



تأثیر نانوکلات روی و مایکوریزا بر خصوصیات بیوشیمیایی برگ و عملکرد ریشه چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) تحت تیمارهای آبیاری

Effect of zinc nano- chelate and mycorrhizae on biochemical properties of leaf and root yield in sugar beet (*Beta vulgaris*. L) under irrigation treatments

ایرج گلابی لک^۱، تورج میرمحمودی^{۲*} و حمزه حمزه^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2022.353733.1267

۱. گلابی لک، ت. میرمحمودی و ح، حمزه. ۱۴۰۰. تأثیر نانو کلات روی و مایکوریزا بر خصوصیات بیوشیمیایی برگ و عملکرد ریشه چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) تحت تیمارهای آبیاری. چغندرقد، ۳۷(۱): ۷۵-۸۶

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد نانوکلات روی و مایکوریزا بر خصوصیات بیوشیمیایی برگ و عملکرد ریشه چغندرقد تحت سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری بعد از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از طشتک کلاس A در کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی (شاهد، تلقیح با مایکوریزا، نانوکلات روی و نانوکلات روی + مایکوریزا) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در این تحقیق تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر در مقایسه با تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر مقدار کلروفیل a، (۱۷/۰۱ درصد)، کلروفیل b (۸/۰۹ درصد)، کاروتنوئید (۲۸/۷۸ درصد) و مهار آنزیم سوپراکسید (۳۱/۱۴ درصد) را کاهش و محتوی فلاونوئید برگ (۲۵/۴۷ درصد) را افزایش داد. در بین تیمارهای کودی، تیمار نانوکلات روی + مایکوریزا بالاترین محتوی کلروفیل a، (۹/۳۰ میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل b (۳/۸۴ میلی‌گرم بر گرم)، محتوی کاروتنوئید (۳/۹۴ میلی‌گرم بر گرم) و مهار آنزیم سوپراکسید (۳۳/۵۳ درصد) را به خود اختصاص داد. اثر متقابل آبیاری و کود در تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر همراه با تیمار کودی نانو کلات روی + مایکوریزا بالاترین محتوی مهار رادیکال نیتریک اسید (۲۳/۴۵ درصد) و عملکرد ریشه (۸۲/۶۲ تن در هکتار) و کم‌ترین محتوی پرولین برگ (۰/۴۹ میلی‌گرم بر گرم) و محتوی فنل برگ (۳۴/۱۹ میلی‌گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک) را به خود اختصاص داد. در این مطالعه کاربرد مایکوریزا به خصوص در شرایط کم‌آبی از طریق بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت توانست اثر تنش کم‌آبی را بر عملکرد ریشه تعدیل نموده و عملکرد ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدانت، عملکرد ریشه، کلروفیل، کم‌آبی، کود زیستی



۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران. * - نویسنده مسئول: toraj73@yahoo.com

۳- استادیار بخش تحقیقات چغندرقد، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

مقدمه

چغندر قند یکی از محصولات مهم ریشه‌ای و منبع اصلی شکر در مناطقی با آب و هوای معتدل است. در سال ۲۰۱۸ سطح زیر کشت و مقدار تولید آن در جهان به ترتیب $۴/۸ \times ۱۰^۶$ هکتار و $۲/۷ \times ۱۰^۸$ تن برآورد شد (FAO 2019). عملکرد چغندر قند به شدت به شرایط اقلیمی در طول فصل رشد بستگی دارد (Mirzaei and Abdollahian- Noghabi 2012). از این رو تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده تولید چغندر قند در جهان به شمار می‌رود؛ به طوری که در مواردی میزان عملکرد این گیاه را تا بیش از ۴۰ درصد کاهش می‌دهد (Putnik-Delic *et al.* 2013). تحمیل تنش آبی در مراحل اولیه نمو چغندر قند نه تنها از رشد و توسعه برگ‌ها ممانعت می‌نماید، بلکه رشد ریشه را به صوت قابل توجهی کاهش می‌دهد (Chołuj *et al.* 2014). علاوه بر این، تنش رطوبتی می‌تواند تجمع ماده خشک (DM)، شاخص سطح برگ (LAI) و سرعت رشد محصول (CGR) چغندر قند را به طور زیانباری تحت تأثیر قرار داده و از این طریق عملکرد ریشه و شکر را کاهش دهد (Abayomi and Wright 2002). خوزایی و همکاران (Khozaei *et al.* 2020) اظهار داشتند بین تیمارهای آبیاری از لحاظ درصد قند خالص و عملکرد قندخالص اختلاف معنی‌دار وجود داشت، در بررسی آنها بالاترین عملکرد ریشه (با متوسط $۸۴/۶۰$ تن در هکتار) و عملکرد قندخالص ($۱۱/۰۸$ تن در هکتار) در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری گزارش شد. تنش محیطی غیرزیستی علاوه بر کاهش محصولات کشاورزی، سبب از بین رفتن تعادل بین گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و دفاع آنتی‌اکسیدانی در بخش‌های مختلف گیاه می‌شود (Taherkhanchi *et al.* 2014; Alaeimoghadam *et al.* 2019). گونه‌های فعال اکسیژن به طور بالقوه دارای پتانسیلی است که با بسیاری از ترکیبات سلولی واکنش می‌دهد و سبب خسارت به غشا و سایر ماکرو مولکول‌های ضروری از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شود (Bai and Sui 2006).

