Lorestan University

Applied Researches in Water Engineering
Vol. 1, No. 2, Autumn & Winter 2023, p. 81-91

ARWE

Original Research

The Ability of Using Vermicompost and Super Absorbent Polymer under the Condition of Deficit Irrigation for Cultivating Maize in Khorramabad Region

Mehri Saeidinia[*1]

1. Department of Water Engineering, Agriculture Faculty, Lorestan University, Lorestan, Iran.

Received: 25 February 2024/ **Revised:** 03 March 2024/ **Accepted:** 12 March 2024

https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2023746.1014

Abstract

Due to the lack of sufficient precipitation in Iran, 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 vermicompost and absorbent as soil conditioners in Khorram Abad region, in the research farm of Lorestan University, in a factorial manner with a randomized complete block design in three replications, the first factor being irrigation water treatment at 4 levels including 100, 80, 60 and 40 percent of the water requirement and the second factor also includes different soil moisture modifiers, vermicompost (C) 6 tons per hectare, superabsorbent (S) 63 kg per hectare and the control treatment (I). The results of the research showed that the highest productivity, dry yield and plant height were related to the I1-C treatment, which were 126.71 tons per hectare, 46.27 tons per hectare and 2.35 meters, respectively, and the maximum amount of productivity (16.79 kg of fresh fodder per cubic meter of irrigation water) and biological productivity (5.9 kg of dry fodder per cubic meter of irrigation water) at the probability level of 5% was I2-C. In general, vermicompost increased the wet and dry yield, height and water productivity of corn. Superabsorbent also showed lower performance in full or less stress irrigation treatments, but with increasing stress, it had better results. Therefore, in Khorramabad region, the amount of 6 tons per hectare of vermicompost and 80% of the water requirement in the form of tip irrigation for fodder corn is recommended.

Keywords: **Irrigation Water Management, Soil Moisture Modifiers, Super Absorbent, Vermicompost.**

***Corresponding Author Email: saeedinia.m@lu.ac.ir**

Lorestan University

دوفصلنامهٔ پژوهش‌های کاربردی مهندسی آب
دورهٔ اول، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲ (صفحات ۹۱-۸۱)

ARWE

مقالهٔ پژوهشی

قابلیت استفاده از ورمی کمپوست و سوپرجاذب در شرایط کم‌آبیاری برای کشت ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم‌آباد

مهری سعیدی نیا*[۱]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

دریافت: ۰۶ اسفند ماه ۱۴۰۲/ **اصلاحات:**۱۳ اسفند ماه ۱۴۰۲/ **پذیرش:** ۲۲ اسفند ماه ۱۴۰۲

https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2023746.1014

چکیده

با توجه به عدم وجود بارش کافی در ایران، مدیریت صحیح منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی ضرورت دارد. برای این منظور، در سال ۱۴۰۱، تحقیقی با هدف بررسی اثرات کاربرد ورمی‌کمپوست و سوپرجاذب، به‌عنوان اصلاح کننده رطوبت خاک، در منطقه خرم‌آباد، در مزارع تحقیقاتی دانشگاه لرستان، به صورت فاکتوریل با طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد که فاکتور اول تیمار آب آبیاری در ۴ سطح شامل ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیازآبی گیاه و فاکتور دوم مواد اصلاح کننده رطوبت خاک شامل دو تیمار ورمی‌کمپوست و سوپرجاذب به‌ترتیب به میزان ۶ تن در هکتارو ۷۵ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. از سیستم آبیاری قطره‌ای نواری استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین میزان عملکرد تر، عملکرد خشک و ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰ درصد نیازآبی و کود ورمی‌کمپوست (۶ تن در هکتار) مشاهده گردید که به‌ترتیب برابر۱۲۶/۷۱ و ۴۶/۲۷ تن در هکتار و ۲/۳۵ متر به دست آمد و بیشترین مقدار بهره‌وری تر (۱۶/۷۹ کیلوگرم در مترمکعب آب آبیاری) و بهره‌وری خشک (۵/۹ کیلوگرم در مترمکعب آب آبیاری) در سطح احتمال ۵ درصد در تیمار ۸۰ درصد نیازآبی و کود ورمی‌کمپوست (۶ تن در هکتار) مشاهده گردید به‌طور کلی استفاده از کود ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد تر و خشک، ارتفاع بوته و بهره‌وری آب در ذرت علوفه‌ای گردید. سوپرجاذب نیز در تیمارهای ۱۰۰ ، ۸۰ و ۶۰ درصد نیازآبی، عملکرد کمتری را نشان داد (کاهش ۹/۳، ۷/۲ و ۳ درصد در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد) ولی در تیمارهای ۴۰ درصد نیازآبی، نتیجه بهتری را نشان داد (افزایش ۷/۶ درصد در عملکرد تر نسبت به تیمار شاهد). لذا در نهایت، برای منطقه خرم‌آباد میزان ۶ تن درهکتار ورمی‌کمپوست و ۸۰ درصد نیازآبی به‌صورت آبیاری قطره‌ای برای ذرت علوفه‌ای توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: اصلاح کننده رطوبت خاک، سوپرجاذب، مدیریت آب درمزرعه، ورمی‌کمپوست.

