نقش مواد افزودنی خاک در کاهش اثر تنش خشکی در چغندرقند رقم شکوفا

فرشاد سرخی[1*]

۱) گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران.

نویسنده مسئول*: farsorkhi@iau.ac.ir

تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۰۶/۱۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مواد افزودنی خاک بر بهبود رشد و عملکرد چغندرقند تحت سطوح مختلف تنش خشکی، در سال زراعی ۱۴۰۴ در دو منطقه میاندوآب و ملکان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل ۴×۳ (تنش خشکی× مواد افزودنی خاک) در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با چهار تکرار و به‌صورت تجزیه مرکب در دو مکان اجرا شد. فاکتورها شامل مکان در دو سطح (میاندوآب و ملکان)، سه سطح تنش خشکی شامل۵۰ (عدم تنش)، ۱۱۰ (تنش متوسط) و ۱۷۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و چهار نوع ماده افزودنی خاک (شاهد، سوپرجاذب، قارچ میکوریزا و کود دامی) بود. صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه، عیار قند، درصد قند خالص، عملکرد قند ناخالص و خالص بود. کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب در تنش متوسط و شدید خشکی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه، قند خالص و ناخالص در مقایسه با شاهد گردیدند. به‌طوری که در تنش شدید خشکی، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد ریشه در تیمار میکوریزا به ترتیب ۱۶/۲ و ۳۲/۱ درصد، در تیمار سوپرجاذب به ترتیب ۹/۸ و ۲۳/۱ درصد و در تیمار کود دامی به ترتیب ۱۴/۲ و ۱۷/۹ درصد بیشتر از شاهد به‌دست آمد. همبستگی مثبت بین عملکرد قند خالص با محتوای نسبی آب برگ ($r = ۰/۲۵۸^{*}$)، شاخص سطح برگ ($r = ۰/۳۰۱^{*}$)، عملکرد ریشه ($r = ۰/۶۱۲^{**}$) و عملکرد قند ناخالص ($r = ۰/۸۴۱^{**}$) مشاهده شد. نتایج نشان داد مواد افزودنی خاک به‌ویژه میکوریزا تحت تنش خشکی در بهبود رشد و حفظ عملکرد چغندرقند نقش مؤثری دارد.

واژه‌های کلیدی: سطح برگ، سوپرجاذب،، کود دامی، عملکرد و میکوریز آربوسکولار.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

مقدمه

مصرف آب در کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی محسوب می‌شود (Sorkhi and Khomari, 2021). چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) از جمله محصولات استراتژیک در ایران است که نقش مهمی در تأمین شکر داخلی ایفا می‌کند (Zaher *et al*. 2025). به دلیل دوره رشد طولانی (۸ الی ۹ ماه) و سطح برگ گسترده، چغندرقند به مقادیر بالای آب نیاز دارد و کمبود آب در مراحل حساس رشد می‌تواند عملکرد ریشه و درصد قند را به شدت کاهش دهد (Kenter and Hoffmann, 2025). برآورد شده است که نیاز آبی چغندرقند در مناطق مختلف جهان بین ۳۵۰ تا ۱۱۵۰ میلی‌متر در طول فصل رشد است (Hemasundar *et al*. 2023). در ایران، محدودیت منابع آب و خشکسالی‌های مکرر، ضرورت به‌کارگیری مدیریت‌های بهینه مصرف آب و استفاده از نهاده‌های اصلاحی خاک را دوچندان کرده است (سرخی، ۱۳۹۸).

یکی از راهکارهای مهم برای تعدیل اثرات تنش خشکی، استفاده از مواد اصلاح‌کننده خاک از جمله پلیمرهای سوپرجاذب است. این مواد می‌توانند چندین برابر وزن خود آب جذب و ذخیره کنند و به‌تدریج در اختیار گیاه قرار دهند (Pacuta *et al*. 2021). گزارش شده است که کاربرد سوپرجاذب، رطوبت خاک را تا ۲۵ درصد افزایش داده است (Behera and Mahanwar, 2019). همچنین نتایج تحقیق Malik و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که استفاده از سوپرجاذب موجب افزایش شاخص سطح برگ (۲/۴)، عملکرد قند ناخالص (۷/۴ تن در هکتار) و شاخص کلروفیل (۲/۴۶) در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد سوپرجاذب) شد. مصرف سوپرجاذب علاوه بر بهبود مصرف آب، موجب رشد مطلوب‌تر ریشه و کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌شود (Behera and Mahanwar, 2019). از سوی دیگرهمزیستی میکوریزایی با ریشه گیاه، سطح جذب موثر ریشه را افزایش داده و توانایی گیاه در شرایط تنش خشکی را بالا می‌برد (Sorkhi *et al*. 2024). Frosi و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد میکوریزا در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ۲۸ درصدی محتوای نسبی آب برگ و ۳۲ درصدی عملکرد بیولوژیک در گیاهان ذرت (*Zea mays*) شد. همچنین در مطالعه Ahmed و همکاران (۲۰۲۲) روی چغندرقند، مصرف میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه (۵۱ تن در هکتار) در مقایسه با شاهد (۴۲ تن) و درصد قند خالص (۱۷/۸ درصد) در مقایسه با شاهد (۱۵/۲ درصد) گردید. در تحقیق رضائی‌چیانه و همکاران (۱۳۹۶) بر روی گیاه گلرنگ نیز، بیشترین عملکرد دانه (۲/۸ تن در هکتار) در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و مصرف میکوریزا + نانوکود روی به‌دست آمد، در حالی که در شرایط تنش شدید (۲۱۰ میلی‌متر تبخیر) کمترین عملکرد مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که قارچ میکوریزا علاوه بر کاهش اثرات خشکی، می‌تواند نیاز به کودهای شیمیایی را نیز کاهش دهند. علاوه بر سوپرجاذب و میکوریزا، کود دامی از دیرباز به عنوان یک منبع مواد آلی و مغذی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

برای خاک استفاده شده است (احمدپور دهکردی و تدین، ۱۳۹۴). گرچه در مقایسه با سوپرجاذب و میکوریزا، اثرات آن در تعدیل تنش خشکی کمتر گزارش شده، اما مصرف آن موجب بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تقویت فعالیت میکروبی خاک می‌شود (Alotaibi *et al*. 2021). با توجه به اهمیت تولید پایدار چغندرقند در مناطق مستعد ایران مانند آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی و بروز مکرر تنش خشکی در طول فصل رشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مواد افزودنی مختلف خاک (سوپرجاذب، میکوریزا و کود دامی) در تعدیل اثر تنش خشکی بر چغندرقند در دو منطقه میاندوآب و ملکان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۴ در شهرستان‌های میاندوآب و ملکان اجرا شد. آزمایشی به‌صورت فاکتوریل ۴×۳ (تنش خشکی× مواد افزودنی خاک) در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با چهار تکرار و به‌صورت تجزیه مرکب در دو مکان اجرا شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های آزمایش قبل از کشت در جدول ۱ و شرایط اقیمی در طول دوره رشد در جدول ۲ ارائه شده است. فاکتورهای آزمایش شامل مکان در دو سطح: میاندوآب و ملکان، مواد افزودنی به خاک در چهار سطح: شاهد (بدون مواد افزودنی)، سوپرجاذب (پلیمر هیدروژل)، قارچ‌های میکوریزا (قارچ‌های همزیست ریشه)، کود دامی (گاوی پوسیده) و تنش خشکی در سه سطح بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A شامل ۵۰ میلی‌متر (عدم تنش)، ۱۱۰ میلی‌متر (تنش متوسط) و ۱۷۰ میلی‌متر (تنش شدید) بود.

