مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۴/ ۱۴۰۲. ص۳۳۷-۳۵۲
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.362430.991

اثر کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک در شرایط کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم‌آباد

مهری سعیدی‌نیا*، سید حسین موسوی و سجاد رحیمی‌مقدم

استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.**mehri_saeedinia@yahoo.com**

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
hooseinmousavi8@gmail.com

استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد. ایران.**sajadr.moghaddam@yahoo.com**

دریافت: خرداد ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

ایران در کمربند خشک کره زمین واقع است و میانگین بارش در آن یک‌سوم میانگین جهانی است لذا مدیریت صحیح منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی ضرورت دارد. به این منظور، در سال ۱۴۰۱، تحقیقی با هدف بررسی اثر چند ماده اصلاح‌کننده رطوبت خاک، در منطقه خرم‌آباد، در مزارع تحقیقاتی دانشگاه لرستان، به‌صورت فاکتوریل با طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد که فاکتور اول تیمار آب آبیاری در چهار سطح شامل ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ نیاز آبی گیاه و فاکتور دوم مواد اصلاح‌کننده رطوبت خاک شامل ورمی‌کمپوست به میزان شش تن در هکتار، بیوچار ۱/۵ تن در هکتار، سوپرجاذب ۷۵ کیلوگرم در هکتار، مالچ گیاهی ۷/۵ تن در هکتار و تیمار شاهد در نظر گرفته شد. سیستم آبیاری قطره‌ای نواری برای آبیاری استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین میزان عملکرد تر، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰% نیاز آبی و کود ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که به ترتیب برابر ۱۲۶/۷۱ و ۴۶/۲۷ تن در هکتار و ۲/۳۵ متر به دست آمد و بیشترین مقدار بهره‌وری تر و بهره‌وری بیولوژیک در سطح احتمال ۵٪ از آن تیمار ۸۰٪ نیاز آبی و کود ورمی‌کمپوست (شش تن در هکتار) بود که به‌ترتیب برابر ۱۶/۷۹ و ۵/۹ کیلوگرم در مترمکعب آب آبیاری محاسبه شد. به‌طورکلی ورمی‌کمپوست و بیوچار نیز سبب افزایش عملکرد تر و بیولوژیک، ارتفاع و بهره‌وری آب ذرت شد. مالچ در تیمارهای ۱۰۰٪ و ۸۰٪ نیاز آبی، عملکرد بهتری داشت (افزایش ۱۲/۷٪ و ۱۴/۵٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد) ولی با افزایش تنش آبی به ۶۰٪ و ۴۰٪ نیاز آبی، عملکرد تیمارهای حاوی مالچ خوب نبود (کاهش ۵/۳٪ و۱٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد). سوپرجاذب نیز در تیمارهای ۱۰۰٪، ۸۰٪ و ۶۰٪ نیاز آبی موجب کاهش عملکرد تر ذرت شد (به‌ترتیب کاهش ۹/۳٪، ۷/۲٪ و ۳٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد)، اما در تیمار ۴۰٪ نیاز آبی، نتیجه بهتری را رقم زد (افزایش ۷/۶٪ در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد). از این رو، در منطقه خرم‌آباد کاربرد شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۸۰٪ نیاز آبی به‌صورت آبیاری قطره‌ای تیپ(TAPE) برای بالاتر بردن تولید ذرت علوفه‌ای، هم‌زمان با صرفه‌جویی ۲۰٪ مصرف آب توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سوپرجاذب، کودهای آلی، مالچ، مدیریت آب در مزرعه

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **mehri_saeedinia@yahoo.com**

CC BY

مقدمه

ذرت از مهم‌ترین گیاهان زراعی در جهان است که نقش مهمی در تأمین مواد غذایی، بخش‌های کشاورزی، صنعت و بازرگانی دارد، از این نظر به‌عنوان یک محصول استراتژیک به شمار می‌رود (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۳). کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در کاهش رشد، بهره‌وری و تولید ذرت شناخته می‌شود. بر این اساس مدیریت صحیح مصرف آب در تولید ذرت یکی از اولویت‌های محققان در این زمینه به شمار می‌رود. کم‌آبیاری به‌عنوان یک روش بهینه جهت تولید محصولات کشاورزی در شرایط کمبود آب می‌تواند از طریق حذف آبیاری‌های کم‌بازده و کاهش میزان حجم آبیاری در هر نوبت آبیاری، باعث افزایش کارایی مصرف آب شود (اسدی و اسدی ۲۰۱۲). در زمینه کشت ذرت و مدیریت‌های مختلف آب تحت سامانه‌های مختلف آبیاری پژوهش‌های زیادی انجام شده است.

امینی نجف‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با هدف مطالعه‌ی اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش رطوبتی در اصفهان انجام دادند. نتایج نشان داد تیمار تأمین ۱۰۰٪ تخلیه رطوبتی با عملکرد محصول ۶۶۵۰۷ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب ۱۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بهترین تیمار بود. به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته، پژوهشی در سال ۱۳۹۸ در منطقه ورامین اجرا شد. نتایج نشان داد برای استفاده بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم‌آبی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه با مدیریت پالسی در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه می‌گردد (حاجی‌راد و همکاران، ۱۴۰۰). جهت بررسی اثرات کم‌آبیاری بر روند رشد، خصوصیات کمی، کیفی و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در کرمانشاه مطالعه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد مقدار بیشینه بهره‌وری آب نسبت به عملکرد دانه، زیست‌توده و روغن دانه در تیمار بیش‌آبیاری به‌ترتیب برابر با ۱/۱۵، ۲/۷۴ و ۰/۰۵۴۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمدند (پالاش و همکاران، ۱۴۰۱). علاوه بر کم‌آبیاری، استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری همچون آبیاری قطره‌ای روشی مناسب و کاربردی برای مدیریت مصرف آب در کشاورزی و افزایش بهره‌وری آب آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (احمدعلی و خلیلی، ۲۰۰۹). مهاجان و همکاران (۲۰۰۷) در یک پژوهشی نشان دادند که میزان تلفات آب، تحت آبیاری قطره‌ای برای کشت ذرت، ۵۰ درصد کل آب مصرفی بوده است. در پژوهش دیگری در اهواز پیروزفر و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور بررسی میزان تبخیر از سطح خاک و راندمان مصرف آب در ذرت دانه‌ای، به مقایسه روش‌های آبیاری قطره‌ای در شرایط بدون پوشش و پوشش‌دار پرداختند. نتایج نشان داد در بین روش‌های آبیاری، آبیاری قطره‌ای نواری پوشش‌دار باعث افزایش ۱۳ درصدی عملکرد و کارایی مصرف آب شد که علت آن را می‌توان به کاهش میزان تبخیر از سطح خاک نسبت داد.

کاربرد منابع و نهاده‌های تجدیدپذیر، یکی از اصول کشاورزی پایدار است که موجب حداکثر بهره‌وری زراعی و کم‌ترین خطرات زیست‌محیطی می‌شود. مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب کاهش روزافزون ماده آلی در خاک‌های کشاورزی شده که به‌دنبال آن عملکرد محصول کاهش می‌یابد، بنابراین برای حفظ حاصلخیزی خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن و حفظ تعادل در عوامل زیست‌محیطی، مصرف کودهای آلی و زیستی در خاک‌های کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از کودهای آلی، بیوچار است که در سال‌های اخیر استفاده از آن رواج پیدا کرده است (لنگ و همکاران، ۲۰۱۹). بیوچار، زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود (عاشوری و همکاران، ۲۰۱۹). ظفر و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر دو نوع بیوچار کلش گندم و باگاس نیشکر را روی اجزای عملکرد ذرت در شرایط دیم بررسی نمودند. مقادیر متفاوت مصرف بیوچار نشان داد که مقدار بالاتر بیوچار منجر به افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه ذرت خواهد شد. بیوچار

کلش گندم و باگاس نیشکر به مقدار ۱۰ تن در هکتار به‌ترتیب افزایش ۲۸/۹ و ۲۷/۶ درصدی در زیست‌توده را نشان دادند. مرادی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی تأثیر کاربرد بیوچارهای حاصل از هرس سیب، هرس انگور و کاه کلش گندم در سطوح یک، دو، چهار و هشت درصد کاربرد در یک خاک آهکی پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد کاربرد این بیوچارها موجب افزایش معنی‌دار مقدار PH ، درصد کربن آلی و مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با تیمارهای شاهد شد. همچنین، مصرف کودهای زیستی مانند ورمی‌کمپوست نیز می‌تواند علاوه بر تأمین نیاز کودی گیاه باعث بهبود حاصلخیزی خاک شود. ورمی‌کمپوست از اکسیداسیون زیستی و تثبیت مواد آلی چه از لحاظ فیزیکی و چه شیمیایی حاصل می‌شود و باعث کاهش نسبت کربن به نیتروژن و افزایش ذرات خاکی می شود که در معرض میکروارگانیسم‌ها قرار دارند (ریواندارن و همکاران، ۲۰۰۸). میزان بیش‌تر نیتروژن، فسفر و پتاس در ورمی‌کمپوست نسبت به سایر کودهای آلی در بیشتر منابع تائید شده است (سیرواسترا و همکاران ۲۰۰۴؛ آرانکن و همکاران ۲۰۰۹). دوان و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بیان کردند که استفاده از کمپوست و ورمی‌کمپوست در مزارع ذرت سبب افزایش عملکرد گیاه به‌ویژه در شرایط کمبود رطوبت و تنش آبی می‌شود. ملکی فراهانی و چایچی (۲۰۱۲) نیز با انجام آزمایشی نشان دادند استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی و زیستی (ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت) بهترین گزینه در زراعت جو و در شرایط کم‌آبیاری است.