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای مقابله با کم‌آبی و تنش‌های خشکی در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است، استفاده از ریز موجودات مفید خاکزی می‌باشد (Song 2005). از مهم‌ترین این ریز موجودات، می‌توان به قارچ‌های مایکوریز آریسکولار اشاره کرد. همزیستی مایکوریزی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین روابط همزیستی در سلسله گیاهی است، به طوری که اکثر گیاهان حداقل یکی از تیپ‌های مایکوریزی را دارا هستند (Koide and Mosse 2004).

یکی از اثرات مهم تنش خشکی بر هم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (Paygzar *et al.* 2009). امروزه با بهره‌گیری از فناوری نانو طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رسانیدن هزینه‌های حفاظت از محیط‌زیست، پیش روی انسان گشوده شده است (Pandey *et al.* 2010). وجود عنصر روی برای تحریک فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان امری ضروری است؛ به طوری که اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی در گیاهان رخ خواهد داد (Baybordi 2006). جوانمرد و همکاران (Javanmard *et al.* 2018) در تحقیقی بر روی چغندر قند نشان دادند، بیشترین و کمترین میزان عملکرد ریشه و شاخص کلروفیل به ترتیب در تیمارهای نانوکلات NPK+ نانوکلات آهن+ نانوکلات روی حاصل شد. همچنین بیشترین عملکرد قندخالص و خالص با کاربرد نانوکلات NPK+ نانوکلات میکرو کامل+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و مطالعه خلیلی و حمزه (Khalili and Hamze 2020) هرچند بالاترین عملکرد ریشه در چغندر قند به تیمار کاربرد سوپر جاذب و تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت اما کاربرد سوپر جاذب +

قارچ حاوی حدود ۳۰۰ اسپور زنده بود) (Khalili and Hamze, 2020). محلول پاشی نانوکلات روی بر اساس دستورالعمل توصیه شده شرکت سازنده (دانش بنیان صدور احرار شرق ثبت به شماره ۲۰۳۳۶۹) با غلظت ۱/۵ در هزار در دو مرحله بعد از اعمال تنش کم آبی و در مرحله ۱۲ برگی و مرحله ۲۰ برگی انجام گرفت، نانوکود کلات مورد استفاده شده حاوی ۱۲ درصد عنصر روی خالص کلاته شده بود. بر اساس توضیحات شرکت سازنده، در طراحی و سنتز نانوکود کلات روی از فن آوری نانو چیلاتینگ بهره برده شده بود که به صورت پودری و کاملاً محلول در آب بوده که به دلیل ساختار منحصر به فرد خود می تواند به راحتی از طریق خاک و برگ جذب می شود. جهت جلوگیری از سوختگی برگ ها، محلول پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. برای حذف اثرات محلول پاشی در شاهد، هم زمان اقدام به آب پاشی آنها شد. در پاییز جهت تهیه بستر کاشت، نسبت به انجام شخم عمیق اقدام گردید. عملیات آماده سازی زمین در بهار شامل اجرای شخم سطحی، دیسک، تسطیح، خاکشی و تهیه ردیف های کاشت (با استفاده از شیپر) بود. توزیع کودهای مورد نیاز بر اساس نتایج تجزیه خاک انجام گرفت (جدول ۱). بر این اساس ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره طی سه مرحله کاشت، دو تا چهار برگی و شش تا هشت برگی به مزرعه افزوده شد. علاوه بر این به ترتیب ۱۳۵ و ۱۱۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم نیز هم زمان با شخم پاییزه به مزرعه داده شد. در هر کرت چهار ردیف کاشت به طول پنج متر و فاصله ردیف های کاشت و فاصله بوته روی ردیف به ترتیب ۵۰ و ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد.

در این مطالعه از بذر چغندر قند رقم داخلی شکوفا (رقم تک جوانه ای مقاوم به ریزومانی و نماتد) استفاده شد که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی تهیه شده بود. کاشت در ۲۵ فروردین ماه و برداشت در اول آبان ماه برداشت شد. وضعیت آب و هوایی در طول آزمایش از نظر بارندگی و دما به شرح جدول ۲ بود.

مایکوریزا تحت شرایط آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی متر تبخیر توانست اثر تنش کم آبی را بر عملکرد ریشه تعدیل نماید. با توجه به اینکه بیشتر مطالعات انجام شده بر روی چغندر قند بر عملکرد قند خالص و اجزای عملکرد تأکید دارد، مطالعاتی کمی بر روی خواص مرتبط با خصوصیات بیوشیمیایی و آنزیمی انجام گرفته است، بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی و آنزیمی چغندر قند در سطوح مختلف تنش کم آبی انجام گرفت.

مواد و روش ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی در شهرستان ارومیه (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه و ۵۳ ثانیه شرقی با ارتفاع ۱۳۳۸ متر) با اقلیمی نیمه خشک در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا گردید. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد، تیمارهای این تحقیق شامل آبیاری در سه سطح (پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A) در کرت های اصلی و نوع کود (شاهد، تلقیح بذر با قارچ مایکوریزا، نانوکلات روی، تلقیح با قارچ مایکوریزا + نانوکلات روی) در کرت های فرعی قرار گرفتند.