آبیاری بر پایه تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A برنامه‌ریزی شد؛ بدین ترتیب که تبخیر روزانه تشتک ثبت و به‌صورت تجمعی محاسبه گردید و آبیاری هر تیمار زمانی انجام گرفت که مقدار تبخیر تجمعی، پس از کسر بارش مؤثر، به آستانه مربوط به آن تیمار (۵۰، ۱۱۰ و ۱۷۰ میلی‌متر) رسید. بارش روزانه از ایستگاه هواشناسی هر منطقه ثبت شد و بارش‌های مساوی یا بیشتر از ۵ میلی‌متر به‌عنوان بارش مؤثر از تبخیر تجمعی کسر گردید. بارش‌های کمتر از این مقدار بی‌اثر در نظر گرفته شد. بر این اساس، هر رخداد بارش موجب کاهش شمارنده تبخیر تجمعی و تأخیر در نوبت آبیاری بعدی شد. چون چغندرقند در آغاز مراحل رشد به کمبود آب حساس است و جوانه‌زنی آن نیز با دشواری همراه است، در مرحله جوانه‌زنی تا استقرار کامل گیاه (مرحله هشت‌برگی) آبیاری به‌اندازه کافی و هفته‌ای یک‌بار انجام شد. آبیاری با کمک سامانه تحت فشار و با استفاده از شیلنگ و کنتور صورت گرفت و حجم آب داده‌شده در تیمارهای آبیاری، پس از ۵۰، ۱۱۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک، به‌ترتیب ۶۷۸۵، ۵۴۷۰ و ۴۲۰۹ مترمکعب در هکتار بود. اعمال تنش نیز پس از استقرار گیاه (مرحله هشت‌برگی) آغاز شد. در پاییز، برای تهیه بستر کاشت، شخم عمیق انجام شد. عملیات آماده‌سازی زمین در بهار شامل شخم سطحی، دیسک‌زنی، تسطیح، خط‌کشی و تهیه ردیف‌های کاشت (با استفاده از شیپر) بود. توزیع

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

کودهای مورد نیاز بر پایه نتایج تجزیه خاک انجام گرفت (جدول ۱). بر این اساس، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره طی سه مرحله کاشت، دو برگی و شش برگی به مزرعه افزوده شد. علاوه بر این، به‌ترتیب ۱۲۰ و ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم نیز هم‌زمان با شخم پاییزه به مزرعه داده شد.

خاک حاوی مایکوریزا (*Glomus intraradices*)، تهیه‌شده از شرکت زیست‌فناور سبز، به میزان ۴۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت و زیر بذر قرار داده شد؛ هر گرم نمونه قارچ حاوی حدود ۳۰۰ اسپور زنده بود (گلابی لک و همکاران، ۱۴۰۰). سوپرجاذب نیز به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شد، به‌طوری‌که در تیمارهای مورد نظر شیارهایی زیر ردیف‌های کشت (در عمق حدود ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک و پایین‌تر از بذر) ایجاد و با خاک مخلوط گردید. در این پژوهش از هیدروژل سوپرجاذب کشاورزی بر پایه کوپلیمر آکریل‌آمید - پتاسیم آکریلات با نام تجاری سوپرآب $A_{۲۰۰}$ (تولید شرکت رهاب رزین، تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) استفاده شد. بذر چغندرقند رقم شکوفا (رقمی داخلی، تک‌جوانه‌ای و مقاوم به ریزومانیا و نماتد) از مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه گردید. کاشت چغندرقند در سوم اردیبهشت‌ماه و به‌صورت ردیفی، با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف، انجام شد. در این تحقیق طول هر کرت ۵ متر، عرض آن ۳ متر و شمار بوته در هر ردیف ۱۵ بوته در نظر گرفته شد؛ فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر بود. دو هفته پیش از برداشت، آبیاری مزرعه قطع و در هفته آخر مهر، محصول هر کرت برداشت شد. برای خنثی‌کردن اثر حاشیه هنگام برداشت، از هر کرت دو ردیف کناری و نیم متر از بالا و پایین هر ردیف حذف گردید و سه ردیف در هر کرت آزمایشی برداشت شد. در این آزمایش آفت یا بیماری خاصی مشاهده نشد و کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی انجام گرفت.

جدول ۱: خصوصیات خاک محل آزمایش

منطقه	بافت خاک	نیتروژن کل (درصد)	میزان پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	میزان فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته
میاندوآب	سیلت لومی	۰/۰۹	۲۴۷/۳۵	۱۲/۱۷	۰/۸۹	۱/۶۵	۷/۸۴
ملکان	رس لومی	۰/۰۸	۲۱۵/۹۲	۹/۶۳	۰/۷۵	۱/۰۴	۷/۶۲

شاخص سطح برگ

برای تعیین شاخص سطح برگ ابتدا سطح برگ گیاهان نمونه به‌وسیله دستگاه سطح برگ سنج مدل AM350 ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد و مقدار به‌دست‌آمده بر سطح زمین اشغال‌شده تقسیم گردید (Pacuta *et al*. 2021). محتوای نسبی آب برگ به این صورت اندازه‌گیری شد که ابتدا وزن تازه برگ (FW) ثبت گردید، سپس برگ‌ها برای

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

دستیابی به وزن اشباع (TW) در آب قرار داده شدند و در ادامه پس از خشک‌کردن در آون، وزن خشک برگ‌ها (DW) تعیین شد. در نهایت، محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه۱ محاسبه گردید (Sorkhi, 2020).

رابطه ۱: $$RWC\ (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

تعیین وزن خشک اندام هوایی

برای تعیین وزن خشک اندام هوایی، ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب گردید و سپس نمونه‌های گیاهی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده و سپس وزن شدند (Ahmed *et al*. 2022). عملکرد ریشه بر اساس وزن ریشه‌های برداشت‌شده از هر کرت محاسبه شد. به طوریکه ده عدد از ریشه های مربوط به هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و پس از سرزنی و تمیز نمودن، توزین شدند و بر اساس آنها عملکرد برای هر کرت محاسبه شد و بر حسب تن در هکتار گزارش گردید (Hemasundar *et al*. 2023). عیار قند (درصد قند ناخالص) بر حسب درصد با استفاده از روش پلاریمتری و بر روی نمونه‌های شربت استخراج‌شده از ریشه اندازه‌گیری شد (Erikliogluu *et al*. 2023).

عملکرد قند ناخالص

عملکرد قند ناخالص از حاصل‌ضرب عملکرد ریشه در درصد قند ناخالص محاسبه و بر حسب تن در هکتار بیان گردید (Wang et al., 2025). مقدار پتاسیم و سدیم (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) به روش فلیم‌فتومتری و مقدار نیتروژن مضره (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه) به روش عدد آبی اندازه‌گیری شدند .(Nowicki et al., 2025) سپس، میزان قند ملاس با در نظر گرفتن غلظت این ناخالصی‌ها و بر اساس فرمول Reinefeld و همکاران (۱۹۷۴) طبق رابطه ۲ تعیین شد. در نهایت، میزان قند خالص از تفاضل قند ملاس از قند ناخالص و مطابق با رابطه ۳ محاسبه گردید.

رابطه ۲: میزان قند ملاس = ۰/۳۴ (سدیم+ پتاسیم) + (۰/۰۹۴) نیتروژن - ۰/۱

رابطه ۳: میزان قند خالص = قند ناخالص - قند ملاس

عملکرد قند خالص

عملکرد قند خالص نیز از حاصل‌ضرب عملکرد ریشه در درصد قند خالص محاسبه شد (Zaher *et al*. 2025). مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت. کلیه تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار Mstat-c انجام شد و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گردید.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

جدول ۲: شرایط اقیمی در طول دوره رشد آزمایش

ماه	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)		حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)		بارندگی (میلی‌متر)		رطوبت نسبی (درصد)	
	میاندوآب	ملکان	میاندوآب	ملکان	میاندوآب	ملکان	میاندوآب	ملکان
فروردین	۳/۶	۴	۱۳/۱	۱۵/۴	۲۵/۹	۲۴/۷	۴۹	۴۶
اردیبهشت	۸/۱	۸/۹	۲۱/۷	۲۴/۵	۳۴/۶	۳۷/۸	۴۷	۵۲
خرداد	۱۱/۴	۱۲/۷	۲۵/۶	۳۰/۸	۲۰/۵	۲۹/۷	۴۲	۴۶
تیر	۱۵/۳	۱۶/۶	۳۱/۱	۳۴/۴	۱۶/۷	۱۲/۵	۴۱	۳۷
مرداد	۱۶/۸	۱۸/۴	۳۵/۷	۳۶/۸	۷/۹	۴/۲	۳۳	۳۰
شهریور	۱۴/۳	۱۶/۹	۲۴/۵	۲۸/۲	۱۱/۴	۹/۶	۳۶	۳۲

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

اثر تنش خشکی و مواد افزودنی به خاک بر کلیه صفات مورد مطالعه معنی‌دار به‌دست آمد. اثر متقابل مواد افزودنی به خاک در مکان بر تمام صفات به استثناء شاخص سطح برگ، عیار قند و درصد قندخالص معنی‌دار شد. این موضوع احتمالاً به آن دلیل است که شاخص سطح برگ، عیار قند و درصد قند خالص بیش از سایر صفات تحت کنترل عوامل ژنتیکی و فرآیندهای فیزیولوژیک داخلی گیاه قرار دارند و حساسیت کمتری به اثر متقابل تفاوت‌های مکانی و تغییرات خصوصیات خاک نشان می‌دهند، در حالی‌که سایر صفات رشدی و عملکردی به شدت از شرایط محیط بویژه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر می‌پذیرند. اثر متقابل تنش کمبود آب در تیمار افزودنی به خاک نیز بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار گردید، زیرا مواد افزودنی به خاک با بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، ارتقای جذب عناصر غذایی و کاهش شدت اثرات منفی تنش خشکی، سبب تغییر نحوه پاسخ گیاه به سطوح مختلف تنش خشکی می‌گردد (جدول‌های۳ و ۴).

