

بررسی اثر نظام‌های زراعی مختلف بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای

(Sorghum bicolor Moench (L))

اکبر بهاری^۱، آیدین خدایی جوقان^{۲*}، احمد زارع^۳، محمد حسین قرینه^۴ و محمد چناری^۵

۱، ۲، ۳ و ۴) گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

۵) محقق شرکت کشت و صنعت شهید بهشتی، دزفول، ایران.

نویسنده مسئول: a.khodaei@asnruk.ac.ir*

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶

چکیده

به‌منظور مطالعه تاثیر نظام‌های مختلف زراعی بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام سورگوم، این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل چهار نظام‌زراعی (پرنهاده (رایج)، متوسط نهاده، کم‌نهاده و اکولوژیک) در کرت‌های اصلی و چهار رقم سورگوم علوفه‌ای (منصور، اسپیدفید، پگاه و پژیال) و دو سطح قارچ مایکوریزا (تلقیح و عدم تلقیح) در کرت‌های فرعی بود. نتایج نشان داد که در نظام زراعی پرنهاده همراه با تلقیح، رقم پژیال بالاترین شاخص سطح برگ (۸) را نشان داد. همچنین نتایج نشان داد، که بیشترین وزن علوفه تازه از نظام زراعی پرنهاده و بدون تلقیح به دست آمد و عملکرد علوفه تازه در ارقام منصور و اسپیدفید ۴۴ و ۴۷ درصد و در ارقام پگاه و پژیال ۴۵ و ۳۸ درصد نسبت به نظام زراعی کم‌نهاده افزایش یافت. بالاترین عملکرد (۹۴۷۵ کیلوگرم ماده خشک در هکتار) مربوط به رقم اسپیدفید با نظام زراعی پرنهاده و تلقیح با مایکوریزا حاصل شد. همچنین نظام زراعی پرنهاده منجر به کاهش فیبر علوفه شد و بالاترین درصد فیبرخام در نظام زراعی کم‌نهاده مشاهده گردید، درحالی‌که نظام زراعی متوسط و پرنهاده کمترین فیبر را داشت. به‌طور کلی مشخص شد که نظام زراعی اکولوژیک به‌همراه کاربرد قارچ مایکوریزا، علاوه بر بهبود کیفیت علوفه سورگوم می‌تواند عملکرد قابل قبولی داشته و در تولید پایدار این محصول به ویژه در رقم اسپیدفید نقش موثری ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، فیبر، شاخص سطح برگ و عملکرد علوفه.

مقدمه

امروزه توسعه منابع علوفه و خوراک دام برای تأمین امنیت غذایی ضروری است. تغذیه متعادل دام، می‌تواند محصولات غیرخوراکی برای انسان را به غذای انسانی تبدیل کند (Chand et al., 2022). سورگوم (*Sorghum bicolor Moench (L)*)، یکی از پنج غله اصلی جهان، گیاهی چندمنظوره است که در صنایع غذایی، سلولزی، سوخت‌های زیستی و خوراک دام و طیور کاربرد دارد (Baghdadi et al., 2021). ویژگی‌های مانند زمان کشت تطبیق‌پذیر، کوتاهی فصل رشد و تناوب‌های زراعی با دیگر محصولات، باعث شده سورگوم به‌عنوان یک محصول علوفه‌ای مهم مورد توجه قرار گیرد (Hasan et al., 2019). نظام‌های زراعی متداول به نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی، انرژی، نیروی کار و ماشین‌آلات وابسته‌اند. با توجه به هزینه‌های بالای این نهاده‌ها، شناسایی نقاط مهم هدررفت عناصر غذایی و بهبود چرخه عناصر ضروری است. استفاده از کودهای شیمیایی سریع‌ترین راه تأمین عناصر غذایی است، اما هزینه، آلودگی و تخریب محیط زیست، از جمله مشکلات آن است (Amiri et al., 2019). استفاده از سیستم‌های زراعی کم‌نهاده، به منظور مدیریت بهتر منابع و دستیابی به کشاورزی پایدار، اهمیت یافته است. این نظام‌ها با کاهش وابستگی به منابع خارجی، پایداری اکوسیستم کشاورزی را افزایش می‌دهند (Berbec et al., 2020). بررسی‌ها نشان می‌دهد که نظام‌های کم‌نهاده می‌توانند عملکرد مناسب و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی را داشته باشند (Kamaei et al., 2022). وابستگی زیاد به نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی، کشاورزی پایدار را تهدید می‌کند و استفاده از کودهای بیولوژیک و ریزجانداران حل‌کننده فسفات، راهکاری مؤثر برای کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و بهبود سلامت خاک است (Farid et al., 2023; Kaur et al., 2023). مایکوریزا نقش مهمی در تقویت گیاهان، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش تحمل در برابر تنش‌های محیطی و بیماری‌ها دارد و تحقیقات نشان می‌دهند که هم‌زیستی با این قارچ‌ها می‌تواند رشد و ویژگی‌های کیفی علوفه را بهبود بخشد که در این زمینه طی آزمایشی نشان داده شد که تلقیح قارچ مایکوریزا با بذرها، سبب بهبود ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه و برگ، کربوهیدرات‌های محلول در آب و خاکستر و کمترین درصد فیبرهای غیر محلول در شوینده‌های اسیدی در مقایسه با گیاه سورگوم غیرمایکوریزایی گردید (باقری ده‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۶). در آزمایشی با بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و کیفی علوفه عدس، نشان داد بیشترین درصد پروتئین، خاکستر علوفه، کربوهیدرات محلول در آب، ماده خشک قابل‌هضم و فعالیت آنزیم گلوکاتیون ردوکتاز در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی+زیستی+کود دامی مشاهده گردید. حداکثر عملکرد علوفه و عملکرد پروتئین به ترتیب ۱۴۶۰/۵۲ و ۳۳۶/۳۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۵۰ درصد کود شیمیایی+کود زیستی+کود دامی حاصل گردید (حیدرزاده و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهشی دیگر استفاده از قارچ مایکوریزا باعث افزایش قابل توجه قابلیت هضم ماده خشک، ارزش نسبی تغذیه‌ای، ماده خشک مصرفی، فیبرخام،

کربوهیدرات محلول در آب و کل ماده مغذی قابل هضم در جو و خلر گردید (حقانی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸). در تحقیقی که در مورد اثر مایکوریزا بر روی سورگوم انجام شد، مشخص شد، قارچ مایکوریزا گونه *Glomus mosseae* می‌تواند از طریق تعدادی از مسیرهای متابولیک و آنزیمی، ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، وزن خشک کل، طول و قطر ساقه بهبود بخشد (Ortas et al., 2022). رنجیر و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی با اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی بر شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای نشان دادند، عملکرد علوفه‌ی تر ذرت در نظام خاک‌ورزی متداول بیشتر از دونظام دیگر بود. بیشترین عملکرد علوفه‌ی تر با مقدار ۷۱ تن در هکتار در نظام خاک‌ورزی متداول و کمترین عملکرد با مقدار ۶۴ تن در هکتار برای نظام بدون خاک‌ورزی به دست آمد که علت آن افزایش دسترسی به آب یا دسترسی به آب بیشتر و توسعه مناسب ریشه در سیستم خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد. Doubs و همکاران (۱۹۹۳) ضمن بررسی دو سیستم زراعی اکولوژیک و متداول در تولید محصولات ذرت و سورگوم گزارش کردند که بیشترین جمعیت قارچ‌های مایکوریزا در نظام زراعی کم‌نهاده مشاهده شد. برخی محققان بیوماس بیشتر تولید شده در گیاهان کشت شده در نظام اکولوژیک را یکی از عوامل مهم پایداری این گونه نظام‌ها از نظر تأمین انرژی برای سایر سطوح چرخه‌های غذایی فعال در این نظام ذکر کرده‌اند (Pimentel et al., 2005). با توجه به اینکه تولید غذایی با کیفیت و حفظ سلامت و پایداری اکوسیستم ضرورت فعالیت‌های کشاورزی در سال‌های پیش رو است، توجه به مدیریت‌های زراعی مبتنی بر اصول اکولوژیک و کم‌نهاده لازم و ضروری است. از اینرو معرفی مناسب‌ترین نظام زراعی و انتخاب ارقام سازگار برای هر نظام زراعی با تاکید بر کاهش اثرات زیست محیطی از طریق کاربرد مایکوریزا در رونق تولید و پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی مؤثر خواهد بود. بنابراین هدف این پژوهش، ارزیابی اثر نظام‌های زراعی و هم‌زیستی ریزجاندارن خاکزی بر برخی صفات مورفولوژیک و کیفی ارقام سورگوم علوفه‌ای در خوزستان بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول واقع در ۱۳ کیلومتری جنوب شهرستان اندیمشک و در ۴۵ کیلومتری دزفول، با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی با ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا در سال زراعی ۰۲ - ۱۴۰۱ به صورت اسپلیت‌فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. این منطقه دارای اقلیم گرم و خشک با تابستان‌های گرم و طولانی می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه ۲۷۹ میلی‌متر، میانگین حداکثر درجه حرارت سالیانه در مرداد ماه ۴۸/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل درجه حرارت سالیانه در دی ماه سه درجه سانتی‌گراد بود. تیمارهای آزمایشی شامل چهار نظام‌زراعی (پرنهاده (رایج)، متوسط نهاد، کم‌نهاده و اکولوژیک) در کرت‌های اصلی و چهار رقم سورگوم علوفه‌ای (منصور، اسپیدفید، پگاه و

پژپال) و دو سطح مایکوریزا (تلقیح و عدم تلقیح) در کرت‌های فرعی بود. قبل اجرای آزمایش، نمونه خاک مزرعه به‌صورت تصادفی و زیگزاگ از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه و مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	درجه اسیدی خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	ماده آلی (درصد)	نیترژن (درصد)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
سیلتی-لمومی	۷/۵	۱/۳۵	۰/۹۸	۰/۰۹۵	۱۹۳	۱۴/۵

بذور قبل از کشت با قارچ مایکوریزا آربسکولار حاوی سویه‌های *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum* و *Glomus mosseae* با شمارش ۱۰۷ تا ۱۰۸ (CFU/gr) تهیه شده از شرکت زیست‌فناور سبز با برند مایکوروت آغشته شدند. کلیه عوامل زراعی و مصرف نهاده‌ها اعم از کاشت، داشت و برداشت، مطابق جدول ۲ برای هر کدام از نظام‌های زراعی در زمان مناسب و معمول منطقه انجام شد. عملیات تهیه زمین، کنترل علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌ها، کودهای شیمیایی و دامی در نظام‌های زراعی پرنهاده و کم‌نهاده، به‌ترتیب حداکثر و حداقل عملیات زراعی و نهاده مصرفی که کشاورزان منطقه استفاده می‌کنند و برای نظام متوسط نهاده، میانگین این دو نظام به‌کار گرفته شد. در نظام زراعی اکولوژیک، حداقل خاک‌ورزی توسط تراکتور و سایر عملیات وجین علف‌های هرز، با نیروی انسانی انجام شد و تنها نهاده مصرفی، کود دامی و بذر بود (جدول ۲). دو هفته قبل از کاشت، کود دامی کاملاً پوسیده به‌میزان ۲۰ تن در هکتار به کرت‌های اصلی دارای نظام زراعی اکولوژیک اضافه شد. عملیات کاشت در اوایل خرداد ماه ۱۴۰۲ بلافاصله پس از برداشت گندم و تهیه زمین به‌صورت جوی و پشته با فاصله ۲۰ سانتی‌متر در هشت خط کاشت انجام شد. فاصله بین بلوک‌ها یک متر، طول و عرض ردیف‌های کاشت به‌ترتیب پنج و چهار متر، فاصله روی بوته ارقام بین هشت سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذور به‌صورت کپه‌ای (دو تا سه بذر در هر کپه) در دیواره پشته (داغاب) کشت و عملیات تنک کردن زمانی که بوته‌ها به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری (مرحله چهار تا شش برگی) رسیدند، انجام گردید.