با توجه به این که چغندر قند در ابتدای مراحل رشد به کمبود آب حساس و همچنین جوانه زنی آن با مشکل مواجه است، لذا در مرحله جوانه زنی تا استقرار کامل گیاه (مرحله هشت برگی)، آبیاری به میزان کافی (هر هفته یک بار) انجام شد. آبیاری با کمک سیستم تحت فشار و با استفاده از شیلنگ و کنتور انجام گردید. خاک حاوی مایکوریزا (*Glomus intraradices* L.) تهیه شده از شرکت زیست فناوری سبز به میزان ۴۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت زیر بذر قرار داده شد (هر گرم نمونه

جدول ۱ نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش

شوری	اشباع	آهک	رس	شن	سیلت	کربن آلی	نیترژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب
دسی									
زمینس/متر					(درصد)			میلی گرم/کیلوگرم	
۱/۳	۴۹	۱۷	۳۱	۲۵	۴۰	۱/۱	۰/۱۱	۷/۱	۳۳۵

جدول ۲ پارامترهای هواشناسی در سال زراعی ۱۳۹۸ در محل اجرای آزمایش (مهاباد)

ماه	میانگین دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد)		مقدار بارندگی ماهانه (میلی‌متر)	میانگین میزان تبخیر از طشتک کلاس A (میلی‌متر)
	حداقل	حداکثر		
فروردین	۳/۵	۱/۱۴	۲۸/۳	۳/۱
اردیبهشت	۸/۱	۲۰/۲	۳۲/۲	۵/۵
خرداد	۱۳/۱	۲۵/۳	۵/۹	۸/۲
تیر	۱۷/۲	۳۰/۵	۵/۴	۸/۵۰
مرداد	۱۸/۷	۳۳/۳	۱/۷	۱۰/۸
شهریور	۱۲/۴	۲۸/۳	۱/۱	۸/۳
مهر	۸/۱	۱۸/۶	۷/۸	۴/۵
آبان	۱/۵	۸/۷	۷۵/۸	۱/۵
آذر	-۳/۶	۴/۶	۴۵/۳	.
دی	-۳/۲	۵/۷	۴۱/۳	.
بهمن	-۳/۱	۵/۹	۲۹/۴	.
اسفند	-۲/۵	۷/۶	۵۱/۸	.

سنجش محتوی پرولین برگ

میزان پرولین موجود در برگ (برگ‌های جوان کاملاً باز شده) بر اساس واکنش با معرف نین هیدرین و اسپکتروفتومتری تعیین شد (Bates et al. 1973). جهت تعیین محتوای فنل کل از روش پور مراد و همکاران (Pourmorad et al. 2006)، تعیین درصد مهار رادیکال سوپراکسید و تعیین درصد مهار رادیکال نیتریک اکسید از روش ابراهیم‌زاده و همکاران (Ebrahimzadeh et al. 2008) استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از بررسی و تأیید برقراری فرض‌های تجزیه واریانس، انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری صفات، در اواخر دوره رشد (مهرماه)، قبل از برداشت محصول، از برگ‌های چهارم و پنجم هر تیمار آزمایشی، تعداد ۴-۵ برگ به منظور تعیین خصوصیات بیوشیمیایی گیاه، نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های تهیه‌شده از هر تیمار، بلافاصله در داخل فویل آلومینیوم پیچیده شده و پس از درج شماره نمونه، در داخل نیترژن مایع (دمای -۱۹۶- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت تا منجمد شوند. سپس نمونه‌های منجمد شده به داخل فریزر با دمای -۴۰- درجه سانتی‌گراد منتقل گردید (Vazan et al. 2002).

سنجش میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ

غلظت کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید با استفاده روش بوسچمان و همکاران (Lichtenthaler and Buschmann 2001) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اختلاف بین تیمارهای آبیاری از لحاظ محتوی کلروفیل b، کاروتنوئید برگ، محتوی پرولین، فنل کل، محتوی فلاونوئید، مهار آنزیم سوپراکسید، مهار آنزیم نیتریک اسید و عملکرد ریشه در سطح احتمال یک درصد و از لحاظ محتوی کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند. اثر تیمارهای کودی بر محتوی کلروفیل b، کاروتنوئید، مهار آنزیم سوپراکسید، مهار آنزیم نیتریک اسید و عملکرد ریشه در سطح احتمال یک درصد و محتوی کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اختلاف بین تیمارهای اثر متقابل آبیاری با تیمار کودی نیز از لحاظ محتوی پرولین و فنل کل در سطح احتمال یک درصد و از لحاظ مهار آنزیم نیتریک اسید و عملکرد ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

رنگدانه‌های فتوسنتزی

مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری از لحاظ اثر بر محتوی کلروفیل a و b نشان داد تیمار آبیاری بعد ۶۰ میلی‌متر تبخیر در مقایسه با تیمارهای آبیاری بعد از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر از محتوی کلروفیل a و b بالاتری برخوردار بود (جدول ۴). می‌توان اظهار داشت تنش خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید اکسیژن‌های فعال سبب تجزیه و تخریب کلروفیل می‌شود. در طی تنش، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئیدی ناپدید می‌گردد، از طرفی دیگر تنش خشکی باعث اختلال در سیستم‌های آنزیمی کاهش‌دهنده ایجاد اکسیژن فعال و افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه خسارت به غشای سلولی و تخریب رنگدانه‌ها می‌گردد (Ruiz-Sánchez 2010). همچنین تنش کم‌آبی از طریق فعالیت آنزیم‌های کلروفیل‌از و پراکسیداز در گیاه باعث تخریب کلروپلاست و کاهش میزان کلروفیل می‌شود (Misra and Sricastatva 2000). همسو با نتایج تحقیق حاضر کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی توسط محققین متعددی گزارش شده است (Birhane et al. 2012).