استفاده از مالچ بقایای گیاهی در بین ردیف‌های کشت یکی دیگر از راهکارهایی است که می‌تواند ضمن حفظ رطوبت خاک از طریق کاهش تبخیر از خاک و تعرق از علف‌های هرز باعث کاهش آب آبیاری مصرفی و افزایش عملکرد محصول گردد (دورانتی و کوکولو، ۱۹۸۹). بیات و همکاران (۱۳۹۹) به‌منظور ارزیابی تأثیر انواع مالچ بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه ذرت علوفه‌ای و علوفه تولیدی، آزمایشی در سمنان انجام دادند. نتایج نشان داد که می‌توان از پوشش پلاستیکی برای کاهش اثرات شوری آب آبیاری و بهبود پارامترهای رشد ذرت علوفه‌ای بهره جست. شووان و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی دوساله در شمال غربی چین، با هدف بررسی اثر آبیاری قطره‌ای پوشیده شده توسط مالچ بر تبخیر- تعرق ذرت بهاره، دریافتند که پوشش مالچ و اعمال کم‌آبیاری، می‌تواند به‌طور قابل توجهی تبخیر- تعرق و تبخیر از سطح خاک را کاهش دهد. مینهوا و همکاران (۲۰۲۲) در چین به بررسی اثر مالچ بر روی کشت یونجه و کارایی مصرف آب پرداختند. نتایج نشان داد میزان عملکرد به میزان ۳۸/۵ درصد و میزان کارایی مصرف آب به میزان ۴۳/۷ درصد افزایش یافت. پلیمرهای سوپرجاذب نیز از دیگر مواد اصلاحی مؤثر در حفظ رطوبت خاک هستند. هیدورژول سوپر جاذب پلیمری آبدوست با شبکه سه بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های آبی را دارد، حتی اگر تحت‌فشار باشد (ظهوریان مهر ۱۳۸۵). پلیمرهای سوپرجاذب می‌توانند مقادیر متفاوتی آب در خود ذخیره نمایند و قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب را در خاک افزایش دهند. آب ذخیره‌شده در این مواد در مواقع کم‌آبی در خاک آزاد شده و مورد استفاده ریشه گیاه قرار می‌گیرد (هان و همکاران، ۲۰۱۰). جهان و همکاران (۱۳۹۲) در مشهد به بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب (صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت پرداختند. نتایج نشان داد افزایش مصرف پلیمر سوپرجاذب از ۴۰ به ۸۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی‌داری در میزان عملکرد، صفات مورفولوژیکی گیاه ذرت و ظرفیت نگهداری آب در خاک نشد. آقایاری و همکاران (۱۳۹۵) طی پژوهشی نتیجه گرفتند که کاربرد سوپرجاذب باعث صرفه‌جویی در آب آبیاری به میزان ۱۳/۴ درصد در طول دوره رشد محصول ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۳ و بهبود بهره‌وری مصرف آب گردید. با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده و کمبود منابع آب، به نظر می‌رسد بررسی میزان عملکرد محصولات تحت شرایط مدیریت‌های مختلف مانند استفاده از مواد اصلاحی، آبیاری قطره‌ای، کم‌آبیاری و

استفاده از ارقام مناسب بذر به‌صورت منطقه‌ای ضروری است. در واقع با جایگزین کردن کودهای آلی (اصلاحی) به جای کودهای شیمیایی با حفظ عملکرد مناسب محصول ذرت آلودگی‌های ناشی از کودهای شیمیایی کمتر می‌شود و خود این کودها سبب نگهداشت آب در خاک می‌شوند. مواد پوششی مانند مالچ و سوپرجاذب‌های رطوبتی آب نیز سبب کاهش تبخیر از سطح خاک و نگهداشت بیشتر آب آبیاری جهت استفاده گیاه می‌شوند. همچنین با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای با راندمان بالای ۹۰ درصد نیز ضمن سهولت در استفاده سبب کاهش میزان تلفات آبیاری می‌گردد. با توجه به اینکه در منطقه خرم‌آباد در این زمینه تحقیق جامعی انجام نگرفته است و همچنین اختصاص ۳۷۷۳ هکتار از سطح زیر کشت اراضی استان لرستان به ذرت (آمارنامه سال ۱۴۰۰ وزارت جهاد کشاورزی)، لذا این تحقیق به‌منظور بررسی میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای، تحت آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE)، مدیریت کم‌آبیاری توأم با استفاده از چند ماده اصلاحی خاک جهت مدیریت بهتر آب در مزرعه صورت پذیرفت.

مواد و روش

تحقیق حاضر تحت شرایط اقلیمی خرم‌آباد با مختصات جغرافیایی منطقه ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا انجام گرفت. با توجه به اینکه گیاه ذرت قابلیت کشت در شرایط دمایی خرم‌آباد را دارد، به همین منظور این گیاه (رقم SC-704) انتخاب گردید. طبق آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی (۱۴۰۰) سطح زیر کشت این محصول در لرستان ۳۷۳۳ هکتار است. در این تحقیق از مالچ گیاهی (از شرکت گیلدا که شامل خرده چوب جنگلی و الیاف پوسیده درختان)، بیوچار (چوب سوخته درختان میوه در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار اندک اکسیژن)، ورمی‌کمپوست و سوپرجاذب استفاده شد. سیستم آبیاری نیز بر اساس سیستم آبیاری قطره‌ای نواری با دبی ۱/۶ لیتر در ساعت و فواصل ۱۵ سانتی‌متر برای هر چکاننده تنظیم گردید. جهت تعیین ویژگی‌های خاک مزرعه تحقیقاتی در ابتدای کار و قبل از کشت ذرت از نقاط مختلف مزرعه نمونه‌برداری صورت گرفت که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک (cm)	بافت خاک	N% (mg kg^{-1})	P% (mg kg^{-1})	K% (mg kg^{-1})	ρ_b (gr cm^{-3})	FC (٪حجمی)	PWP (٪حجمی)	شوری خاک (dS m^{-1})
۰-۳۰	Silty loam	۰/۱۳۱	۶/۰۲	۳۶۰	۱/۵۶	۱۹/۷۲	۱۰/۳۸	۰/۶
۳۰-۶۰	Silty loam	۰/۰۹۱	۵/۷۵	۳۲۱	۱/۸۶	۱۹/۲۱	۹/۹۸	
۶۰-۹۰	Silty loam	۰/۰۲۴	۵/۶۴	۲۹۸	۱/۸۸	۱۹/۰۸	۱۰/۰۱	

در این پژوهش بذرهای ذرت در تاریخ ۱۴۰۱/۴/۱۱ کشت شد. برای این منظور ابتدا بر اساس آزمایش حاصلخیزی خاک نیاز کودی خاک منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. میزان کود داده شده به زمین به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (یک سوم پایه و دو سوم سرک) بود که نیمی از آن در مرحله سه برگی شدن نیمی دیگر در مرحله رشد ساقه به ذرت داده شد. همچنین ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار سوپر فسفات تریپل بود که در ابتدای کشت و قبل از شخم زمین به مزرعه داده شد. پس از مرحله شخم، دیسک، ماله‌کشی و تسطیح، فاروها ایجاد و کرت-های آزمایشی به مساحت ۴×۴ متر ایجاد گردید. جهت کنترل اثرات تیمارهای آزمایش روی یکدیگر فاصله‌ی کرت‌های آزمایشی از هم یک متر در نظر گرفته شد. فواصل پشته‌ها در هر کرت ۷۵ سانتی‌متر بود. بذر ذرت در عمق پنج سانتی‌متر کشت شد و تراکم بوته ۱۳ عدد برای هر متر

مربع لحاظ گردید. برخی خصوصیات کیفی آب مورد استفاده برای آبیاری در جدول ۲ ارائه شده است.

