون نرمال‌بودن داده‌ها برای تعداد سال‌های برداشت‌شده انجام و سپس آزمون بارتلت اجرا شد. با توجه به اینکه نتایج آزمون بارتلت صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد، تجزیه مرکب صورت نگرفت و هر سال آزمایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

به عنوان یک چین جداگانه تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین اثر اصلی براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد و مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش با استفاده از رویه L.S.Means انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel طراحی شد.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل کل: برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در سال اول در سطح ۵ درصد و در سال‌های دوم و سوم در سطح ۱ درصد بر محتوای کلروفیل در گیاه گل‌راعی معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در هر سطح از رژیم آبیاری برای محتوای کلروفیل در گیاه گل‌راعی نشان داد، در هر سه سال بیشترین مقدار کلروفیل در تیمار محلول‌پاشی ۶ در هزار سولفات روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد محلول‌پاشی و بدون تلقیح با مایکوریزا به دست آمد. بر اساس نتایج، افزایش تنش آبیاری موجب کاهش محتوای کلروفیل کل گردید، ولی محلول‌پاشی روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا در هر سه سال در هر سطح تنش سبب افزایش کلروفیل در گیاه گل‌راعی شد (شکل ۱).

نتایج حاصل از بررسی حاضر با نتایج بررسی‌های انجام‌شده در گیاهان سرخارگل (*Echinacea purpurea*) (Attarzadeh *et al*., 2019) آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) (Begum *et al*., 2019)، آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) (Alavi-Samani *et al*., 2013; Emami Bistgani *et al*., 2017) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (حق‌شناس و همکاران، ۱۳۹۹) تحت تنش آبی همسو بود. کاهش محتوای کلروفیل یکی از مهم‌ترین پاسخ‌های فیزیولوژیکی در مقابل تنش خشکی است. به‌نظر می‌رسد، که کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی، به‌علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن باشد، که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون این رنگیزه می‌گردد (Zhang *et al*., 2018). برخی از محققین عقیده دارند که کاهش غلظت کلروفیل در اثر افزایش تنش خشکی می‌تواند، در اثر افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (Sreenivasulu *et al*., 2012). همچنین مطابق با نتایج این آزمایش، پژوهش‌های انجام‌شده در سایر گیاهان نیز نشان داد، که تلقیح با مایکوریزا محتوای کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد (ایلخان و همکاران، ۱۴۰۲؛ Abdi *et al*., 2021; Hazzoumi *et al*., 2015). افزایش محتوای کلروفیل تحت همزیستی ریشه گیاه با قارچ مایکوریزا را می‌توان به اثر مثبت این قارچ در جذب عناصر غذایی مورد نیاز از قبیل نیتروژن و منیزیم (Begum *et al*., 2019) و تأثیر مثبت مایکوریزا در کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (Kaya *et al*., 2001) و بالابودن جذب فسفر به عنوان یک حامل انرژی طی فرایند فتوسنتز نسبت داد. اگر چه روی به‌طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل مؤثر نیست، اما بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل یا عناصری مانند آهن و منیزیم، که قسمتی از مولکول کلروفیل محسوب می‌شوند، مؤثر است (Kaya and Higgs, 2002). نتایج بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد، که همبستگی مثبتی بین روی و میزان کلروفیل برگ گیاهان وجود دارد (Zarrouk *et al*., 2005). همچنان که در گزارش اصل‌محمدی و همکاران (۱۴۰۰) محلول‌پاشی روی سبب افزایش کلروفیل کل در گیاه آویشن شده است.

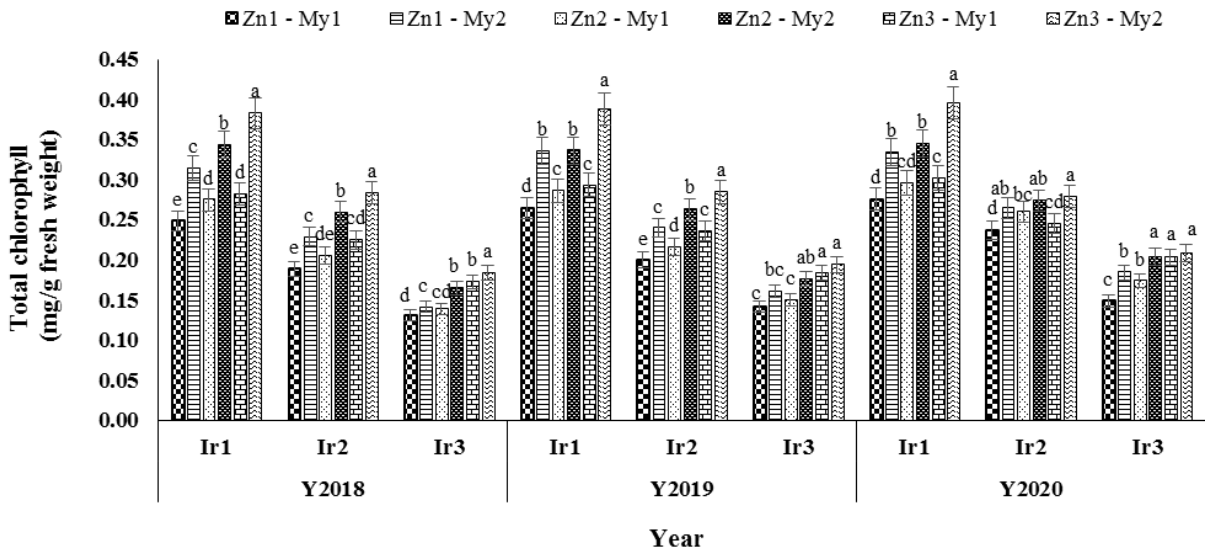
پرولین: برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در سال‌های اول و دوم در سطح ۵ درصد و در سال سوم در سطح ۱ درصد بر میزان پرولین در گیاه گل‌راعی معنی‌دار شد (جدول ۲)، نتایج مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در هر سطح رژیم آبیاری برای میزان پرولین در گیاه گل‌راعی بیانگر آن بود که، در هر سه سال بیشترین مقدار پرولین در تیمار شاهد محلول‌پاشی و بدون تلقیح با مایکوریزا و کمترین مقدار آن در تیمار محلول‌پاشی ۶ در هزار سولفات روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا به دست آمده است. بر اساس نتایج، افزایش تنش آبیاری در هر سه سال باعث افزایش پرولین در گیاه گل‌راعی شده است، ولی محلول‌پاشی روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا در هر سطح آبیاری میزان پرولین را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس کلروفیل کل و پرولین در گیاه گل راعی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل کل			پرولین		
		سال اول	سال دوم	سال سوم	سال اول	سال دوم	سال سوم
تکرار	۲	۰/۰۱۹۰۳**	۰/۰۰۳۶**	۰/۰۰۴۸۶**	۱/۱۵**	۱/۲۵**	۲.۴۵**
رژیم آبیاری (A)	۲	۰/۱۰۴۴۲**	۰/۱۰۰۸۴**	۰/۰۸۵۹۳**	۱۶۲/۵۳**	۱۵۸/۴۷**	۱۷۲/۲۷**
خطای ۱	۴	۰/۰۰۰۹۶	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۸
محلول‌پاشی سولفات‌روی (B)	۲	۰/۰۰۹۶۴**	۰/۰۰۷۱۸**	۰/۰۰۴۴۷**	۴/۳۳**	۴/۶۵**	۴/۸۶**
مایکوریزا (C)	۱	۰/۰۳۱۷۸**	۰/۰۲۷۸۳**	۰/۰۲۰۲۶**	۱۶/۶۸**	۱۶/۴۱**	۲۱/۸۹**
(B) × (A)	۴	۰/۰۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۶۳**	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۱۹**	۰/۵۱**
(C) × (A)	۲	۰/۰۰۴۴۷**	۰/۰۰۳۲۵**	۰/۰۰۲۷۶**	۱/۷۵**	۲/۵۲**	۲/۴۲**
(C) ×(B)	۲	۰/۰۰۰۳۸*	۰/۰۰۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۲ ^{ns}	۰/۵۲**	۰/۲۹**	۰/۳۹**
(C) ×(B) ×(A)	۴	۰/۰۰۰۲۲*	۰/۰۰۰۳۷**	۰/۰۰۰۵۸**	۰/۱۳*	۰/۱۰*	۰/۱۸**
خطای ۲	۳۰	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۸۱	۳/۷۳	۳/۷۱	۴/۵۴	۴/۲۳	۴/۳۴