در بین تیمارهای کودی کاربرد نانوکلات روی + میکوریزا بالاترین محتوی کلروفیل a و b را به خود اختصاص داد. کمترین مقدار صفت مذکور نیز به تیمار شاهد اختصاص داشت (جدول ۴). میکوریزا از طریق روابط ایجاد همزیستی با گیاه در جذب کارآمد برخی عناصر مانند فسفر که به‌عنوان عنصر کلیدی در انتقال انرژی طی فرآیند فتوسنتز مطرح است، افزایش محتوی کلروفیل و به دنبال آن فتوسنتز را به دنبال دارد. همچنین، گزارش شده است که میکوریزا با تسهیل روند جذب عناصری مانند نیتروژن و منیزیم (جزء اصلی ساختار مولکول کلروفیل) به افزایش محتوی کلروفیل کمک می‌کنند (Tang et al. 2009).

در مطالعه باسلام و گوئیکوچا (Baslam and Goicoechea 2012) بر روی کاهو بالاترین محتوی کلروفیل در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد آبیاری و تلقیح بذر با میکوریزا گزارش شد. در مطالعه آنها استفاده از میکوریزا در شرایط تنش کم‌آبی توانست محتوی کلروفیل را به‌صورت معنی‌دار در مقایسه با تیمار عدم‌تلقیح افزایش دهد. در مطالعه جوانمرد و همکاران (Javanmard et al. 2018) بیشترین شاخص کلروفیل برگ چغندر قند با کاربرد تلفیقی نانوکلات NPK+ نانوکلات میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی به دست آمد.

کاروتنوئید

در این بررسی با تشدید تنش کم‌آبی به‌صورت معنی‌داری از محتوی کاروتنوئید برگ چغندر قند کاسته شد؛ به‌نحوی که تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر بالاترین و تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر پایین‌ترین محتوی کاروتنوئید برگ را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). کاهش میزان کاروتنوئید در شرایط تنش نیز می‌تواند به علت تجزیه بتاکاروتن و تشکیل زآزانتین در چرخه زانتوفیل باشد (Kabiri et al. 2014). کاهش محتوی کاروتنوئید در شرایط تنش خشکی در دیگر بررسی‌ها نیز گزارش شده است (Akbari et al. 2016) که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

از طریق تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و پاک کردن رادیکال‌های هیدروکسیل، بردباری و تحمل گیاه در برابر تنش‌ها را افزایش می‌دهد. کم‌آبی همچنین باعث کاهش جذب آب توسط سیستم ریشه گیاه، کاهش تعرق، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و همچنین به هم خوردن موازنه هورمونی در گیاه می‌گردد. عقیده بر این است که همزیستی قارچی مایکوریز آربسکولار از گیاهان در برابر صدمات تنش خشکی محافظت می‌کند (Auge 2015). از مکانیسم‌های احتمالی افزایش تحمل به خشکی در گیاهان مایکوریزایی می‌توان به افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها (Tian *et al.* 2014)، افزایش جذب آب در شرایط رطوبتی کم به دلیل گسترش ریشه‌های قارچی، ایجاد تعادل اسمزی و حفظ فشار تورگر (Singh *et al.* 2013)، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات‌ها و پرولین و افزایش جذب عناصر غذایی (Deepika and Kothamasi 2015) اشاره کرد. در این مطالعه تلفیق نانوکلات روی + مایکوریزا توانست محتوی پرولین را در مقایسه با کاربرد جداگانه آنها در تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر افزایش دهد (جدول ۵). نانو اکسید روی می‌تواند در فعالیتهای متابولیکی از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن مؤثر در متابولیت‌های ثانویه مثل پرولین، ترکیبات فنلی و آنتوسیانین تأثیر بگذارد (Chang *et al.* 2012). امیر جانی و همکاران (Amirjani *et al.* 2014) اظهار داشتند نانو ذره اکسید روی محتوی پرولین برگ را در مقایسه با شاهد در گیاه پرپوش (*Catharantus roseus* L.)، به صورت معنی‌دار افزایش داد که همسو با نتایج مطالعه حاضر است.

محتوی فنل کل برگ

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی نشان داد آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر همراه با تیمار نانوکلات روی + مایکوریزا موجب ایجاد بالاترین محتوی فنل در برگ شد. کمترین مقدار ماده مذکور نیز به تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر همراه با هر چهار تیمار کودی اختصاص داشت و بین آنها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

مقایسه میانگین تیمارهای کودی از لحاظ اثر بر محتوی کاروتنوئید نشان داد استفاده از مایکوریزا، نانوکلات روی و نانوکلات روی + مایکوریزا توانستند محتوی کاروتنوئید را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۷/۵۶، ۵/۸۸ و ۱۰/۳۶ درصد افزایش دهند (جدول ۴). باسلام و گوئیکوچا (Baslam and Goicoechea 2012) اظهار داشتند تلقیح بذر کاهو توانست هم در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و هم در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی مقدار کاروتنوئید برگ را افزایش دهد. رالیا و طرفدار (Raliya and Tarafdar 2013) گزارش کردند که استفاده از نانوذرات روی سبب بهبود محتوی کلروفیل، کاروتنوئید و رشد در گیاه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) شد. افزایش محتوی کاروتنوئید در پاسخ به محلول‌پاشی روی در مطالعه وانگ و همکاران (Wang *et al.* 2016) بر روی آراییدوپس نیز گزارش شده است.