این تحقیق در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تیمار آبیاری شامل چهار سطح آبیاری (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I1)، ۸۰ درصد نیاز آبی (I2)، ۶۰ درصد نیاز آبی (I3) و ۴۰ درصد نیاز آبی (I4)) بود (جدول ۳). فاکتور دوم شامل مدیریت بهبود عملکرد با استفاده از مواد اصلاحی مختلف شامل مالچ گیاهی (M) به میزان ۷/۵ تن بر هکتار (بر اساس پیشنهاد بهزادنژاد و همکاران، ۱۳۹۷)، ورمی‌کمپوست (C) به میزان شش تن در هکتار (بر اساس پیشنهاد رفیعی و کونانی (۱۳۹۸))، بیوچار (B) به میزان ۱/۵ تن در هکتار (بر اساس پیشنهاد کیخسروی (۱۳۹۴))، سوپر جاذب (S) به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار (بر اساس پیشنهاد طیاری و حاجی‌پور (۱۳۹۹)) و تیمار شاهد (I)، بدون کاربرد ماده اصلاحی، در نظر گرفته شد (جدول ۴). بیوچار و ورمی‌کمپوست در جویچه در عمق صفر تا ده سانتیمتری خاک به‌صورت اختلاط با خاک انجام گرفت و سوپر جاذب پس از زدن شیار به عمق ۲۰ سانتی‌متر در خاک قرار گرفتند و روی آن‌ها با خاک پوشیده شد. مالچ نیز به‌صورت دست‌پاش روی هر شیار ریخته شد. قابل ذکر است مقادیر به کار برده شده برای مواد اصلاحی با توجه به تحقیق و میزان معمول استفاده از این مواد در مناطق مختلف، آزمایش در مجموع شامل ۲۰ تیمار و ۶۰ کرت بود و شماتیک طرح اجرایی در شکل ۱ ارائه شده است.

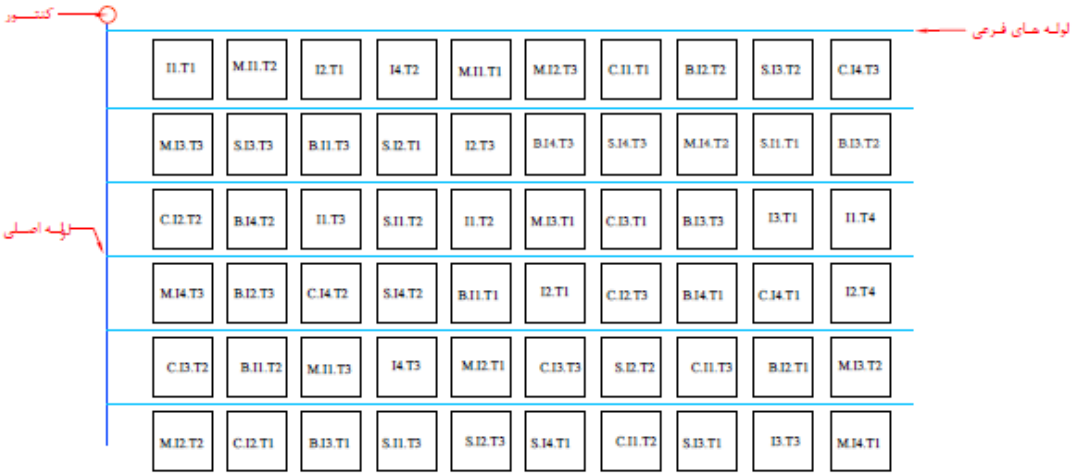
جدول ۲- خصوصیات کیفی آب آبیاری

PH	EC (dS/m)	TDS (mg/l)	Ca^{2+} (meq/l)	Mg^{2+} (meq/l)	Na^{+} (meq/l)	SAR
۷	۰/۶	۳۹۷	۴/۶	۱/۶	۱/۲۸	۰/۷۳

PH: اسیدیته آب، EC: شوری، TDS: کل مواد جامد محلول در آب، Ca^{2+}: یون کلسیم، Na^{+}: یون سدیم، SAR: نسبت جذب سدیم

جدول ۳- خصوصیات مواد اصلاحی

نوع ماده اصلاحی	خصوصیات
مالچ	مالچ گیاهی خریده شده از شرکت گیلدا. تهیه‌شده از خرده چوب، خاک اره و گیاه‌خاک میزان استفاده ۷/۵ تن در هکتار
ورمی‌کمپوست	ورمی‌کمپوست به میزان ۱۰ تن در هکتار بوده. از شرکت به کشت خریداری گردید. نسبت کربن به ازت (C/N) ورمی‌کمپوست۲۰-۱۵ بوده و طول دانه‌های خشک آن بین ۱-۵mm متغیر است. هوموس آن نیز ۲۰٪ وزن خشک است. میزان استفاده شش تن در هکتار
بیوچار	خریداری شده از شرکت دانش‌بنیان فصل پنجم. تهیه‌شده از زوائد درختان میوه با میزان تخلخل بالا. تهیه‌شده در حرارت حدود ۴۵۰ درجه. در شرایط محدودیت اکسیژن. میزان استفاده ۱/۵ تن در هکتار
سوپر جاذب کشاورزی	خریداری شده از شرکت دم برگ گرانولی، با اندازه ذرات ۸۰۰-۲۰۰۰ میکرون، با PH بین ۵/۵ تا ۸. عدم حلالیت در آب و نقطه ذوب بالاتر از ۱۹۹ درجه. میزان استفاده ۷۵ کیلوگرم در هکتار



شکل ۱- جانمایی کلی طرح

در این تحقیق، دور آبیاری به‌طور متوسط سه روز (دور آبیاری رایج برای آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE)) در نظر گرفته شده است. برای تعیین عمق آبیاری نیز از تشت تبخیر کلاس A از جنس ورق گالوانیزه با ضخامت ۱/۵ میلی‌متر، قطر ۱/۲۲ متر و عمق ۲۵/۴ سانتی‌متر استفاده شده. این تشت نزدیک مزرعه مورد مطالعه روی پالت چوبی قرار داده شد. راندمان آبیاری (Ea) ۹۵ درصد و با در نظر گرفتن پنج درصد تلفات محاسبه گردید. برای محاسبه‌ی آب آبیاری، از روابط ۱ تا ۵ استفاده گردید. سایر تیمارها درصدی از نیاز کامل آبیاری بود. در ابتدا میزان آب تبخیر شده از تشت در هر دوره آبیاری محاسبه و تبخیر و تعرق مرجع منطقه با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد.

$$ET_0=K.(E_{pan}) \quad (۱)$$

که در این رابطه، ET_0 : تبخیر – تعرق مرجع، K: ضریب تشت که در این آزمایش طبق نشریه دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز کمیته ملی آبیاری و زهکشی ۰/۷ در نظر گرفته شد و E_{pan}: میزان تبخیر از تشت است. تشت تبخیر بالاتر از مزرعه و در زمین آیش روی پالت چوبی مستقر گردید. سپس، برای محاسبه تبخیر – تعرق گیاه ذرت از رابطه (۲) استفاده شد.

$$ET_C= ET_0.K_C \quad (۲)$$

که در این رابطه، ET_C: تبخیر – تعرق گیاه ذرت، ET_0 : تبخیر – تعرق مرجع و K_C ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای است که در ابتدا از مجله فائو استخراج شد و سپس برای مراحل مختلف رشد برای اقلیم خرم‌آباد بر اساس روابط (۳) و (۴)، اصلاح شدند.

$$K_{c\ mid} = K_{c\ mid(tab)} + [\ 0.04(u_2 - 2) - 0.004\ (RH_{min} - 45)]\ (\frac{h}{3})^{0.3} \quad (۳)$$

$$K_{c\ end} = K_{c\ end\ (tab)} + [\ 0.04(u_2 - 2) - 0.004\ (RH_{min} - 45)]\ (\frac{h}{3})^{0.3} \quad (۴)$$

که $K_{c\ mid(tab)}$: مقدار ضریب گیاهی در مجله فائو در مرحله میانی رشد، u_2: میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری بالای سطح چمن در مرحله میانی رشد (متر بر ثانیه)، RH_{min}: میانگین حداقل رطوبت نسبی روزانه در مرحله میانی رشد (درصد)، بین ۲۰ تا ۸۰ درصد، h: میانگین ارتفاع گیاه در مرحله میانی رشد (متر) و $K_{c\ end}$ (tab) : مقدار ضریب گیاهی در مجله فائو در مرحله پایانی رشد.