جدول ۲: میزان نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی لازم در نظام‌های زراعی مختلف

نظام‌های مصرفی	نظام‌های زراعی		
	پر نهاده	متوسط نهاده	کم نهاده
دفعات شخم	۲	۱	۰
دفعات دیسک	۲	۱	۱
دفعات لولر	۲	۱	۱
N-P-K کیلوگرم در هکتار	۳۰۰-۱۵۰-۱۵۰	۲۰۰-۱۰۰-۱۰۰	۵۰-۵۰-۱۰۰
کود دامی (تن در هکتار)	۰	۰	۲۰
مبارزه با آفات (نوبت)	۲	۱	۰
مبارزه با علف‌های هرز (نوبت)	۱	۱	۰

تراکم مطلوب برای سورگوم علوفه‌ای ۲۵۰ هزار بوته در هکتار تعیین شد (راعی و همکاران، ۱۳۹۲). آبیاری به‌صورت کرتی و جهت جوانه‌زنی و استقرار بهتر بذور، دور آبیاری به‌طور مساوی برای همه تیمارها صورت گرفت. از طرفی برای جلوگیری از آسیب پرندگان اطراف زمین نیز سورگوم کشت شد. بذور از مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج تهیه شدند. برخی از مشخصات ارقام مورد استفاده در این آزمایش عبارتند از:

رقم اسپیدفید: از دورگیری ارقام بین سورگوم سودان‌گراس و سورگوم معمولی حاصل شده و بیشترین سطح زیر کشت کشتور را دارد. دارای تیپ علوفه‌ای و زودرس بوده و بین دو تا پنج چین بسته به اقلیم قابلیت برداشت دارد.
رقم پگاه: از تلاقی والد خارجی Early orang و والد پدری LFS56 از توده‌های ایرانی حاصل شده و متحمل به تنش خشکی می‌باشد که ساقه میزان قند مناسبی برای مصارف علوفه دارد. این رقم متوسط رس بوده و تا ۲ چین در شرایط معتدل و گرم علوفه اقتصادی و دارای کیفیت مناسبی تولید می‌کند و در مصرف سیلو، علوفه تازه و خشک و چرای مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

رقم پژیال: این رقم علوفه‌ای و ویژه مناطق گرم و خشک می‌باشد و چین اول طی ۷۰ روز پس از کاشت و چین دوم ۵۵ روز پس از کاشت فراهم می‌شود. در خاک سبک با فاصله بوته ۸ و فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متری نیاز به ۱۰ کیلوگرم بذر جهت کاشت دارد. متوسط رس بوده و مقاوم به ورس می‌باشد.

رقم منصور: این رقم سال ۹۹ معرفی شده و از تلاقی KFS2*LFS15 ایجاد شده است. متحمل به خشکی بوده و دارای اسیدپروسیک و نیترات پایینی است. برآورد می‌شود طی سال ۱۴۰۶ سطح زیر کشت این رقم به ۶ هزار هکتار برسد. در تاریخ ۲۵ شهریور برداشت براساس تشکیل گل آذین کامل صورت گرفت. برداشت هر چهار رقم در یک تاریخ برداشت صورت گرفت (راعی و همکاران، ۱۳۹۲). برای برداشت نیز از دو خط وسطی بعد از در نظر گرفتن نیم متر حاشیه به طول دو متر برداشت صورت گرفت و سپس به آزمایشگاه برای تعیین وزن و دیگر خصوصیات منتقل شد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از هر کرت پنج بوته به‌طور تصادفی در مرحله گرده‌افشانی انتخاب گردید. جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ سطح هر کدام از برگ‌ها به‌وسیله دستگاه سطح سنج برگی دیجیتال (مدل CI202) محاسبه گردید. پس از آن با تقسیم سطح برگ‌های مورد نظر بر سطح زمین نمونه‌برداری شده، شاخص سطح برگ در آن مرحله برای هر کرت آزمایشی محاسبه شد (بخشنده و همکاران، ۱۳۹۰). برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته (از سطح خاک تا انتهای خوشه)، قطر ساقه، از هر کرت پنج بوته به‌طور تصادفی در مرحله گرده‌افشانی انتخاب گردید. برای محاسبه قطر ساقه، میانگین قطر پایین و وسط و بالای ساقه بوته‌ها به‌عنوان قطر ساقه با دستگاه کولیس اندازه‌گیری شد و متوسط پنج بوته برای هر کرت در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه تازه و وزن خشک از هر کرت یک مترمربع از خط دو خط وسطی در

مرحله گرده‌افشانی انتخاب گردید و سپس وزن تر علوفه (بلافاصله پس از برداشت)، اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری اندام‌های هوایی بوته، ابتدا هر اندام از بوته جدا و پس از خرد شدن به تفکیک درون پاکت‌های کاغذی داخل آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. نمونه‌ها بلافاصله بعد از خروج از آون با ترازوی حساس وزن شدند. به‌منظور اندازه‌گیری صفات کیفی علوفه (درصد فیبر خام (سلولز) (CF)، پروتئین خام (CP)، درصد دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز (الیاف نامحلول در شوینده‌های اسیدی) (ADF)، ماده خشک قابل هضم (DMD) و قندهای محلول در آب (WSC)) انجام شد. روش کار به این صورت بود که از هر کرت، حدود ۵۰۰ گرم علوفه برداشت شد. سپس نمونه‌ها در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و برای انجام آزمایش‌های کیفی علوفه، به آزمایشگاه منتقل شدند و سپس در بسته‌های جداگانه قرار گرفتند. بررسی کیفیت علوفه تیمارهای مختلف، به‌وسیله دستگاه NIR مدل PERTEN-8620 ساخت کشور سوئد صورت گرفت (Jafari et al., 2003).

ارزیابی شاخص ارزش غذایی نسبی (RFV) براساس رابطه‌های ۲ و ۳ انجام شد (Lithourgidis et al., 2011; Moore and Undersander, 2002).

رابطه ۲: $DMI = 120/ADF$

رابطه ۳: $RFV = DDM \times DMI / 1.29$

در این رابطه $DMI =$ ماده خشک مصرفی، $DDM =$ ماده خشک قابل هضم و $ADF =$ درصد فیبر خام

ارزیابی کل ماده مغذی قابل هضم (TDN) براساس رابطه‌ی ۴ انجام شد.

رابطه ۴: $TDN = (-1.291 \times ADF) + 101.35$

برای انجام تجزیه و تحلیل داده‌های، از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴)، میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف

معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردیدند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج آنالیز واریانس شاخص سطح برگ نشان داد، این صفت تحت تاثیر اثرات اصلی، متقابل دوگانه و سه‌گانه نظام زراعی، رقم و مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا نشان داد، نظام زراعی پرنهاده به‌همراه تلقیح در هر چهار رقم مورد بررسی موجب بالاترین شاخص سطح برگ شد. بالاترین شاخص سطح برگ در نظام زراعی پرنهاده و رقم پژیال در شرایط تلقیح و با میانگین ۸/۴ بدست آمد. نظام زراعی مصرف پرنهاده نسبت به مصرف کم نهاده در شرایط عدم تلقیح موجب افزایش ۱۴۰ درصدی شاخص

سطح برگ شده که این تأثیرات مورد نظام زراعی اکولوژیک آن حدود ۸۸ درصد است. تلقیح با مایکوریزا نیز موجب کاهش تأثیرات نظام زراعی پرنهاد به ۱۲۰ درصد و نظام زراعی اکولوژیک به ۵۷ درصد نسبت به نظام زراعی کم نهاد شد (جدول ۴). کمترین شاخص سطح برگ در نظام زراعی مصرف کم نهاد نیز از رقم منصور و پگاه در شرایط عدم تلقیح با میانگین ۲/۷۳ مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات مرفولوژیکی ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای تحت تأثیر نظام های زراعی مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	قطر ساقه	وزن تر علوفه
بلوک	۲	۱۵/۷۹**	۱۴۵۸/۷**	۱۵۵/۰**	۱۴۷۷۳۸/۴**
نظام زراعی (F)	۳	۹۱/۳۴**	۵۵۱/۷۹**	۲۰۸/۳**	۳۰۹۱۴۳۷۲/۹**
خطای اصلی	۶	۰/۴	۳/۱۱	۰/۰۴۱	۱۰۸۰۳/۳
رقم (C)	۳	۸۰/۱۵**	۳۹۴۵/۳**	۲۰۳/۷**	۱۰۹۹۱۹۱/۲**
مایکوریزا (M)	۱	۲۰/۹۸**	۲۳۳۳/۶۹**	۱۴/۳**	۸۷۹۹۴۲/۵**
F×C	۹	۸/۸۶**	۳۵۱/۰۶**	۹/۹۲**	۲۲۴۹۸۷/۳**
F×M	۳	۲/۲۹**	۴۵۴/۹۴**	۳/۴۲**	۳۱۵۹۳۸/۸**
C×M	۳	۱/۶۸**	۱۰۱/۴۷**	۱/۳۹**	۳۳۲۱۷/۷**
F×C×M	۹	۱/۶۲**	۱۳۹/۵۲**	۱/۷۲**	۵۸۲۶۳/۹**
خطای فرعی	۵۶	۰/۴۵	۴/۹۸	۰/۰۴۱	۶۵۵۰/۸
ضریب تغییرات (%)	-	۱۱/۹	۱۵/۰	۱۹/۲	۱۰/۵
					۱۸/۰

ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

به‌طور کلی سطح برگ به‌عنوان معیار اندازه‌گیری سیستم فتوسنتزی پذیرفته شده است و از آنجایی که برگ‌ها قسمت مهم گیاه سورگوم علوفه‌ای را تشکیل می‌دهند و مهم‌ترین جز این گیاه به شماره می‌روند، لذا تغییرات آن می‌تواند بر کیفیت علوفه این گیاه نیز تاثیرگذار باشد. طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که در نظام‌های زراعی، مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژنی، باعث افزایش رشد و توسعه برگ‌ها می‌شود که به افزایش شاخص سطح برگ کمک می‌کند (Mohammadi *et al.*, 2015). در این مطالعه نیز مشاهده شد، در نظام زراعی پرنهاد، با توجه به مصرف بالای کودهای شیمیایی و کودهای زیستی، بالاترین تأثیرات بر شاخص سطح برگ ارقام سورگوم را نشان داد (جدول ۴). نیتروژن نقش مهمی در ساخت پروتئین‌ها و کلروفیل دارد. مصرف آن باعث تقویت رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش اسمولیت‌ها و توسعه سطح برگ می‌شود که در نتیجه رشد برگ را بهتر می‌کند. همچنین کودهای حاوی عناصر مانند فسفر و پتاسیم به توسعه ریشه، جذب آب و مواد مغذی و در نتیجه رشد سالم برگ‌ها کمک می‌کنند. ترکیب کود با مایکوریزا نیز بهبود جذب مواد مغذی، افزایش سطح برگ و تداوم عمر برگ در مراحل رشد را موجب می‌شود، هرچند ممکن است در نتیجه رابطه همزیستی کاهش بیوماس گیاه مشاهده شود (مارزی زاده و همکاران، ۱۴۰۰). Colomb و همکاران (۲۰۰۰) نیز اظهار داشتند، با افزایش میزان مصرف فسفر رشد گیاه ذرت تحت تأثیر قرار گرفته، شاخص سطح

برگ و فتوسنتز گیاه افزایش یافته و در نهایت، موجب افزایش عملکرد گردید. در سویا نیز بیشترین میزان سطح برگ در تیمار کود سوپرفسفات تریپل به‌همراه مایکوریزا مشاهده شد (Rezvani *et al.*, 2011). در بررسی حاضر نیز با تلفیق کود فسفر و مایکوریزا در نظام زراعی پرنهاده شاخص سطح برگ نسبت به شاهد افزایش چشمگیری پیدا کرد. همچنین گزارش شده است که تلفیح گیاه با کودهای بیولوژیک باعث افزایش شاخص سطح برگ در مقایسه با شاهد شده است. گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ‌های همزیست به‌طور مستقیم سطح برگ را افزایش نداد بلکه بر دوام و وزن مخصوص برگ تأثیر می‌گذارند (Wu and Xia, 2006). با این وجود، افزایش سطح برگ برخی گیاهان دارویی از جمله ریحان در اثر انواع مختلف کودهای بیولوژیک توسط Copetta و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شد. تحقیقات یاد شده بر این استوارند که اعمال میکروارگانسیم حل‌کننده فسفات باعث بهبود شرایط رشد، افزایش جذب فسفر و در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز، بهبود رشد و به تبع آن باعث افزایش تعداد چتر نسبت به کود شیمیایی می‌شوند (Patel *et al.*, 2010).

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر سه‌گانه ارقام در نظام‌های زراعی مختلف در مایکوریزا بر خصوصیات مورفولوژیکی سورگوم

نظام زراعی	مایکوریزا	رقم	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر ساقه (میلی متر)	عولفه (کیلوگرم/هکتار ^۱)	وزن تر (کیلوگرم/هکتار ^۱)	وزن خشک کل (کیلوگرم/هکتار ^۱)
کم‌نهاده	عدم تلفیح	منصور	۲/۸۱۲	۱۳۸/۸۱ک	۵/۳۶p	۶۲۷/۱۶۲	۹۷۹/۳۲	۹۹۹/۲q
		اسیدفید	۳/۱۸۹r	۱۵۲/۵gh	۹/۸۳z	۶۴۲۴/۶q	۹۴۳/۰s	۱۰۲۲/۱p
		پگاه	۲/۷۳۲	۱۲۱/۳o	۵/۰۳q	۵۹۹۳/۰s	۹۴۰/۸s	۱۰۱۱/۰pq
		پژپال	۳/۳۴p	۱۵۹/۷e	۸/۵۳۱	۶۶۰/۱۰p	۹۴۰/۸s	۹۲۷/۱s
		منصور	۳/۰۱s	۱۴۴/۵i	۹/۷۳z	۵۹۷۵/۶s	۹۴۰/۸s	۱۰۱۷/۲p
		اسیدفید	۳/۲۹pq	۱۵۴/۰gh	۹/۷۳z	۶۵۱۵/۶pq	۹۲۷/۱s	۱۰۱۷/۲p
	تلفیح	پگاه	۳/۰۸rs	۱۲۵/۳n	۵/۳۳pq	۵۸۷۰/۳s	۹۲۷/۱s	۱۰۱۷/۲p
		پژپال	۳/۷۵o	۱۶۳/۹d	۸/۸۳kl	۶۵۶۳/۶p	۱۰۱۷/۲p	۱۱۹۲/۹i
		منصور	۵/۷۱k	۱۴۲/۹ij	۹/۷۳z	۷۹۱۵/۰i	۱۲۱۳/۷h	۱۱۶۹/۹j
		اسیدفید	۶/۳۰i	۱۴۰/۳jk	۱۴/۱۳e	۸۰۷۵/۰h	۱۱۴۱/۶kl	۱۲۲۵/۶gh
		پگاه	۵/۶۵k	۱۳۰/۸lm	۸/۷۳۱	۷۷۳۸/۰j	۱۲۴۴/۴f	۱۲۳۷/۱fg
		پژپال	۶/۸۲g	۱۲۸/۸mn	۱۵/۳۳d	۷۵۲۰/۳kl	۱۲۴۴/۴f	۱۲۳۷/۱fg
متوسط نهاده	عدم تلفیح	منصور	۵/۷۱k	۱۴۲/۹ij	۹/۷۳z	۷۹۱۵/۰i	۱۲۱۳/۷h	۱۱۶۹/۹j
		اسیدفید	۶/۳۰i	۱۴۰/۳jk	۱۴/۱۳e	۸۰۷۵/۰h	۱۱۴۱/۶kl	۱۲۲۵/۶gh
		پگاه	۵/۶۵k	۱۳۰/۸lm	۸/۷۳۱	۷۷۳۸/۰j	۱۲۴۴/۴f	۱۲۳۷/۱fg
		پژپال	۶/۸۲g	۱۲۸/۸mn	۱۵/۳۳d	۷۵۲۰/۳kl	۱۲۴۴/۴f	۱۲۳۷/۱fg
		منصور	۵/۹۱j	۱۵۲/۶gh	۱۱/۰۳hi	۸۱۶۶/۶gh	۱۲۴۴/۴f	۱۲۳۷/۱fg
		اسیدفید	۶/۵۸h	۱۵۱/۴h	۱۵/۳۳d	۸۳۱۱/۰f	۱۲۳۷/۱fg	۱۲۴۴/۴f
	تلفیح	پگاه	۶/۵۸h	۱۵۹/۱e	۹/۱۳k	۸۲۵۵/۰fg	۱۲۳۷/۱fg	۱۲۴۴/۴f
		پژپال	۷/۴۵e	۱۶۹/۹bc	۱۶/۲۳c	۸۳۵۱/۳f	۱۲۴۴/۴f	۱۲۴۴/۴f
		منصور	۷/۱۳f	۱۵۲/۱gh	۱۰/۸۳i	۸۸۱۰cd	۱۳۰۹/۳cd	۱۳۴۰/۲b
		اسیدفید	۷/۵۹cd	۱۵۵/۴gh	۱۶/۵۳c	۹۰۴۸۳b	۱۳۴۰/۲b	۱۲۸۵/۲e
		پگاه	۷/۲۲f	۱۳۲/۴lm	۹/۸۳z	۸۶۲۵/۳e	۱۳۱۳/۷c	۱۳۴۱/۴b
		پژپال	۸/۰۵a	۱۷۱/۹b	۱۷/۵۳a	۸۸۴۴/۰c	۱۳۴۱/۴b	۱۳۹۵/۷a
اکولوژیک	عدم تلفیح	منصور	۷/۵۵de	۱۵۱/۹gh	۱۰/۸۳i	۹۰۵۷/۳b	۱۳۴۱/۴b	۱۳۹۵/۷a
		اسیدفید	۷/۶۵cd	۱۶۷/۰cd	۱۶/۹۳b	۹۴۷۵/۰a	۱۳۹۵/۷a	۱۲۹۳/۷de
		پگاه	۷/۶۵cd	۱۳۴/۴l	۹/۷۳z	۸۶۹۰/۶de	۱۲۹۳/۷de	۱۳۵۰/۵b
		پژپال	۸/۳۷a	۱۷۵/۹a	۱۷/۳۳a	۹۱۲۷/۳b	۱۳۵۰/۵b	۱۱۲۲/۶mn
		منصور	۴/۲۵n	۱۴۲/۲ijk	۷/۵۳m	۷۳۷۴/۳mn	۱۱۲۲/۶mn	۱۱۲۲/۶mn
		اسیدفید	۵/۹۱j	۱۴۱/۲ijk	۱۲/۵۳g	۷۲۴۱/۰n	۱۱۲۲/۶mn	۱۰۲۹/۹o
	تلفیح	پگاه	۴/۳۵n	۱۲۱/۷o	۵/۸۳o	۶۷۳۸/۳o	۱۰۲۹/۹o	۱۱۵۶/۲jk
		پژپال	۶/۳۸i	۱۵۸/۰ef	۶/۵۳n	۷۶۳۲/۶jk	۱۱۵۶/۲jk	۱۱۵۳/۹jk
		منصور	۴/۷۱l	۱۴۴/۳i	۸/۶۳۱	۷۶۱۵/۰jk	۱۱۵۳/۹jk	۱۱۲۲/۶lm
		اسیدفید	۶/۵۹h	۱۶۴/۲d	۱۲/۹۳f	۷۴۴۸/۰lm	۱۱۲۲/۶lm	۱۰۵۶/۷o
		پگاه	۴/۵۵m	۱۲۵/۳n	۶/۶۳n	۶۸۶۷/۶o	۱۰۵۶/۷o	۱۱۵۵/۳jk
		پژپال	۵/۸۹j	۱۶۴/۲d	۱۱/۲۳h	۷۲۶۰/۰jk	۱۱۵۵/۳jk	