شاخص سطح برگ

بررسی نتایج نشان داد کاربرد میکوریزا و کود دامی در شرایط عدم تنش به ترتیب با میانگین ۴/۵ و ۴/۳ بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص دادند. در حالی که تیمار شاهد در تنش شدید کمترین مقدار (۲/۶) را نشان داد. بین تیمار شاهد و کود دامی در شرایط تنش شدید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

توانستند کاهش شاخص سطح برگ را تا حد زیادی تعدیل کنند. مشخص شد که بین تیمارهای استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب در شرایط تنش متوسط و تنش شدید اختلاف معنی‌دار وجود ندارد (جدول ۵).

بررسی ضرایب همبستگی در جدول ۷ نشان داد که شاخص سطح برگ رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد با عملکرد ریشه دارد، به‌طوری‌که مقدار همبستگی $r = ۰/۴۶۸^{**}$ به‌دست آمد. این رابطه بیانگر آن است که افزایش سطح برگ و توسعه بیشتر پوشش تاج‌برگی باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه بهبود تجمع ماده خشک و رشد اندام زیرزمینی می‌شود. به عبارت دیگر، گیاهانی که شاخص سطح برگ بالاتری دارند، معمولاً از توانایی بیشتری برای تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه برخوردارند و این امر نهایتاً موجب ارتقای عملکرد ریشه می‌گردد. چنین الگویی با ماهیت فیزیولوژیک چغندرقند همخوانی دارد و نشان می‌دهد شاخص سطح برگ می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های موثر در ارزیابی پتانسیل عملکرد ریشه مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۶). گزارش شده است تحت تنش خشکی مصرف سوپرجاذب در چغندرقند (Pacuta *et al*. 2021) و کاربرد میکوریزا در ذرت (Zhao *et al*. 2015) باعث افزایش شاخص سطح برگ گردید. رضائی‌چیانه و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی بر روی گلرنگ بیان کردند که استفاده از میکوریزا با افزایش جذب فسفر و تحریک سنتز سیتوکنین، توسعه سطح برگ را افزایش داد. Abdou (۲۰۲۴) و Ahmed و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که افزایش سطح برگ در شرایط مدیریت بهینه آب و کودهای زیستی رابطه مستقیمی با افزایش عملکرد ریشه و قند دارد. طبق نتایج پژوهش حاضر کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب حتی در شرایط تنش شدید خشکی، موجب حفظ شاخص سطح برگ گردید و این امر باعث بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد ریشه و قند می‌گردد.

جدول ۳: تجزیه واریانس شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه و عیارقند

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		شاخص سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ	وزن خشک اندام هوایی	عملکرد ریشه	عیار قند
مکان	۱	۰/۱۵^{ns}	۶۶/۳۱^{ns}	۱/۴۵^{ns}	۱۰۷/۱۹^{ns}	۴/۱۰^{ns}
خطا ۱	۶	۰/۳۷	۸۰/۷۶	۰/۵۶	۹۱/۶۲	۱۷/۴۶
تنش خشکی	۲	۲/۴۱**	۲۳۷/۲۴**	۱۰/۹۲*	۲۵۶/۲۳**	۲۰/۶۶**
مواد افزودنی	۳	۱/۶۸**	۱۷۰/۱۵**	۹/۷۷*	۳۲۸/۶۴**	۱۸/۷۳**
تنش خشکی در مکان	۲	۰/۶۱^{ns}	۱۵/۰۴^{ns}	۱/۷۳^{ns}	۴۹/۹۲^{ns}	۲/۸۲^{ns}
مواد افزودنی در مکان	۳	۰/۲۹^{ns}	۲۰۲/۸۸**	۸/۹۱*	۱۳۸/۳۹*	۳/۹۷^{ns}
تنش خشکی در مواد افزودنی	۶	۰/۶۶*	۱۲۷/۳۴**	۱۲/۵۹**	۱۰۵/۳۵*	۱۰/۰۳**
تنش خشکی در مواد افزودنی در مکان	۶	۰/۱۶^{ns}	۵۴/۷۷^{ns}	۳/۴۵^{ns}	۲۰/۸۳^{ns}	۴/۱۸^{ns}
خطا ۲	۶۶	۰/۲۶	۳۲/۴۱	۲/۵۴	۳۶/۷۱	۲/۸۵
ضریب تغییرات		۹/۳۱	۵/۸۲	۱۲/۱۳	۶/۷۸	۵/۹۳

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

جدول ۴: تجزیه واریانس عملکرد قند ناخص، عملکرد قند خالص، درصد قند خالص و عملکرد قند خالص

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد قند ناخالص	درصد قند خالص	عملکرد قند خالص
مکان	۱	۰/۵۶^{ns}	۳/۸۸^{ns}	۰/۶۴^{ns}
خطا ۱	۶	۱/۵۵	۱/۲۷	۳/۱۹
تنش خشکی	۲	۷/۴۹*	۱۶/۱۸**	۶۴/۶۵**
مواد افزودنی	۳	۱۴/۹۷**	۲۶/۹۱**	۷۶/۲۷**
تنش خشکی در مکان	۲	۱/۴۳^{ns}	۳/۶۶^{ns}	۲۲/۱۴^{ns}
مواد افزودنی در مکان	۳	۱۹/۵۳**	۱/۵۱ ^{ns}	۵۴/۲۸*
تنش خشکی در مواد افزودنی	۶	۶/۵۱*	۲۳/۷۷**	۵۳/۹۴**
تنش خشکی در مواد افزودنی در مکان	۶	۱/۳۰^{ns}	۲/۴۸^{ns}	۹/۰۷^{ns}
خطا ۲	۶۶	۲/۱۶	۴/۵۲	۱۱/۸۴
ضریب تغییرات		۸/۶۷	۶/۹۳	۴/۵۲

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

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و تیمار افزودنی به خاک بر شاخص سطح برگ، آب نسبی برگ، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه و عیار قند در چغندر قند

تنش کمبود آب	کود	شاخص سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	وزن خشک اندام هوایی (تن در هکتار)	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	عیار قند (درصد)
۵۰ میلی‌متر تبخیر (عدم تنش)	شاهد	۳/۵۶^{bc}	۷۶/۰۴^{bc}	۴/۱۶^{ab}	۶۷/۰۲^{c}	۱۷/۸۰^{cd}
	میکوریزا	۴/۵۶^{a}	۸۵/۷۳^{a}	۴/۷۳^{a}	۸۸/۳۱^{a}	۱۷/۰۱^{de}
	سوپرجاذب	۳/۸۱^{b}	۸۹/۴۱^{a}	۴/۳۱^{ab}	۷۶/۸۳^{b}	۱۶/۰۳^{e}
	کود دامی	۴/۳۲^{a}	۸۱/۰۳^{b}	۳/۷۳^{b}	۷۵/۶۹^{b}	۱۶/۲۶^{e}
۱۱۰ میلی‌متر تبخیر (تنش متوسط)	شاهد	۳/۱۶^{de}	۶۵/۵۸^{ef}	۳/۱۸^{c}	۴۶/۶۴^{c}	۱۸/۱۹^{bc}
	میکوریزا	۳/۷۸^{b}	۷۴/۴۹^{cd}	۴/۶۰^{a}	۵۹/۸۴^{d}	۱۸/۲۰^{bc}
	سوپرجاذب	۳/۷۰^{bc}	۷۳/۵۴^{cd}	۴/۴۷^{ab}	۵۲/۷۶^{d}	۱۸/۶۶^{bc}
	کود دامی	۳/۶۴^{bc}	۶۹/۹۳^{de}	۳/۹۱^{b}	۴۸/۸۳^{c}	۱۹/۵۵^{ab}
۱۷۰ میلی‌متر تبخیر (تنش شدید)	شاهد	۲/۶۶^{f}	۵۴/۹۲^{g}	۲/۹۷^{e}	۳۷/۴۶^{f}	۲۰/۴۸^{a}
	میکوریزا	۳/۲۸^{cd}	۶۵/۹۶^{ef}	۳/۴۵^{bc}	۴۹/۴۸^{c}	۱۹/۶۸^{ab}
	سوپرجاذب	۳/۲۰^{cd}	۶۴/۸۰^{f}	۳/۲۶^{c}	۴۶/۱۲^{c}	۱۹/۱۳^{ab}
	کود دامی	۲/۸۴^{ef}	۶۵/۰۱^{f}	۳/۳۹^{bc}	۴۴/۱۵^{ef}	۱۷/۹۷^{cd}

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و تیمار افزودنی به خاک بر عملکرد قند ناخالص، درصد قند خالص و عملکرد قند خالص