***Corresponding Author Email: saeedinia.m@lu.ac.ir**

مقدمه

ذرت به‌عنوان یک محصول استراتژیک، یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در جهان می‌باشد که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی دارد (Khalili et al., 2021).تنش آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در کاهش محصول ذرت محسوب می‌گردد. لذا مدیریت صحیح مصرف آب در تولید ذرت یکی از اولویت‌های محققان در این زمینه به‌شمار می‌آید.کم‌آبیاری به‌عنوان یک راهکار جهت تولید بهینه محصولات کشاورزی درشرایط محدودیت آب می‌باشد که می‌تواند از طریق حذف آبیاری‌های کم‌بازده و کاهش میزان حجم آبیاری در هر نوبت آبیاری، باعث افزایش کارایی مصرف آب شود (Asadi and Asadi., 2012). مسئله تحلیل چندمتغیره احتمالاتی، ایجاد ساختار وابستگی برای متغیرهای تصادفی مرتبط است (Li and Zheng, 2016). توابع توزیع چندمتغیره به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی دو یا چند متغیر وابسته هیدرولوژیک و ساختار وابستگی آن‌ها استفاده شده است (Salvadori and De Michele, 2007). در زمینه کشت ذرت و مدیریت‌های مختلف آب تحت سیستم‌های مختلف آبیاری پژوهش‌های زیادی انجام شده است. مهاجان و همکاران (*Mahajan et al., 2007*) در یک پژوهش 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 (Piroozfar at al., 2021) به‌منظور بررسی میزان تبخیر از سطح خاک و راندمان مصرف آب در ذرت دانه‌ای، به مقایسه روش‌های آبیاری قطره‌ای در شرایط بدون‌پوشش 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. یکی از راهکارهای ایجاد کشاورزی پایدار با در نظر گرفتن کاهش خطرات زیست‌محیطی، استفاده از نهاده‌های تجدیدپذیر می‌باشد. مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی در اراضی باعث مضرات زیادی، از جمله کاهش موادآلی و درنتیجه کاهش محصول می‌گردد. بنابراین برای حفظ حاصلخیزی خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن و حفظ تعادل در عوامل زیست محیطی، مصرف کودهای آلی و زیستی در خاک‌های کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است (Zhang et al., 2014).

مصرف کودهای زیستی مانند ورمی‌کمپوست نیز می‌تواند علاوه‌بر 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 می‌شود که در معرض میکروارگانیسم‌ها قراردارند (Ravindran et al., 2008). میزان بیش‌تر نیتروژن، فسفر و پتاس در ورمی‌کمپوست نسبت به سایر کودهای آلی در بیشتر منابع تایید شده است (Srivastava and Beohar., 2004). دوان و همکاران (Doan et al., 2015) 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. فراهانی و چایچی (Farahani and Chaichi., 2012) 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 می‌باشد.

از طرفی پلیمرهای سوپر جاذب هم یکی دیگر از مواد اصلاحی می‌باشند که جهت حفظ و نگهداری رطوبت در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. سوپر جاذب، پلیمری آبدوست با شبکه سه بعدی است که قابلیت جذب و نگهداری مقادیر زیادی آب و محلول‌های آبی را دارد. پلیمرهای سوپرجاذب می‌توانند مقادیر متفاوتی آب در خود ذخیره کرده و قابلیت نگهداری و ذخیره‌سازی آب در خاک را افزایش دهند. آب ذخیره شده در این مواد در مواقع کم‌آبی در خاک آزاد شده و مورد استفاده ریشه گیاه قرار می‌گیرد (Han et al., 2010). جهان و همکاران در مشهد به بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت پرداختند. نتایج نشان داد افزایش مصرف پلیمر سوپرجاذب از ۴۰ به ۸۰ کیلوگرم در هکتار، در میزان عملکرد، صفات مورفولوژیکی گیاه ذرت و ظرفیت نگهداری آب در خاک، اختلاف معنی داری ایجاد نکرد (Jahan et al., 2013). با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده و کمبود منابع آب، به‌نظر 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 می‌باشد. 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 (Jahan et al., 2013). 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 خرم آباد 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، مدیریت کم‌آبیاری توام با استفاده از چند ماده اصلاحی خاک جهت مدیریت بهتر آب در مزرعه صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