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و معنی‌دار نشدن، است.**

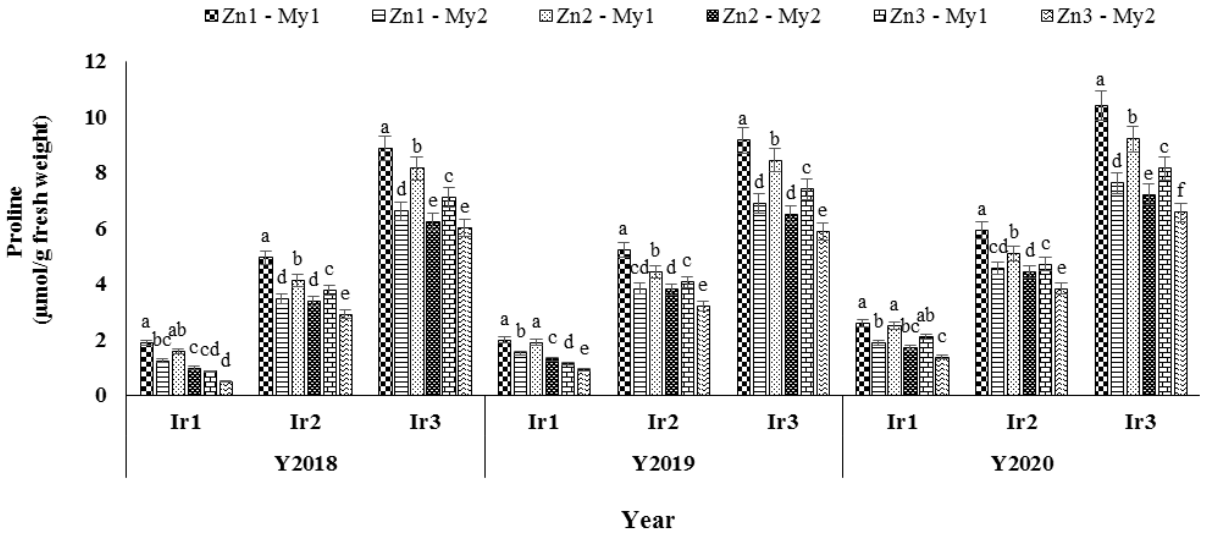


شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری (۱۰۰٪ نیاز آبیاری Ir1، ۷۵٪ نیاز آبیاری Ir2 و ۵۰٪ نیاز آبیاری Ir3)، محلول‌پاشی سولفات روی (غلظت صفر Zn1، غلظت ۳ در هزار Zn2 و غلظت ۶ در هزار Zn3) و قارچ مایکوریزا (تلقیح‌نشده My1 و تلقیح‌شده My2) بر کلروفیل کل در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

کاهش داده است (شکل ۲).

پرولین یک شاخص قابل اطمینان برای مطالعه اثر تنش‌های محیطی در گیاهان است (Claussen, 2005). تجمع پرولین در شرایط تنش به دلیل فعال‌شدن بیوسنتز و غیرفعال شدن تجزیه آن است (Cicek and Cakirlar, 2002) و در همه اندامک‌های گیاهی تحت تنش به ویژه برگ‌ها افزایش می‌یابد. نقش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری (۱۰۰٪ نیاز آبیاری Ir1، ۷۵٪ نیاز آبیاری Ir2 و ۵۰٪ نیاز آبیاری Ir3)، محلول‌پاشی سولفات روی (غلظت صفر Zn1، غلظت ۳ در هزار Zn2 و غلظت ۶ در هزار Zn3) و قارچ مایکوریزا (تلقیح‌نشده My1 و تلقیح‌شده My2) بر پرولین در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

مشخص پرولین تنظیم فشار اسمزی است و از اکسیداسیون درونی سلول‌ها در شرایط تنش جلوگیری می‌نماید، به همین دلیل پرولین در گیاهانی که تحت تنش‌های سخت قرار می‌گیرند تجمع می‌یابد (Bayer, 2007). همسو با نتایج این پژوهش Simon-Sarkadi و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی بر گیاه دارویی گشنیز دریافتند، که تنش خشکی موجب افزایش پرولین در این گیاه شده است. در سرخارگل (*Echinacea purpurea*) برای مقابله با تنش کم آبیاری با سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه آب در دسترس خاک، محتوای پرولین در برگ افزایش پیدا کرد (Jalil Sheshbahrhe *et al*., 2019) و همچنین افزایش تنش خشکی موجب افزایش غلظت پرولین در گل‌راعی (*Hypericum perforatum*) (Torun *et al*., 2021)، دو گونه آویشن (*Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L.) (Abdollahi Arpanahi *et al*., 2020)، ماش (*Vigna radiata* L.) (Bangar *et al*., 2019)، گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*) (صاحب‌حسن و همکاران، ۱۳۹۹)، چای‌ترش (*Hibiscus sabdaeiffa* L.) (صنایعی و همکاران، ۱۳۹۹) شد. همانند این پژوهش، محققین زیادی انباشتگی پرولین در گیاهان دارویی تلقیح‌نشده با AMF در مقایسه با گیاهان مایکوریزایی را تحت تنش خشکی در گیاهانی از قبیل خارمریم (*Silybum marianum* L.) (مزارعی و همکاران، ۱۳۹۶)، ریحان (*Ocimum gratissimum*) (Hazzoumi *et al*., 2015)، دو گونه آویشن (*Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L.) (Abdollahi Arpanahi *et al*., 2020) و گندم (*Triticum aestivum*) (Abdi *et al*., 2021) گزارش کرده‌اند. مطابق با نتایج این پژوهش در تحقیق پناهیان کیوی (۱۳۹۸) بر گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) محلول‌پاشی روی با غلظت‌های ۳ و ۶ در هزار در همه سطوح آبیاری منجر به کاهش میزان پرولین برگ شد. احتمالاً کاهش در محتوای پرولین به دلیل نقش مایکوریزا در جذب آب بیشتر و کاهش اثرات تنش و همچنین نقش روی در تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و خنثی‌سازی اثر رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش اثرات تنش خشکی می باشد. Khan و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند، که محتوای پرولین برگ نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تنش خشکی افزایش یافت، ولی کاربرد روی موجب کاهش آن در هر سطح تنش خشکی شد، زیرا روی با تعدیل اثر تنش خشکی موجب کاهش نیاز گیاه برای صرف انرژی در مکانیزم‌های دفاعی مانند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

تجمع مواد تنظیم‌کننده اسمزی می‌گردد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر تغییر محتوای پرولین سویا در غلظت‌های مختلف روی توسط Karami و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است. البته از آنجا که ریزمغذی روی در سوخت‌وساز پروتئین و اسیدهای آمینه از جمله پرولین نقش اساسی دارد (Kobraee *et al.*, 2011)، در مطالعه برخی از گیاهان از جمله؛ سویا (Joorabi *et al.*, 2020) و گلرنگ (موحدی دهنوی و همکاران، ۱۳۸۵) بیان شده است، که افزایش تنش کم آبیاری و محلول‌پاشی عنصر روی موجب افزایش پرولین شد.

قندهای محلول کل: برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در هر سه سال در سطح ۵ درصد بر میزان قندهای محلول کل در گیاه گل‌راعی معنی‌دار شد (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در هر سطح رژیم آبیاری برای میزان قندهای محلول کل در گیاه گل‌راعی نشان داد، که در تمام سطوح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری) در هر سه سال بیشترین مقدار قندهای محلول کل در تیمار محلول‌پاشی ۶ در هزار سولفات روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد محلول‌پاشی و بدون تلقیح با مایکوریزا به‌دست آمده است. بر اساس نتایج، افزایش تنش آبیاری+ محلول‌پاشی روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا در هر سه سال سبب افزایش قندهای محلول کل در گل‌راعی شده است (شکل ۳).

رایج‌ترین مکانیسم سازش گیاهان با تنش خشکی، تجمع قندهای محلول و اسیدهای آمینه آزاد در درون سلول است (Karimi *et al.*, 2012). در پاسخ به تنش‌های محیطی تجمع قندهای محلول در قسمت‌های مختلف گیاهان افزایش می‌یابد. Finkelstein و Gibson (۲۰۰۱) نیز به نقش مؤثر قندهای محلول در حفاظت سلول‌ها در برابر تنش‌ها اشاره کرده‌اند. تلقیح قارچ مایکوریزا نیز سبب افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار از جمله کربوهیدرات‌ها برای کاهش از دست دادن آب می‌گردد (Gupta *et al.*, 2020; Abdi *et al.*, 2021). زیرا در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا فتوسنتز بیشتری انجام می‌شود و همزیستی با مایکوریزا فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزکننده را بیشتر و تعداد واحدهای فتوسنتزی را افزایش می‌دهد، که این امر سبب تولید بیشتر کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود. در شرایط تنش نیز با تجزیه کربوهیدرات‌های مرکب، تولید و تجمع قندهای محلول بیشتر می‌گردد (Aobert and Auge, 2001). به‌نظر می‌رسد که مایکوریزا با افزایش فتوسنتز به‌خصوص در شرایط تنش که مصرف قند به‌خاطر کاهش رشد گیاه کم می‌شود منجر به افزایش تجمع قندهای محلول گردیده است. همسو با نتایج این پژوهش Attarzadeh و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی بر گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) بیان کردند، که تلقیح AMF قندهای محلول را افزایش داد. ریزمغذی روی نیز در سنتز کربوهیدرات‌ها نقش اساسی دارد (Kobraee *et al.*, 2011). چنان‌که مطابق با نتایج این آزمایش در بررسی موحدی دهنوی و همکاران، (۱۳۸۵) بر گیاه گلرنگ، افزایش تنش کم آبیاری همراه با محلول‌پاشی عنصر روی با غلظت سه در هزار سبب افزایش قند محلول در ارقام گلرنگ شد. در گزارش اصل محمدی و همکاران (۱۴۰۰) نیز محلول‌پاشی روی سبب افزایش محتوای قند محلول در گیاه آویشن شد. قابل ذکر است، که رابطه همزیستی مایکوریزایی با ریشه اغلب گیاهان زراعی، از طریق گسترش مسیلیوم‌های قارچ موجب افزایش جذب آب و عناصر معدنی از جمله فسفر و برخی عناصر کم مصرف همچون روی و مس، می‌شود و تأثیر منفی تنش‌های محیطی را کاهش داده و سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شود (جهان و نصیری محلاتی، ۱۳۹۲).