در جدول (۴) پارامترهای هواشناسی مورد نیاز در طول دوره رشد که برای تصحیح ضریب گیاهی مورد نیاز بودند، ارائه‌شده است. ضرایب گیاهی اصلاح‌شده بر اساس متغیرهای آب و هوایی منطقه و روابط (۳) و (۴)، در جدول (۵) نمایش داده شده است.

جدول ۴- داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد در طول دوره رشد

میانگین سرعت باد منطقه ($m\ s^{-1}$)	میانگین حداقل رطوبت نسبی منطقه (٪)	حداقل دما در طول دوره رشد (^0C)	حداکثر دما در طول دوره رشد (^0C)	میانگین بارش در طول فصل رشد (m^{-3})
۲/۲۸	۲۲/۴	۲۰	۴۰/۵	.

جدول ۵- ضرایب گیاهی و میانگین عمق آبیاری در طول دوره رشد

مرحله رشد	ضریب گیاهی مجله فائو	ضریب گیاهی محاسبه‌شده	میانگین حجم آبیاری (m^3ha^{-1})
ابتدایی	۰/۳	۰/۳	۱۱۳
میانی	۱/۲	۱/۱۶	۳۲۱
پایانی	۰/۵۵	۰/۷	۱۶۸

در نهایت عمق ناخالص آبیاری از رابطه (۵) محاسبه گردید. با توجه به عدم بارش در تابستان و همچنین ناچیز بودن میزان آب خارج شده از منطقه گیاه، ET_C برابر عمق خالص آبیاری (d_n) در نظر گرفته شد. عمق ناخالص آبیاری برابر تقسیم عمق خالص بر راندمان است.

$$d_g = dn/Ea \qquad (۵)$$

پس از محاسبه عمق آبیاری، حجم آب آبیاری مورد نیاز برای هر کرت نیز محاسبه گردید و حجم آب مورد نیاز هر کرت، بر اساس میزان نوار تیپ مورد استفاده در هر کرت، توسط کنتور حجمی با حداکثر دبی خروجی ۱۰ متر مکعب در ساعت کنترل شد (شکل ۲). در پایان فصل، برداشت محصول با حذف دو خط کاشت از اطراف هر کرت از سطحی معادل یک متر مربع از خطوط کاشت داخلی صورت گرفت. ارتفاع بوته در زمان برداشت در مزرعه و قبل از کف بر کردن بوته اندازه‌گیری شد. سپس با انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه عملکرد تر (وزن ماده تر ذرت بلافاصله پس از برداشت) و عملکرد بیولوژیک (وزن ماده خشک ذرت پس از قرار گرفتن در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه) اندازه‌گیری شد. در نهایت برای بررسی اثر تیمارهای مختلف روی بهره‌وری آب شاخص بهره‌وری آب با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید:

$$WP_I = Y/I \qquad (۶)$$

در رابطه بالا: Y: عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)، I: میزان آب آبیاری (متر مکعب در هکتار) و WP_I: بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم در متر مکعب) است. در این تحقیق برای آنالیز آماری نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

شکل ۲- سیستم آبیاری

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای مختلف آبیاری و مواد اصلاحی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد، اثرات تیمارهای آبیاری و مواد اصلاحی، هر کدام جداگانه بر صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد تر، ارتفاع بوته، بهره‌وری تر و بهره‌وری بیولوژیک در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد. علاوه بر این، اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مواد اصلاحی بر فاکتورهای فوق نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار شد.(جدول ۵). همچنین میزان آب مورد استفاده برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۷۰۶/۵ میلی‌متر، ۸۰ درصد نیاز آبی ۵۹۰ میلی‌متر، ۶۰ درصد نیاز آبی ۴۷۳/۵ میلی‌متر و ۴۰ درصد نیاز آبی ۳۵۷ میلی‌متر بود.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری و مواد اصلاحی بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی Df	میانگین مربعات				
		عملکرد بیولوژیک	عملکرد تر	ارتفاع بوته	بهره‌وری تر	بهره‌وری بیولوژیک
آبیاری	۳	۵۶۹/۳*	۴۵۸۳*	۰/۹۳۳۷*	۱۰/۵۸*	۰/۹۰۱*
مواد اصلاحی	۴	۱۷۳/۷*	۱۲۶۵*	۰/۰۰۷۵*	۲۶/۳۶۶*	۳/۴۲۹*
آبیاری. مواد اصلاحی	۱۲	۵۱/۵*	۳۴۵*	۰/۰۲۱۹*	۶/۱۸*	۰/۸۸۶*
خطا	۴۰	۱/۱	۴	۰/۰۲۱۴	۰/۱۰۸	۰/۰۲۴
ضریب تغییرات Coefficient of variation		۴/۰۶	۲/۶۲	۵/۵۶	۲/۵۶	۳/۵۶

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار

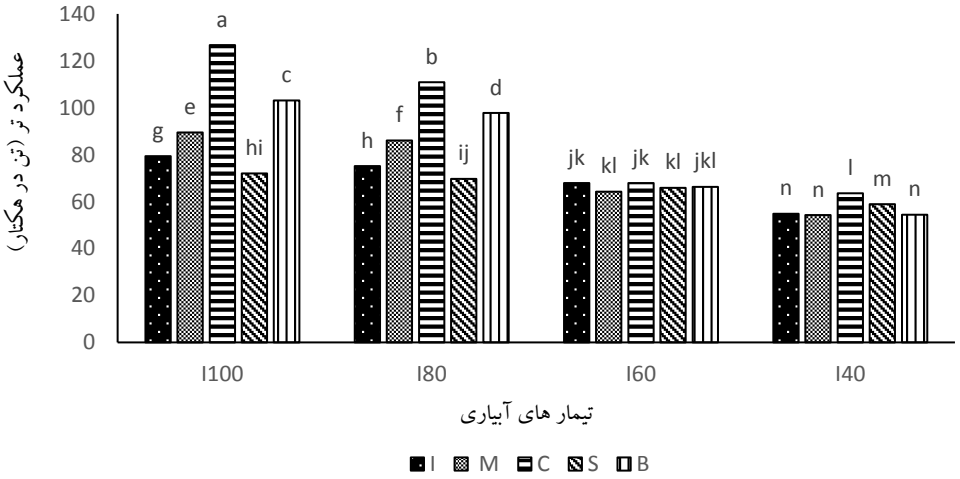
عملکرد تر

همان‌طور که نمودار مقایسه میانگین میزان عملکرد تر در تیمارهای مختلف در شکل ۳ نشان می‌دهد، تنش آبی باعث کاهش میزان عملکرد تر گردید. اثرات مربوط به مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوچار، سوپر جاذب و مالچ در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی نسبت به سطوح ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی، محسوس‌تر است. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوچار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد تر به‌ترتیب به میزان ۵۹/۵ ٪، ۲۹/۸ ٪ و ۱۲/۷ ٪ نسبت به تیمار شاهد گردید ولی کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد تر به میزان ۹/۳ ٪ شد. برای سطح آبیاری ۸۰ درصد نیز، همین روند مشاهده گردید. در این سطح آبیاری، کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوچار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد تر به‌ترتیب به میزان ۴۷/۵ ٪، ۳۰ ٪ و ۱۴/۵ ٪ و کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد تر به میزان ۷/۲ ٪ شد. به نظر می‌رسد علت عملکرد ضعیف سوپر جاذب در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، به ایجاد شرایط ماندابی و مرطوب شدن بیش از حد خاک برگردد. قاسمی و خوشخوی (۱۳۸۶) و استیل (۱۹۷۶) گزارش کردند که با افزایش سوپر جاذب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند کاهش میزان هوای خاک به خاطر پر شدن فضاهای خالی در اثر تورم سوپر جاذب باشد. خلیلی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی که به بررسی اثر پلیمر سوپر جاذب بر میزان عملکرد ذرت پرداختند گزارش کردند که مصرف سوپر جاذب به میزان ۳۰ کیلوگرم بر هکتار، باعث تغییر معنی‌داری در میزان عملکرد در هیچ کدام از سطوح آبیاری نگردید.