تنش کمبود آب	کود	عملکرد قند ناخالص (تن در هکتار)	درصد قند خالص (درصد)	عملکرد قند خالص (تن در هکتار)
۵۰ میلی‌متر تبخیر (عدم تنش)	شاهد	۱۱/۹۲^{bc}	۱۲/۹۸^{c}	۸/۷۰^{cd}
	میکوریزا	۱۴/۱۵^{a}	۱۳/۶۷^{c}	۱۲/۸۴^{a}
	سوپرجاذب	۱۳/۲۳^{b}	۱۴/۵۴^{b}	۱۰/۶۳^{b}
	کود دامی	۱۲/۳۰^{b}	۱۳/۵۸^{c}	۱۰/۲۸^{b}
۱۱۰ میلی‌متر تبخیر (تنش متوسط)	شاهد	۸/۴۸^{ef}	۱۳/۱۲^{c}	۶/۱۲^{g}
	میکوریزا	۱۰/۸۴^{cd}	۱۶/۸۱^{a}	۹/۳۸^{bc}
	سوپرجاذب	۱۰/۳۶^{cd}	۱۶/۵۰^{a}	۸/۸۷^{cd}
	کود دامی	۹/۵۴^{de}	۱۳/۲۵^{c}	۶/۴۷^{fg}
۱۷۰ میلی‌متر تبخیر (تنش شدید)	شاهد	۶/۷۱^{f}	۱۳/۳۲^{c}	۵/۱۷^{h}
	میکوریزا	۹/۷۵^{de}	۱۷/۳۵^{a}	۸/۳۲^{de}
	سوپرجاذب	۸/۸۲^{e}	۱۵/۸۲^{ab}	۸/۰۹^{ef}
	کود دامی	۷/۱۳^{f}	۱۴/۳۸^{b}	۶/۳۴^{gh}

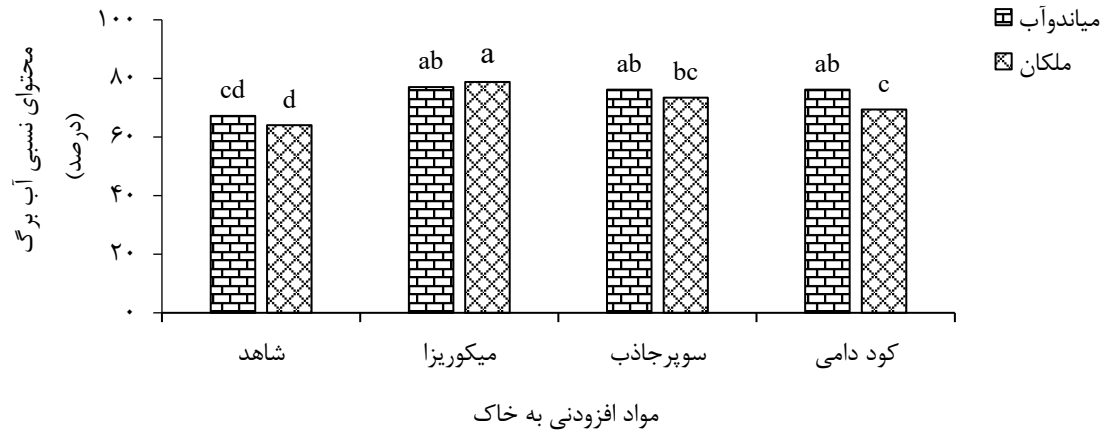
میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج مقایسه میانگین در جدول ۵ نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و مواد افزودنی خاک به‌طور معنی‌داری تغییر کرد. بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار عدم تنش همراه سوپرجاذب **با** میانگین ۸۹/۴ درصد مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار مربوط به تیمار تنش شدید همراه شاهد (عدم مواد افزودنی) با میانگین ۵۴/۹ درصد بود. کاربرد سوپرجاذب و میکوریزا در شرایط تنش شدید توانستند محتوای آب نسبی را به طور معنی‌داری به ترتیب ۶۵/۹ و ۶۴/۸ درصد نسبت به شاهد (۵۴/۹ درصد) افزایش دهند. در هر دو مکان تیمار شاهد (بدون مواد افزودنی) کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ را داشت. در ملکان، این مقدار۶۴ درصد و در میاندوآب حدود ۶۷/۲ درصد بود و تفاوت معنی‌داری بین این دو مکان مشاهده نشد. استفاده از میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ در هر دو مکان گردید. در ملکان این مقدار به حدود ۷۸/۸ درصد رسید که بالاترین میزان مشاهده شده در این مطالعه بود. در میاندوآب نیز میکوریزا باعث افزایش محتوای آب برگ به ۷۷/۱ درصد شد. ملاحظه شد که مواد افزودنی مختلف به خاک می‌توانند به طور قابل توجهی بر محتوای نسبی آب برگ تأثیر بگذارند. میکوریزا بیشترین تأثیر مثبت را در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

افزایش محتوای نسبی آب برگ و تیمار شاهد کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ را در هر دو مکان داشتند. سوپرجاذب و کود دامی نیز تأثیرات مثبتی نشان دادند، هرچند اثر آن‌ها کمتر از میکوریزا بود (شکل ۱).



شکل ۱: اثر متقابل مواد افزودنی به خاک در مکان بر محتوای نسبی آب برگ چغندرقند

تحلیل ضرایب همبستگی نشان داد که محتوای نسبی آب برگ ارتباط مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با وزن خشک اندام هوایی (r =۰/۶۲۱**) و عملکرد ریشه (r =۰/۵۹۶**) دارد. این روابط قوی بیانگر اهمیت حفظ وضعیت هیدراتاسیون مناسب برگ‌ها برای حداکثر رشد رویشی و تولید ماده خشک است. سطوح بالای آب در برگ‌ها، ضمن حفظ تورژسانس سلولی و باز بودن روزنه‌ها برای فتوسنتز، به طور غیرمستقیم رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی را نیز تقویت می‌کند. همچنین محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۵ درصد با عملکرد قند ناخالص (r =۰/۳۳۰*) و عملکرد قند خالص (r =۰/۲۵۸*) داشت که این امر نشان‌دهنده نقش غیرمستقیم حفظ وضعیت آبی مطلوب در بهینه‌سازی فتوسنتز و در نتیجه تولید قند در ریشه‌ها است. در نهایت، محتوای نسبی آب برگ رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح پنج درصد با شاخص سطح برگ (r =۰/۳۴۱*) داشت، که منطقی به نظر می‌رسد. چراکه گیاهان با برگ‌های سالم و هیدراته توانایی بیشتری در توسعه سطح برگ خود خواهند داشت (جدول ۷). Frosi و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که همزیستی میکوریزا در ذرت تحت تنش خشکی باعث افزایش ۱۵ تا ۱۸ درصدی محتوای آب نسبی برگ نسبت به گیاهان شاهد شد. در پژوهشی روی چغندرقند، Ahmed و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تلقیح میکوریزا باعث افزایش حدود ۱۲ درصدی محتوای نسبی آب برگ و در نهایت ۸ درصد بهبود عملکرد ریشه گردید. همچنین، Pacuta و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که مصرف سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی در چغندرقند موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ از ۵۵ درصد در شاهد به ۶۹ درصد در تیمار سوپرجاذب گردید.

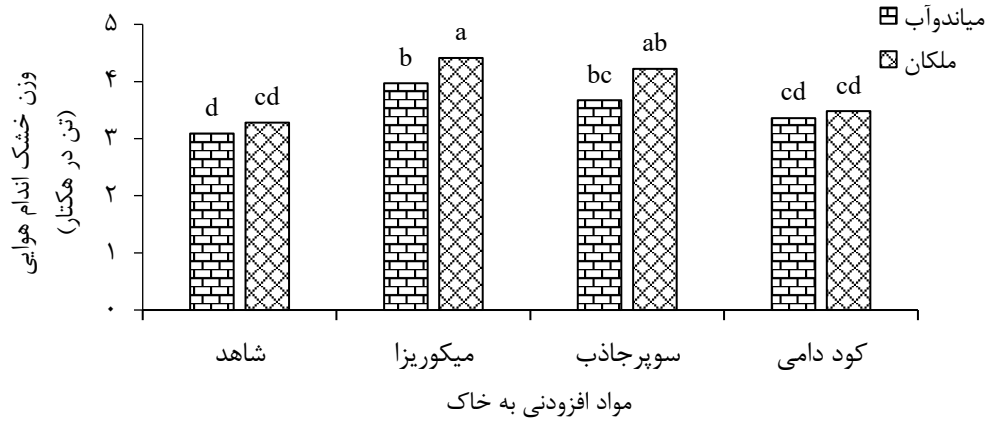
[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