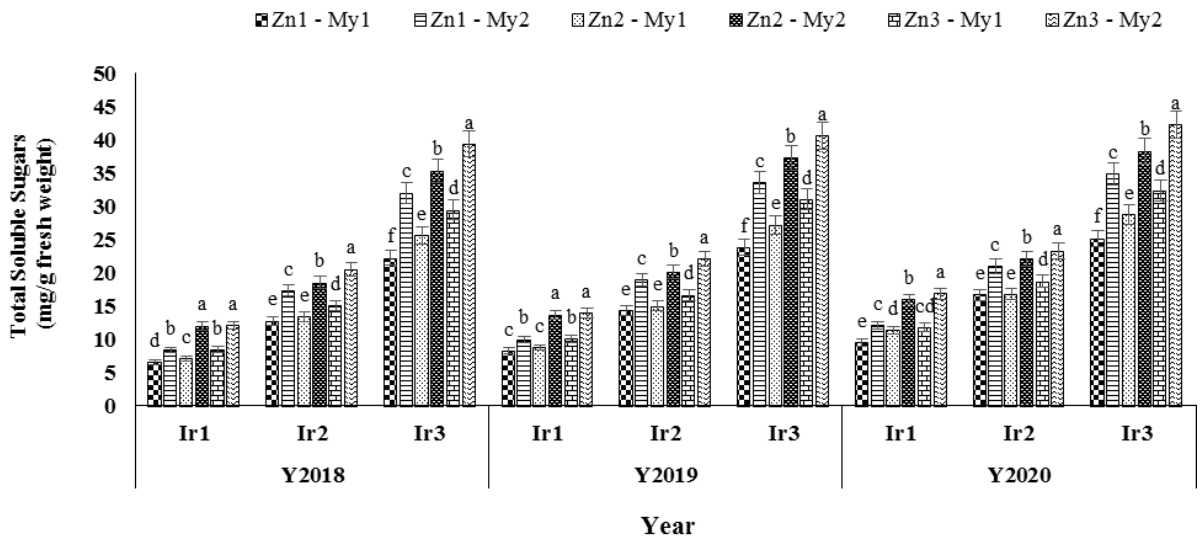
مالون دی‌آلدهید: برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در هر سه سال در سطح ۵ درصد بر میزان مالون دی‌آلدهید در گیاه گل‌راعی معنی‌دار شد (جدول ۴)، نتایج مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در هر سطح رژیم آبیاری برای محتوای مالون دی‌آلدهید در گیاه گل‌راعی نشان داد، که در تمام سطوح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری) در هر سه سال بیشترین مقدار مالون دی‌آلدهید در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۳- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس قندهای محلول و مالون دی‌آلدهید در گیاه گل راعی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا

منابع تغییر	درجه آزادی	قندهای محلول کل			مالون دی‌آلدهید		
		سال اول	سال دوم	سال سوم	سال اول	سال دوم	سال سوم
تکرار	۲	۶/۹۷**	۹/۸۱**	۴/۷۹**	۲۹/۰۰**	۳۴/۹۷**	۴۴/۳۲**
رژیم آبیاری (A)	۲	۲۱۶۴/۹۴**	۲۱۵۲/۴۵**	۱۹۹۵/۵۳**	۵۵۳/۴۴**	۵۲۹/۲۶**	۵۳۵/۶۳**
خطای ۱	۴	۱/۱۹	۱/۰۷	۰/۵۵	۳/۴۲	۵/۵۲	۴/۹۳
محلول‌پاشی سولفات‌روی (B)	۲	۸۲/۴۳**	۸۰/۸۱**	۸۴/۶۳**	۸۰/۳۹**	۹۵/۳۶**	۷۵/۷۷**
مایکوریزا (C)	۱	۵۰۳/۷۴**	۵۰۷/۱۷**	۵۱۶/۱۵**	۲۳۴/۶۷**	۱۸۰/۹۹**	۱۷۶/۱۹**
(B) × (A)	۴	۱۰/۸۱**	۹/۹۴**	۱۲/۱۴**	۲/۶۱*	۳/۸۲**	۳/۸۵**
(C) × (A)	۲	۴۹/۳۱**	۴۹/۲۲**	۴۲/۴۰**	۱۲/۶۵**	۳/۵۶**	۳/۵۰**
(C) ×(B)	۲	۱/۷۴**	۲/۱۹**	۱/۴۰**	۸/۰۸**	۰/۸۹ ^{ns}	۲/۷۸*
(C) ×(B) ×(A)	۴	۱/۰۳**	۱/۱۵**	۰/۷۸**	۲/۵۵*	۱/۲۱*	۲/۷۹*
خطای ۲	۳۰	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۹۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۶۳	۲/۶۱	۲/۲۳	۵/۵۳	۴/۳۹	۵/۴۸

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و معنی‌دار نشدن، است.**



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری (۱۰۰٪ نیاز آبیاری Ir1، ۷۵٪ نیاز آبیاری Ir2 و ۵۰٪ نیاز آبیاری Ir3)، محلول‌پاشی سولفات روی (غلظت صفر Zn1، غلظت ۳ در هزار Zn2 و غلظت ۶ در هزار Zn3) و قارچ مایکوریزا (تلقیح‌نشده My1 و تلقیح‌شده My2) بر قندهای محلول کل در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

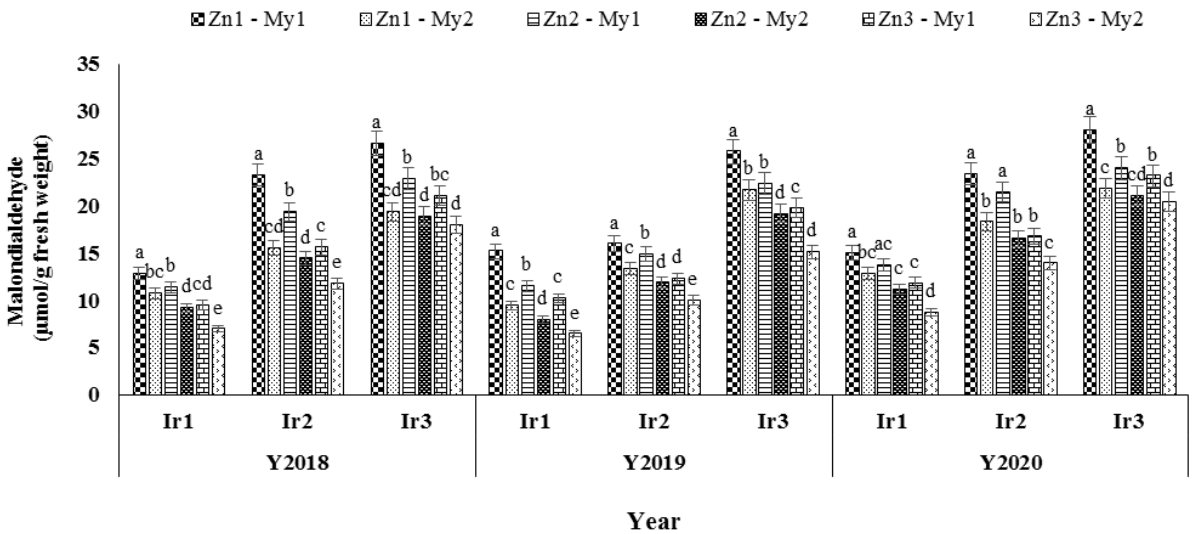
تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی و بدون تلقیح با مایکوریزا) و کمترین مقدار آن در تیمار شش در هزار سولفات روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا به دست آمده است. بر اساس نتایج افزایش تنش آبیاری در هر سه سال سبب افزایش مالون دی‌آلدهید در گل‌راعی شده است ولی محلول‌پاشی روی+ تلقیح با قارچ مایکوریزا مقدار آن را کاهش و سبب تعدیل شرایط تنش شده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۴- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس محتوای آب نسبی برگ در گیاه گل‌راعی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا

منابع تغییر	درجه آزادی	محتوای آب نسبی برگ (RWC)		
		سال اول	سال دوم	سال سوم
تکرار	۲	۴۳۱/۷۷**	۱۴۷۴/۲۴**	۱۳/۶۴ ns
رژیم آبیاری (A)	۲	۳۱۱/۷۴**	۱۰۵۰/۴۰**	۵۸۷/۰۹**
خطای ۱	۴	۱۱۲/۸۸	۵۰/۸۷	۲۲۸/۴۸
محلول‌پاشی سولفات‌روی (B)	۲	۵۴/۷۸**	۱۳۷/۸۹*	۹۷/۵۷*
مایکوریزا (C)	۱	۱۳۱/۲۹**	۵۴۳/۴۰**	۲۹۴/۰۰**
(B) × (A)	۴	۱/۶۲ ns	۲۰/۵۵ ns	۲/۸۱ ns
(C) × (A)	۲	۱/۱۶ ns	۲۸/۱۸ ns	۲/۲۱ ns
(C) ×(B)	۲	۰/۳۸ ns	۷/۵۵ ns	۱/۵۱ ns
(C) ×(B) ×(A)	۴	۰/۴۹ ns	۲۷/۵۸ ns	۳/۹۸ ns
خطای ۲	۳۰	۸/۶۲	۳۷/۱۸	۲۲/۵۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۴/۲۹	۹/۷۱	۶/۲۱

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و معنی‌دار نشدن، است.**



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری (۱۰۰٪ نیاز آبیاری Ir1، ۷۵٪ نیاز آبیاری Ir2 و ۵۰٪ نیاز آبیاری Ir3)، محلول‌پاشی سولفات روی (غلظت صفر Zn1، غلظت ۳ در هزار Zn2 و غلظت ۶ در هزار Zn3) و قارچ مایکوریزا (تلقیح‌نشده My1 و تلقیح‌شده My2) بر مالون دی‌آلدهید در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

است (شکل ۴).

مالون دی‌آلدهید (MDA) محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدی است و به‌طور گسترده به‌عنوان نشانگر اکسیداتیو لیپیدی استفاده می‌شود (Kong *et al.*, 2016). مالون دی‌آلدهید که از تجزیه اسیدهای چرب اشباع‌نشده چندگانه تشکیل می‌شود با تنش خشکی در گیاه افزایش می‌یابد، اما تحت تنش خشکی در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

گیاهان تلقیح‌شده با AMF در مقایسه با گیاهان شاهد سطوح پایین‌تری از MDA ظاهر می‌شود. این نشان می‌دهد، که تلقیح گیاه با AMF در مقایسه با تیمار بدون تلقیح، برای محافظت از گیاهان در برابر استرس اکسیداتیو مؤثر است (Siddique *et al*., 2022). مطابق با نتایج این پژوهش نیز با افزایش تنش خشکی MDA در مطالعه موحدی دهنوی و همکاران، (۱۳۸۵) بر گیاه سرخارگل، غریبی و همکاران (۱۳۹۱) بر گیاه بومادران بیابانی (*Achillea tenuifolia*)، (AbdollahiArpanahi *et al*., 2020) بر دو گونه آویشن (*Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L.)، (Abdi *et al*., 2021) بر گیاه گندم (*Triticum aestivum*) و (Sheteiwy *et al*., 2021; Salloum *et al*., 2019) بر گیاه سویا افزایش یافت، اما در تیمارهای تلقیح‌شده با AMF کاهش یافت. زیرا قارچ مایکوریزا از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، نفوذپذیری غشاء و افزایش تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی قادر به کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی است. چنان که موحدی دهنوی و همکاران (۱۳۸۵) نیز در آزمایش بر گیاه سرخارگل مشاهده کردند، که با افزایش تنش تا ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، همراه با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی (افزایش مالون دی‌آلدهید) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز افزایش می‌یابد.

محتوای آب نسبی برگ (RWC): بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر ساده تیمارهای رژیم‌های آبیاری و تلقیح با قارچ مایکوریزا در هر سه سال بر محتوای آب نسبی برگ گیاه گل‌راعی در سطح ۱ درصد و برای محلول‌پاشی سولفات روی در سال اول در سطح ۱ درصد و در سال‌های دوم و سوم در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). جدول مقایسه میانگین هر یک از این تیمارها نیز بیانگر آن بود، که بیشترین محتوای آب نسبی برگ در ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین مقدار آن در ۵۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. در محلول‌پاشی بیشترین مقدار محتوای آب نسبی برگ در تیمار ۶ در هزار سولفات روی و کمترین مقدار در تیمار شاهد به‌دست آمد و در تلقیح با قارچ مایکوریزا بیشترین مقدار محتوای آب نسبی برگ در تیمار تلقیح‌شده با قارچ حاصل گردید (شکل‌های ۵، ۶ و ۷).

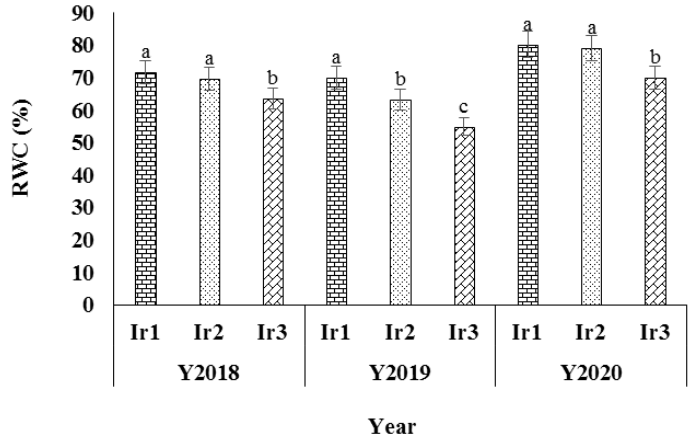
محتوای آب نسبی برگ، جذب آب به وسیله بافت‌ها و سلول‌ها را نشان می‌دهد (Silva *et al*., 2007). محتوای آب نسبی برگ شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش خشکی معرفی شده است و کاهش محتوای آب نسبی برگ از بارزترین علائم فیزیولوژیک کمبود رطوبت خاک است (Piotrowska *et al*., 2009). با کاهش آب در خاک، گیاه مقدار آب پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی درون بافت‌ها به حداقل می‌رساند، تا آب با نیروی بیشتری وارد گیاه شود؛ همین امر سبب کاهش آب درون بافت گیاه در شرایط خشکی نسبت به شرایط بدون تنش می‌گردد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۸).

همسو با نتایج این پژوهش Torun و همکاران (۲۰۲۱) در گیاه گل‌راعی، (Abdollahi Arpanahi *et al*., 2020) در دو گونه آویشن (*Thymus daenensis Celak* and *Thymus vulgaris* L.)، (رضایی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸) در گیاه نخود (*Cicer Arietinum* L.)، (Parra-Lobato *et al*., 2009) در گیاهان رزماری و بادرنجبویه (Bangar *et al*., 2019) در گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) و موسوی و همکاران (۱۳۹۸) در گیاه سرخارگل گزارش کردند، که تنش خشکی سبب کاهش محتوای آب نسبی برگ شد، اما تلقیح AMF، محتوای آب نسبی برگ را در دو گونه آویشن (*Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L.) (Abdollahi Arpanahi *et al*., 2020) افزایش داد.

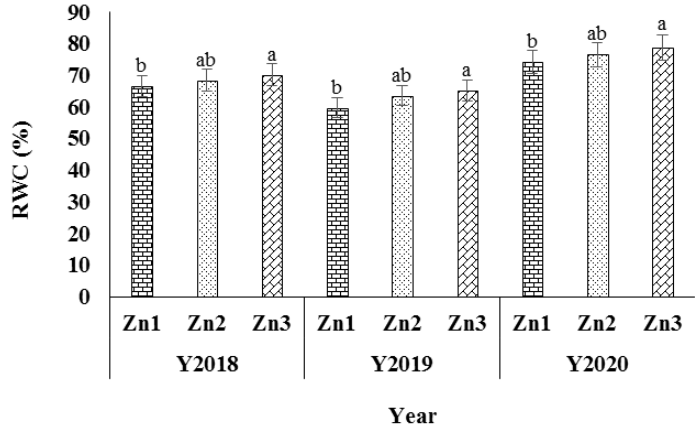
قابل توجه است که تحت تنش‌خشکی تجمع یون‌ها یا مولکول‌های آلی در واکوئل سلول‌های برگ در گیاهان مایکوریزایی بیشتر انجام می‌شود. به عبارتی قارچ مایکوریزا از طریق افزایش طول مؤثر ریشه سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌گردد و با تأمین آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم تحرک فسفر، روی و مس، موجب رشد بهتر گیاه می‌شود و تمام این تغییرات موجب تغییر نسبت آب در گیاهان مایکوریزایی می‌گردد (مزارعی و همکاران، ۱۳۹۶).