بنابراین در تیمارهای آبیاری کامل و تنش آبی ناچیز (۸۰ درصد نیاز آبی)، مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست ۴۷/۵۵ ٪، بیوچار ۳۰/۰۱ ٪ و مالچ ۱۴/۵ ٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش داشتند و باعث افزایش معنی‌دار عملکرد تر ذرت گردیدند. نتایج پژوهشی بر روی اثر ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی بر ذرت نشان داد که مصرف هم‌زمان شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد کودهای شیمیایی بهترین عملکرد را نشان داد (بهروزی و همکاران ۱۴۰۱). یاداو و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که

بیشترین عملکرد ذرت با مصرف هم‌زمان پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد کود شیمیایی به دست آمد. در بررسی اثر بیوچار بر عملکرد ذرت، نتایج فخرآبادی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که بیشترین مقدار علوفه تر در تیمار آبیاری کامل که حاوی ماده اصلاحی بیوچار (۱۰٪ حجمی) بود، به دست آمد.

همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در سطح آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط)، هیچ یک از مواد اصلاحی موجب افزایش معنی‌دار صفات عملکردی ذرت نشدند. در سطح آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط)، همچنان مؤثرترین ماده اصلاحی، ورمی‌کمپوست است که موجب ایجاد افزایش معنی‌دار عملکرد تر به میزان ۱۶/۱ درصد نسبت به تیمار بدون ماده اصلاحی گردید اما اثر بیوچار و مالچ در افزایش عملکرد تر معنی‌دار نگردید. پیروزفر و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی اثر مالچ پلاستیکی بر میزان عملکرد ذرت در اهواز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که البته تفاوت معنی‌داری با میزان عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی نداشت. در مورد سوپر جاذب نیز، تنها در تیمار تنش آبی شدید (سطح آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی)، بر بهبود صفات عملکردی ذرت علوفه‌ای تأثیر مثبت معنی‌دار داشت به‌گونه‌ای که باعث افزایش عملکرد تر به میزان ۷/۶۵ درصد نسبت به تیمار بدون ماده اصلاحی، گردید. به نظر می‌رسد علت افزایش میزان عملکرد، به نگهداشت بالای رطوبت خاک در این سطوح آبیاری باشد.



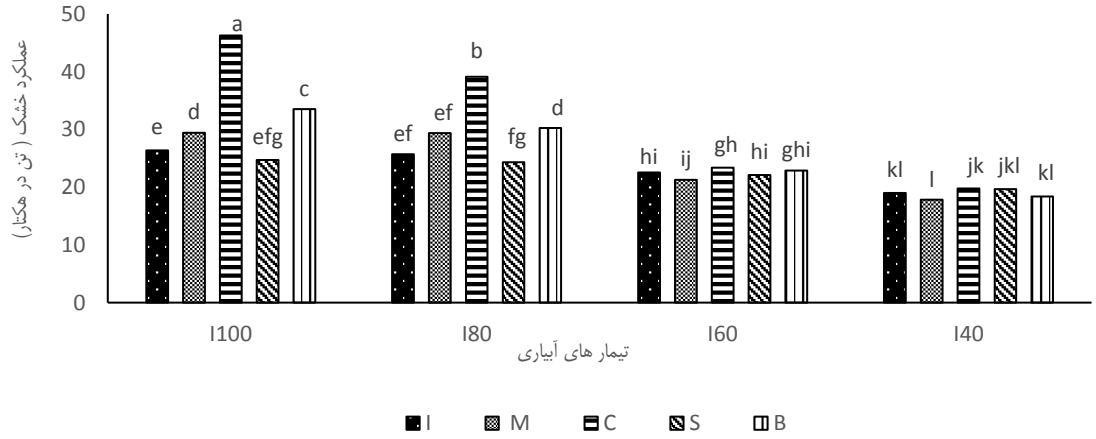
شکل ۳- نمودار مقایسه میانگین عملکرد تر ذرت علوفه‌ای

عملکرد بیولوژیک

در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوچار و مالچ، میزان عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب به میزان ۷۵/۴ ٪، ۲۷/۱ ٪ و ۱۱/۵۰ ٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند (شکل ۴). طبق مطالعات مرادی طالب‌بیگی و همکاران (۱۳۸۷)، کاربرد مالچ بر ماده خشک نهایی ذرت تأثیر معنی‌دار مثبتی دارد. همچنین جهانی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی دریافتند که استفاده از ورمی‌کمپوست میزان عملکرد بیولوژیک ذرت علوفه‌ای را نسبت به تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌دهد. دیوبندهفشجانی و همکاران (۱۳۹۶) نیز بیان کردند که استفاده از بیوچار باگاس نیشکر در خاک به‌عنوان یک منبع کربنی علاوه بر تأثیر مثبت بر میزان مواد آلی خاک بر سایر خصوصیات شیمیایی آن تأثیر مثبت دارد که موجب افزایش کربن آلی خاک می‌گردد. افزایش کربن آلی خاک می‌تواند باعث افزایش زیست‌توده گیاه شود. ما و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر مثبت بیوچار در پایداری خاکدانه و افزایش رطوبت خاک را پس از سه سال مصرف بیوچار گزارش نمودند که افزایش آب در خاک می‌تواند منجر به افزایش رشد رویشی گردد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارند.

کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد بیولوژیک به میزان ۶/۴ ٪ شد. طی پژوهشی مشخص شد که میکوریز و سوپر جاذب رطوبتی در شرایط آبیاری نرمال، اثر مثبت و معنی‌داری بر صفات رشد، عملکرد زیستی و دانه نداشتند، اما در شرایط تنش رطوبتی، کاربرد آن‌ها بر صفات رشد و عملکرد دانه اثر مثبت داشت که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (پرویزی و همکاران، ۱۴۰۰). برای سطح آبیاری ۸۰ درصد نیز، همین روند مشاهده گردید. کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، بیوچار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد بیولوژیک به ترتیب به میزان ۵۲/۲ ٪، ۱۷/۷ ٪ و ۱۴/۳ ٪ و کاربرد سوپر جاذب باعث کاهش عملکرد بیولوژیک به میزان ۵/۴ ٪ شد. بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک مربوط به هریک از تیمارهای مواد اصلاحی در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد مشاهده گردید و در بین این مواد، کاربرد ورمی‌کمپوست باعث تولید بیشترین عملکرد بیولوژیک (۴۶/۲۸ تن در هکتار) گردید.

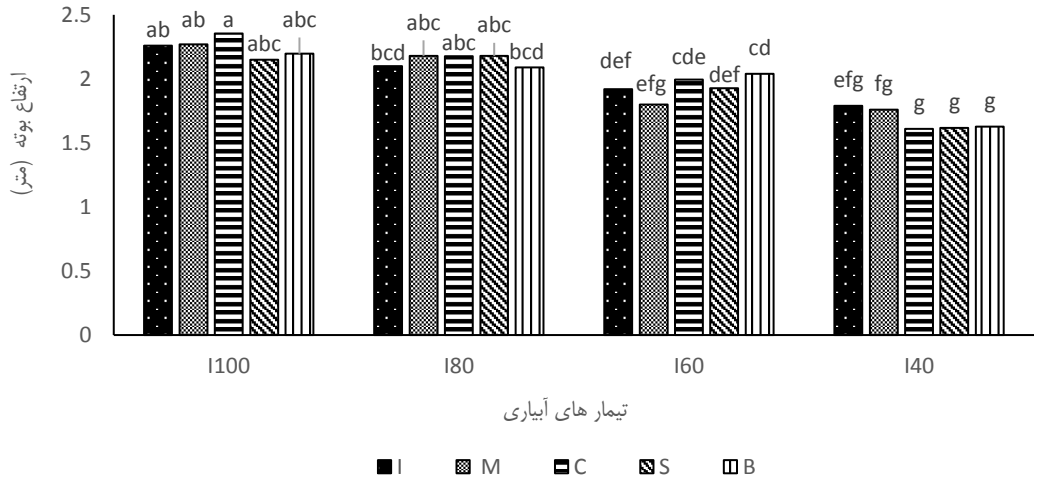
همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، برای عملکرد بیولوژیک، در سطح آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط و شدید)، هرچند، بیشترین عملکرد مربوط به تیمار حاوی ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست (۲۳/۳۷ تن در هکتار برای تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی و ۱۹/۷۶ تن در هکتار برای تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی) بود اما تفاوت معنی‌داری با تیمارهای بدون ماده اصلاحی نداشتند. لذا در عمل، هیچ یک از مواد اصلاحی موجب افزایش معنی‌دار صفات عملکردی ذرت نشدند.



شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک ذرت علوفه‌ای

ارتفاع بوته

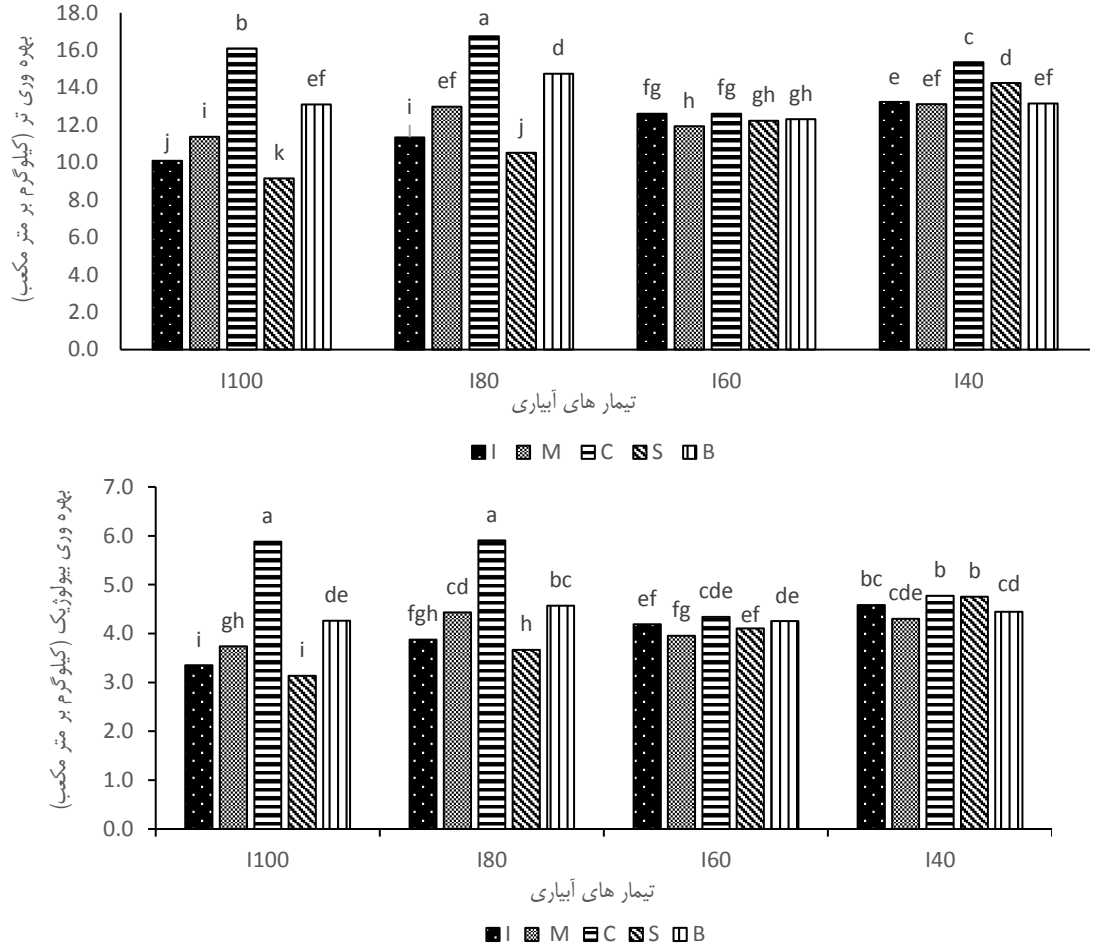
نتایج مقایسه‌ی میانگین مربوط به ارتفاع بوته (شکل ۵) نشان داد، به‌طورکلی با افزایش تنش آبی، میزان ارتفاع گیاه در همه تیمارهای مربوط به مواد اصلاحی، کاهش یافت. بیشترین مقدار ارتفاع در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و حاوی ورمی‌کمپوست (۲/۳۵ متر) حاصل شد، اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (۲/۲۵ متر) نداشت. در تمام سطوح آبیاری، هیچ‌کدام از مواد اصلاحی، اثر معنی دار مثبتی در افزایش ارتفاع بوته نداشتند. پرویزی و همکاران (۱۳۹۸) طی تحقیقی نشان دادند که کاربرد سوپر جاذب اثر معنی‌داری بر روی ارتفاع بوته ذرت ندارد. در پژوهشی دیگر که توسط رضایی و همکاران (۱۴۰۱) صورت پذیرفت، نتایج نشان داد که مصرف ده تن ورمی‌کمپوست نیز تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گندم نمی‌گذارد. سپس محکمی و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی اثر بیوچار بر گیاه کینوا گزارش کردند که بین تیمار شاهد و کاربرد بیوچار از لحاظ ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.



شکل ۵- نمودار مقایسه میانگین ارتفاع بوته ذرت علوفه‌ای

بهره‌وری مربوط به عملکرد تر و عملکرد بیولوژیک

با توجه به شکل ۶، بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۱۶/۷۹ کیلوگرم ماده تر و ۵/۹ کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف هر متر مکعب آب)، زمانی حاصل گردید که در تمام طول دوره رشد گیاه، تنش‌آبی ناچیز (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی) اعمال و از ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست به مقدار شش تن در هکتار استفاده شد. کمترین میزان بهره‌وری مصرف آب (۹/۱۴ کیلوگرم ماده تر و ۳/۱۳ کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف هر متر مکعب آب) نیز در تیمار حاوی سوپر جاذب با سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید. در تنش آبی متوسط (۶۰ درصد نیاز آبی)، بیشترین میزان بهره‌وری عملکرد تر و عملکرد بیولوژیک در تیمار حاوی ورمی‌کمپوست به دست آمد که البته با میزان بهره‌وری در سایر تیمارها، تفاوت معنی‌داری نداشت. در تنش آبی شدید نیز، بهره‌وری مصرف آب در اثر استفاده از ورمی‌کمپوست، به‌صورت معنی‌دار در سطح پنج درصد، بیشتر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد تر) یا برابر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیک) با کاربرد سوپر جاذب مشاهده شد که با توجه به قیمت بالای پلیمرهای سوپر جاذب و تهدیدات زیست‌محیطی این مواد، به نظر می‌رسد، کاربرد ورمی‌کمپوست، مناسب‌ترین گزینه باشد. پیروزفر و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی که بر روی ذرت تحت تیمارهای مختلف آبیاری و مالچ پلاستیکی، انجام دادند گزارش کردند که بهترین میزان بهره‌وری آب برای ذرت در این شرایط در سطح آبیاری ۸۰ درصد به دست آمد. در پژوهش دیگر که بر روی ذرت انجام گرفت، نتایج نشان داد در مناطقی که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، برای استفاده بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم‌آبی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه می‌شود (حاجی‌راد و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین بهره‌وری بیولوژیک و تر ذرت علوفه‌ای

نتیجه‌گیری

با بررسی اثر کم‌آبیاری و مواد اصلاحی بر عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE) در منطقه خرم‌آباد، نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری و مواد اصلاحی، میزان عملکرد (تر و بیولوژیک)، ارتفاع بوته و بهره‌وری آب ذرت را تحت تأثیر قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد، در تیمارهای آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش آبی ناچیز (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی)، به ترتیب، کاربرد ورمی‌کمپوست، بیوچار و مالچ باعث افزایش معنی‌دار عملکرد تر و بیولوژیک ذرت گردیدند. در تنش آبی متوسط (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی)، هیچ یک از مواد اصلاحی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت نگردید. در تنش آبی شدید (تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی) نیز، همچنان مؤثرترین ماده اصلاحی، ورمی‌کمپوست بود. استفاده از بیوچار، در سطح نیاز آبی ۴۰ درصد نیاز آبی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر روی افزایش صفات اندازه‌گیری نداشت. در مورد سوپر جاذب نیز، تنها در تیمار تنش آبی شدید (۴۰ درصد نیاز آبی)، در سطح معنی‌داری پنج درصد، باعث بهبود میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای گردید. نتایج بهره‌وری نشان داد که بیشترین بهره وری مصرف آب زمانی حاصل گردید که در تمام طول دوره رشد گیاه، تنش آبی ناچیز (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی) اعمال شد و از ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست به مقدار شش تن در هکتار استفاده گردید. حتی در تنش آبی شدید نیز، بهره‌وری مصرف آب در اثر استفاده از ورمی‌کمپوست بیشتر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد تر) یا برابر (در بهره‌وری بر اساس عملکرد بیولوژیک) با کاربرد سوپر جاذب مشاهده شد که با توجه به قیمت بالای پلیمرهای سوپر جاذب و تهدیدات زیست‌محیطی این مواد، کاربرد ورمی‌کمپوست مناسب‌ترین گزینه خواهد بود؛ بنابراین برای منطقه خرم‌آباد،

تحت شرایط آبیاری قطره‌ای نواری (TAPE)، با اعمال کم‌آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی و ماده اصلاحی ورمی‌کمپوست به میزان شش تن در هکتار، می‌توان عملکرد و بهره‌وری آب ذرت را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. در این پژوهش ارزیابی اقتصادی صورت نپذیرفته است لذا پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از شاخص‌های سودآوری این ارزیابی صورت پذیرد و بر اساس هزینه تولید ذرت علوفه‌ای در هر هکتار و هزینه تمام شده هر کیلو علوفه ذرت برای هر کدام از مواد اصلاحی (ورمی‌کمپوست، بیوچار، سوپر جاذب و مالچ)، نتایج مربوط به ارزیابی اقتصادی ارائه شوند.