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 به‌اینکه گیاه ذرت قابلیت کشت در شرایط دمایی خرم‌آباد را دارد، به همین منظور این گیاه (*SC-704*) انتخاب گردید. طبق آمارنامه کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی (۱۴۰۰) سطح زیر کشت این محصول در لرستان ۳۷۳۳ هکتار می‌باشد. در این تحقیق از 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 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

Table 1. Physical and chemical properties of farm soil

Soil Salinity ($dS\ m^{-1}$)	PWP ($cm^3.cm^{-3}$)	FC ($cm^3.cm^{-3}$)	ρ_b ($gr\ cm^{-3}$)	K% ($mg\ kg^{-1}$)	P% ($mg\ kg^{-1}$)	N% ($mg\ kg^{-1}$)	بافت خاک	عمق خاک (cm)
0.6	10.38	19.72	1.56	360	6.02	0.131	Silty loam	**0-30**
0.6	9.98	19.21	1.86	321	5.75	0.091	Silty loam	**30-60**
0.6	10.01	19.08	1.88	298	5.64	0.024	Silty loam	**60-90**

در این پژوهش بذرهای ذرت در یازدهم خرداد ۱۴۰۱ کشت شد. برای این منظور ابتدا براساس آزمایش حاصلخیزی خاک، نیاز کودی 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 کرت‌های 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. فاصله پشته‌ها در هر کرت ۷۵ سانتی‌متر بود. بذر ذرت در عمق ۵ سانتی‌متر کشت شد و تراکم بوته ۱۳عدد برای هر متر مربع لحاظ گردید. برخی خصوصیات کیفی آب مورد استفاده برای آبیاری در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. خصوصیات کیفی آب آبیاری در طول فصل رشد ذرت علوفه‌ای در خرم آباد

Table 2. Qualitative characteristics of irrigation water during the fodder corn growing season in Khorramabad

SAR	Na^+ (meq/l)	Mg^{2+} (meq/l)	Ca^{2+} (meq/l)	TDS (mg/l)	EC (dS/m)	PH
0.73	1.28	1.6	4.6	397	0.6	7

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

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 (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_1)، ۸۰ درصد نیاز آبی (I_2)، ۶۰ درصد نیاز آبی (I_3) و ۴۰ درصد نیاز آبی (I_4))

بود. فاکتور دوم شامل مدیریت بهبود عملکرد با استفاده از مواد اصلاحی مختلف شامل (ورمی‌کمپوست (C) به میزان ۶ تن در هکتار براساس پیشنهاد رفیعی و کونانی (Rafiee and Koonani., 2019) و بهروزی و همکاران (Behruzi et al., 2022) ، و سوپرجاذب (S) به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار براساس پیشنهاد طیاری و حاجی‌پور (Tayari and Hajipour., 2020) و تیمار شاهد (I)، بدون کاربرد ماده اصلاحی) در نظر گرفته شد (جدول ۳). ورمی‌کمپوست در جویچه در عمق صفر تا ده سانتیمتری خاک به صورت اختلاط با خاک انجام گرفت و سوپرجاذب پس از زدن شیار به عمق ۲۰ سانتی‌متر درخاک قرار گرفتند و روی آن‌ها با خاک پوشیده شد. آزمایش در مجموع شامل ۱۲ تیمار و ۳۶ کرت بود.

جدول۳. خصوصیات مواد اصلاحی

Table 3. Properties of correction materials

نوع ماده اصلاحی	خصوصیات
ورمی‌کمپوست	ورمی‌کمپوست به میزان ۱۰ تن در هکتار بود. از شرکت به کشت خریداری گردید. نسبت کربن به ازت (C/N) ورمی‌کمپوست۲۰-۱۵بوده و طول دانه‌های خشک آن بین ۱-۵ میلی متر متغیر است. هوموس آن نیز ۲۰٪ وزن خشک می‌باشد
سوپرجاذب 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

در این تحقیق، دور آبیاری به‌طور متوسط ۳روز (دور آبیاری رایج برای آبیاری قطره‌ای نواری) در نظر گرفته شده است. برای تعیین عمق آبیاری نیز از تشت تبخیر کلاس A (آمریکایی) 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 صفحه چوبی مشبک قرار داده شد. راندمان آبیاری (Ea) ۹۵ درصد و با در نظر گرفتن ۵ 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 می‌باشد. تشت تبخیر بالاتر از مزرعه و در زمین آیش روی صفحه چوبی مشبک 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 براساس روابط (۳) و (۴)، اصلاح شدند.