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد

خصوصیات رشدی بوته

نتایج آنالیز واریانس ارتفاع بوته، و قطر ساقه نیز نشان داد، نظام زراعی، رقم، میکوریزا، نظام زراعی در رقم، نظام زراعی در میکوریزا و رقم در میکوریزا و اثر سه گانه نظام زراعی در رقم در میکوریزا بر هر دو صفت مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد اثرگذار بودند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات سه گانه در مورد ارتفاع بوته و قطر ساقه نیز نشان داد، در نظام زراعی مصرف پرنهاده بالاترین ارتفاع بوته و قطر ساقه از ارقام اسپیدفید و پژیال، در شرایط تلقیح میکوریزا مشاهده شد، این در حالی است که در نظام زراعی مصرف متوسط نهاده، ارقام پگاه و منصور نتیجه بهتری را به خود اختصاص داد، ولی با مصرف پر نهاده در شرایط عدم تلقیح تفاوت آماری معنی داری نداشتند. به طور کلی بالاترین ارتفاع بوته (۱۷۵/۹ سانتی متر) و قطر ساقه (۱۷/۳ میلی متر) از رقم پژیال در شرایط نظام زراعی پرنهاده و تلقیح با میکوریزا بدست آمد که در قطر ساقه بین این تیمار و در شرایط عدم تلقیح و تلقیح با میکوریزا تفاوت آماری وجود نداشته و هر دو در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۴). بررسی‌ها نشان داده است که استفاده حداکثری از منابع و شرایط مناسب رشد، سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. در صورت عدم دسترسی به عناصر غذایی، گیاه نمی‌تواند از منابع محیطی به درستی بهره‌برداری کند و این محدودیت باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Ehteshami *et al.*, 2014). در این مطالعه، استفاده از کودهای زیستی همراه با نظام‌های زراعی پرنهاده و اکولوژیک باعث افزایش ارتفاع و ماده خشک قسمت‌های مختلف گیاه شد. افزایش طول و قطر ساقه نشانه فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد متابولیکی بیشتر است که منجر به افزایش عملکرد گیاه می‌شود. همچنین، قارچ میکوریزا به بهبود جذب آب و عناصر غذایی مانند فسفر، آهن، روی، مس و منگنز کمک کرده و در نتیجه بهبود عملکرد سورگوم را موجب می‌شود (Bhantana *et al.*, 2021). طبق نظر Adnan و همکاران (۲۰۲۰) افزایش ارتفاع بوته‌های ذرت در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات، به وجود یک رابطه بین هورمون‌های گیاهی و ویتامین‌ها در تأثیر این مواد تلقیحی بر ارتفاع گیاه، نسبت داده شده است. استفاده از میکوریزا باعث تقویت توان گیاه در جذب رطوبت و عناصر غذایی می‌شود، که منجر به افزایش تبادلات روزنه‌ای، فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسیدکربن شده و در نتیجه تولید ماده خشک در قسمت‌های مختلف گیاه افزایش می‌یابد. همچنین، هدایت هیدرولیکی ریشه در اثر میکوریزا و تغذیه کودی مناسب افزایش یافته و آب با راندمان بیشتری منتقل می‌شود. گیاهان میکوریزه همچنین بیوماس ریشه بیشتری تولید می‌کنند که این امر جذب عناصر غذایی و انتقال آب و فتوسنتز را در گیاهان بهبود می‌بخشد (وحیدی و همکاران، ۱۳۹۷). همزیستی میکوریزا به عنوان یک محرک متابولیسمی عمل کند که سبب جابه‌جایی قاعده‌گرای محصولات فتوسنتزی به سمت ریشه‌ها شده و این گونه محرکی برای انجام فعالیت‌های فتوسنتزی بیشتر باشد (Mitra *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد، گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا میزان هورمون‌های

سیتوکینین و جیبرلین را افزایش می‌دهند که این افزایش، به‌ویژه سیتوکینین، می‌تواند شدت فتوسنتز را با باز کردن روزنه‌ها و تنظیم محتوای کلروفیل بهبود بخشد (Foo *et al.*, 2013). همچنین، گزارش شده است، مایکوریزا جذب عناصر غیرمتحرک مانند منیزیم، مس، منگنز، روی و آهن را افزایش می‌دهد و چون برخی از این عناصر نقش مهمی در ساخت کلروفیل دارند، می‌توان افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی را نتیجه این جذب بیشتر دانست (Aghighi Shahverdi *et al.*, 2019). همچنین اثر کودهای زیستی بر افزایش محتوای کلروفیل برگ عمدتاً از طریق بهبود جذب نیتروژن و افزایش نیتروژن در برگ صورت می‌گیرد. این فرآیند، هم‌زمان، فراهمی پیش‌سازهای کلروفیل و افزایش پروتئین و اسیدهای آمینه، که پیش‌سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست هستند، را تسهیل می‌کند (Zhang *et al.*, 2003). از طرفی نیتروژن از طریق افزایش تعداد و سطح برگ و فراهم نمودن زمینه مناسب دریافت انرژی نورانی خورشید و نیز شرکت در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی از طریق افزایش میزان کلروفیل برگ می‌شود (Aghighi Shahverdi *et al.*, 2019). حمزه‌ئی و صادقی (۱۳۹۲) اشاره کردند که افزایش عملکرد ماده خشک گیاه در همزیستی با مایکوریزا ناشی از افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان مایکوریزایی است. علاوه بر این، بهبود عملکرد ماده خشک با مصرف کود را می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور عناصر، غلظت بالاتر کلروفیل، فعالیت‌های آنزیمی مثل فسفو اینول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور آهن و روی نسبت داد (باقری ده آبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

عملکرد علوفه تازه و خشک

وزن علوفه تازه و وزن خشک کل بوته نیز تحت تاثیر اثرات اصلی، دوگانه و سه‌گانه نظام زراعی، رقم و مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه در مورد این دو صفت نشان داد، در نظام زراعی مصرف پرنهاده و شرایط عدم تلقیح در هر چهار رقم مورد بررسی، بیشترین عملکرد علوفه تازه و خشک بدست آمد، به‌طوری‌که عملکرد علوفه تازه در رقم منصور و اسپیدفید ۴۴ و ۴۷ درصد و در رقم پگاه و پژمال ۴۵ درصد و ۳۸ درصد نسبت به نظام زراعی کم نهاده در شرایط عدم تلقیح افزایش یافت. همچنین بالاترین (۹۴۷۵ کیلوگرم در هکتار) و پایین‌ترین (۵۸۷۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد علوفه تازه به ترتیب از رقم اسپیدفید در نظام زراعی پرنهاده و تلقیح و رقم پگاه و نظام زراعی کم نهاده و تلقیح با مایکوریزا مشاهده شد. بالاترین وزن خشک کل (۱۳۹۵ کیلوگرم در هکتار) نیز از رقم اسپیدفید در نظام زراعی پرنهاده و تلقیح بدست آمد (جدول ۴). گزارش‌ها نشان داد، استفاده حداکثر از منابع و شرایط رشدی مناسب به دلیل برخورداری از منابع می‌تواند عامل اصلی در افزایش عملکرد سورگوم باشد. همچنین عدم دسترسی به عناصر غذایی و منابع موجود، موجب کاهش بهره‌برداری بهینه‌ای و موجب کاهش این صفت می‌شود (Ehteshami *et al.*

Habyarimana *et al.*, 2014) و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند، باکتری‌های حل کننده فسفات، وزن ساقه و ریشه گوجه فرنگی را با جذب بیشتر فسفر نسبت به شاهد افزایش دادند که این می‌تواند موجب افزایش بیوماس تولیدی شد. فسفر به‌عنوان محدود کننده‌ترین عنصر پرمصرف در اغلب خاک‌های کشور و با دارا بودن کود سوپرفسفات تریپل و باکتری‌های حل کننده فسفات باعث تولید حداکثر عملکرد شده است (Billah *et al.*, 2019). این نتایج با یافته‌های Shuaibu و همکاران (۲۰۱۸) در گیاه سورگوم مطابقت دارد. کودهای زیستی از طریق توسعه و بهبود سیستم ریشه‌ای در گیاه موجب افزایش توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس شده و از این طریق باعث افزایش عملکرد شده است (Chaudhary *et al.*, 2022). همچنین گزارش شده است که قارچ میکوریزا در سورگوم از طریق افزایش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی مختلف مانند فسفر، آهن، روی، مس و منگنز به ریشه‌ها به‌طور غیره مستقیم سبب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Bhantana *et al.*, 2021). Gollner و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که تلقیح ذرت با *G. intraradices* و *G. mosseae* وزن اندام هوایی را بسته به ترکیب گونه و مایه تلقیح، افزایش می‌دهد. گزارش شده است تلقیح میکوریزا و *Sinorhizobium* و تلفیق آن‌ها باعث افزایش وزن اندام هوایی نسبت به شاهد شد. باکتری سینورایزوبیوم با افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و میکوریزا با جذب بالاتر فسفر قابل دسترس باعث رشد رویشی بیشتر در گیاه شده و از طرف دیگر با توجه به اثرات مثبتی که بین دو عنصر وجود دارد باعث بهبود وزن اندام هوایی شده است (Cazzato *et al.*, 2012). همچنین Afrasiabi و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند، بیشترین میزان عملکرد علوفه در کود بیولوژیک بارور ۲ همراه با ۷۵ کیلوگرم کود فسفره سوپرفسفات تریپل و کمترین میزان عملکرد علوفه متعلق به کود بیولوژیک و سطح صفر کیلوگرم کود فسفره سوپرفسفات تریپل بود. افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، مهم‌ترین عاملی است که وزن گیاه را در همزیستی با این میکروارگانیسم‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته سایر جنبه‌های بیوشیمیایی گیاه میزبان در همزیستی با این میکروارگانیسم‌ها می‌تواند اندازه اندام گیاه میزبان را تحت تأثیر قرار دهد (Silva *et al.*, 2023). همزیستی میکوریزا به‌عنوان یک محرک متابولیسمی عمل کند که سبب جابه‌جایی قاعده‌گرای محصولات فتوسنتزی به سمت ریشه‌ها شده و این گونه محرکی برای انجام فعالیت‌های فتوسنتزی بیشتر باشد (Mitra *et al.*, 2021). گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا با افزایش هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین، شدت فتوسنتز را از طریق باز شدن روزنه‌های هوا افزایش می‌دهند. حمزه‌ئی و صادقی (۱۳۹۲) نیز اعلام کردند که افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود. Valentine و همکاران (۲۰۰۶) این افزایش سرعت فتوسنتز را به افزایش وزن مخصوص برگ، فعالیت آنزیم رابیسکو و میزان انتقال الکترون نسبت دادند. همچنین، می‌توان افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت موثر تثبیت کربن، کاهش تجمع سدیم و بهبود