فهرست منابع

۱. احمدآلی، ج.، و خلیلی، م.، (۱۳۸۸). بررسی عملکرد و کارآیی مصرف آب در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) و جوی پشته‌ای در وضعیت کشت یک ردیفه و دو ردیفه در ذرت دانه‌ای. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*، ۳(۲)، ۷۱-۷۸.

۲. اسدی، ر.، و اسدی، ر.، (۱۳۹۱). تأثیر کم‌آبیاری ذرت دانه‌ای با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب. *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، ۲۶(۲ (ب))، ۱۹۷-۲۰۹.

۳. امینی نجف‌آبادی، م.، فتاحی، ر. ا.، قربانی، ب.، و سالمی، ح. ر.، (. ۱۳۹۹). تأثیر انواع آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ)و سطوح آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای. *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۴(۴)، ۱۸۷-۱۷۹.
بهروزی، د.، دیانت،م.، مجیدی، ا.، میرهادی، م. ج.، و شیرخانی، ع.، (۱۴۰۱). تأثیر کم‌آبیاری، کودهای شیمیایی و ورمی ورمی‌کمپوست بر ذرت علوفه‌ای (Zea mays L.) *به زراعی کشاورزی*، ۲۴ (۴)، ۱۰۶۹-۱۰۸۴.

۴. بهزادنژاد، ج.، طهماسبی سروستانی، ز.ا.، آیین، ا.، و مختصی بیدگلی، ع.، (۱۳۹۷). اثر تنش خشکی و خاکپوش کاه و کلش گندم بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیک کنجد. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی)*، ۱۲(۳ (۴۷))، ۳۹۳-۴۱۰.

۵. بیات، ز.، صادقی پور، ا.، یزدانی، م.ر.، و ذوالفقاری، ع. ا.، (۱۳۹۹). تولید علوفه و خصوصیات مورفولوژیک ذرت علوفه‌ای (Zea mays L.) در سطوح مختلف شوری آب و انواع مالچ. *مرتع*، ۱۴(۲)، ۲۴۸-۲۷۱.

۶. پالاش، م.، بافکار، ع.، فرهادی بانسوله، ب.، و قبادی، م.، (۱۴۰۱). بررسی اثرات کم‌آبیاری بر خصوصیات کمی، کیفی و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۶ در کرمانشاه. *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*، ۲(۱)، ۳۷-۱۶.

۷. پرویزی، خ.، فرنیا، ا.، و هدایتی، ا.، (۱۳۹۸). اثر کود زیستی نیتروکسین و سوپر جاذب رطوبت بر صفات رشد و اجزای عملکرد بلال ذرت در شرایط تنش کمبود آب. *تغذیه گیاهان باغی*، ۲(۱)، ۹۹-۱۱۵.

۸. پرویزی، خ.، فرنیا، ا.، و قادری، م.ک.، (۱۴۰۰). بررسی کاربرد قارچ هم‌زیست میکوریز و سوپر جاذب رطوبتی بر صفات رشد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای تحت شرایط تنش آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۳(۲)، ۶۹-۷۹.

۹. پیروزفر، و. ر.، برومندنسب، س.، و صالحی، ف.، (۱۳۹۹). اثر آبیاری قطرهای نواری پوشش‌دار و بدون پوشش بر عملکرد و راندمان مصرف آب ذرت (Zea mays L.) تحت شرایط آب و هوایی اهواز. *نشریه دانش آب‌وخاک*، ۳۰(۴)، ۴۱-۲۹.

۱۰. جهان، م.، کمایستانی، ن.، و رنجبر، ف.، (۱۳۹۲). امکان‌سنجی استفاده از سوپر جاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی وارده به ذرت (Zea mays L.) در یک نظام زراعی کم نهاده در شرایط مشهد. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۵(۳)، ۲۷۲-۲۸۱.

۱۱. جورونی، ا.، عالی‌نژادیان بیدآبادی، ا.، و ملکی، ع.، (۱۳۹۶). تعیین تابع تولید و پاسخ عملکرد کل مادهٔ خشک و دانه به کم‌آبیاری در گیاه ذرت. *مجله مدیریت آب و آبیاری*، ۷(۲)، ۲۵۶-۲۴۱.

۱۲. جهانی، م.، بشارتی، ح.، و گلچین، ا.،(۱۳۹۰). تأثیر کاربرد ورمی کمپوست‌های غنی‌شده بر درصد ظهور گیاهچه و وزن خشک بوته ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. *مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)*، ۲۵(۱)، ۳۳-۳۸ .

۱۳. حاجی راد، ا.، میرلطیفی، س. م.، دهقانی‌سانیج، ح.، و محمدی، س.، (۱۴۰۰). بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در صورت استفاده از دو نوع مدیریت مختلف در سیستم آبیاری قطره‌ای. *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۵(۳)، ۲۳-۱۵.

۱۴. خلیلی، ف.، آقایاری، ف.، و اردکانی، م.ر.، (۱۴۰۰). تأثیر توأم شیوه‌های کم‌آبیاری و کاربرد سوپر جاذب بر خصوصیات موفولوژیکی و عملکرد گیاه ذرت. *دانش آب‌وخاک (دانش کشاورزی)*، ۳۱(۳)، ۱۵-۲۹.

۱۵. دیوبند هفشجانی، ل.، هوشمند، ع.ر.، ناصری، ع.ع.، سلطانی محمدی، ا.، و عباسی، ف.، (۱۳۹۶). مقایسه کارایی بیوچار و ورمی‌کمپوست باگاس نیشکر در حذف نیترات از آب‌های آلوده و تعیین شرایط بهینه فرایند جذب. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱(۱۰)، ۱۱۶-۱۰۲.

۱۶. رضایی، م.، جامی الاحمدی، م.، محمودی،س.، و سیاری‌زهان، م.ح.، (۱۴۰۱). تأثیر مصرف کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست محلی و فسفره بر برخی خصوصیات رشدی و عملکردی گندم. *تولیدات گیاهان زراعی*، ۱۶(۱)، ۶۱-۷۸.

۱۷. رفیعی، م.، و کونانی، ع.ر.، (۱۳۹۸). تأثیر کاربرد ورمی ورمی‌کمپوست و کود نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی ذرت (Zea mays L.). *مجله علوم گیاهان زراعی ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۵۰(۱)، ۱۵۱-۱۵۹.

۱۸. ظهوریان مهر، م.، (۱۳۸۵). سوپر جاذب‌ها. انتشارات انجمن پلیمر ایران. ۸۳ ص.

۱۹. فخرآبادی، ح.، و خوش‌سیمای چنار، م.، (۱۴۰۰). اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵(۴)، ۹۴۱-۹۵۴.

۲۰. قاسمی، م.، و خوشخوی، م.، (۱۳۸۶). اثر پلیمر ابر جاذب بر دور آبیاری و رشد و نمو گیاه داودی (Dendranthema × grandiflorum Kitam syn. Chrysanthemum morifolium Ramat.). *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۸(۲)، ۶۵-۸۲.

۲۱. قیصری، م.، میرلطیفی، س.م.، همایی، م.، و اسدی، م.ا.، (۱۳۸۵). تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد . *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، ۷(۲۶)، ۱۲۵-۱۴۲.

۲۲. کیخسروی، ح.، (۱۳۹۴). تأثیر بیوچار غنی‌شده با فسفر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گیاه ذرت. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲۳. محکمی، ع.، یزدان پناه، ن.، و سعیدنژاد، ا.م.، (۲۰۲۲). اثر کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک کینوا در شرایط تنش خشکی. *تحقیقات آب‌وخاک ایران*, ۵۳(۱), ۱۲۹-۱۴۰.