$$K_{c\,mid} = K_{c\,mid(tab)} + [\,0.004(u_2 - 2) - 0.0044\,(RH_{min} - 45)]\,(\frac{h}{3})^{0.3} \quad (۳)$$

$$K_{c\,end} = K_{c\,end\,(tab)} + [\,0.004(u_2 - 2) - 0.0044\,(RH_{min} - 45)]\,(\frac{h}{3})^{0.3} \quad (۴)$$

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، ارائه شده است. ضرائب گیاهی اصلاح شده براساس 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

Table 4. Meteorological data of Khorramabad synoptic station during the growth period

میانگین سرعت باد منطقه ($m\ s^{-1}$)	میانگین حداقل رطوبت نسبی منطقه (٪)	حداقل دما در طول دوره رشد (^{o}C)	حداکثر دما در طول دوره رشد (^{o}C)	میانگین بارش در طول فصل رشد (m^{-3})
2.28	22.4	20	40.5	0.0

جدول۵. ضرائب گیاهی و میانگین عمق آبیاری در طول دوره رشد

Table 5. Plant coefficients and average irrigation depth during the growth period

مرحله رشد	ضریب گیاهی مجله فائو	ضریب گیاهی محاسبه شده	میانگین حجم آبیاری ($m^3\ ha^{-1}$)
ابتدایی	0.30	0.30	113
میانی	1.20	1.16	321
پایانی	0.55	0.70	168

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.

$$d_g = dn/Ea \quad (۵)$$

پس از محاسبه عمق آبیاری، حجم آب آبیاری مورد نیاز برای هر کرت نیز محاسبه گردید و حجم آب مورد نیاز هر کرت، براساس میزان نوار تیپ مورد استفاده در هر کرت، توسط کنتور حجمی با حداکثر دبی خروجی ۱۰ متر مکعب در ساعت کنترل شد (شکل ۱). 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 کف‌بر کردن بوته اندازه‌گیری شد. سپس با انتقال بوته‌ها به آزمایشگاه عملکرد تر و عملکرد بیولوژیک (خشک) اندازه‌گیری شد. در نهایت برای بررسی اثر تیمارهای مختلف روی بهره‌وری آب شاخص بهره‌وری آب با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید:

$$WP_I = Y/I \quad (۶)$$

شکل ۱. سیستم آبیاری

Fig. 1. Irrigation system

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) می‌باشد. در این تحقیق برای آنالیز آماری از نرم افزار SAS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار $EXCEL$ استفاده شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی داری ۵ درصد انجام شد.

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 خشک، 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 ۶). همچنین میزان آب مورد استفاده برای تیمار ۱۰۰ درصد نیازآبی ۷۰۶/۵ میلی‌متر، ۸۰ درصد نیاز آبی ۵۹۰ میلی‌متر، ۶۰ درصد نیاز آبی ۴۷۳/۵ میلی‌متر و ۴۰ درصد نیاز آبی ۳۵۷ میلی‌تر بود.

جدول ۶ . تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای کم‌آبیاری و مواد اصلاحی بر عملکرد و بهره وری آب ذرت

Table 6. Variance analysis of the effect of low-irrigation treatments and corrective materials on corn yield and water efficiency

منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات				
		عملکرد خشک	عملکرد تر	ارتفاع بوته	بهره‌وری تر	بهره‌وری بیولوژیک
آبیاری	3	329.5**	2187.9**	0.5897**	9.98**	0.65**
مواد اصلاحی	2	334.4**	2383.3**	0.0136ns	49.89	6.506**
آبیاری. مواد اصلاحی	6	100.4**	608.1**	0.0206ns	10.17	1.711**
خطا	22	1.4	4.4	0.0133	0.11	0.03
ضریب تغییرات		4.55	2.74	5.75	2.54	3.96

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

از این‌رو مقایسه‌ی میانگین صفات مورد بررسی با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. نتایج مربوط به هر یک از صفات اندازه‌گیری شده تحت تاثیر تیمارهای اعمال شده به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته است.