وزن خشک اندام هوایی

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن خشک اندام هوایی چغندرقند به‌طور معنی‌داری تحت اثر متقابل تنش خشکی و مواد افزودنی خاک قرار گرفت. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار عدم تنش همراه با میکوریزا با میانگین ۴/۷ تن در هکتار مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد همراه با تنش شدید با میانگین ۲/۹ تن در هکتار بود (جدول ۵). در شرایط تنش متوسط و شدید، کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طوری که در تنش متوسط خشکی، وزن خشک اندام هوایی در تیمار میکوریزا ۴۴/۶ درصد و در تیمار سوپرجاذب ۴۰/۵ درصد بیشتر از شاهد بود. در تنش شدید اگرچه وزن خشک اندام هوایی در تمام تیمارها کاهش یافت، اما تیمارهای میکوریزا و سوپرجاذب توانستند این کاهش را به‌طور نسبی جبران کنند (جدول ۵). بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد که مواد افزودنی به خاک در هر دو مکان موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی نسبت به شاهد شدند. کمترین مقدار به تیمار شاهد تعلق داشت و بیشترین مقدار در تیمار میکوریزا مشاهده گردید. به‌طوری‌که وزن خشک اندام هوایی در ملکان به ۴/۴ و در میاندوآب به ۳/۹ تن در هکتار رسید. سوپرجاذب و کود دامی نیز باعث افزایش این صفت شدند اما اثر آنها کمتر از میکوریزا بود. در مجموع، میکوریزا مؤثرترین ماده افزودنی در بهبود رشد و افزایش وزن خشک اندام هوایی در هر دو مکان بود.

وزن خشک اندام هوایی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد ریشه ($r = ۰/۶۳۴^{**}$) است. این مورد بیانگر این نکته است که افزایش در وزن خشک قسمت رویشی باعث بهبود تولید ریشه نیز می‌شود. این وابستگی قوی می‌تواند به دلیل افزایش کارایی فتوسنتز در گیاهان با وزن خشک بالاتر و فراهم آوردن مواد غذایی بیشتر برای توسعه ریشه‌ها باشد. از طرفی، همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد با عملکرد قند ناخالص ($r = ۰/۵۱۶^{**}$) و عملکرد قند خالص ($r = ۰/۴۸۸^{**}$) نیز نشان‌دهنده این است که وزن خشک بالا در اندام‌های هوایی، تولید قند در ریشه‌ها را تسهیل می‌کند و از این طریق بر غلظت قند تأثیر مثبت می‌گذارد. مچنین وزن خشک اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص سطح برگ ($r = ۰/۵۱۲^{**}$) دارد، که نشان می‌دهد سطح برگ بزرگتر و توانایی جذب نور بیشتر، به تولید وزن خشک بالاتر کمک می‌کند (جدول ۷).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]



شکل ۲: اثر متقابل مواد افزودنی به خاک در مکان بر وزن خشک اندام هوایی چغندرقند

Begum و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که تلقیح میکوریزا در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ۲۱ درصد وزن خشک اندام هوایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی در ذرت شد. همچنین Dawood و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای روی چغندرقند نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی از ۱۱۰ به ۱۳۲ گرم در بوته گردید. Behera and Mahanwar (۲۰۱۹) نیز بیان کردند که مصرف سوپرجاذب تحت تنش خشکی، وزن خشک اندام هوایی چغندرقند را ۱۵ الی ۱۸ درصد افزایش داد و این افزایش ناشی از بهبود جذب و نگهداشت رطوبت در خاک بود.

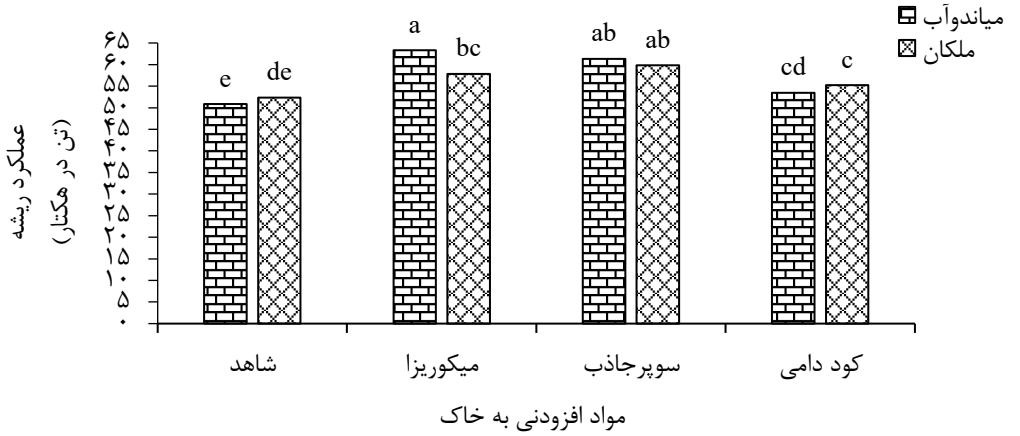
عملکرد ریشه

بیشترین عملکرد ریشه مربوط به تیمار عدم تنش خشکی همراه با کاربرد میکوریزا با میانگین ۸۸/۳ تن در هکتار به‌دست آمد. در حالی که کمترین عملکرد در تیمار شاهد همراه با تنش شدید خشکی با مقدار ۳۷/۴ تن در هکتار مشاهده شد. در شرایط تنش متوسط، کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه نسبت به شاهد گردید. به‌طوری که عملکرد ریشه در تیمار میکوریزا ۲۸/۳ درصد و در تیمار سوپرجاذب ۱۳/۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. در تنش شدید نیز اگرچه عملکرد ریشه در تمام تیمارها کاهش یافت، اما تیمار میکوریزا توانست عملکرد ریشه را در سطح ۴۹/۴ تن در هکتار حفظ کند و با تیمار کاربرد سوپرجاذب اختلاف معنی‌داری نداشت؛ با این حال، نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). اثر متقابل مواد افزودنی به خاک و مکان بر عملکرد ریشه چغندرقند متفاوت بود. کمترین عملکرد ریشه در تیمار شاهد مشاهده شد. به طوری که این مقدار در میاندوآب ۵۱/۸ تن در هکتار و در ملکان ۵۲/۳ تن در هکتار به‌دست آمد. کاربرد میکوریزا بیشترین عملکرد ریشه را ایجاد کرد و مقدار آن در میاندوآب به ۶۳/۲ تن در هکتار و در ملکان به ۵۷/۸ تن در هکتار رسید. در تیمار سوپرجاذب نیز عملکرد ریشه نسبت به شاهد افزایش یافت و در میاندوآب حدود ۶۱/۳ و در ملکان حدود ۵۹/۸ تن در هکتار ثبت شد. همچنین در تیمار کود دامی عملکرد ریشه در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

میاندوآب ۵۳/۴ و در ملکان ۵۵/۲ تن در هکتار بود. بنابراین نتایج نشان داد که استفاده از مواد افزودنی به خاک، به ویژه میکوریزا و سوپرجاذب، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه در هر دو مکان شده است (شکل ۳).

عملکرد ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص سطح (r =۰/۴۶۸**) دارد، که این موضوع بیانگر این است که انباشت بهتر سطح برگ به افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه تولید بیشتر ریشه کمک می‌کند. در عین حال، همبستگی مثبت ولی غیرمعنی‌دار با عیار قند (r =۰/۱۷۵) مشاهده شد، که نشان‌دهنده این است که افزایش عملکرد ریشه الزماً موجب افزایش درصد قند در ریشه نمی‌شود و ممکن است به عوامل دیگری نظیر خصوصیات ژنتیکی یا شرایط محیطی وابسته باشد. همچنین، عملکرد ریشه همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد قند ناخالص (r =۰/۸۱۹**) و عملکرد قند خالص (r =۰/۶۱۲**) داشت (جدول ۷). این نتایج نشان می‌دهد که افزایش عملکرد ریشه به افزایش مقدار قند در ریشه‌ها کمک کرده و در زمینه بهینه‌سازی تولید قند در زراعت چغندرقند، دارای اهمیت زیادی است.



شکل ۳: اثر متقابل مواد افزودنی به خاک در مکان بر عملکرد ریشه چغندرقند

Dahab و همکاران (۲۰۲۱) کردند که افزایش فاصله آبیاری از ۶۰ به ۱۵۰ میلی‌مترتبخیر از تشتک تبخیر کلاس A موجب کاهش عملکرد ریشه چغندرقند از ۷۵ به ۵۲ تن در هکتار شد. Malik و همکاران (۲۰۲۳) نیز بیان کردند که مصرف سوپرجاذب در شرایط خشکی نسبت به عدم مصرف آن عملکرد ریشه را حدود ۱۸ الی ۲۰ درصد افزایش داد که این افزایش ناشی از بهبود حفظ رطوبت و افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای بود.