عملکرد اقتصادی گیاه: برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری،

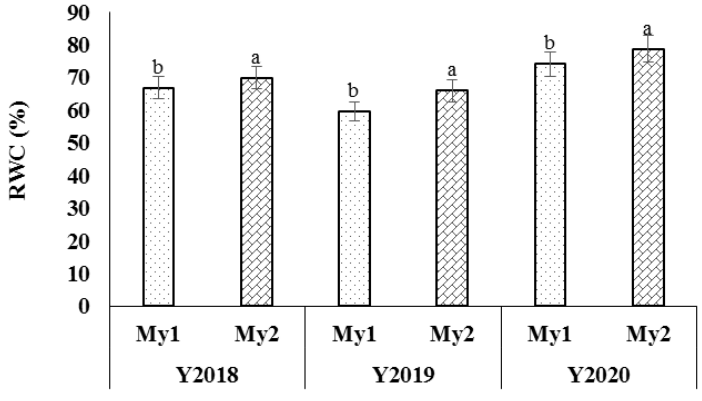
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر ساده رژیم آبیاری (۱۰۰٪ نیاز آبیاری Ir1، ٪ ۷۵ نیاز آبیاری Ir2 و ٪ ۵۰ نیاز آبیاری Ir3) بر محتوای آب نسبی برگ در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر ساده محلولپاشی سولفات روی (غلظت صفر Zn1، غلظت ۳ در هزار Zn2 و غلظت ۶ در هزار Zn3) بر محتوای آب نسبی برگ در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر ساده قارچ مایکوریزا (تلقیح‌نشده My1 و تلقیح‌شده My2) بر محتوای آب نسبی برگ در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار آماری ندارند.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

جدول ۵- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس عملکرد اقتصادی در گیاه گل راعی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا

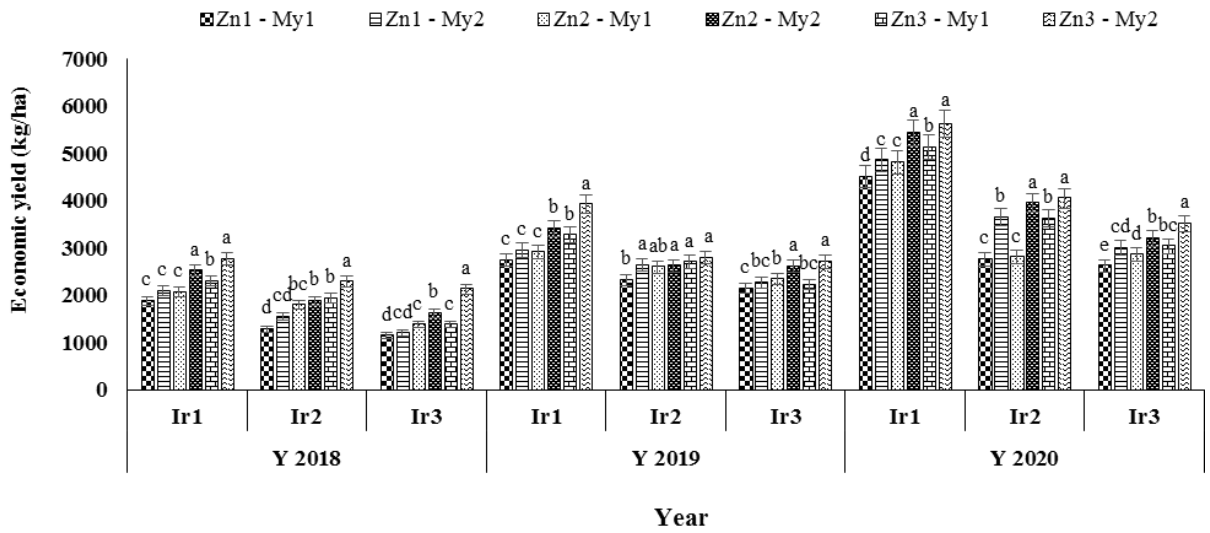
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد اقتصادی		
		سال اول	سال دوم	سال سوم
تکرار	۲	۵۳۶۰ ns	۲۰۹۱۲ ns	۲۰۸۸۷ ns
رژیم آبیاری (A)	۲	۲۹۱۱۰۱۱**	۳۱۷۸۷۶۵**	۲۰۳۸۶۴۱۶**
خطای ۱	۴	۴۳۷۶۰۹	۴۷۲۲۷۰	۴۷۱۵۸۳
محلول‌پاشی سولفات‌روی (B)	۲	۱۶۹۱۲۹۳**	۸۲۷۹۹۵**	۱۶۱۰۶۷۶**
مایکوریزا (C)	۱	۱۳۴۳۳۲۰**	۱۱۹۸۵۵۶**	۴۳۵۶۵۶۰**
(B) × (A)	۴	۹۸۴۰ ns	۱۳۹۸۹۱**	۵۰۸۳۶*
(C) × (A)	۲	۲۴۹۳۷ ns	۱۰۵۳۵۹**	۲۱۱۴۲۰**
(C) ×(B)	۲	۱۴۸۳۳۶**	۴۲۷۴۱ ns	۶۸۴۸۹*
(C) ×(B) ×(A)	۴	۵۴۵۸۲*	۵۶۲۸۹*	۸۳۷۷۶**
خطای ۲	۳۰	۱۶۵۳۳	۱۵۸۷۶	۱۵۹۱۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۹۸	۴/۶۱	۳/۲۷

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار شدن در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و معنی‌دار نشدن، است.**

محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در سال‌های اول و دوم در سطح احتمال ۵ درصد و در سال سوم در سطح احتمال ۱ درصد بر عملکرد اقتصادی در گیاه گل راعی معنی‌دار شد (جدول ۵)، نتایج مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سولفات روی و قارچ مایکوریزا در هر سطح رژیم آبیاری برای عملکرد اقتصادی در گیاه گل راعی حاکی از آن بود، که در تمام سطوح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری) در هر سه سال بیشترین عملکرد اقتصادی گیاه در تیمار محلول‌پاشی ۶ در هزار سولفات روی همراه با تلقیح قارچ میکوریزا و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد محلول‌پاشی و بدون تلقیح میکوریزا به دست آمده است. به‌طورکلی افزایش تنش آبیاری در هر سه سال باعث کاهش عملکرد اقتصادی گیاه گل راعی شده است، ولی محلول‌پاشی روی همراه تلقیح با قارچ مایکوریزا سبب افزایش عملکرد اقتصادی و تعدیل تنش آبی شده است. همچنین بخشی از تغییرات عملکرد اقتصادی در سال‌های مختلف را جدا از تأثیر افزایشی کاربرد روی و مایکوریزا می‌توان به چند ساله بودن گیاه گل راعی و افزایش بنیه آن در سال سوم نسبت داد (شکل ۸).

پژوهش‌های انجام‌شده برروی گیاهان در شرایط تنش خشکی نشان داده است که هم‌زیستی گیاهان با قارچ مایکوریزا، سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان و همچنین کمک به افزایش مقاومت محصولات زراعی در برابر شرایط تنش خشکی می‌گردد (Liu *et al.*, 2015). چنان که Richter و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق بر گیاه گل‌راعی گزارش کردند، که گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا در مقایسه با گیاهان غیرمایکوریزایی افزایش عملکرد داشتند Jalil Sheshbahreh و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند، که در شرایط تنش خشکی جذب مواد مغذی اطراف ریشه گیاه سرخارگل (*E. purpurea*) به دلیل فشار اسمزی کاهش می‌یابد، اما کاربرد میکروارگانیسم‌های مفید خاک جذب مواد مغذی و عملکرد اقتصادی را افزایش می‌هد. قارچ‌های گلوموس در بین میکروارگانیسم‌هایی که محیط اطراف ریشه را اشغال می‌کنند، منحصر به‌فرد بوده و با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی که اصطلاحاً همزیستی مایکوریزایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]



شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه رژیم آبیاری (۱۰۰٪ نیاز آبیاری Ir1، ۷۵٪ نیاز آبیاری Ir2 و ۵۰٪ نیاز آبیاری Ir3)، محلول‌پاشی سولفات روی (غلظت صفر Zn1، غلظت ۳ در هزار Zn2 و غلظت ۶ در هزار Zn3) و قارچ مایکوریزا (تلقیح‌نشده My1 و تلقیح‌شده My2) بر عملکرد اقتصادی در گیاه گل‌راعی. در هر مقایسه میله‌های دارای حروف یکسان، تفاوت معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد ندارند.