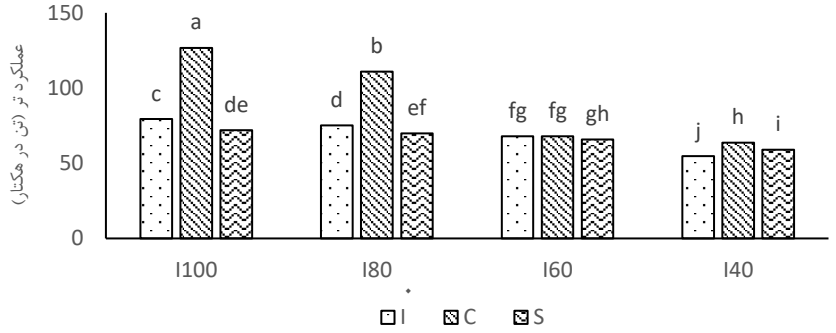
عملکرد تر

همانطور که نمودار مقایسه میانگین میزان عملکرد تر در تیمارهای مختلف در شکل (۲) نشان می‌دهد، تنش آبی باعث کاهش میزان عملکرد تر گردید. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی، کاربرد مواد اصلاحی کمپوست، باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد تر به‌ترتیب به میزان ۵۹/۵ ٪ نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده اصلاحی) گردید ولی کاربرد سوپرجاذب 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 کمپوست، باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد تر به‌ترتیب به میزان ۴۷/۵ ٪ و کاربرد سوپرجاذب باعث کاهش عملکرد تر به میزان ۷/۲ ٪ شد. بنابراین در تیمارهای آبیاری کامل و تنش کم‌آبی ناچیز (۸۰ درصد نیاز آبی)، کاربرد مواد اصلاحی کمپوست، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد تر در ذرت گردید (شکل ۲). نتایج پژوهشی بر روی اثر ورمی‌کمپوست و کودهای شیمیایی بر ذرت نشان داد که مصرف هم زمان شش تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد کودهای شیمیایی بهترین عملکرد را نشان داد. با توجه به تأثیرات سوء کودهای شیمیایی بر محیط زیست و سلامت موجودات زنده، استفاده از این ماده اصلاحی بسیار با اهمیت می‌باشد (Behruzi et al., 2022). یاداو و همکاران (Yadav et al., 2016) نیز گزارش کردند که بیشترین عملکرد ذرت با مصرف همزمان پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد کود شیمیایی به دست آمد. به نظر می‌رسد علت عملکرد ضعیف سوپرجاذب در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، به ایجاد شرایط ماندابی و مرطوب شدن بیش از حد خاک برگردد. استیل (Still, 1976) گزارش کردند که با افزایش سوپرجاذب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند کاهش میزان هوای خاک به خاطر پر شدن فضاهای خالی در اثر تورم سوپرجاذب باشد. خلیلی و همکاران (Khalili

et al., 2021) در پژوهشی که به بررسی اثر پلیمر سوپرجاذب بر میزان علمکرد 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.

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 عملکرد ذرت نشدند. در سطح آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط)، همچنان موثرترین ماده اصلاحی، کمپوست می‌باشد که موجب ایجاد افزایش معنی‌دار عملکرد تر به میزان ۱۶/۱ درصد نسبت به تیمار بدون ماده اصلاحی گردید. پیروزفر و همکاران (Pirouzfar et al., 2021) 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.

درمورد سوپرجاذب نیز، تنها در تیمار تنش آبی شدید (سطح آبیاری۴۰ درصد نیاز آبی)، بر بهبود صفات عملکردی ذرت علوفه‌ای تاثیر مثبت معنی‌دار داشت به گونه ای 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



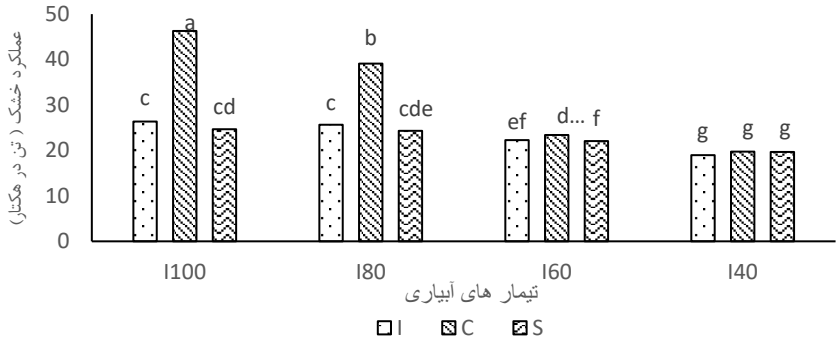
شکل ۲. نمودار مقایسه میانگین عملکرد تر ذرت علوفه‌ای