۲۴. مرادی طالب بیگی، ر.، پیرسته انوشه، ه.، احمدی لاهیجانی، م.ج.، و امام، ی.، (۱۳۹۲). ارزیابی تأثیر بقایای گندم و خاک‌ورزی در روز و شب بر جامعه علف‌های هرز و عملکرد دانه ذرت (Zea mays L.) سینگل کراس ۷۰۴. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۵(۳)، ۲۵۵-۲۶۲.

۲۵. مرادی، ن.، رسولی صدقیانی، م.ح.، و سپهر، ا.، (۱۳۹۶). تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت استفاده بعضی عناصر غذایی در یک خاک آهکی. *آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۱(۴)، ۱۲۳۲-۱۲۴۶.

۲۶. ملک، ع.ع.، (۱۳۹۳). تأثیر کاربرد میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی (ورمی ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک) بر غلظت فسفر در برگ و غده سیب‌زمینی در یک خاک غنی از فسفر. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲۷. میرزایی، ح.، (۱۳۹۱). اثر متقابل ورمی ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک بر عملکرد سیب‌زمینی. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی شاهرود.

28. Arancon, Q. N., and Edwards, C. A., (2009). The utilization of vermicompost in Horticulture and Agriculture. In: Edwards CA, Jeyaraaj R, Indira AJ (Eds.) Vermitechnology in Human welfare. Rohini Achagam, Coimbatore, *Tamil Nadu, India*, 98-108

29. Ashoori, N., Teixido, M., and Spahr, S., (2019). Evaluation of pilot- scale biochar – amended woodchip bioreactors to remove nitrate, metals, and trace organic contaminants from urban storm water runoff. *Water Research*, 154 (1), 1-11.

30. Behrouzi, D., Diyanat, M., Majidi, E., Mirhadi, M. J., and Shirkhani, A., (2022). Effect of Deficit Irrigation, Fertilizers and Vermicompost on Forage Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1069-1084.
DOI: http://doi.org/10.22059/jci.2021.328509.2594.

31. Borsato, E., Martello, M., Marinello, F., and Bortolini, L., (2019). Environmental and economic sustainability assessment for two different sprinkler and a drip irrigation systems: A case study on maize cropping. *Agriculture*, *9*(9), 187-?

32. Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J. L., and Jouquet, P., (2015). Impact ofcompost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in NorthernVietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, *514*, 147-154.

33. Duranti, A., and Cuocolo, L., (1989). Chemical weed control and mulching in onion (Allium cepa L.) and garlic (Allium sativum L.). *Advances in Horticultural Science*, 37(1), 338-342.

34. Fan, Y., Ding, R., Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., and Li, S., (2017). Plastic mulch decreases available energy and evapotranspiration and improves yield and water use efficiency in an irrigated maize cropland. *Agricultural water management*, *179*, 122-131.

35. Han, Y.G., Yang, P.L., Luo, Y.P., Ren, S.M., Zhang, L.X., and L. Xu., (2010). Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. *Environ. Earth Sci*, 61, 1197–1205.

36. Khalili, M., Naghavi, M.R., Aboughadareh, A., and Rad, H., (2013). Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (Zea mays L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(4), 809-812.

37. Leng, l., Huang, H., Li, H., Li, J., and Zhou, W., (2019). Biochar stability assessment methods, review. *Science of the Total Environment*, 647, 210-222.

38. Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Tin, G., Diane, T.A., and Ma, X., (2016). Biochar Improves Soil Aggregate Stability and Water Availability in a Mollisol after Three Years of Field Application. *PLOS One*, 11(5), 1-10.

39. Mahajan, G., Sharda, R., Kumar, A., and Singh, K., (2007). Effect of plastic mulch on economizing irrigation water and weed control in baby corn sown by different methods. *African Journal of Agricultural Research* 2(1), 19-26.
40. Maleki Farahani, S., and Chaichi, M., (2012). Application of biological and integrated fertilizers mitigates the adverse effects of drought stress on barley. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3* (7), 1508-1519.
41. Minhua, Y., Yanlin, M., Yanxia, K., Qiong, J., Guangping, Q., Jinghai, W., Changkun, Y., and Jianxiong, Y., (2022). Optimized farmland mulching improves alfalfa yield and water use efficiency based on meta-analysis and regression analysis. *Agricultural Water Management*, *267*, p.107617
42. Ravindran, B., Dinesh, S. L., Kennedy, L., and Sekaran, G., (2008). Vermicomposting of solid waste generated from Leather Industries using epigeic earth worm eiseniafetida. *AppliedBiochemical Biotechnology, 151*, 480-488.
43. Shi, L., Wang, Q., Zhang, G., Li, S., and Xue, J., (2023). Increasing Maize Production and Advancing Rational Water Allocation and Usage Based on the Optimal Planting Density and Irrigation Levels in Northwest China. *Water*, *15*(3), 529.
44. Srivastava, R. K., and Beohar, P. A., (2004). Vermicompost as an organic manure. A good sustitute of fertilizers. *International Journal of Current Science*, 5, 141-143.
45. Still, S.M., (1976). Growth of 'Sunny Mandalay' chrysanthemums in hardwood-barkamended media as affected by insolubilized poly (ethylene oxide). *HortScience*, 11,483-484.
46. Wang, F., Wang, Z., Zhang, J., and Li, W., (2019). Combined effect of different amounts of irrigation and mulch films on physiological indexes and yield of drip-irrigated maize (Zea mays L.). *Water*, *11*(3), 472.
47. Xuan, C., Ding, R., Shao, J., and Liu, Y., (2021). Evapotranspiration and quantitative partitioning of spring maize with drip irrigation under mulch in an arid region of northwestern China. *Water*, *13*(22), 3169.
48. Yadav, A. K., Chand, S., and Thenua, O., (2016). Effect of integrated nutration management on productivity of Maize with Mungbean intercropping. *Global Journal of Bio-Sience and Biotechnology, 5*(1), 115-118.
49. Zafar, U., Akmal, M., Ali, M., Zaib, A., and Zaid, T., (2018). Effect of biochar on maize yield and yield components in rainfed conditions. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* (IJAAR), 12(3), 46-51.
50. Zhang, L., Sun, X., Tian, Y., and Gong, X., (2014). Biochar and humic acid amendments improve the quality of comosted green waste as a growth medium for the ornamental plant Calathea insignis. *Scientia Horticulturae*, 176, 70-78.

Effect of Application of Soil Amendments in Deficit Irrigation Conditions on the Yield and Physical Productivity of Maize in Khoram Abad Region

M. Saeidinia*, S. H. Mousavi, and S. Rahimi Moghadam

Assistant Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. **mehri_saeedinia@yahoo.com**

M.Sc. student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. **hooseinmousavi8@gmail.com**

Assistant Prof., Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. **sajadr.moghaddam@yahoo.com**

Received: June 2, 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Iran is located in the dry belt of the earth and its rainfall is one third of the global average. Therefore, proper management of water resources is necessary, especially in the agricultural sector. For this purpose, in 2022, a research was conducted with the aim of investigating the effect of several soil amendments in Khorram Abad region, in the research farm of Lorestan University. The experiment was factorial with a randomized complete block design in three replications. Treatments were irrigation water at 4 levels of I_1=100%, I_2=80%, I_3=60%, and I_4=40% of the water requirement and different soil moisture amendments including vermicompost (C) 6 t/ha, biochar (B) 1.5 t/ha, superabsorbent (S) 63 kg/ha, and organic mulch (M) 7.5 t/ha and the control treatment (I). Results showed that the highest productivity, biological yield, and plant height were related to I_1-C treatment, which were 126.71 t/ha, 46.27 t/ha and 2.35 meters, respectively. The highest water productivity and biological productivity at the probability level of 5% was I_2-C, which was calculated as 16.79 kg of fresh fodder/m^3 of irrigation water and 5.9 kg of dry matter/m^3 water. In general, vermicompost and biochar also increased the fresh and biological yield, height, and water productivity of corn. The use of mulch in 100% and 80% treatments had better effect, but with the increase in water stress (i.e. I_3 and I_4), effect of mulch decreased (5.3% and 1% relative to the control). Superabsorbent in I_{100}, I_{80}, I_{60} treatments showed lower effect (9.3%,7.2%, 3% less fresh weight than the control, respectively). However, with increasing stress, I_4 had better results (7.6% higher fresh yield than the control). Therefore, in Khorram Abad region, the amount of 6 t/ha of vermicompost and 80% of the water requirement applied by drip tape irrigation for fodder corn is recommended to increase the production rate while saving 20% of water consumption.

Keyword: Super absorbent, Organic fertilizers, Mulch, Farm water management

* - Corresponding author's email: mehri_saeedinia@yahoo.com