گفته می‌شود، موجب افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف همچون روی و مس، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماریزا شده و سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (جهان و نصیری محلاتی، ۱۳۹۲). البته بر اساس نظر محققین هم در محیط‌های پرتنش و هم در محیط‌های بدون تنش AMF مواد مغذی ضروری گیاه میزبان را فراهم می‌کند، در نتیجه رشد و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Begum *et al.*, 2019). همچنین کاربرد عناصر ریز مغذی از جمله روی نیز منجر به گسترش وسیع ریشه و توانایی گیاه برای استفاده از محیط وسیع‌تری در خاک می‌گردد. رابطه مستقیمی بین وجود مقدار کافی روی و تولید آنزیم کربونیک آنیدراز وجود دارد، این آنزیم نقش مهمی در فعالیت فتوسنتز دارد و باعث افزایش تولید کربوهیدرات و درنتیجه عملکرد گیاه می‌شود (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲). کمبود روی باعث کاهش رشد و گلدهی گیاه می‌شود و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (Fang *et al.*, 2008). همسو با این پژوهش لباسچی و همکاران (۱۳۸۲) در آزمایشی در گیاه گل‌راعی (*Hypericum perforatum* L.) نیز اظهار کردند، که آبیاری کامل باعث افزایش عملکرد زیستی و تنش خشکی ملایم و شدید باعث کاهش عملکرد کیفی و کمی گل راعی می‌گردد. در تحقیق (احمدیان و همکاران، ۱۳۸۹) بر گیاه بابونه (*Matricaria chamomile*) نیز با افزایش سطح تنش خشکی از ۹۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد زیستی بابونه ۱۸/۱ درصد کاهش یافت. رضاپور و همکاران (۱۳۹۰) در آزمایشی بر گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کردند، که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد اقتصادی گیاه می‌گردد. مشابه با نتایج حاصل از این پژوهش Pirzad و Mohammadzadeh (۲۰۱۸) در تحقیق خود بر گیاهان اسطوخودوس، رزماری و آویشن (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*) تحت رژیم‌های آبیاری مختلف گزارش کردند، که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد اقتصادی گیاهان تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده گردید، اما تلقیح با قارچ مایکوریزا در کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی بسیار مؤثر است. ریاضی و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان دادند، که سولفات روی در تأمین و ایجاد تعادل بین عناصر غذایی بسیار مؤثر است و به‌تنهایی یا در ترکیب با رژیم‌های آبیاری معین می‌تواند در بهبود عملکرد و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

کیفیت گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) تأثیری مثبت داشته باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد، که برهمکنش سه‌گانه رژیم‌های آبیاری+ محلول‌پاشی+ مایکوریزا در هر سه سال اثری معنی‌دار بر محتوای کلروفیل، پرولین، قندهای محلول، مالون دی‌آلدهید و عملکرد اقتصادی داشت. افزایش تنش آبیاری اثری کاهنده بر محتوای کلروفیل، عملکرد اقتصادی و محتوای آب نسبی برگ داشت، اما بر پرولین، قندهای محلول و مالون دی‌آلدهید اثری افزایشی داشت. از سوی دیگر محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا نیز در هر سطح تنش آبیاری سبب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل، قندهای محلول و مالون دی‌آلدهید، محتوای آب نسبی برگ و عملکرد اقتصادی در گیاه گل‌راعی گردید، ولی محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا در هر سطح تنش بر پرولین اثری کاهشی داشت. استفاده از محلول‌پاشی سولفات روی و کاربرد خاکی قارچ مایکوریزا با ارتقاء کمی و کیفی صفات بیوشیمیایی احتمالاً سبب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش مقاومت گیاه و تعدیل شرایط تنش خشکی در گیاه گل راعی می‌گردد. با توجه به اینکه در کشاورزی نوین آب یکی از محدودکننده‌ترین عوامل در تولید محصول به‌شمار می‌آید، نتیجه‌گیری می‌شود، که استفاده از تیمارهای تعدیل‌کننده تنش خشکی از جمله سولفات روی و مایکوریزا می‌تواند در تولید پایدار گیاه دارویی گل‌راعی بسیار مفید و مؤثر واقع گردد. پیشنهاد می‌گردد، در مطالعات آینده سطوح تنش آبی بیشتری اعمال گردد. همچنین سایر گونه‌های مایکوریزا و یا کودهای زیستی همراه با محلول‌پاشی عناصر میکرو در جهت بهره‌وری بیشتر آب مورد مطالعه قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاسگزاری خود را از مسئولان ایستگاه تحقیقـات کشاورزی و منابع طبیعی چم‌خانی یاسوج و همچنین مسئولان آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج که در انجام این تحقیق همکاری داشته‌اند، ابراز می‌دارند.

منابع

احمدیان، احمد، قنبری، احمد، سیاهسر، براتعلی، حیدری مصطفی، رمرودی، محمود، و موسوی نیک، سیدمحمود (۱۳۸۹). اثر بقایای کود شیمیایی، دامی و کمپوست بر عملکرد، اجزای عملکرد، برخی خصوصیات فیزیولوژیک و میزان اسانس بابونه تحت شرایط تنش خشکی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۸۸ (۴)، ۶۶۸ -۶۷۶. https://www.sid.ir/paper/461146/fa

اصل محمدی، زینب، محمدخانی، نیر، و ثروتی، مسلم (۱۴۰۰). اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی تحت کمبود نیتروژن (*Thymus vulgaris* L.). *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۴(۳). Dor:20.1001.1.23832592.1400.34.3.7

اکبرزاده مقدم سه قلعه، هادی، و مطلبیان، مهدی (۱۳۸۹). تعیین نیاز آبی گیاه گوجه با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT version8i. مهندسی آب، دانشگاه زابل، ایران.

امیدی، حشمت، موحدی پویا، فرهاد، و موحدی پویا، شادی (۱۳۹۰). اثر هورمون سالسیلیک اسید و خراش‌دهی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و محتوی پرولین، پروتئین و کربوهیدرات محلول گیاهچه کهورک (*Prosopis farcta* L.) در شرایط شوری. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۸(۴)، ۶۰۸-۶۲۳. https://sid.ir/paper/107153/fa

ایلخان، لاله، صداقتی، ابراهیم، رحیم‌زاده بهزادی، حمید، و حاتمی، نرگس (۱۴۰۲). تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی و جذب برخی از عناصر غذایی پیازچه (*Allium fistulosum*). *فرآیند و کارکرد گیاهی*،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0 .۱۳۲-۱۵۲ ،(۶۵)۲۱

پناهیان کیوی، مهدی (۱۳۹۸). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سولفات روی بر برخی صفات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و عملکرد روغن گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۰(۲)، ۱۰۱-۱۱۶. DOI: 10.22059/ijfcs.2018.259655.654484

جهان، محسن، و نصیری محلاتی، مهدی (۱۳۹۲). حاصلخیزی خاک و کودهای بیولوژیک (رهیافتی اگرواکولوژیک). جلد ۱، دانشگاه فردوسی مشهد. https://press.um.ac.ir/index.php?option=com_k2&view=item&id=264:f-603&Itemid=714&lang=fa

حق‌شناس، رضا، شرفی، سوران، و قلی‌نژاد، اسماعیل (۱۳۹۹). تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و میکوریزا بر عملکرد ارقام گلرنگ. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۰ (۲)، ۹۱-۳۹. Dor: 20.1001.1.24764310.1399.30.2.6.9

رضاپور علیرضا، حیدری، مصطفی، گلوی، محمد، و رمرودی، محمود (۱۳۹۰). تأثیر تنش خشکی و مقادیر مختلف کود گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و (*Nigella sativa* L.) تنظیم‌کننده‌های اسمزی در گیاه دارویی سیاه دانه. *فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۷(۳)، ۳۹۶-۳۸۴. DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6380

رضایی‌نیا، مریم، بی‌همتا، محمدرضا، پیغمبری، سیدعلی، و عباسی، علیرضا (۱۳۹۸). تأثیر تنش خشکی بر فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و صفات فیزیولوژیکی در ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.). *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۱(۳۰)،۱۱-۲۲. DOI: 10.29252/jcb.11.30.11

ریاضی، پریا، نجات‌زاده، فاطمه، و ولیزادگان، ابراهیم (۱۳۹۵). تأثیر آبیاری و تغذیه روی بر رشد و میزان عملکرد اسانس گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.). *مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی و مولکولی*. ۶(۲۲)، ۳۵-۴۰. DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.5.0

صاحب حسن، مهدی، سلاح ورزی، یحیی، نباتی، جعفر، و عزیزی، مجید (۱۳۹۹). تأثیر تنش خشکی و برخی کودهای زیستی (باکتری *Pseudomonas fluorescens*، باکتری *Azotobacter chroococcum* و قارچ مایکوریز) بر رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و برخی صفات فیزیوشیمیایی گل همیشه‌بهار. *فرآیند و کارکرد گیاهی*. ۹(۳۶)، ۱۳۵-۱۵۲. URL: http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1138-fa.html

صنایعی، سارا، برمکی، مرتضی، عبادی خزینه قدیم، علی، و ترابی گیگلو، موسی (۱۳۹۹). اثر تنش خشکی و تلقیح قارچ‌های میکوریزا و باکتری سودوموناس بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک چای‌ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.). *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۹۳(۲)، ۷۱-۸۹. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.2.5.8

غریبی، شیما، سیدطباطبایی، بدرالدین، سعیدی، قدرت‌الله، گلی، سیدامیرحسین، و طالبی، مجید (۱۳۹۱). اثر تنش خشکی بر برخی صفات فیزیولوژیک و آنتی‌اکسیدانی بومادران بیابانی (*Achillea tenuifolia*). *فصلنامه داروهای گیاهی*، ۳، ۱۹۰-۱۸۱. https://journals.iau.ir/article_633226_2a4dbab2bce13d7837e2cd8c4f4e2a50.pdf