Fig. 2. Comparison graph of the average yield of fodder corn

عملکرد خشک

در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیازآبی، کاربرد مواد اصلاحی ورمی‌کمپوست، میزان عملکرد خشک را به میزان ۷۵/۴ ٪ نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده اصلاحی) افزایش دادند (شکل ۳). جهانی و همکاران (Jahani et al., 2013) در تحقیقی دریافتند که استفاده از ورمی‌کمپوست میزان عملکرد خشک ذرت علوفه‌ای را نسبت به تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش می‌دهد. کاربرد سوپرجاذب باعث کاهش عملکرد خشک به میزان ۶/۴ ٪ شد. طی پژوهشی مشخص شد که میکوریز و سوپرجاذب 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 (Parvizi et al., 2022). برای سطح آبیاری ۸۰ درصد نیز، همین روند مشاهده گردید. کاربرد مواد اصلاحی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار میزان عملکرد خشک به میزان ۵۲/۲ ٪ و کاربرد سوپرجاذب باعث کاهش عملکرد خشک به میزان ۵/۴ ٪ شد. کاربرد ورمی‌کمپوست باعث تولید بیشترین عملکرد خشک (۴۶/۲۸ تن در هکتار) گردید. بنابراین همانند عملکرد تر، در تیمارهای آبیاری کامل و تنش کم‌آبی ناچیز (۸۰ درصد نیاز آبی)، کاربرد مواد اصلاحی کمپوست، باعث افزایش معنی دار عملکرد تر ذرت گردید.

همانطور که شکل (۳) نشان می‌دهد، برای عملکرد خشک، در سطح آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی (تنش آبی متوسط و شدید)، هرچند، بیشترین عملکرد مربوط به تیمار حاوی ماده اصلاحی کمپوست (۲۳/۳۷ تن در هکتار برای تیمار ۶۰ درصد نیازآبی و ۱۹/۷۶ تن در هکتار برای تیمار ۴۰ درصد نیازآبی) 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.

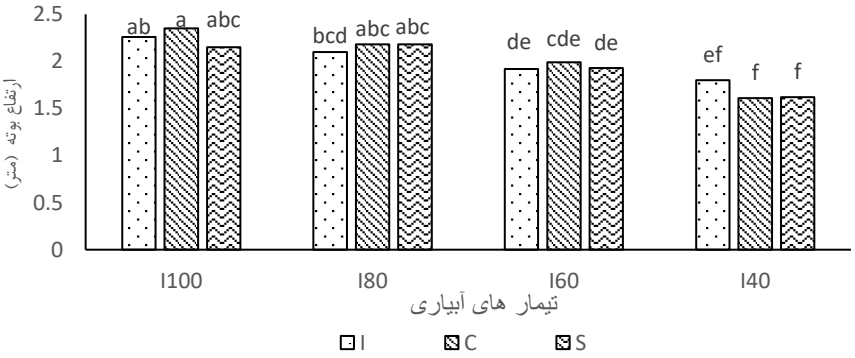


شکل ۳ .نمودار مقایسه میانگین عملکرد خشک ذرت علوفه‌ای

Fig. 3. Comparison chart of average dry yield of fodder corn

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه‌ی میانگین مربوط به ارتفاع بوته شکل (۴) نشان داد، به‌طور کلی 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 کمپوست (۲/۳۵ متر) حاصل شد، اما تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (۲/۲۵ متر) نداشت. در تمام سطوح آبیاری، هیچ کدام از مواد اصلاحی، اثر معنی‌دار مثبتی در افزایش ارتفاع بوته نداشتند.