محتوی پرولین برگ

نتایج مقایسات میانگین نشان داد تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر همراه با تیمار مایکوریزا+ نانو کلات روی کودی بالاترین محتوی پرولین را به خود اختصاص داد. کمترین مقدار پرولین نیز به تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر در تلفیق با هر چهار تیمار کودی اختصاص داشت. در این بررسی با تشدید تنش کم‌آبی بر محتوی پرولین برگ افزوده شد، اما در هر یک از تیمار آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر بین تیمارهای کاربرد کود از لحاظ اثر بر محتوی پرولین اختلاف معنی‌دار دیده نشد، درحالی‌که در دور آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر هر سه تیمار مایکوریزا، نانوکلات روی و نانوکلات روی + مایکوریزا به صورت معنی‌داری بر محتوی پرولین برگ افزودند (جدول ۵). طی بروز خشکی، بر میزان تجمع ترکیب‌های آلی مانند پرولین در تمام اندام‌های گیاهان افزوده می‌شود، تجمع پرولین در بافت‌های گیاهان تحت تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را فراهم سازد (Heuer 1994). افزایش پرولین در گیاه هنگام تنش، نوعی مکانیسم دفاعی است پرولین

جدول ۳ تجزیه واریانس صفات مرتبط با خصوصیات بیوشیمیایی و آنزیمی در چغندر قند تحت تیمارهای آبیاری و کود

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید برگ	محتوی پرولین	محتوی فنل کل	محتوی فلاونوئید	مهار آنزیم سوپراکسید	مهار آنزیم نیتریک اسید	عملکرد ریشه
تکرار	۲	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۰۰۲	۳/۴۱	۰/۴۵	۱۴/۱۷	۱/۲۰	۱۰۸/۱۷
تیمار آبیاری	۲	۵/۸۱*	۰/۳۴**	۲/۷۱**	۰/۱۷**	۲۱۸/۷۱**	۷/۸۸**	۲۸۱/۹۴**	۱۱۸/۴۴**	۲۸۵۱/۳۳**
خطای ۱	۴	۰/۳۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۶/۰۳	۰/۰۸	۱/۴۸	۱/۱۸	۹۶/۰۵
تیمار کودی	۳	۱/۲۳*	۰/۳۱**	۰/۲۱**	۰/۰۰۹ ^{NS}	۲۰/۸۵*	۰/۳۰ ^{NS}	۱۴/۷۰**	۴/۵۰**	۴۱۱/۷۳**
آبیاری × کودی	۶	۰/۳۳ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۰/۰۱ ^{NS}	۰/۴**	۲۰/۹۰**	۰/۰۸ ^{NS}	۱/۷۰ ^{NS}	۰/۹۵*	۱۵۱/۴۳*
خطای ۲	۱۸	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰۰۷	۵/۱۸	۰/۰۹	۱/۴۴	۰/۳۶	۱۷/۸۴
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۶۹	۶/۶۴	۴/۳۳	۴/۳۶	۵/۸۴	۵/۴۰	۶/۷۵	۶/۹۷	۷/۵۲

*، ** و ^{NS} به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۴ مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری و کودی بر صفات مورد بررسی

تیمار آبیاری	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم)	کاروتنوئید برگ (میلی گرم بر گرم)	فلاونوئید برگ (میلی گرم کونترستین در گرم ماده خشک)	مهار رادیکال نیتریک اسید (درصد)	مهار آنزیم سوپر اکسید (درصد)
بعد از ۶۰ میلی متر تبخیر	۹/۵۶a	۳/۸۳a	۴/۲۵a	۴/۷۴c	۸۳/۰۳a	۲۵/۲۷a
بعد از ۹۰ میلی متر تبخیر	۸/۵۵b	۳/۵۵b	۳/۷۹b	۵/۶۷b	۷۷/۹a	۳۴/۴۴a
بعد از ۱۲۰ میلی متر تبخیر	۸/۱۷b	۳/۵۲b	۳/۳۱c	۶/۳۶a	۶۵/۹۳b	۲۶/۴۹b
شاهد	۴/۸۰ b	۳/۴۱b	۳/۵۷b	۵/۸۱a	۷۱/۲۳c	۳۰/۴۲c
مایکوزیزا	۸/۸۸ab	۳/۶۶a	۳/۸۴a	۴/۹۱a	۷۵/۳۱b	۳۳/۲۵a
نانو کلات روی	۸/۸۶ab	۳/۶۴ab	۳/۷۸a	۵/۴۵a	۷۴/۹۵b	۳۲/۷۰b
نانو کلات روی + مایکوزیزا	۹/۳۰a	۳/۸۴a	۳/۹۴a	۵/۹۰a	۷۹/۳۱a	۳۳/۵۳a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.

جدول ۵ مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و کودی بر صفات مورد بررسی

تیمار آبیاری	تیمار کودی	پروکلین (میلی گرم بر گرم وزن تر)	فنل کل (میلی گرم گالیک اسید در گرم ماده خشک)	مهار رادیکال نیتریک اسید (درصد)	عملکرد ریشه (تن در هکتار)
	شاهد	۰/۴۵۰d	۳۲/۶۸d	۲۰/۹۳cd	۶۸/۵۳c
	مایکوزیزا	۰/۴۹d	۳۴/۸۳cd	۲۲/۱۲bc	۸۱/۶۹a
	نانو کلات روی	۰/۴۹d	۳۴/۹۰cd	۲۱/۹۱bc	۷۳/۶۰b
	نانو کلات روی + مایکوزیزا	۰/۴۸d	۳۴/۱۹d	۲۳/۴۵a	۸۲/۶۲a
	شاهد	۰/۶۶bc	۴۰/۳۸b	۲۰/۵۳d	۵۸/۲۱ef
	مایکوزیزا	۰/۶۳c	۴۲/۳۰b	۲۲/۸۲ab	۶۷/۸۱cd
	نانو کلات روی	۰/۶۹bc	۴۰/۶۶b	۲۲/۱۶b	۶۴/۱۸cde
	نانو کلات روی + مایکوزیزا	۰/۶۳c	۳۶/۳۱bc	۲۲/۴۴ab	۶۱/۶۱def
	شاهد	۰/۶۳c	۳۸/۶۱bc	۱۶/۲۶e	۴۸/۱۶g
	مایکوزیزا	۰/۷۰b	۴۱/۱۳b	۱۶/۱۶e	۵۹/۴۲ef
	نانو کلات روی	۰/۷۱b	۴۱/۱۱b	۱۶/۷۲e	۵۸/۱۹f
	نانو کلات روی + مایکوزیزا	۰/۷۸a	۴۷/۹۱a	۱۶/۸۱e	۵۷/۸۹f