کارایی جذب عناصر را دلیل افزایش عملکرد ذکر کرد (باقری ده آبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

کیفیت علوفه

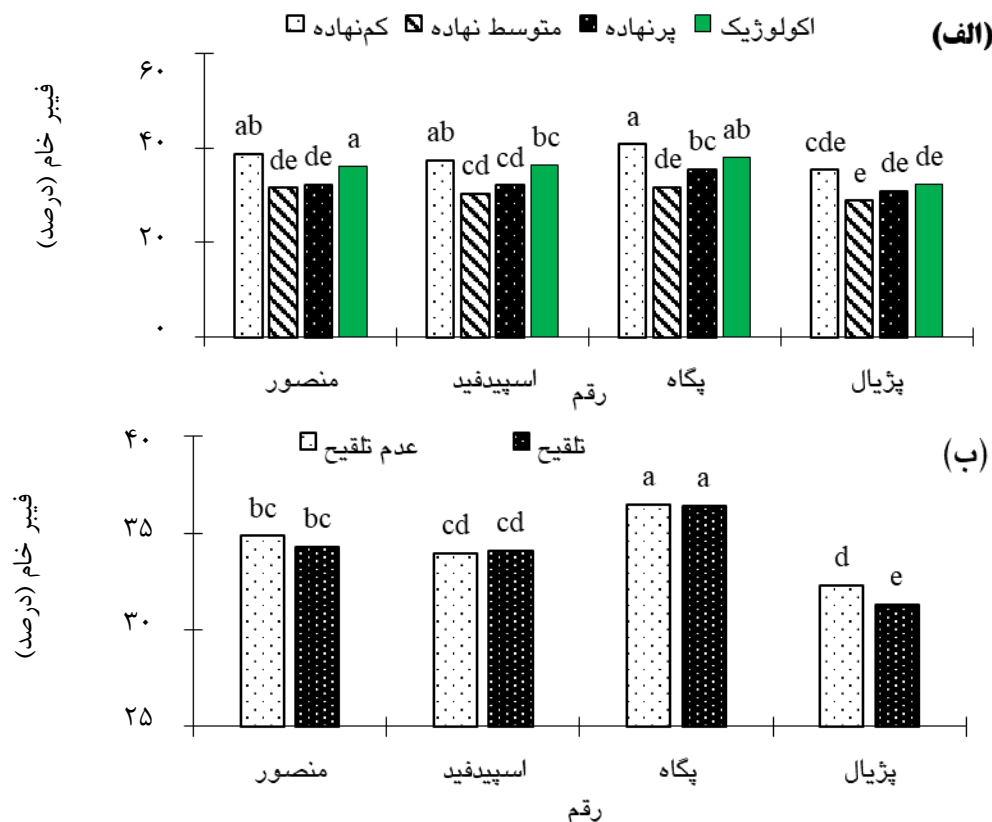
نتایج مربوط به درصد فیبر و پروتئین خام علوفه نشان داد، درصد فیبر خام تحت تاثیر نظام زراعی، رقم، نظام زراعی در رقم و رقم در مایکوریزا قرار گرفت، این در حالی است که اثرات اصلی، متقابل دوگانه و سه‌گانه نظام زراعی، رقم و مایکوریزا در پروتئین خام معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نظام زراعی در رقم در مورد درصد فیبر خام نشان داد، نظام زراعی پرنهاده موجب کاهش فیبر علوفه شد. در هر چهار رقم، بالاترین درصد فیبر خام مربوط به نظام زراعی کم نهاده بود و نظام زراعی اکولوژیک در رتبه بعدی قرار گرفت و بین مصرف متوسط و پرنهاده نیز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و کمترین فیبر علوفه را به خود اختصاص دادند. بالاترین میزان فیبر خام (۴۰/۷ درصد) در نظام زراعی کم-نهاده از رقم پگاه و کمترین مقدار (۲۸/۸ درصد) از نظام زراعی مصرف پرنهاده و رقم پژیال مشاهده شد (شکل ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در مایکوریزا در مورد این صفت نیز مشخص نمود، بالاترین درصد فیبر خام (۳۶/۵ درصد) از رقم پگاه مشاهده شد که بین مصرف و عدم مصرف مایکوریزا تفاوت آماری وجود نداشت. همچنین تلقیح با مایکوریزا تنها در رقم پژیال تأثیرگذار بود (جدول ۶). Afrasiabi و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد، بیشترین میزان درصد فیبر اندام گیاهی اسکوتالاتا (*Robinso Medicago scutellata*) در تیمارهای عدم وجود کود بیولوژیک به دست آمد و کمترین درصد فیبر نیز متعلق به تیمار کود بیولوژیک سوپرفسفاتتریپل بود. گزارش شده است که درصد فیبر در تیمارهایی با میزان فسفر کمتر افزایش یافته که این عامل می‌تواند به دلیل کاهش کیفیت و خشبی شدن اندام‌های رویشی گیاه با کمبود فسفر باشد. براساس نتایج موجود در این مطالعه و تحقیقات صورت گرفته می‌توان رابطه‌ی بین درصد پروتئین و درصد فیبر رابطه معکوس دارد و تیماری که موجب افزایش میزان پروتئین علوفه شده کاهش فیبر خام علوفه را به همراه دارد (Afrasiabi و همکاران، ۲۰۱۰). اثرات متقابل سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا در مورد پروتئین خام نشان داد، نظام زراعی پرنهاده موجب افزایش و تلقیح با میکوریزا موجب کاهش پروتئین خام در ارقام مورد مطالعه شد و رقم اسپیدفید نیز بالاترین میزان پروتئین خام را به خود اختصاص داد. بالاترین میزان پروتئین خام در ارقام منصور (۸/۱ درصد)، اسپیدفید (۱۲/۲ درصد) و پگاه (۱۱/۴ درصد) از نظام زراعی اکولوژیک در شرایط عدم تلقیح بدست آمد، اما در رقم پژیال، بالاترین میزان پروتئین خام علوفه (۹/۸۹ درصد) از نظام زراعی کم نهاده و تلقیح با مایکوریزا مشاهده شد (جدول ۶). بالا بودن پروتئین، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی گیاهان علوفه‌ای می‌باشد و بالا بودن آن یک فاکتور مؤثر در انتخاب علوفه برای تغذیه دام محسوب می‌شود. درصد پروتئین در علوفه از نظر قابلیت هضم زیاد آن غالباً به‌عنوان شاخصی از قابلیت هضم در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نتایج حاصله در مورد تثبیت نیتروژن و میزان نیتروژن اندام گیاهی بین

تیمارهای مختلف و همچنین با توجه به نقش بنیادین این عنصر در ساختمان اسیدهای آمینه که پیش‌سازهای پروتئین باشد، می‌توان چنین استدلال نمود که تیمارهای وجود کود بیولوژیک و یا تیمارهایی با میزان فسفر محلول بیشتر به علت جذب و فراهمی بیشتر نیتروژن در ساختار خود، میزان پروتئین بیشتری را دارا می‌باشند.

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس خصوصیات کیفیت علوفه ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای تحت تاثیر نظام زراعی مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد فیبر خام	پروتئین خام	درصد همی سلولز	ماده خشک قابل هضم
بلوک	۲	۳۳/۹۴**	۱/۵۷**	۸۵/۲۷**	۸۱۷/۴**
نظام زراعی (F)	۳	۲۵۴/۰۳**	۹۷/۷**	۵۳/۰۲**	۳۲۱/۷**
خطای اصلی	۶	۰/۹۰۰	۰/۱۰	۰/۱۹۴	۱/۱۷
رقم (C)	۳	۸۶/۹۰**	۱/۳۲**	۱۰/۵۳**	۶۳/۹**
مایکوریزا (M)	۱	۰/۰۹۵ ^{ns}	۵/۵۲**	۶۱/۹۰**	۳۷۵/۶**
F×C	۹	۳/۷۲**	۱/۶۵**	۴/۸۶**	۲۹/۵**
F×M	۳	۱/۳۷ ^{ns}	۰/۰۵**	۰/۹۴**	۵/۷۰**
C×M	۳	۲/۶۲**	۰/۱۷**	۱/۳۶**	۸/۲۷**
F×C×M	۹	۰/۷۸ ^{ns}	۰/۰۸**	۰/۶۴**	۳/۸۹**
خطای فرعی	۵۶	۰/۵۹	۰/۰۱	۰/۱۴۳	۰/۸۶
ضریب تغییرات (/)	-	۱۲/۲	۱۰/۴	۱۱/۱	۱۴/۷

ns، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد



شکل ۱: اثر متقابل رقم در نظام زراعی (الف) و رقم در مایکوریزا (ب) بر فیبر خام حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد

در بررسی تاثیر نظام‌های کم آبیاری و کود شیمیایی و زیستی فسفر بر خصوصیات کمی و کیفی شلغم علوفه‌ای گزارش کردند که تأمین فسفر مورد نیاز گیاه می‌تواند مقدار پروتئین علوفه شلغم را افزایش دهد و در این میان تاثیرگذاری کود تلفیقی بیشتر از کود کامل شیمیایی و یا زیستی بود (Keshavarz Afshar *et al.*, 2012). در این مطالعه نیز نظام زراعی پرنهاده و تلقیح با مایکوریزا، پروتئین خام ارقام مورد بررسی بیشترین مقدار بود (جدول ۶). افزایش معنی‌دار درصد پروتئین و قابلیت هضم ذرت با افزایش سطوح مختلف نیتروژن، نیز توسط دیگر محققین گزارش شده است (Almodares *et al.*, 2009). در آزمایش دیگری مشخص شد که تلقیح توأم ریزوبیوم، قارچ مایکوریزا و ریزوباکتری‌های حل‌کننده فسفات در ریزوسفر یونجه باعث افزایش جذب فسفر و نیتروژن و در نهایت پروتئین می‌گردد و بین سطوح مختلف کودی در درصد پروتئین خام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت؛ اما با این حال مقایسه تیمارها نشان داد که تیمار تلقیح بذر به همراه کود، بیشترین پروتئین خام را داشت و کمترین مقدار پروتئین خام مربوط به تیمار شاهد بود (Afzal and Bano, 2008). ماده خشک قابل هضم نیز علاوه بر اثرات اصلی و دوگانه‌ها، تحت تاثیر اثرات سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). اثرات متقابل سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا در مورد این صفت نشان داد، نظام زراعی پرنهاده و تلقیح موجب افزایش ماده خشک قابل هضم در ارقام مورد مطالعه شد و رقم اسپیدفید نیز بالاترین میزان این صفت را به خود اختصاص داد. بالاترین ماده خشک قابل هضم در ارقام مورد مطالعه از نظام زراعی اکولوژیک به همراه عدم تلقیح یا نظام زراعی کم نهاده به همراه تلقیح بدست آمد، اما در رقم اسپیدفید و پژمال نظام زراعی اکولوژیک و عدم تلقیح بالاترین تاثیر را نشان داد (جدول ۶). به‌طور کلی، بالاترین ماده خشک قابل هضم (۶۷/۸۶ درصد) از رقم اسپیدفید در نظام زراعی اکولوژیک نهاده و عدم تلقیح بدست آمد (جدول ۶). قابلیت هضم ماده خشک، اغلب نماینده انرژی قابل هضم می‌باشد و بهبود قابلیت هضم از مهم‌ترین برنامه‌های اصلاحی گیاهان علوفه‌ای می‌باشد زیرا قابلیت هضم بالا کارایی تبدیلی عناصر مغذی را به‌وسیله دام، بهبود می‌بخشد (Coleman and Moore, 2003). Yazdani و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که کاربرد میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه به همراه کود شیمیایی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کمی و کیفی ذرت داشت و کیفیت علوفه ذرت را از طریق افزایش میزان قابلیت هضم ماده خشک بهبود بخشید. قابلیت هضم ماده خشک، اغلب نماینده انرژی قابل هضم می‌باشد و بهبود آن از مهم‌ترین برنامه‌های اصلاحی می‌باشد زیرا قابلیت هضم بالا کارایی تبدیلی عناصر مغذی را به‌وسیله دام، بهبود می‌بخشد (Niderkorn and Baumont, 2009). اثرات سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا نیز به همراه اثرات اصلی و دوگانه بر میزان همی سلولز دارای اثر معنی‌دار بودند (جدول ۵). اثرات متقابل سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا در مورد همی سلولز نیز مشخص کرد، نظام زراعی پرنهاده موجب افزایش همی سلولز شد، ولی تلقیح در

برخی تیمارهای کودی موجب افزایش تاثیرات آن‌ها و در برخی موارد کاهش تاثیرات آن‌ها را به همراه داشت.

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر سه گانه ارقام در نظام زراعی مختلف در مایکوریزا بر خصوصیات علوفه‌ای سورگوم

نظام زراعی	مایکوریزا	رقم	پروتئین خام (درصد)	همی سلولز (درصد)	ماده خشک قابل هضم (درصد)	شاخص ارزش غذایی نسبی (درصد)
کم‌نهاده	عدم تلقیح	منصور	۶/۷۶op	۲۸/۹۶cd	۵۸/۵۴op	۸۷/۵n
		اسپیدفید	۱۱/۷۶c	۲۸/۹۶no	۶۶/۳۳de	۱۲۴/۶b
		پگاه	۹/۹۵h	۳۲/۹۶k	۶۳/۲۱h	۱۰۵/۳fgh
	تلقیح	منصور	۶/۸۵no	۳۶/۱۶g	۶۰/۷۲l	۹۴/۹kl
		اسپیدفید	۱۱/۹۰bc	۲۷/۳۹qr	۵۹/۸۹m	۹۲/۸lm
		پگاه	۱۰/۲۵g	۳۱/۷۵	۶۴/۱۶fg	۱۰۸/۸def
متوسط نهاده	عدم تلقیح	منصور	۷/۱۸m	۲۸/۳۶e	۵۹/۰۱no	۹۰/۳mn
		اسپیدفید	۱۲/۲۲a	۲۷/۹۳pq	۶۷/۱۳bc	۱۳۲/۳a
		پگاه	۱۰/۵۵f	۳۲/۲۶l	۶۳/۷۶g	۱۰۶/۹de
	تلقیح	منصور	۶/۶۰p	۳۴/۰۶i	۶۲/۳۶z	۱۰۰/۳ij
		اسپیدفید	۱۱/۷۸c	۲۸/۴۶op	۵۸/۳۸p	۸۶/۴n
		پگاه	۹/۸۵h	۳۳/۱۳k	۶۳/۳۳de	۱۲۹/۸a
پرنهاده	عدم تلقیح	منصور	۶/۳۱q	۴۲/۹۱a	۵۵/۴۷r	۷۶/۳o
		اسپیدفید	۱۱/۰۱e	۲۹/۳۰n	۶۶/۰۷e	۱۱۹/۲c
		پگاه	۹/۸۵h	۳۳/۳۰jk	۶۲/۹۵hi	۱۰۸/۹def
	تلقیح	منصور	۷/۰۴mn	۳۷/۹۶e	۵۹/۳۲n	۹۰/۹mn
		اسپیدفید	۱۱/۸۹bc	۲۷/۸۹pq	۵۶/۴۸q	۷۸/۸o
		پگاه	۱۰/۰۵gh	۳۱/۱۶m	۶۴/۶۲f	۱۱۰/۳d
اکولوژیک	عدم تلقیح	منصور	۸/۰۷k	۳۸/۰۰e	۵۹/۲۹n	۹۰/۰mn
		اسپیدفید	۱۲/۲۱a	۲۷/۰۰r	۶۷/۸۶a	۱۳۲/۲a
		پگاه	۱۱/۴۰d	۳۲/۲۶m	۶۴/۵۴f	۱۱۶/۰c
	تلقیح	منصور	۷/۷۶l	۳۳/۷۶jz	۶۲/۵۹jz	۱۰۴/۱ghi
		اسپیدفید	۱۲/۰۱ab	۲۹/۴۲n	۵۸/۲۸p	۸۷/۵n
		پگاه	۱۰/۷۶f	۳۲/۹۰k	۶۵/۹۸e	۱۲۴/۸b
		پژیا	۸/۱۳k	۳۵/۱۶h	۶۱/۵۰k	۹۹/۳jk

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد

به‌عنوان مثال، در ارقام منصور و پژیا، بالاترین درصد همی سلولز (۴۲/۹۱ و ۳۷/۹۶ درصد به ترتیب در رقم منصور و پژیا) از نظام زراعی پرنهاده و عدم تلقیح بدست آمد که نسبت به نظام زراعی کم‌نهاده در این شرایط ۱۰ و ۵ درصد بیشتر بود، این در حالی بود که نظام زراعی پرنهاده در شرایط تلقیح ۱۲ و ۱- درصد همی سلولز بیشتر از نظام زراعی کم‌نهاده بود. در رقم اسپیدفید نیز بالاترین درصد همی سلولز (۲۹/۹ درصد) از نظام زراعی پر نهاده در شرایط عدم تلقیح و نظام زراعی اکولوژیک نهاده و تلقیح بدست آمد. بالاترین درصد همی سلولز (۳۳/۳ درصد) در رقم پگاه نیز از نظام زراعی پرنهاده و عدم تلقیح یا نظام زراعی متوسط نهاده و تلقیح مشاهده شد (جدول ۶). میزان همی سلولز از متغیرهای کاهنده کیفیت علوفه می‌باشند. کاهش در مقدار این صفات باعث بهبود کیفیت علوفه خواهد شد و از این نظر مصرف کود

مطلوب‌تر به نظر می‌آید (Arzani *et al.*, 2013). Poshtdar و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث کاهش میزان درصد دیواره سلولی نسبت به کود شیمیایی شاهد بود که این بدان معنی است که علوفه تولید شده توسط باکتری‌های محرک رشد دارای کیفیت بالاتری است. گزارش شده است که باکتری آروسپیریلیوم در گیاه علف‌گینه باعث کاهش میزان همی‌سلولز و درصد دیواره سلولی نسبت به شاهد شده است (Mishra *et al.*, 2008). Rashad و همکاران (۲۰۲۳) مشخص کردند کود شیمیایی باعث افزایش میزان همی‌سلولز و درصد دیواره سلولی شد که احتمالاً کاهش میزان همی‌سلولز و درصد دیواره سلولی در سورگوم به دلیل افزایش ترکیبات غیرساختاری در بافت گیاهی می‌باشد. همچنین می‌توان گفت، قارچ مایکوریزا و باکتری‌های محرک رشد بر میزان جذب عناصر کم مصرف تاثیرگذار در دیواره سلولی مانند کلسیم، منگنز، آهن و هورمون‌های تاثیرگذار در این بافت‌ها را افزایش داده و باعث کاهش ترکیبات ساختاری نسبت به ترکیبات غیرساختاری می‌شوند (Altuntaş and Kutsal 2018). تحقیقات بر روی گیاهان علوفه‌ای یک ساله تابستانه نشان داد، که ماده خشک قابل هضم، همبستگی منفی با درصد پروتئین خام، درصد فیبرهای نامحلول در شوینده اسیدی و خاکستر دارد. همچنین نشان دادند که عوامل محیطی مانند دما، تنش رطوبتی، سایه، بافت خاک و غیره بر قابلیت هضم تاثیر دارند. عنوان شده است که در سورگوم علوفه‌ای، قابلیت هضم علوفه خشک تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Ortega-Ochoa, 2005). شاخص ارزش غذایی نسبی نیز علاوه بر اثرات اصلی و اثرات دوگانه، تحت تاثیر اثرات سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۵). اثرات متقابل سه‌گانه نظام زراعی در رقم در مایکوریزا در مورد این شاخص نیز مشخص نمود، نظام زراعی پرنهاده موجب افزایش این شاخص شد و تلقیح در شرایط نظام زراعی کم‌نهاده تاثیر مثبت و در شرایط نظام زراعی پرنهاده و اکولوژیک موجب کاهش این شاخص در ارقام مورد مطالعه شد. با توجه به نتایج، در رقم منصور، بالاترین شاخص ارزش غذایی نسبی (۹۱/۸ درصد) از نظام زراعی کم‌نهاده در شرایط تلقیح بدست آمد این در حالی است که در رقم اسپیدفید (۱۳۲/۲ درصد)، پگاه (۱۱۶/۰ درصد) و پژیال (۱۰۴/۱ درصد) بالاترین شاخص ارزش غذایی نسبی از نظام زراعی اکولوژیک نهاده در شرایط عدم تلقیح بدست آمد (جدول ۶). شاخص کیفیت نسبی علوفه نسبت به شاخص‌های ارزش نسبی علوفه، معیار دقیق‌تری برای پیش‌بینی تولیدات دامی می‌باشد و در مطالعه Berumen و همکاران (۲۰۱۷) نیز برتری این شاخص به اثبات رسید. مطالعه Singh و همکاران (۲۰۱۸) بیان شد که دامنه تغییرات شاخص‌های ارزش نسبی علوفه بین ۷۵ تا ۱۰۴ بود که مطابقت بیشتری با نتایج پژوهش حاضر دارد. علوفه‌ای که حاوی ۴۱ درصد فیبرنامحلول در شوینده اسیدی و ۵۳ درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی است، شاخص‌های ارزش نسبی علوفه معادل با ۱۰۰ درصد دارد و تفاوت مقادیر شاخص‌های ارزش نسبی علوفه با محتوای میزان همی‌سلولز و درصد دیواره سلولی ارقام سورگوم مرتبط می‌باشد (Jahanzad *et al.*, 2013). بنابراین