لباسچی، محمدحسین، شریفی عاشورآبادی، ابراهیم، و مظاهری، داریوش (۱۳۸۲). اثرات تنش خشکی بر تغییرات ماده مؤثر گل راعی، هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات کرج، ایران. https://civilica.com/doc/318291

مزارعی، ایوب، سیروس مهر، علیرضا، و بابایی، زهرا (۱۳۹۶). تأثیر قارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی خارمریم تحت تنش خشکی. *دوماهنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۳(۴)، ۶۳۵-۶۲۰. DOI: 10.22092/ijmapr.2017.107860.1877

موحدی دهنوی، محسن، مدرس ثانوی، سیدعلی محمد، سروش‌زاده، علی، و جلالی، مختار (۱۳۸۵). اثر محلول‌پاشی عناصر کم مصرف روی و منگنز بر عملکرد و اجزا عملکرد سه رقم گلرنگ پاییزه تحت تنش خشکی در منطقه اصفهان. هشتمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. https://icsc.areeo.ac.ir/article_36102.html

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

موسوی، شقایق‌السادات، اسدی صنم، سمانه، و پژمان مهر، مریم (۱۳۹۸). تغییرات ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی و عملکرد اسانس برگ و گل سرخارگل (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) با کاربرد برگی سدیم نیتروپروساید (SNP) تحت تنش خشکی. *علوم باغبانی ایران*، ۵۰(۲)، ۳۷۵-۳۹۱. DOI: 10.22059/ijhs.2019.279558.1630

نصیری، یوسف، زهتاب، سعید، سلماسی، صفر، نصراله‌زاده، کاظم، قاسمی‌گلعذانی، نجفی، نصرت‌اله، و جوانمرد، عبداله (۱۳۹۲). ارزیابی اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد گل و غلظت عناصر غذایی در بخش هوایی بابونه آلمانی. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۳(۳)، ۱۰۵-۱۱۵. https://civilica.com/doc/1618869

Abdi, N., van Biljon, A., Steyn, C., & Labuschagne, M. T. (2021). Bread wheat (*Triticum aestivum*) responses to arbuscular mycorrhizae inoculation under drought stress conditions. *Plants, 10,* 1756. https://doi.org/10.3390/plants10091756

AbdollahiArpanahi, A., Feizian, M., Mehdipourian, G., & NamdarKhojasteh, D. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improved essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology, 100*. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217

Alavi-Samani, S. M., Ghasemi Pirbalouti, A., Ataei Kachouei, M., & Hamedi, B. (2013). The influence of reduced irrigation on herbage, essential oil yield and quality of *Thymus vulgaris* and *Thymus daenensis*. *Journal of Herbal Drugs*, 4, 109-113.

Allen, R. G., Raes, L. S., & Smith, D. M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (Irrigation and Drainage Paper 56). https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology, 24*, 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, 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. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.022

Bangar, P., Chaudhury, A., Tivari, B., Kumar, S., Kumar, R., & Bhat, V. K. (2019). Morphophysiological and biochemical response of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) varieties at different developmental stages under drought stress. *Turkish Journal of Biology, 43*, 58-69. doi:10.3906/biy-1801-64

Barnes, J., Anderson, L. A., & Phillipson, J. D. (2001). St John's wort (*Hypericum perforatum* L.): A review of its chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology, 53*, 583-600. DOI: 10.1211/0022357011775910

Bayer, C. (2007). Proper proline management needed for effective results. *Journal of Medicinal Chemistry, 18* (3), 10-25.

Begum, N., Ahanger, M. A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N. S. A., Ahmad, P., & Zhang, L. (2019). Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. *Plants, 8*(12), 579. doi:10.3390/plants8120579

Benitez, J. S. C., Hernandez, T. E., Sundararajan, R., Sarwar, S., Arriaga, A. J., Khan, A. T., Matayoshi, A., Quintanilla, H. A., Kochhar, H., Alam, M., Mago, A., Hans, A., & Benitez, G. A. (2022). Advantages and disadvantages of using St. John's wort as a treatment for depression. *Cureus, 14*(9), e29468. DOI 10.7759/cureus.29468

Bennett, A. E. & Classen, A. T. (2020). Climate change influences mycorrhizal fungal–plant interactions, but conclusions are limited by geographical study bias. *Ecology, 101*(4), e02978. https://doi.org/10.1002/ecy.2978

Chandrasekaran, M. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: a meta-analysis. *Journal of Fungi, 8*, 660. DOI: 10.3390/jof8070660

Cicek, N. & Cakirlar, H. (2002). The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of plant Physiology, 28(2),* 66-74. https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45%20vvffcz55))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2885355

Claussen, W. (2005). Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science, 168*, 241-248. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.039

Coste, A., Pop, C., Halmagyi, A., & Butiuc-Keul, A. (2020). Plant Cell and Tissue Differentiation and Secondary Metabolites, Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-30185-9_9

Deepika, S. & Kothamasi, D. (2015). Soil moisture-a regulator of arbuscular mycorrhizal fungi community assembly and symbiotic phosphorus uptake. *Mycorrhiza, 25*(1), 67-75. DOI: 10.1007/s00572-014-0596-1

Emami Bistgani, Z., Siadat, A., Bakhshandeh, M., Ghasemi Pirbalouti, A., & Hashemi, M. (2017). Interactive effects of

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of (*Thymus daenensis* Celak.). *Crop Journal*, *5*(5), 407-415. https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003

Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., & Hu, Q. (2008). Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 56*, 2079-2084. DOI: 10.1021/jf800150z

FAO. (1992). CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome. https://ia600205.us.archive.org/31/items/bub_gb_p9tB2ht47NAC_2/bub_gb_p9tB2ht47NAC. pdf

Finkelstein, R. R. & Gibson, S. I. (2001). ABA and sugar interactions regulating development: Cross-talk or voices in a crowd. *Current Opinion in Plant Biology, 5*, 26-32. https://doi.org/10.1016/S1369-5266(01)00225-4

Gupta, A., Rico-Medina, A., & Cano-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science, 368*, 266-269. DOI: 10.1126/Sci.aaz7614

Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Hassan Elharchli, E., & Joutei, K. A. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L.). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *2*, 10. https://doi.org/10.1186/s40538-015-0035-3

Heath, R. L. & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics, 125*, 189-198. DOI: https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1

Irigoyen, J. J, Emerich, D. W., & Sanchez, D. M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum, 84*, 55-60. http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x

Isacchi, B., Bergonzi, M. C., Carnevali, F., Esch, S. A, Vincieri, F. F., & Bilia, A. R. (2007). Analysis and stability of the constituents of St. Johns wort oils prepared with different methods. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 45*, 756-761. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2007.08.025

Jalil Sheshbahreh, M., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., & Bahreininejad, B. (2019). Effect of irrigation regimes and nitrogen sources on biomass production, water and nitrogen use efficiency and nutrients uptake in coneflower (*Echinacea purpurea* L.). *Agricultural Water Management, 213*, 358-367. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.011

Joorabi, S., Eisvand, H. R., Ismaili, A., & Nasrolahi, A. (2020). Zno affects soybean grain yield, oil quality, quality and leaf antioxidant activity in drought stress conditions. *Plant Process and Function*, *8*(34), 61-70. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1141-fa.html

Karami, S., Modarres-Sanavy, A. M., Ghanehpour, S., & Keshavarz, H. (2016). Effect of foliar zinc application on yield and, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. *Notulae Scientia Biologicae, 8*, 181-191. DOI:10.15835/nsb829793

Karimi, S., Abbaspour, H., Sinaki, J. M., & Makarian, H. (2012). Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars castor bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 8*, 160-169. C:/Users/Parsa/Downloads/Effects_of_Water_Deficit_and_Chitosan_Spraying_on_pdf

Kaya, C. & Higgs, D. (2002). Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae, 93*, 53-64. http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00310-7

Kaya, C., Higgs, D., & Kernak, H. (2001). The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorusand potassium on physiology and nutrition development of development of spinach. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, 27*, 47-59. https://www.researchgate.net/publication/228876941

Khan, H. R., McDonald, G. K., & Rengel, Z. (2004). Zinc fertilization and water stress affects water relations, stomatal conductance and osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant and Soil, 8*, 267-284. DOI:10.1007/s11104-005-0120-7

Kobraee, S., Shamsi, K., & Rasekhi, B. (2011). Effect of micronutrients application on yield and yield components of soybean. *Annals of Biological Research, 2*(2), 476-482. https://www.researchgate.net/publication/260094909

Kong, W., Liu, F., Zhang, C., Zhang, J., & Feng, H. (2016). Non-destructive determination of malondialdehyde (MDA) distribution in oilseed rape leaves by laboratory scale NIR hyperspectral imaging. *Scientific Reports, 6*, 35393. https://doi.org/10.1038/srep35393