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند.

به صورت معنی‌دار بر مقدار فنل برگ افزود (جدول ۵). همسو با نتایج مطالعه حاضر سایر محققان بیان کردند غلظت‌های بالای

در این مطالعه کاربرد نانو کلات روی + مایکوزیزا در مقایسه با تیمار شاهد در تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی متر تبخیر

فانل در برگ، به نقش کودهای زیستی در بیوسنتز موادی که القاکننده مسیر شیکمیک استات و در نتیجه تولید بیشتر فلاونوئیدها و فنولیک بر می‌گردد; Sousa et al. 2008; Naguib et al. 2012).

محتوی فلاونوئید برگ

در این تحقیق با تشدید تنش کم‌آبی بر محتوی فلاونوئید برگ افزوده شد، به طوری که بالاترین محتوی فلاونوئید برگ به تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین مقدار به تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر اختصاص داشت (جدول ۵). از جمله مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان تحت تنش خشکی، افزایش سطوح ترکیبات فنلی است، چرا که این گونه ترکیبات به عنوان پایلنده‌های گونه‌های واکنشگر اکسیژن عمل کرده و در نتیجه سبب ثبات غشاهای سلولی و مانع از پراکسیداسیون لیپیدها می‌شوند (Blokhina et al. 2013). در بررسی اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلاکول در گندم نیز مشخص شده است که علت بالا رفتن سطوح ترکیبات فنلی، افزایش فعالیت و میزان آنزیم بیوسنتزی فنل‌ها (فنیل‌آلانیل-آمونیااز) است (Khazaie and Borzooei 2006).

مهار رادیکال سوپراکسید

در این مطالعه تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر مقدار مهار آنزیم سوپراکسید را در مقایسه با دو تیمار آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب ۳۳/۱۴ و ۳۰/۰۱ درصد کاهش داد. لازم به ذکر است که بین دو تیمار آبیاری بعد از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵).

نتایج نشان داد کاربرد تیمار نانوکلات روی + مایکوریزا و مایکوریزا بالاترین مقدار مهار آنزیم سوپراکسید را به خود اختصاص دادند، کاربرد نانوکلات روی نیز در جایگاه بعدی قرار گرفت، در این مطالعه کمترین مقدار مهار آنزیم سوپراکسید در تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد کلات روی خصوصیات آنتی‌اکسیدانتی چغندر قند را بهبود بخشید که

مهار رادیکال نیتریک اسید

نتایج نشان داد کاربرد کلات روی + مایکوریزا در تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر بالاترین مقدار مهار رادیکال نیتریک اسید را به خود اختصاص داد. در مطالعه حاضر کمترین مقدار فعالیت آنزیم نیتریک اسید به تیمار آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر همراه با هر چهار تیمار کودی اختصاص داشت و بین آنها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج مقایسات میانگین همچنین نشان داد کاربرد کلات روی + مایکوریزا و مایکوریزا در تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر و استفاده از مایکوریزا، کلات

و همکاران (2020) اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد ریشه معنی‌دار بود آن‌ها بالاترین عملکرد ریشه را با متوسط ۸۴/۶۰ تن در هکتار در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و کمترین مقدار را با متوسط ۶۳/۲۳ تن در هکتار را در تیمار ۵۰ درصد آبیاری گزارش کردند. جوانمرد و همکاران (Javanmard et al. 2018) نشان دادند بیشترین میزان عملکرد ریشه به ترتیب در تیمارهای نانو کلات + NPK نانو کالت میکرو کامل + ۵۰ درصد کود شیمیایی با متوسط ۶۶/۶ تن در هکتار و نانو کلات NPK + ۵۰ درصد کود شیمیایی با متوسط ۶۰ تن در هکتار اختصاص داشت. همسو با نتایج تحقیق حاضر در مطالعه خلیلی و حمزه (Khalili and Hamze 2020) بالاترین عملکرد ریشه در چغندر قند به تیمار آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر و استفاده از سوپر جاذب و مایکوریزا گزارش شد آن‌ها همچنین اظهار داشتند کاربرد سوپر جاذب + مایکوریزا تحت شرایط آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر توانست اثر تنش کم‌آبی را بر عملکرد ریشه تعدیل نماید.