استفاده از باکتری‌های محرک رشد موجب کاهش میزان درصد دیواره سلولی نسبت به کود شیمیایی شد (Poshtdar *et al.*, 2012). همچنین Rashad و همکاران (۲۰۲۳) افزایش میزان همی سلولز و درصد دیواره سلولی در اثر کود شیمیایی مشاهده کردند. کاهش میزان این صفات در سورگوم به دلیل افزایش ترکیبات غیرساختاری در بافت گیاهی می‌باشد (Altuntaş and Kutsal, 2018). غلامی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه خود گزارش کردند، کیفیت نسبی علوفه در کل ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ۱۰۴/۵ ژنوتیپ‌های داخلی ۱۰۱/۲ و ژنوتیپ‌های خارجی ۱۰۶/۲ درصد بود. در بین ژنوتیپ‌های خارجی ارقام پی اچ اف اس ۲۷، پی اف اس ۲۱ و سیلوکینگ با کیفیت نسبی علوفه به ترتیب برابر با، ۱۲۰/۸، ۱۱۵/۸ و ۱۱۲/۶ درصد، بیشترین میزان شاخص کیفیت نسبی علوفه را داشتند در حالی که بالاترین میزان این شاخص در بین ژنوتیپ‌های داخلی توسط رقم پگاه درصد حاصل شد. Holman و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه ارقام سورگوم و سورگوم-سودانگراس گزارش کردند که دامنه تغییرات شاخص کیفیت نسبی علوفه در این ژنوتیپ‌ها بین ۹۹/۴ تا ۱۱۵/۷ درصد بود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد، میزان عملکرد تر و خشک علوفه‌ای سورگوم و خصوصیات رشدی این گیاه تحت تاثیر نظام زراعی، مایکوریزا و رقم قرار گرفته و نظام زراعی پرنهاد بدون مایکوریزا یا نظام زراعی متوسط نهاده و اکولوژیکی به همراه مایکوریزا بالاترین تاثیر را بر این صفات داشته است. در بین ارقام مورد بررسی رقم اسپیدفید مناسب‌ترین رقم از این نظر بوده است. همچنین نتایج نشان داد، کیفیت علوفه سورگوم نیز تحت تاثیر نظام زراعی، رقم و مایکوریزا قرار گرفت. نظام زراعی پر نهاده به همراه مایکوریزا موجب کاهش میزان فیبر و افزایش خاکستر، پروتئین، قابلیت هضم و کاهش میزان همی سلولز و دیواره سلولی و در نهایت افزایش شاخص کیفیت نسبی علوفه نسبت به شاخص‌های ارزش نسبی علوفه شد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که نظام زراعی اکولوژیک به همراه مایکوریزا با داشتن عملکرد و کیفیت علوفه قابل قبول می‌تواند نظام زراعی مناسبی جهت تولید پایدار سورگوم علوفه‌ای باشد.

منابع

باقری ده آبادی، محسن، مقدم، حسین، چایچی، محمد رضا و زیلوئی، نسرین. (۱۳۹۶). بررسی میکوریزا و محلول‌پاشی آهن و روی بر صفات کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای. به زراعی کشاورزی، ۱۹(۳)، ۷۹۹-۸۱۵. doi: 10.22059/jci.2017.60466

بخشنده، اسماعیل، سلطانی، افشین، و غدیریان، رحمن. (۱۳۹۰). گزارش کوتاه علمی: اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه AccuPAR در گندم. پژوهش‌های تولید گیاهی (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)،

SID. <https://sid.ir/paper/155843/fa>، ۱۰۱-۹۷، (۴)۱۸

حقانی نیا محمد، جوانمرد عبدالله، ملاعلی عباسیان سارا. (۱۳۹۸). اثر قارچ میکوریزا آرباسکولار بر کیفیت علوفه در کشت مخلوط جو و خلر. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۹ (۴): ۶۴-۴۷. URL: <http://jc.pp.iut.ac.ir/article-1-2812-fa.html>

حمزه بی، جواد و صادقی، فرشید. (۱۳۹۲). تأثیرات هم‌زیستی میکوریزا بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد سورگوم دانه‌ای تحت شرایط دوره‌های مختلف آبیاری. به زراعی کشاورزی. ۱۵ (۴): ۱۵۱-۱۶۳. doi: 10.22059/jci.2013.51373

حیدرزاده، سعید، حسن‌زاده قورت‌تپه، علی و رحیمی، ارش. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و کیفی علوفه عدس (*Lens culinaris Medik.*) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱۲ (۲): ۱۹۸-۱۳۸.

راعی، یعقوب، جورنت، معصومه، مقدم، حسین، چایی چی، محمدرضا و ویسانی، وریا. (۱۳۹۲). تأثیر تراکم بر عملکرد کمی و کیفی دو رقم سورگوم علوفه‌ای در شرایط محدودیت آب. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۳ (۴.۱): ۵۱-۶۵.

رنجبر، محمد حسین، قرخلو، جواد، و سلطانی، احمد. (۱۳۹۶). اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی بر شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۵ (۲): ۲۸۵-۲۶۷.

غلامی، حسین، خزایی، عظیم، گل زردی، فرید و امیرصادقی، مهدی. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه در ارقام، لاین‌ها و هیبریدهای داخلی و خارجی سورگوم علوفه‌ای [*Sorghum bicolor (L.) Moench*]. پژوهش‌های علوم دامی. ۳۲ (۴): ۱۳۳-۱۵۶. [10.22034/as.2021.13882](https://doi.org/10.22034/as.2021.13882)

مارزی زاده، اصغر، بلندنظر، صاحبعلی، حاجیلو، جعفر و لطف‌الهی، علی. (۱۴۰۰). اثر دو پایه تجاری و تلقیح با دو گونه قارچ میکوریزا بر جذب برخی عناصر و صفات کیفی خیار گلخانه‌ای. دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۳۱ (۱): ۱۴۵-۱۶۱. doi: 10.22034/saps.2021.12793

Adnan, M., Fahad, S., Zamin, M., Shah, S., Mian, I.A., Danish, S and Datta, R. 2020. Coupling phosphate-solubilizing bacteria with phosphorus supplements improves maize phosphorus acquisition and growth under lime-induced salinity stress. *Plants*, 9(7): 900. Doi.org/10.3390/plants9070900.

Afrasiabi, M., Amini Dehaghi, M. and Modarres Sanavy, S.A.M. 2010. Effect of phosphate biofertilizer Barvar-2 and triple super phosphate fertilizer on yield, quality, and nutrient uptake of *Medicago scutellata*, cv. Robinson. *Journal of Science and Agriculture*, 4(4): 43-54.

- Afzal, A. and Bano, A. 2008.** Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal Agriculture Biology*, 10(1): 85-88.
- Aghighi Shahverdi, M., Amini Dahaghi, M., Ataei Somagh, H. and Mamivand, B. 2019.** The effect of different nutritional systems with nitrogen and phosphorous fertilizers on quantitative and qualitative traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plant Productions*, 41(4): 1-14. Doi.org/10.22055/ppd.2018.22330.1479.
- Almodares, A, Jafarinia, M and Hadi, MR. 2009.** The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 6(4):441-446.
- Altuntaş, O. and Kutsal, I.K. 2018.** Use of some bacteria and mycorrhizae as biofertilizers in vegetable growing and beneficial effects in salinity and drought stress conditions. Physical methods for stimulation of plant and mushroom development, 65. Dx, doi.org/10.5772/intechopen.76186.
- Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., and Armin, M. 2019.** A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emerging and economic analyses. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1051–1066. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.163
- Arzani, H., Yari, R., Ghasemi Aryan, Y. and Khatir Nameni, J. 2013.** Forage quality of important range species in Pashaylogh-e-Maravetapeh rangeland ecosystem in Golestan province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 1(1): 87-103. <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-44-en.html>.
- Baghdadi, A., Paknejad, F, Golzardi, F, Hashemi, M. and Ilkaee, M.N. 2021.** Suitability and benefits from intercropped sorghum–amaranth under partial root-zone irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 101. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11244>.
- Berbec, A.K., Staniak, M., Feledyn-Szewczyk, B., Kocira, A. and Stalenga, J. 2020.** Organic but also low-input conventional farming systems support a high biodiversity of weed species in winter cereals. *Agriculture*, 10(9): 413. DOI: 10.3390/agriculture10090413.
- Berumen, C.A.N., Serna, R.R., Ocampo, R.J., Carreon, F.O.C, Martinez, P.A.D and Ortiz, M.M. 2017.** Yield and nutritional value of three sweet sorghum varieties grown at four environments in Durango. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(2): 147-155. Doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4426.
- Bhantana, P., Rana, M.S., Sun, X.C., Moussa, M.G., Saleem, M.H., Syaifudin, M., and Hu, C.X. 2021.** Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorous regulation, and phytoremediation. *Symbiosis*, 84: 19-37. doi.org/10.1007/s13199-021-00756-6.
- Billah, M., Khan, M., Bano, A., Hassan, T.U., Munir, A. and Gurmani, A.R. 2019.** Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. *Geomicrobiology Journal*, 36 (10): 904 -916. doi.org /10.1080/01490451.2019.1654043
- Cazzato, E., Laudadio, V. and Tufarelli, V. 2012.** Effects of harvest period, nitrogen fertilization, and mycorrhizal fungus inoculation on triticale (*Triticosecale Wittmack*) forage yield and quality. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27(4): 278-286. Doi.org/10.1017/S1742170511000482.
- Chand, S., Indu, Singhal, R.K. and Govindasamy, P. 2022.** Agronomical and breeding approaches to improve the nutritional status of forage crops for better livestock productivity. *Grass and Forage Science*, 77(1): 11-32. doi.org/10.1111/gfs.12557.
- Chaudhary, P., Singh, S., Chaudhary, A., Sharma, A. and Kumar, G. 2022.** Overview of

biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13: 930340. doi.org/10.3389/fpls.2022.930340.

Coleman, S.E. and Moore, J.E. 2003. Feed quality and animal performance. *Field Crops Research*, 84: 17- 29. doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00138-2.