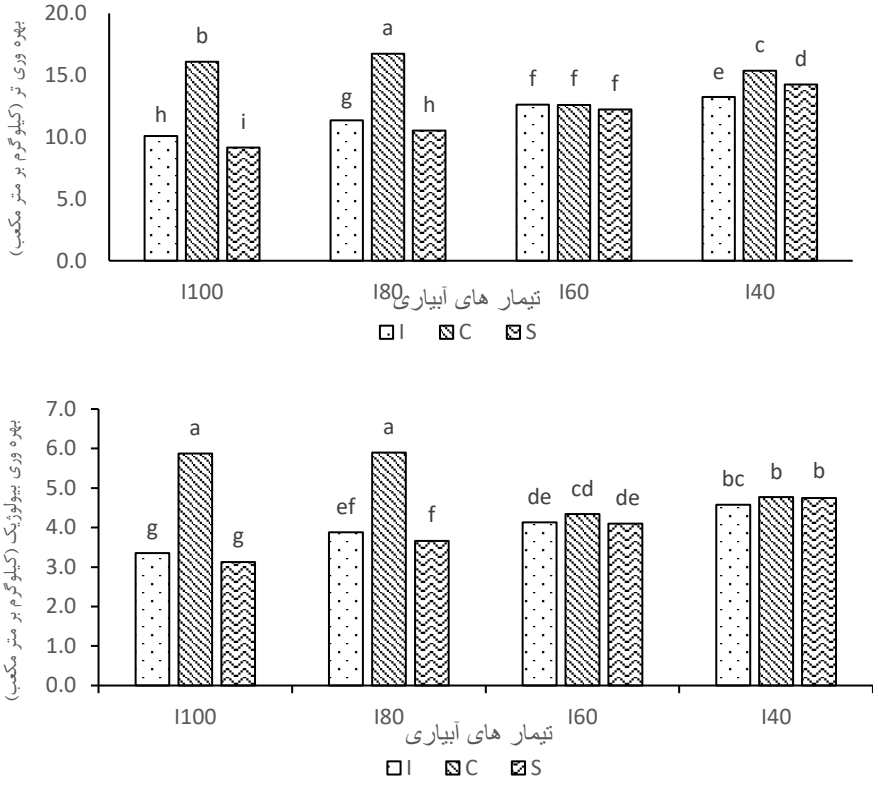
شکل ۴. نمودار مقایسه میانگین ارتفاع بوته ذرت علوفه‌ای

Fig. 4. Comparison chart of the average height of fodder corn plant

بهره‌وری مربوط به ماده تر و ماده خشک

با توجه به شکل (۵)، بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۱۶/۷۹ کیلوگرم ماده تر و ۵/۹ کیلوگرم ماده خشک به ازای مصرف هر مترمکعب آب)، زمانی حاصل گردید که در تمام طول دوره رشد گیاه، تنش‌آبی ناچیز (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی) اعمال و از ماده اصلاحی کمپوست به مقدار ۶ 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 مترمکعب آب) نیز در تیمار حاوی سوپرجاذب با سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید. در تنش آبی متوسط (۶۰ درصد نیاز آبی)، بیشترین میزان بهره‌وری ماده تر و خشک در تیمار حاوی کمپوست 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 کمپوست، به صورت معنی‌دار در سطح ۵ درصد، بیشتر (در بهره‌وری براساس عملکرد تر) یا برابر (در بهره‌وری براساس عملکرد ماده خشک) با کاربرد سوپرجاذب مشاهده شد که با توجه به قیمت بالای پلیمرهای سوپرجاذب و تهدیدات زیست‌محیطی این مواد، به نظر می‌رسد، کاربرد کمپوست، مناسب‌ترین گزینه باشد. پیروزفر و همکاران (Pirouzfar et al., 2021) 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 استفادهٔ بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم‌آبی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه می‌شود (Hajirad et al., 2021).



شکل ۵. نمودار مقایسه میانگین بهره وری بیولوژیک و تر ذرت علوفه‌ای

Fig. 5. Comparison chart of average biological productivity and fodder corn moisture

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 خشک)، ارتفاع بوته و بهره‌وری آب ذرت را تحت تأثیر قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد، در تیمارهای آبیاری کامل (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تنش آبی ناچیز (تامین ۸۰ درصد نیاز آبی)، کاربرد کمپوست، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ترو خشک ذرت گردیدند. در تنش آبی متوسط (تامین ۶۰ درصد نیاز آبی)، هیچ یک از مواد اصلاحی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت نگردید. در تنش آبی شدید (تامین ۴۰ درصد نیاز آبی) نیز، همچنان موثرترین ماده اصلاحی، کمپوست بود. درمورد سوپرجاذب 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 بهره‌وری مصرف آب زمانی حاصل گردید که در تمام طول دوره رشد گیاه، تنش‌آبی ناچیز (تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی) اعمال شد و از ماده اصلاحی کمپوست به مقدار ۶ تن در هکتار استفاده گردید. حتی در تنش آبی شدید نیز، بهره‌وری مصرف آب در اثر استفاده از کمپوست بیشتر (در بهره‌وری براساس عملکرد تر) یا برابر (در بهره‌وری براساس عملکرد خشک) با کاربرد سوپرجاذب مشاهده شد که با توجه به قیمت بالای پلیمرهای سوپرجاذب و تهدیدات زیست محیطی این مواد، کاربرد کمپوست مناسب‌ترین گزینه خواهد بود. بنابراین برای منطقه خرم آباد، تحت شرایط آبیاری قطره ای نواری (*TAPE*)، با اعمال کم‌آبیاری به میزان ۸۰٪ نیاز آبی و ماده اصلاحی کمپوست به میزان ۶ تن در هکتار، می‌توان عملکرد و بهره‌وری آب ذرت را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد.