نتیجه‌گیری کلی

یکی از اهداف کشت چغندر قند دستیابی به حداکثر عملکرد ریشه است، نتایج همچنین نشان داد در تیمار آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر استفاده از هر سه تیمار مایکوریزا، نانو کلات روی و نانو کلات روی + مایکوریزا و تحت شرایط آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر کاربرد مایکوریزا توانست عملکرد ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش دهند. به نظر می‌رسد کاربرد مایکوریزا به خصوص در شرایط کم‌آبی از طریق بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت توانسته است اثر تنش کم‌آبی را بر عملکرد ریشه تعدیل نماید؛ بنابراین کاربرد مایکوریزا می‌تواند به عنوان راه‌کاری قابل پیشنهاد برای افزایش عملکرد ریشه در مناطقی باشند که چغندر قند در طول دوره رشد دوره‌های متناوبی از تنش کم‌آبی را تجربه می‌کند.

روی و کلات روی + مایکوریزا در تیمار آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر توانستند مقدار مهار رادیکال نیتریک اسید را در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۵). در تحقیقی تحت عنوان بررسی خصوصیات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند تحت شرایط خشکی ریو سانچز و همکاران (Ruiz-Sánchez et al. 2010) دریافتند که همزیستی گیاه با مایکوریزا از طریق افزایش کارایی فتوسنتز موجب تعدیل تنش کم‌آبی می‌شود، اما این تعدیل عمدتاً از طریق تجمع ترکیب آنتی‌اکسیدانی گلوکاتیون بود که از طریق کاهش آسیب اکسیداتیو به لیپیدهای غشایی و کاهش سطح سلولی پراکسید هیدروژن، پاسخ گیاهان به خشکی را بهبود بخشید.

عملکرد ریشه

نتایج مقایسات میانگین نشان داد استفاده از مایکوریزا و نانو کلات روی + مایکوریزا در تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر به ترتیب با متوسط ۸۱/۶۹ و ۸۲/۶۲ درصد بالاترین عملکرد ریشه را به خود اختصاص دادند. در این تحقیق با تشدید تنش کم‌آبی از عملکرد ریشه کاسته شد به نحوی که تیمار آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر در تیمار شاهد کودی عملکرد ریشه را به صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب ۱۳/۶۰ و ۲۹/۷۲ درصد کاهش دادند. (جدول ۵). نتایج همچنین نشان داد در تیمار آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر استفاده از هر سه تیمار مایکوریزا، نانو کلات روی و نانو کلات روی + مایکوریزا توانستند عملکرد ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش دهند، در حالی که تحت شرایط آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر تنها اختلاف معنی‌دار بین تیمار شاهد و کاربرد مایکوریزا مشاهده شد. افزایش عملکرد ریشه در تیمارهای کودی به خصوص تحت شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان به اثر تیمارهای مذکور در افزایش محتوی کلروفیل، بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و مهار اثرات نامطلوب رادیکال‌های آزاد در اثر این تیمارها نسبت داد. در مطالعه خوزایی

References:**منابع مورد استفاده:**

- Abayomi YA, Wright D. Sugar beet leaf growth and yield response to soil water deficit. *African Crop Science Journal*. 2002; 10(1): 51-66.
- Akbari SH, Kafi M, Rezvan Bidokhti SH. Effects of drought and plant density on some biochemical and physiological characteristics of two ecotypes of garlic (*Allium sativum* L). *Iranian agricultural research*. 2016; 14(4):20-38. (in Persian, abstract in English)
- Alaeimoghadam Sh, Esmaeeli M, Rajabi A, Najafi H. Effects of water deficit stress on physiological and biochemical traits of sugar beet genotypes (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Sugar Beet*. 2019; 34(2): 131- 146. (in Persian, abstract in English)
- Amirjani MR, Askari M, Askari F. Effect of nano zinc oxide on some growth and physiology parameters of *Catharantus roseus*. *Journal of Cell and Tissue*. 2014; 5(2): 173-183
- Auge RM, Toler HD, Saxton AM. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*. 2015; 25(1): 13-24.
- Azari Nasrabad AS, Mousavi Nick SM, Golavi M, Beheshti AS, Sirus Mehr AS. Effect of drought stress in different growth stages on yield and its components and biochemical haracteristics of grain sorghum genotypes. *Iranian agricultural research*. 2016; 15(3).22-28. (in Persian, abstract in English)
- Bai L, Sui F. Effect of soil drought stress on leaf of maize. *Pedosphere*. 2006; 16: 326-332.
- Baslam M, Goicoechea N. Water deficit improved the capacity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in lettuce leaves. *Mycorrhiza*. 2012; 22:347–359.
- Bates LS, Waldren, Waldren RP, Teare IO. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 1973; 39: 205-207.
- Baybordi A. Zinc in soils and crop nutrition. Parivar Press. 2006; First Edition. 179 p. (in Persian)
- Birhane E, Sterck FJ, Fetene M, Bongers F, Kuyper TW. Arbuscular Mycorrhizal Fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia*. 2012;169: 895- 904.
- Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt K. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*. 2013. 91: 179- 194.
- Chang C, Yang M, Wen H, Chern J. Estimation of total flavonoid content in Propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*. 2012; 10: 178-182.
- Chołuj D, Wiśniewska A, Szafranski KM, Cebula J, Gozdowski D, Podlaski S. Assessment of the physiological responses to drought in different sugar beet genotypes in connection with their genetic distance. *Journal of Plant Physiology*. 2014; 171(14):1221- 1230.
- Deepika S, Kothamasi D. Soil moisture-a regulator of Arbuscular Mycorrhizal Fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. *Mycorrhiza*. 2015; 25(1):67-75.
- Ebrahimzade MA, Pourmorad F, Hafezi S. Antioxidant activities of Iranian corn silk. *Turkish Journal of Biology*. 2008; 32: 43-49.