عیار قند

بیشترین عیار قند مربوط به تیمار تنش خشکی شدید همراه تیمار شاهد (بدون مواد افزودنی) با میانگین ۲۰/۴ درصد بود، در حالی که کمترین مقدار در تیمار سوپرجاذب تحت آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر با مقدار ۱۶ درصد مشاهده شد. نتایج نشان داد که برخلاف صفات رویشی، افزایش شدت تنش خشکی موجب افزایش عیار قند شد، به‌طوری که عیار قند در تنش متوسط و شدید بالاتر از شرایط عدم تنش خشکی بود. این افزایش احتمالاً ناشی از تجمع بیشتر مواد محلول

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

به‌ویژه ساکارز در ریشه در شرایط محدودیت رشد رویشی است. با این حال، در تیمار شاهد تحت تنش شدید، اگرچه عیار قند افزایش یافت، اما این افزایش با کاهش شدید عملکرد ریشه همراه بود. بنابراین افزایش عیار قند الزاماً به معنای بهبود تولید قند نیست. کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب در شرایط تنش متوسط و شدید، ضمن حفظ عیار قند به طوریکه اختلاف معنی‌داری از لحاظ عیار قند با تیمار شاهد نداشتند ولی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه شدند (جدول ۵). افزایش عیار قند در تنش شدید خشکی ناشی از تنظیم اسمزی فعال، توقف گسترش سلولی و رشد ریشه، تغلیظ ناشی از کاهش آب بافت و تسریع بلوغ فیزیولوژیک است. از اینرو آن را می توان پاسخی به تنش خشکی دانست و نه نشانه تولید بیشتر، زیرا با افت همزمان سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی همراه است (Ebmeyer *et al*. 2021).

مشاهده شد که عیار قند همبستگی غیرمعنی‌دار با وزن خشک اندام هوایی (r =۰/۱۳۱) و عملکرد ریشه (r =۰/۱۷۵) دارد. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش در زیست‌توده یا وزن ریشه‌ها به طور مستقیم منجر به افزایش غلظت قند در ریشه‌ها نمی‌شود و ممکن است عوامل دیگری در این زمینه نقش پررنگ‌تری ایفا کنند. در مقابل، عیار قند همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد قند ناخالص (r =۰/۵۰۷**) و عملکرد قند خالص (r =۰/۴۶۹**) دارد. این همبستگی قوی نشان می‌دهد با وجود اینکه وزن ریشه مستقیماً بر غلظت قند تأثیر نمی‌گذارند، اما افزایش محتوای قند در ریشه به افزایش عملکرد قند منتهی می‌شود (جدول ۷). Karagoz و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که افزایش فاصله آبیاری موجب افزایش عیار قند چغندرقند از ۱۶/۱ درصد ۱۸/۷ درصد شد. Dawood و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش عیار قند از ۱۶/۴ درصد در شاهد به ۱۷/۹ درصد گردید.

عملکرد قند ناخالص

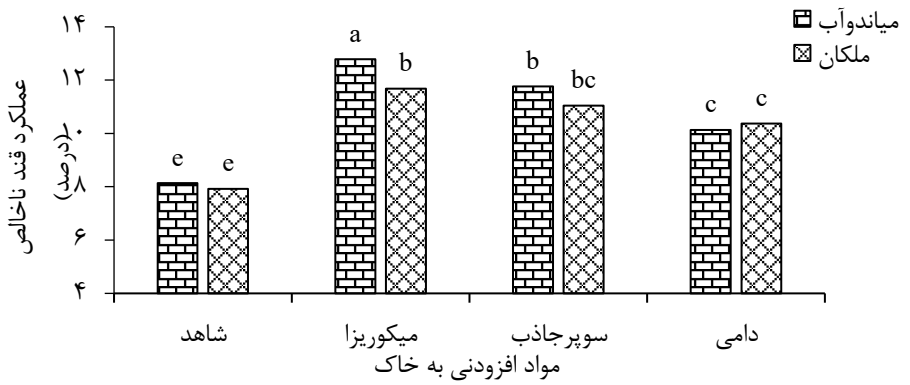
بیشترین عملکرد قند ناخالص مربوط به تیمار عدم تنش خشکی همراه با میکوریزا با میانگین ۱۴/۱ تن در هکتار بود، در حالی که کمترین مقدار در تیمار شاهد تحت آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر با مقدار ۶/۷ تن در هکتار مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد قند ناخالص به‌طور محسوسی کاهش یافت. هرچند با اعمال تنش در تیمارها افزایش عیار قند مشاهده شد، اما کاهش شدید عملکرد ریشه موجب افت عملکرد نهایی قند گردید. کاربرد میکوریزا، سوپرجاذب و کود دامی عملکرد قند ناخالص را در شرایط تنش متوسط به‌ترتیب ۲۷/۸، ۲۲/۱ و ۱۲/۵ درصد و در شرایط تنش شدید به‌ترتیب ۴۵/۳، ۳۱/۴ و ۶/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶).

بررسی شکل ۴ نشان داد که واکنش عملکرد قند ناخالص به مواد افزودنی به خاک در دو مکان یکسان نبود. در تیمار شاهد، عملکرد قند ناخالص در هر دو مکان در پایین‌ترین سطح قرار داشت و حدود ۸ تن در هکتار ثبت شد. با کاربرد میکوریزا افزایش قابل توجهی در این صفت مشاهده گردید، به طوری که در میاندوآب مقدار آن به ۱۲/۷ تن در هکتار

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

رسید، در حالی که در ملکان ۱۱/۷ تن در هکتار به‌دست آمد. در تیمار سوپرجاذب نیز مقادیر نسبتاً بالایی حاصل شد و عملکرد قند ناخالص در میاندوآب ۱۰/۵ تن در هکتار و در ملکان ۱۱ تن در هکتار بود. در مقابل، استفاده از کود دامی افزایش ملایم‌تری ایجاد کرد و مقادیر به ترتیب حدود ۱۰/۱ تن در هکتار در میاندوآب و حدود ۱۰/۳ تن در هکتار در ملکان ثبت شد. در مجموع، به نظر می‌رسد کارایی مواد افزودنی مانند میکوریزا و سوپرجاذب در افزایش تولید قند بیشتر بوده و این اثر در میاندوآب نسبت به ملکان شدت بیشتری نشان داده است. بر اساس نتایج همبستگی بین صفات، عملکرد قند ناخالص دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد ریشه ($r = ۰/۸۱۹^{**}$) و عیار قند ($r = ۰/۵۰۷^{**}$) بود (جدول ۷).

طبق گزارش Al Jbawi and Abbas (۲۰۱۳)، کاهش عملکرد ریشه از ۷۴ به ۵۱ تن در هکتار در اثر تنش خشکی، موجب کاهش عملکرد قند ناخالص از ۱۳/۹ به ۸/۶ تن در هکتار شد. Ahmed و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش عملکرد قند ناخالص از ۹/۲ به ۱۱/۸ تن در هکتار گردید. Pacuta و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیان کردند که مصرف سوپرجاذب در شرایط تنش خشکی، عملکرد قند ناخالص را حدود ۱۶ الی ۲۰ درصد افزایش داد.



درصد قند خالص

بیشترین درصد قند خالص مربوط به تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر همراه میکوریزا با مقدار ۱۶/۸ درصد به‌دست آمد. در حالی که کمترین مقدار در تیمار شاهد تحت تنش شدید خشکی با مقدار ۱۲/۹ درصد مشاهده شد. کاربرد مواد افزودنی به خاک توانست اثر منفی تنش شدید را کاهش دهد، به‌طوری که در تنش شدید درصد قند خالص در تیمارهای میکوریزا، سوپرجاذب و کود دامی به ترتیب ۳۰/۲، ۱۸/۸ و ۷/۹ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۶).

درصد قند خالص بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد قند خالص ($r = ۰/۵۷۷^{**}$) و عملکرد قند ناخالص ($r = ۰/۵۲۱^{**}$) داشت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین درصد قند خالص و عملکرد ریشه ($r = ۰/۴۵۸^{**}$) بیانگر آن است که افزایش عملکرد ریشه تا حد زیادی با بهبود قند همراه است. در سطح فیزیولوژیک نیز درصد قند خالص با محتوای نسبی آب برگ ($r = ۰/۳۱۶^{*}$) همبستگی معنی‌دار در سطح پنج درصد را نشان داد (جدول ۷). Karagoz و همکاران (۲۰۱۸)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

گزارش کردند که افزایش تنش خشکی موجب افزایش عیار قند اما کاهش درصد قند خالص شد، به‌طوری که درصد قند خالص از ۱۵/۶ درصد در تنش متوسط به ۱۴/۲ درصد در تنش شدید کاهش یافت. Mohamed Abbas و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی در چغندرقند باعث کاهش یون‌های مزاحم و افزایش درصد قند خالص از ۱۴/۱ درصد در به ۱۵/۳درصد گردید. Malik و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند که مصرف سوپرجاذب با کاهش تنش آبی، درصد قند خالص را افزایش داد.