تقدیر و تشکر

این اثر تحت حمایت مادی دانشگاه لرستان، برگرفته شده از طرح درون دانشگاهی با کد "۱۴۰۳-۳۰-۱۹-۰۹-۶-۱۴۰۱ " انجام شده است.

منابع

Arancon, N. Q., & Edwards, C. A. (2007, June). The utilization of vermicomposts in horticulture and agriculture. In Proceedings of Indo-US Workshop on Vermitechnology in Human Welfare (pp. 98-108).

Asadi, R., & asadi, R. (2012). Effect of Deficit Irrigation on Yield, Yield Components, and Water Use Efficiency of Corn under Drip Irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture*, *26*(2), 197-210. doi: 10.22092/jwra.2012.118966 (in Persian)

Behruzi, D., Diyanat, M., Majidi, E., Mirhadi, M. J., & shirkhani, A. (2022). Effect of deficit irrigation, fertilizers and vermicompost on forage maize (Zea mays L.). *Journal of Crops Improvement*, *24*(4), 1069-1084.

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

Farahani, S. M., & Chaeichee, M. R. (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).

Hajirad, I., Mirlatifi, S. M., Dehaghani Sanich, H., & Mohammadi, S. (2021). Investigating the effect of deficit irrigation on yield and water productivity of silage maize under pulsed and continuous drip irrigation management. *Iranian Water Researches Journal*, *15*(3), 15-23.

Han, Y. G., Yang, P. L., Luo, Y. P., Ren, S. M., Zhang, L. X., & Xu, L. (2010). Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. Environmental Earth Sciences, 61, 1197-1205.

Jahan, M., Kamayestani, N., & ranjbar, F. (2013). Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (Zea mays L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. *Journal Of Agroecology*, *5*(3), 272-281. doi: 10.22067/jag. v5i3.28999

Jahani, M., Besharati, H., & Golchin, A. (2011). Effect of Iron and Zinc Enriched Vermicompost on Plant Dry Weight and Seedling Emergence of Corn Single Crass 704. *Iranian Journal of Soil Research*, *25*(1), 33-38. (in Persian)

Khalili, F., Aghayari, F., & Ardakani, M. R. (2021). Simultaneous impact of deficit irrigation methods and superabsorbent polymer on morphological, physiological and yield characteristics of corn. Water and Soil Science, 31(3), 15-29. (in Persian)

Mahajan, G., Sharda, R., Kumar, A., & Singh, K. G. (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.

Parvizi, K., Farnia, A., & Ghaderi, M. K. (2022). Effect of mycorrhiza and superabsorbent application on corn growth traits and yield components under water stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(2), 69-79. (in Persian)

Pirouzfar, V. R., Boroumand, N. S., & Salehi, F. (2021). Effect of Drip Irrigation on Grain Yield and Water Use Efficiency of Corn (Zea mays L.) with Winged and Non-Winged Tape Under Ahwaz Climatic Conditions. (in Persian)

Rafiee, M., & Koonani, A. R. (2019). Effect of Vermicompost and Nitrogen Fertilizer on Quantitative and Qualitative Yield of Corn (Zea Mays L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(1), 151-159. (in persion)

Ravindran, B., Dinesh, S. L., Kennedy, L. J., & Sekaran, G. (2008). Vermicomposting of solid waste generated from leather industries using epigeic earthworm Eisenia foetida. Applied biochemistry and biotechnology, 151, 480-488.

Srivastava, R. K., & Beohar, P. A. (2004). Vermicompost as organic manure–A good substitute of fertilizers. J. Curr. Sci, 5(1), 141-143.

Still, S. M. (1976). Growth of 'Sunny Mandalay 'Chrysanthemums in Hardwood-Bark-Amended Media as Affected by Insolubilized Poly (ethylene Oxide) 1. HortScience, 11(5), 483-484.

Tayari, O., & Hajipour, A. (2020). The effect of soil type, moisture content and the amount of superabsorbent material on the corn plant height and leaf area. *Irrigation and Water Engineering*, *10*(4), 181-190.

Yadav, A. K., Chand, S., & Thenua, O. V. S. (2016). Effect of integrated nutrient management on productivity of maize with mungbean intercropping. Global Journal of Bio-Science and Biotechnology, 5(1), 115-118.

Zhang, L., Sun, X. Y., Tian, Y., & Gong, X. Q. (2014). Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant Calathea insignis. Scientia horticulturae, 176, 70-78.