- FAO STAT. Crops- Production/Yield quantities of Sugar beet. Available at: <http://www.fao.org/faostat/> (Accessed October 4th 2019).
- Heuer B. Osmoregulatory role of proline in water stress and salt-stressed plants: 363-381. In: Pessarakli. M., (Ed.). Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Publisher. New York. 1994. P. 697.
- Javanmard A, Vahed Miandoab R, Amani Machiani M, Abbasi A, Fotouhi K. Quantitative and Qualitative Response of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) to Integrated Application of Chemical and Nano Fertilizers. 2018; 28 (3): 171-185. (In Persian)
- Kabiri R, Farahbakhsh H, Nasibi F. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 2014; 30(4): 600-609. (in Persian, abstract in English)
- Khalili M, Hamze H. Effect of different soil amendment treatments on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agricultural science and sustainable production. 2020; 31 (1): 171-192.
- Khazaie HR, Borzooei A. Effects of water stress on antioxidant activity and physiological characteristics of wheat. The first international conference on the theory and practices in Biological Water Saving (ICTPB) Beijing China. 2006.
- Khozaei M, Kamgar A, Haghghi A, Zand Parsa S, Sepaskhah AR, Razzaghi F, Yousefabad V, Emamd Y. Evaluation of direct seeding and transplanting in sugar beet for water productivity, yield and quality under different irrigation regimes and planting densities. Agricultural Water Management. 2020; 238: 1-12. (in Persian, abstract in English)
- Koide RT, Mosse B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. Mycorrhiza. 2004; 14: 145-163.
- Lichtenthaler HK, Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001; F4.3.1-F4.3.8.
- Ling TY, Zhao XY. The improved pyrogallol method by using terminating agent for superoxide dismutase measurement. Progress Biochemistry Biophysics. 1995. 22: 84-86.
- Mirzaei MR, Abdollahian- Noghabi M. Study of sugar beet growth pattern in Hamedan, Iran. Journal of Sugar Beet. 2012. 27(2): 1-9.
- Misra A, Sricastatva NK. Influence of water stress on Japanese mint. Journal Herbs Spices Medicine Plants. 2002; 7: 51-58.
- Naguib AM, El-Baz FK, Salama ZA, Hanaa AB, Hanaa FA, Gaafar AA. Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica oleracea* var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2012; 11(1): 135-142.
- Pandey AC, Sanjay SS, Yadav RS. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. Journal of Experience Nano science. 2010. 5: 488-497.
- Paygzar Y, Ghanbari A, Heidari M, Tavassoli A. Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glaucum*) species notified. Iranian Journal Agriculture Science. 2009. 3 (10): 67-78. (in Persian, abstract in English)
- Pourmorad F, Hosseinimehr SJ, Shahabimajd N. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African Journal of Biotechnology. 2006; 5(11):1142-1145.

- Putnik-Delic M, Maksimovic I, Venezia A, Nagl N. Free proline accumulation in young sugar beet plants and in tissue culture explants under water deficiency as tools for assessment of drought tolerance. *Romanian agricultural research*. 2013; 30:141- 148.
- Raliya R, Tarafdar JC. ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.), *Journal of Agricultural Research*. 2013; 2: 48-57.
- Rostami M, Maleki M, Effati AR. Effect of Foliar Application of Chemical Nano-Fertilizers on Physiological Traits of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Agronomy and Technology review*. 2018; 5(4): 359-345. (in Persian, abstract in English)
- Ruiz-Sánchez M, Aroca R, Muñoz Y, Armada E, Polón R, Ruiz-Lozano JM. The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 2010; 167:862–869.
- Singh NB, Amist N, Yadav K, Singh D, Pandey JK, Singh SC. Zinc oxide nanoparticle as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops. *Journal of Nanoengineering and Nanomanufacturing*. 2013; 3:353-364.
- Song, H. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. *Electronic Journal of Biology*. 2005; 1(3): 44-48.
- Sousa C, Pereira DM, Pereira JA, Bento A, Rodrigues MA, Dopico Garcia S, Valenta OP, Lopes G, Seabra RM, Andrade, PB. Multivariate analysis of tronchuda cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *costata* DC) phenolics: influence of fertilizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008; 56(2): 2231-2239.
- Taherkhanchi A, Akbari GA, Modarres-Sanavy SAM, Ghorbani Javid M. 2014. Evaluation of effects of bio-fertilizers on some physiological and biochemical traits in soybean under water deficit condition. *Agricultural Crop Management*. 2014; 15(3): 141-153.
- Tang M, Chen H, Huang JC, Tian ZQ. Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (*Zea mays* L.) seedlings under diesel stress. *Soil Biology Biochemistry*. 2009; 41: 936–940.
- Tian M, Chen YL, Li M, Liu RJ. Structure and function of arbuscular mycorrhiza: a review. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 2013; 24(8): 2369-2376.
- Vazan V, Ranji Z, Houshdar M, Tehrani H, Ghalavand A, Sanei Shariat Panahi M. Drought stress effect on abscise acid accumulation and stomatal conductivity of sugar beet. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2002; 4 (3): 176- 183
- Wang JW, Zheng LP, Wu JY, Tan RY. Involvement of nitric oxide in oxidative burst, phenylalanine ammonia-lyase activation and Taxol production induced by low-energy ultrasound in *Taxus yunnanensis* cell suspension cultures. *Nitric Oxide*. 2006; 15: 351-358.
- Zand B, Soroosh zadeh A, Ghanati F, Moradi F. Effect of zinc and auxin foliar application on some anti-oxidant enzymes activity in corn leaf. *Iranian Journal of Plant Biology*. 2010; 2 (1): 35-48. (in Persian, abstract in English)