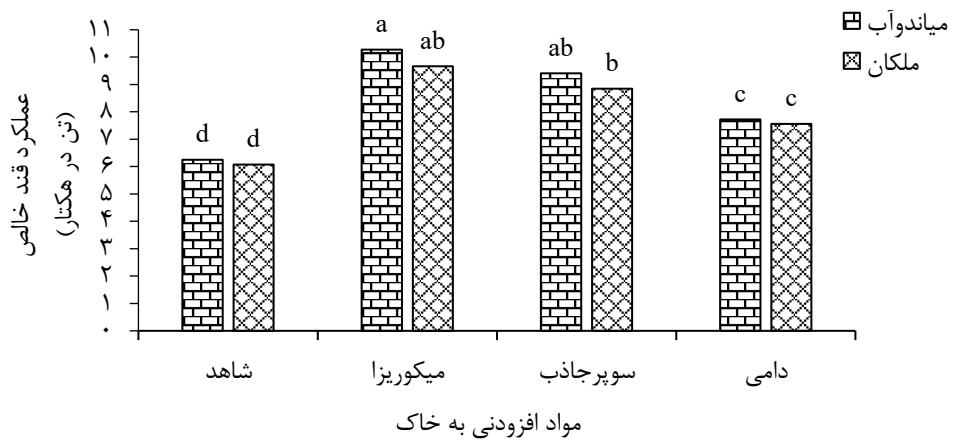
عملکرد قند خالص

بیشترین عملکرد قند خالص مربوط به تیمار عدم تنش همراه میکوریزا با میانگین ۱۲/۸ تن در هکتار بود، در حالی که کمترین مقدار در تیمار شاهد تحت تنش شدید با مقدار ۵/۱ تن در هکتار مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد قند خالص به‌طور محسوسی کاهش یافت. اگرچه در شرایط تنش متوسط و شدید، عیار قند و حتی درصد قند خالص افزایش نسبی نشان دادند، اما کاهش شدید عملکرد ریشه سبب افت عملکرد نهایی قند خالص گردید. کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب موجب افزایش عملکرد قند خالص به‌ترتیب ۵۳/۲ و ۴۴/۹ درصد در تنش شدید و ۶۰/۹ و ۵۶/۴ درصد در تنش متوسط نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۶).

نتایج نشان داد که مواد افزودنی به خاک موجب بهبود عملکرد قند خالص در هر دو مکان شدند (شکل ۵). کمترین مقدار در تیمار شاهد (حدود ۶ تن در هکتار) مشاهده شد و بیشترین عملکرد مربوط به میکوریزا با ۱۰/۲ تن در هکتار در میاندوآب و ۹/۶ تن در هکتار در ملکان بود. تیمار سوپرجاذب نیز مقادیر نسبتاً بالایی نشان داد (۹/۴ و ۸/۸ تن در هکتار به ترتیب در میاندوآب و ملکان)، در حالی که کود دامی افزایش کمتری ایجاد کرد (۷/۷ و ۷/۵ تن در هکتار به ترتیب در میاندوآب و ملکان). بیشترین همبستگی عملکرد قند خالص با عملکرد قند ناخالص (r =۰/۸۴۱**) مشاهده شد که بیانگر وابستگی مستقیم قند خالص به مقدار کل قند تولیدی در ریشه است. علاوه بر این، رابطه مثبت و نسبتاً قوی با عملکرد ریشه (r =۰/۶۱۲**)، نشان داد که افزایش عملکرد ریشه نقش مهمی در افزایش قند قابل استخراج دارد. همبستگی مثبت با عیار قند (r =۰/۴۶۹**) نیز حاکی از آن است که افزایش غلظت ساکارز در ریشه نه تنها عملکرد قند ناخالص بلکه سهم قند خالص را نیز به‌طور مؤثری ارتقا می‌دهد. رابطه مثبت با صفات فیزیولوژیک نظیر شاخص سطح برگ (r =۰/۳۰۱*) و محتوای نسبی آب برگ (r =۰/۲۵۸*) نشان داد که وضعیت مطلوب فتوسنتزی و حفظ محتوای نسبی آب برگ می‌تواند از طریق افزایش سنتز و انتقال کربوهیدرات‌ها، عملکرد قند خالص را بهبود دهد (جدول ۷). Mahmoud و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاهش عملکرد ریشه در اثر تنش خشکی موجب کاهش عملکرد قند خالص از ۱۱/۲ به ۶/۹ تن در هکتار شد. Dawood و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که کاربرد کودهای زیستی باعث افزایش عملکرد قند خالص از ۷/۸ به ۹/۶

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

تن در هکتار گردید. Pacuta و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیان کردند که مصرف سوپرجاذب در شرایط خشکی، عملکرد قند خالص را حدود ۱۸ الی ۲۲ درصد افزایش داد که این افزایش از طریق بهبود وضعیت آبی خاک و افزایش کارایی مصرف آب به‌دست آمد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب از طریق حفظ عملکرد ریشه و افزایش درصد قند خالص نقش مؤثری در کاهش افت عملکرد قند خالص چغندرقند تحت شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند.



شکل ۵: اثر متقابل مواد افزودنی به خاک در مکان بر عملکرد قند خالص چغندرقند.

جدول ۷: ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی

	شاخص سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ	وزن خشک اندام هوایی	عملکرد ریشه	عیار قند	عملکرد قند ناخالص	درصد قند خالص
محتوای نسبی آب برگ	۰/۳۴۱*	۱					
وزن خشک اندام هوایی	۰/۵۱۲**	۰/۶۲۱**	۱				
عملکرد ریشه	۰/۴۶۸**	۰/۵۹۶**	۰/۶۳۴**	۱			
عیار قند	۰/۳۹۰*	۰/۳۰۵*	۰/۱۳۱ns	۰/۱۷۵ns	۱		
عملکرد قند ناخالص	۰/۳۴۷*	۰/۳۳۰*	۰/۵۱۶**	۰/۸۱۹**	۰/۵۰۷**	۱	
درصد قند خالص	۰/۳۲۹*	۰/۳۱۶*	۰/۰۷۳ns	۰/۴۵۸**	۰/۲۹۱*	۰/۵۲۱**	۱
عملکرد قند خالص	۰/۳۰۱*	۰/۲۵۸*	۰/۴۸۸**	۰/۶۱۲**	۰/۵۹۶**	۰/۸۴۱**	۰/۵۷۷**

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که به‌کارگیری مواد افزودنی به خاک به‌ویژه میکوریزا و سوپرجاذب راهکاری کارآمد برای کاهش اثرات تنش خشکی در چغندرقند رقم شکوفا و ارتقا عملکرد قند خالص است. کاربرد میکوریزا، سوپرجاذب و کود دامی در شرایط عدم تنش با افزایش شاخص سطح برگ، زمینه افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه بهبود عملکرد ریشه و به‌ویژه افزایش قند خالص را فراهم کردند تحت سطوح مختلف تنش خشکی، حضور سوپرجاذب و میکوریزا با تعدیل کاهش شاخص سطح برگ و افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد، توانستند وضعیت آبی و کارایی تولید قند در گیاه را حفظ کنند. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص سطح برگ با عملکرد ریشه نشان داد که بهبود رشد اندام هوای و حفظ سطح برگ، نقشی مستقیم در افزایش تولید قند خالص دارد. بنابراین استفاده هدفمند از میکوریزا و سوپرجاذب، با بهبود شرایط فیزیولوژیک گیاه، می‌تواند از طریق تعدیل اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد قند خالص، نقش مؤثری در ارتقای عملکرد چغندرقند تحت تنش خشکی ایفا کند.

منابع

احمدپور دهکردی، ا. و تدین، م. ر. (۱۳۹۴). تأثیر پساب شهری، کمپوست بستر قارچ، کود گوسفندی و کود شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و رشد چغندر قند. فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۴ شماره ۱۲، ص ۶۱-۷۲.

رضائی‌چیانه، ا.، خرمدل، س.، مولودی، آ. و رحیمی، ا. (۱۳۹۶). اثر کود نانوکلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی .نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۵ شماره ۱، ص ۱۶۸-۱۸۴. https://doi.org/10.22067/gsc.v15i1.49876

سرخی، ف. (۱۳۹۸). واکنش آفتابگردان رقم ایروفلور به تنش کم‌آبی و شیوههای مصرف کود فسفات زیستی در منطقه میاندوآب. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۱۱ شماره ۴۱، ص ۹۵-۱۱۰.