Colomb, B., Kinivy, J.R. and Debaeke, P. 2000. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field-grown maize. *Agronomy Journal*, 92(3): 428-435. doi.org/10.2134/agronj2000.923428x.

Copetta, A., Lingua, G. and Berta, G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*, 16: 485 -494. doi.org/10.1007/s00572-006-0065-6.

Douds, D.D., Janke, R.R. and Peters, S.E. 1993. VAM fungus spore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 43: 325-335.

Ehteshami, S., Hakimian, F., Yousefie Rad, M., and Chaichi, M. 2014. Effect of the integration in phosphate fertilizer different levels and phosphate solubilizing bacteria on forage quantitative and qualitative of two barley cultivars. *Applied Field Crops Research*, 27(102): 141-150. doi: 10.22092/aj.2014.100950.

Farid, I., Abbas, M. H., El-Ghozoli, A. 2023. Increasing Wheat Production in Arid Soils: Integrated Management of chemical, Organic-and Bio P and K-inputs. *Environment Biodiversity and Soil Security*, 7. https://dx.doi.org/10.21608/jenvbs.2023.221177.1223

Foo, E., Ross, J.J., Jones, W.T., and Reid, J.B. 2013. Plant hormones in arbuscular mycorrhizal symbioses: an emerging role for gibberellins. *Annals of Botany*, 111(5):769-779. Doi.org/10.1093/aob/mct041.

Gollner, M.J., Puschelb, D., Rydlovab, J., Jana, D. and Vosatka, M. 2006. Effect of inoculation with soil yeasts on mycorrhizal symbiosis of maize. *Pedobiologia*, 50: 341-345.

Habyarimana, E., Lopez-Cruz, M. and Baloch, F.S. 2020. Genomic selection for optimum index with dry biomass yield, dry mass fraction of fresh material, and plant height in biomass sorghum. *Genes*, 11(1): 61. doi.org/10.3390/genes11010061.

Hasan, M. M., Alharby, H. F., Hajar, A. S., Hakeem, K. R. and Alzahrani, Y. 2019. The effect of magnetized water on the growth and physiological conditions of Moringa species under drought stress. *Polish Journal Environmental Studies*. 28(3):1145–1155. DOI: 10.15244/pjoes/85879.

Holman, J.D., Obour, A., Roberts, T. and Maxwell, S. 2018. Forage type and maturity effects on yield and nutritive value. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports* 4(8): 1-4. doi.org/10.4148/2378-5977.7636

Jafari, A. A., Connolly, V., Frolich, A. and Walsh, E.K. 2003. A note on estimation of quality in perennial Ryegrass by Near Infrared Spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 42: 293-299. https://www.jstor.org/stable/25562497

Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.R. and Dashtaki, M. 2013. Response of a new and commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management* 117:62-69. Doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.001

Kamaei, S., Fateh, E., and Veisi, H. 2022. Effect of different agronomic managements on quantitative and qualitative yield of wheat cultivars. DOI: 10.22069/ejcp.2022.18935.2414.

Kaur, L., Rattan, P., Reddy, A.H., and Sharma, A. 2023. Effect of organic manures and bio-fertilizers on growth and yield of radish (*Raphanus sativus* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(7): 1249-1254.

- Keshavarz Afshar, R., Chaichi, M.R., and Moghadam, H. 2012.** Irrigation, Phosphorus Fertilizer and Phosphorus Solubilizing Microorganism Effects on Yield and Forage Quality of Turnip (*Brassica rapa* L.) in an Arid Region of Iranian. *Agricore Research* 1: 370–378. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0039>.
- Lithourgidis, A.S, Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A. and Damalas, C.A. 2011.** Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34: 287 -294. doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007.
- Mishra, S., Sharma, S. and Vasudevan, P. 2008.** Comparative effect of biofertilizers on fodder production and quality in guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88:1667-1673. doi.org/10.1002/jsfa.3267.
- Mitra, D., Djebaili, R., Pellegrini, M., Mahakur, B., Sarker, A., Chaudhary, P., and Mohapatra, P.K.D. 2021.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis: plant growth improvement and induction of resistance under stressful conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(13): 1993-2028.
- Mohammadi, G., Safari-Poor, M., Eghbal Ghobadi, M. and Najaphy, A. 2015.** The effect of green manure and nitrogen fertilizer on corn yield and growth indices. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(2): 105-124.
- Moore, J.E. and Undersander, D.J., 2002.** Relative Forage Quality: An alternative to relative feed value and quality index. Florida Ruminant Nutrition Symposium, *Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. pp 16-32
- Niderkorn, V. and Baumont, R. 2009.** Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animal*, 3(7): 951-960.
- Ortas, I. and Bilgili, G. 2022.** Mycorrhizal species selectivity of sweet sorghum genotypes and their effect on nutrient uptake. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B Soil & Plant Science*, 72(1):733-743. doi.org/10.1080/09064710.2022.2063167.
- Ortega-Ochoa, C. 2005.** Effect of levels of irrigation on forage standing crop and quality of WW-B. Dahl (*Bothriochloa bladhii*) pasture under summer grazing. *Electronic Theses and Dissertations*. <http://hdl.handle.net/2346/1014>.
- Patel, V.I., Saravaita, S.N., Arvadia, M.K., Chaudhari, J.H., Ahir, M.P. and Bhalerao, R.E. 2010.** Effects of conjunctive use of bio-organic and inorganic fertilizers on growth, yield, and economics of Rabi Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under south Gujarat conditions. *International Journal of Agricultural Sciences*, 6(1): 178-181.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D. and Seidel, R. 2005.** Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems. *Bioscience*, 55: 573-582.
- Poshtdar, A, Siadat, S.A., Abdali mashhadi, A., Mosavi, S.A. and Hamdi, H. 2012.** Comparison between application of PGPR bacteria and chemical fertilizers on quality and total silage yield of Maize under different organic seed beds. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 11:713-717.
- Rashad, H.M., Mahmoud, A.W.M., Alsamadany, H., Alzahrani, Y., Seleem, E.A. and Ibrahim, H.M.S. 2023.** Evaluation of nano-nitrogen fertilizers and other nitrogen sources on the performance of Guinea grass plants grown in newly reclaimed soil under water deficiency. *Plant Stress*, 10:100282. doi.org/10.1016/j.stress.2023.100282.
- Rezvani, M., Afshang, B., Gholizadeh, A. and Zaefarian, F. 2011.** Evaluation of mycorrhizal fungus and phosphate rock effectiveness on growth and uptake of phosphorus in soybean (*Glycine max* Merr). *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 1(2): 97-118.
- Saeidnezhad, A.H., Rezvani moghadam, P., Khazaei, H.R., and Nassiri mahallati, M. 2012.**

Effect of organic materials, fertilizers, biological and chemical fertilizer on digestibility and protein Forage sorghum specific varieties. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 9(4):623-630.

Shuaibu, Y.M., Bala, R.A., Kawure, S. and Shuaibu, Z. 2018. Effect of organic and inorganic fertilizer on the growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Bauchi state, Nigeria. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 2(1): 025-03.

DOI: **Error! Hyperlink reference not valid.**

Silva, L.I.D, Pereira, M.C., Carvalho, A.M.X.D., Buttrós, V.H., Pasqual, M, Dória, J. 2023. Phosphorus-solubilizing microorganisms: *a key to sustainable agriculture*. *Agriculture*, 13(2), 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>

Singh, S., Bhat, B.V., Shukla, G.P., Singh, K.K. and Gehrana, D., 2018. Variation in carbohydrate and protein fractions, energy, digestibility, and mineral concentrations in stover of sorghum cultivars. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 6(1): 42-52.

DOI: 10.17138/TGFT (6)42-52.

Valentine, A.J., Mortimer, P.E., Lintnaar, A and Borgo, R. 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhiza grapevines. *Symbiosis*. 41(3): 127- 133.

Wu, Q.S. and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence the growth, osmotic adjustment, and photosynthesis of citrus under well-watered and water-stress conditions. *Journal Plant Physiology*. 163: 417 -425. doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024.

Yazdani, M., Bahmanyar, M.A., Pirdashti, H. and Esmaili, M.A. 2009. Effect of phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Proceedings of World Academy of Sciences, Engineering and Technology* pp. 2070-3740.

Zhang, B., Zhang, H., Lu, D., Cheng, L. and Li, J. 2023. Effects of biofertilizers on the growth, leaf physiological indices and chlorophyll fluorescence response of spinach seedlings. *Plos One*, 18(12): e0294349.

The study of the impact of different agricultural systems on the quantitative and qualitative traits of various forage sorghum cultivars (*Sorghum bicolor Moench* (L))

A. Bahari¹, A. Khodaei Jouqan*², A. Zareh³, M. H. Gharineh⁴ and M. Chenari⁵.

1, 2, 3 & 4) Educational Group of Production and Plant Genetics Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Khuzestan, Mollasani, Iran.

5) Researcher at Shahid Beheshti Cultivation and Industry Company, Dezful, Iran.

* Corresponding Author: a.khodaei@asnrukh.ac.ir

Received date: 2025.04.15

Accepted date: 2025.07.21

Abstract

An experiment using a split-plot factorial design within a completely randomized block design with three replications was conducted during the 2022-2023 growing season to examine the effects of various agricultural systems on the quantitative and qualitative characteristics of sorghum cultivars. The experimental treatments included four agricultural systems (high-input (conventional), medium-input, low-input, and ecological) in the main plots, along with four forage sorghum cultivars (Mansour, Speedfeed, Pegah, and Pajjal) and two levels of mycorrhiza (inoculated and non-inoculated) in the subplots. The results showed that in the high-input agricultural system with inoculation, the Pajjal cultivar exhibited the highest leaf area index (9). The highest plant height and stem diameter in the Speedfeed and Pajjal cultivars were also achieved in the high-input agricultural system with mycorrhiza, while the medium-input agricultural system performed better for the Pegah and Mansour cultivars. The results further indicated that the highest fresh forage weight was obtained from the high-input agricultural system without inoculation, with fresh forage yields for the Mansour and Speedfeed cultivars increased by 44% and 47% and for the Pegah and Pajjal cultivars by 45% and 38% compared to the low-input agricultural system. The highest yield (9475 kg/ha) corresponded to the Speedfeed cultivar in the high-input agricultural system with mycorrhiza inoculation. Additionally, the high-input agricultural system led to a reduction in forage fiber, with the highest percentage of crude fiber observed in the low-input agricultural system, whereas the medium and high-input systems had the least fiber content. Overall, it was determined that the ecological agricultural system, combined with mycorrhiza, not only improves the quality of sorghum forage but can also achieve a satisfactory yield. Additionally, it plays a significant role in the sustainable production of sorghum, particularly in the Speedfeed cultivar.

Key words: Protein, Fiber, Leaf Area Index and Forage Yield.