Liu, T., Sheng, M., Wang, C. Y., Chen, H., Li, Z., & Tang, M. (2015). Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery. *Photosynthetica*, *53*(2), 250-258. https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-015-0100-y

Menegazzi, M., Masiello, P., & Novelli, M. (2021). Anti-tumor activity of *Hypericum perforatum* L. and hyperforin through modulation of Inflammatory signaling, ROS generation and proton dynamics. *Antioxidants, 10*(1), 1-25. https:// dx.doi.org/10.3390/antiox10010018

Mishra, A. & Choudhuri, M. A. (1999). Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

mediated by lipoxygenase in rice. *Biologia Plantarum, 42,* 409-415. 10.1023/A:1002469303670

Murillo-Amador, B., Cordoba-Matson, M. V., Villegas-Espinoza, J. A., Hernandez-Montiel, Troyo-Dieguez, E., & Garcia-Hernandez, J. L. (2014). Mineral content and biochemical variables of *Aloe vera* L. under salt stress. *PLOS One, 15,* 9. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094870

Parra-Lobato, M. C., Fernandez-Garcia, N., Olmos, E., Alvares-Tinaut, M., & GomezJimenez, C. (2009). Methyl jasmonate-induced antioxidant defence in root apoplast from sunflower seedlings. *Environmental and Experimental Botany, 66,* 9-17. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.01.002

Piotrowska, A., Bajguz, A., GodlewskaZylkiewicz, B., & Czerpak, R. (2009). Jasmonic acid modulator of lead toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (Lemnaceae). *Environmental and Experimental, 66,* 507-513. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.019

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. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.020

Pitman, M. G. & Lauchli, A. (2002). Global impact of salinity and agricultural ecosystems. *Salinity: Environment Plants Molcules,* 3-20. http://dx.doi.org/10.1007/0-306-48155-3_1

Richter, J., Baltruschat, H., Kabrodt, K., & Schellenberg, I. (2011). Impact of arbuscular mycorrhiza on the St. John's wort (*Hypericum perforatum*) wilt disease induced by Colletotrichum cf. gloeosporioides. *Journal of Plant Diseases and Protection, 118,* 109-118. http://dx.doi.org/10.1007/BF03356390

Robert, M. Auge, (2001). Water relation, drought and VA mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza, 11*(1), 3-42. DOI:10.1007/s005720100097

Salloum, M. S., Insani, M., Monteoliva, M. I., Menduni, M. F., Silvente, S., & Carrari, F. (2019). Metabolic responses to arbuscular mycorrhizal fungi are shifted in roots of contrasting soybean genotypes. *Mycorrhiza, 29,* 459-473. https://doi.org/10.1007/s00572-019-00909-y

Samira, R. K., Rao, K. V., & Saivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress; antioxidant activity and osmolyte concentration. *International Journal of Plant Sciences, 163,* 1037-1046. http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9

Sheteiwy, M. S., Fathi Ismail Ali, D., Xiong, Y. C., Brestic, M., Skalicky, M., Alhaj Hamoud, Y., Ulhassan, Z., Shaghaleh, H., AbdElgawad, H., Farooq, M., Sharma, A., & El-Sawah, A. M. (2021). Physiological and biochemical responses of soybean plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and Bradyrhizobium under drought stress. *BMC Plant Biology, 21,* 195. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02949-z

Siddique, I., Shah, T., Ali, A., Ahmad, I., D'amato, R., & Munsif, F. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and biofilm forming bacteria act synergistically to modulate proline metabolism, antioxidant defense system and aquaporin genes expression under drought stress. *Preprints,* 1-32. DOI: 10.20944/preprints 202208.0133.v1

Silva, M. A., Jifon, J. L., Da Silva, J. A. G., & Sharma, V. (2007). Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane, Brazil. *Journal of Plant Physiology, 19,* 193-201. http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000300003

Simon-Sarkadi, L., Kocsy, G., Varhegyi, A., Galiba, G., & Deronde, J. A. (2006). Effect of drought stress at supraoptimal temperature on polyamine concentrations in transgenic coriander with increased proline levels. *Indian Journal of Medical Research, 61*(11), 833-839. http://dx.doi.org/10.1515/znc-2006-11-1211

Smith, M. & Kivumbi, D. (2004). Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies. joint FAO/IAEA division. FAO Deficit Irrigation Practices. *Water Reports, 22,* 17-27. https://www.fao.org/3/Y3655E/y3655e05.htm#e

Sreenivasulu, N., Harshavardhan, V. T., Govind, G., Seiler, C., & Kohli, A. (2012). Contrapuntal role of ABA: Does it mediate stress tolerance or plant growth retardation under long-term drought stress? *Gene, 506,* 265-27. doi: 10.1016/j.gene.2012.06.076

Stuart, D. L. & Wills, R. B. (2003). Effect of drying temperature onalkylamide and cichoric acid concentrations of *Echinacea purpurea*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51,* 1608-1610. DOI: 10.1021/jf026213k

Sun, P., Kang, T., Xing, H., Zhang, Z., Yang, D., Zhang, J., Pare, P. W., & Li, M. (2018). Phytochemical changes in aerial parts of *Hypericum perforatum* at different harvest stages. *Records of Natural Products, 13*(1), 1-9. http://doi.org/10.25135/rnp.77.18.04.267

Torun, H., Eroghlu, E., Yalcin, V., & Usta, E. U. (2021). Physicochemical and antioxidant responses of St. john's wort (*Hypericum perforatum* L.) under drought stress. *Duzce University Journal of Science and Technology, 9,* 40-50. https://doi.org/10.29130/dubited.847860

Yamada, K. & Osakabe, Y. (2018). Sugar compartmentation as an environmental stress adaptation strategy in plants. *Seminars in Cell and Developmental Biology, 83,* 106-114. DOI: 10.1016/j.semcdb.2017.12.015

Zan, M. J., Chang, H. W., Zhao, P. L., & Wei, J. G. (2007). Physiological and ecological characters studies on *Aloe vera* under soil salinity and seawater irrigation. *Process Biochemistry, 42,* 710-714. http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2006.11.002

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gomez-Aparisi, J., Betran, J. A., & Moreno, M. A. (2005). Influence of Almond peach hybrids root stocks on flower and leaf mineral concentration, yield, vigor of two peach cultivars. *Scientia Horticulturae, 106*, 502-514. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.04.011

Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tianc, C., & Guo, J. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. *Industrial Crops and Products, 117*, 13-19. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.087

Zirak, N., Shafiee, M., Soltani, G., Mirzaei, M., & Sahebkar, A. (2019). *Hypericum perforatum* in the treatment of psychiatric and neurodegenerative disorders: Current evidence and potential mechanisms of action. *Journal of Cellular Physiology, 234*, 8496-8508. https://doi.org/10.1002/jcp.27781

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]

Evaluation of the effect of mycorrhizal fungus and zinc sulfate foliar application on some physiological and biochemical traits and economic yield of *Hypericum perforatum* L. under different irrigation regimes

Goodarz Bagherifard[1], Amin Salehi[*1], Mohsen Movahedi Dehnavi[1], Mohammad Sedghi Asl[1] and Alireza Yadavi[2]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

[2] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

(Received: 2023/12/09, Accepted: 2024/01/22)

Abstract

St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) is a medicinal plant that is more than 2000 years old. Drought stress is one of the most limiting environmental factors in the growth and production of plants. Plant symbiosis with mycorrhiza fungi and foliar spraying of essential elements can be one of the most effective solutions to deal with drought stress. This research also aims to evaluate the effect of mycorrhizal fungus and zinc sulfate foliar spraying on some biochemical traits and economic yield in St. John's wort under different irrigation regimes in a split factorial experiment with a basic randomized complete block design in three repetitions carried out during the three cropping years of 2018, 2019 and 2020. The main factor is irrigation regimes at three levels (100, 75 and 50% of irrigation needs); sub-factors were $ZnSO_4$ foliar spraying at three levels (0, 3 and 6 per thousand) and inoculation with an AMF (*Funneliformis mosseae*) at two levels (inoculated and uninoculated). The results showed that the triple interaction of irrigation regimes + foliar spraying + mycorrhiza in all three years had a significant effect on chlorophyll content, proline, soluble sugars, malondialdehyde and economic yield. Increasing irrigation stress had a reducing effect on chlorophyll content, economic yield, and the relative water content of leaves, but on proline, soluble sugars and malondialdehyde had an increasing effect. At each stress level, the highest economic yield was obtained in the treatment of 6 per thousand foliar spraying + inoculation with mycorrhizal fungi. Generally, foliar spraying of zinc sulfate + mycorrhiza increased the content of chlorophyll, sugar solvents and the relative water content of the leaf, caused the adjustment of the stress conditions and increased the resistance of the plant against drought, and by improving the quantitative and qualitative biochemical traits, it increased the economic yield of the St. John's wort plant.

Keywords: Proline, Drought stress, Chlorophyll, *Hypericum perforatum*

Corresponding author, Email: aminsalehi@yu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-19]