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

Ahmed, A., Khan, M. and Rehman, S. (2022). Effect of biofertilizers on growth and sugar yield of sugar beet (*Beta vulgaris*). Journal of Plant Nutrition, 45(3): 421-432.

A**hmed, S. Y., Bekeet, M. A., Eissa, M. A., Hussien, H. A., and Abou ElWafa, S. F. (2023).** Effect of water deficit irrigation and bio fertilizers on growth, yield and quality of sugar beet. Egyptian Sugar Journal, 19(19): 71-81. https://doi.org/10.21608/esugj.2023.181138.1028

Al Jbawi, E. and Abbas, F. (2013). The effect of length during drought stress on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality. Persian Gulf Crop Protection, 2(1): 35-43.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

Alotaibi, M. O., Alsadon, A. and Wahb Allah, M. (2021). Organic and biofertilizers improve soil quality and crop productivity under water deficit conditions. Agricultural Water Management, 248: 106771.

Abdou, N. M. (2024). Biochar amendment alleviates the combined effects of salinity and drought stress on water productivity, yield and quality traits of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 24: 2091-2110. https://doi.org/10.1007/s42729-024-01754-5

Begum, N., Ahanger, M. A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N. S. A., Ahmad, P. and Zhang, L. (2019). Improved drought tolerance by arbuscular mycorrhizal fungi inoculation in maize (*Zea mays* L.). Microbiological Research, 224: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.03.005

Behera, P. and Mahanwar, P. (2019). Superabsorbent polymers in agriculture and water management: A review. Polymer-Plastics Technology and Materials, 58(10): 1056-1076.

Dahab, M. H., Kheiry, A. N. O. and Basheeir, E. M. H. (2021). The response of sugar beet productivity to irrigation intervals in a semiarid zone. International Journal of Academic and Applied Research, 5(11): 124-130.

Dawood, R. A. E., Abd El Azeem, A. S. and Gohar, I. M. A. (2023). Effects of nitrogen fertilizers, bio fertilizer and molasses on yield quality of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.). Egyptian Sugar Journal, 20(20): 53-62.

Ebmeyer, H., Fiedler-Wiechers, K. and Hoffmann, C. M. (2021). Drought tolerance of sugar beet – Evaluation of genotypic differences in yield potential and yield stability under varying environmental conditions. European Journal of Agronomy, 125, 126262. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126262

Eriklioglu, H., Ilhan, E., Khodasevich, M., Korolko, D., Manley, M., Castillo, R. and Oztop, M. H. (2023). Classification and quantification of sucrose from sugar beet and sugarcane using optical spectroscopy and chemometrics. Journal of Food Science, 88(8): 3274-3286. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16668

Frosi, G., Santos, M., Ramos, D. and Oliveira, M. T. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance drought tolerance in crop plants by improving water relations. Mycorrhiza, 27(7): 639-645. https://doi.org/10.1007/s00572-017-0786-y

Hemasundar, D., Kumar, S. and Reddy, V. (2023). Water requirement and yield performance of sugar beet under different irrigation regimes. Irrigation Science, 41(5): 623-635.

Karagoz, H., Cakmakci, R., Hosseinpour, A. and Kodaz, S. (2018). Alleviation of water stress and promotion of the growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants by multi traits. Applied Ecology and Environmental Research, 16(5): 6801-6813. https://doi.org/10.15666/aeer/1605_68016813

Kenter, C., and Hoffmann, C. (2025). Yield stability and water use efficiency of sugar beet under limited irrigation. Field Crops Research, 310: 109123.

Mahmoud, E. S. A., Hassanin, M. A., Borham, T. I, and Emara, E. I. R. (2018). Tolerance of some sugar beet varieties to water stress. Agricultural Water Management, 201: 144-151. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.025

Malik, S., Chaudhary, K., Malik, A., Punia, H., Sewhag, M., Berkesia, N., Nagora, M., Kalia, S., Malik, K., Kumar, D., Kumar, P., Kamboj, E., Ahlawat, V., Kumar, A. and Boora, K. (2023). Superabsorbent polymers as a soil amendment for increasing agriculture production with reducing water losses under water stress condition. Polymers, 15: 1-18.

Mohamed Abbas, S., Soliman, A. S. H., Zeinab, Z. R. and Abd El Reheem Kenawy, M. A. (2018). Effect of some soil amendments on yield and quality traits of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under water stress in sandy soil. Egyptian Journal of Agronomy, 40(1): 75-88. https://doi.org/10.21608/agro.2018.2660.1091

Nowicki, R., Wilczewski, E. and Kłosowski, M. (2025). The Timing of Sugar Beet Harvesting Significantly Influences Roots Yield and Quality Characteristics. Agronomy, 15(3): 704-416. https://doi.org/10/3390: agronomy15030704

Pacuta, V., Rasovsky, M., Michalska Klimczak, B., and Wyszynski, Z. (2021). Impact of superabsorbent polymers and variety on yield, quality and physiological parameters of the sugar

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

beet (*Beta vulgaris* prov. Altissima Doell). Plants, 10(4): 757-774. https://doi.org/10.3390/plants10040757

Reinefeld, E., Emmerich, A., Baumgarten, G., Winner, C. and Beib, U. M. (1974). Zur voraussage des melassezuckers aus rubenanalysen. Zucker, 27: 2 -15.

Sorkhi, F. (2020). Effect of irrigation intervals and humic acid on physiological and biochemical characteristic on medicinal plant of *Thymus vulgaris*. Iranian Journal of Plant Physiology, 10(4): 3367-3378.

Sorkhi, F., and Khomari, S. (2021). Effect of different levels of water deficit on yield and amount of osmotic regulator in tetraploid and hexaploid wheat genotypes. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 23(1): 12-16.

Sorkhi, F., Fateh, M. and Rostami, R. (2024). Effect of mycorrhizal fungi species inoculation on yield, yield components, photosynthetic pigments and proline content in wheat under different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing, 14(3): 85-100. https://doi.org/10.47176/jcpp.14.3.37661

Wang, Q., Shao, K., Cai, Z., Che, Y., Chen, H., Xiao, S., Wang, R. Liu, Y., and Ma, Y. (2025). Prediction of sugar beet yield and quality parameters using Stacked LSTM model with pre harvest UAV time series data and meteorological factors. Artificial Intelligence in Agriculture, 5: 100023. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2025.02.004

Zaher, N., Nabizadeh, E., Azizi, H., Mohammadian, R. and Hamze, H. (2025). Evaluation of enzymatic and agronomic characteristics and yield stability of sugar beet *(Beta vulgaris* L.) genotypes under normal and water deficit stress. Plant Science Today, 12(1): 1-14. https://doi.org/10.14719/pst.3123

Zhao, R., Guo, W., Bi, N., Guo, J., Wang, L., Zhao, J. and Zhang, J. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. Applied Soil Ecology, 88: 41-49. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.11.016

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]

The Role of Soil Amendments in Reducing the Effect of Drought Stress in Sugar Beet cv. Shokoufa

F. sorkhi [1*]

1) Department of Plant Production and Genetics Engineering, Miy.C., Islamic Azad University, Miyandoab, Iran.

[*]**Corresponding Author: farsorkhi@iau.ac.ir**

Received date: 2025.09.06 **Accepted date: 2025.11.16**

Abstract

To investigate the effect of soil amendments on improving the growth and yield of sugar beet under different levels of drought stress, a field experiment was carried out in the 2025 cropping year at two locations, Miandoab and Malekan, as a 3×4 factorial (drought stress × soil amendment) in a randomized complete block design with four replications, using a combined analysis across the two locations. The factors were location at two levels (Miandoab and Malekan), three levels of drought stress based on 50 (no stress), 110 (moderate stress) and 170 mm (severe stress) of evaporation from a Class A evaporation pan, and four types of soil amendment (control, superabsorbent, mycorrhizal fungus and animal manure). The traits studied were leaf area index, leaf relative water content, shoot dry weight, root yield, sugar content, white (pure) sugar percentage, and gross and recoverable sugar yield. Application of mycorrhizal inoculation and superabsorbent polymer under moderate and severe drought stress significantly increased shoot dry weight, root yield, and recoverable and gross sugar compared with the control. Under severe drought stress, shoot dry weight and root yield were 16.2% and 32.1% higher than the control with mycorrhiza, 9.8% and 23.1% higher with superabsorbent, and 14.2% and 17.9% higher with animal manure, respectively. Recoverable sugar yield showed a positive correlation with leaf relative water content (r = 0.258*), leaf area index (r = 0.301*), root yield (r = 0.612) and gross sugar yield (r = 0.841**). The results showed that soil amendments, especially mycorrhiza, play an effective role in improving growth and maintaining sugar beet yield under drought stress.**

Key words: Leaf area, superabsorbent, animal manure, yield, and arbuscular mycorrhiza.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-26]