Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 2, Summer 2022 (193-204)
DOI: 10.22059/IJFCS.2021. 318208.654799

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۱ (ص۲۰۴-۱۹۳)

Effect of irrigation levels and different tillage systems on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) yield

Sadegh Nasirpour, MohammadReza Jahansouz*, Ali Ahmadi, Esmaeil Afshoon
Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.
(Received: January 31, 2021 - Accepted: April 11, 2021)

ABSTRACT

In order to study the effect of different tillage systems and irrigation levels on sorghum yield, an experiment was conducted as split-plot based on randomized complete blocks design with three replications in the research farm of the University of Tehran in 2016. The main factor was tillage in two levels (no-tillage and conventional tillage) and the second factor was irrigation in three levels (without, moderate and severe water stresses based on 75, 110, and 150 mm evaporation from evaporation pan surface, respectively). The results showed that the effect of tillage on grain yield and water use efficiency was significant at 1% and 5% of probability levels, respectively. Also, the effect of irrigation levels on plant height, grain number per panicle, grain and biological yields, and water use efficiency was significant at 1% of probability level and on 1000-grain weight at 5% of probability level. Maximum plant height (100.38 cm), number of seeds per panicle (2408), 1000-seed weight (31.33 gr), grain yield (5843 kg.ha^{-1}), and biological yield (11575 kg.ha^{-1}) was obtained from no water stress treatment (75 mm evaporation from the surface of the evaporation pan) and the maximum water use efficiency (1.15 kg.m^{-3}) was observed in severe drought stress treatment(150 mm evaporation from the surface of the evaporation pan). Besides, the no-tillage method increased grain yield (16.25%) and water use efficiency (13.72%) compared to the conventional tillage method.

Keywords: Biological yield, harvest index, plant height, water use efficiency. 1000-seed weight.

تأثیر سطوح آبیاری و سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.)

صادق نصیرپور[1]، محمدرضا جهانسوز*[2]، علی احمدی[2]، اسماعیل افشون[1]
۱و۲.. به‌ترتیب دانشجو و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۲)

چکیده

به‌منظور مطالعه تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح آبیاری بر عملکرد سورگوم دانه‌ای، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. عامل اصلی در این آزمایش، خاک‌ورزی با دو سطح (بدون خاک‌ورزی و مرسوم) و عامل فرعی، سطوح آبیاری با سه سطح (بدون تنش آبی، تنش آبی متوسط و تنش آبی شدید به‌ترتیب بر اساس ۷۵، ۱۱۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر خاک‌ورزی بر صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر صفت کارایی مصرف آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین تأثیر سطوح آبیاری بر صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در خوشه، عملکرد دانه و زیستی و کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد و بر صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۰/۳۸ سانتی‌متر)، تعداد دانه در خوشه (۲۴۰۸ عدد)، وزن هزار دانه (۳۱/۳۳ گرم) و عملکرد دانه (۵۸۴۳ کیلوگرم در هکتار) و زیستی (۱۱۵۷۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری در شرایط نرمال رطوبتی (۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و بیشینه کارایی مصرف آب (۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) از تیمار آبیاری در شرایط تنش خشکی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) به‌دست آمد. همچنین روش بدون خاک‌ورزی نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم، موجب افزایش عملکرد دانه (۱۶/۲۵ درصد) و کارایی مصرف آب (۱۳/۷۲ درصد) شد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، شاخص برداشت، عملکرد زیستی، کارایی مصرف آب، وزن هزار دانه.

* Corresponding author E-mail: jahansuz@ut.ac.ir

مقدمه

گرچه خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار شناخته می‌شود، ولی سورگوم به‌عنوان یک گیاه مقاوم به خشکی، به‌طور گسترده‌ای در این مناطق کشت می‌شود (Ejeta & Knoll, 2007; Ramazanzadeh & Asgharipour, 2011) با این‌حال وقوع تنش خشکی قبل و بعد از گرده‌افشانی، موجب کاهش معنی‌دار عملکرد آن می‌شود (Rosenow & Ejeta, 1996; Blum, 2004). محققان مختلفی تأثیر تنش خشکی را بر رشد و نمو سورگوم مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که در طی تنش خشکی، ارتفاع بوته، سطح برگ، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت (Morgan, 1983; Nakayama &Van Bavel, 1963;; Brown *et al*., 1964; Ludlow *et al*., 1990; Valadabad *et al*., 2000; Razmi & Chasemi, 2007; Tabatabai & Dehghan Herati, 2012)، کاهش، ولی کارایی مصرف آب آن (Payne *et al*., 1992; Razmi & Chasemi, 2007) افزایش یافت. همچنین Lewis *et al*. (1974) اظهار داشتند که وقوع تنش خشکی در مرحله متورم شدن برگ پرچم تا پایان گرده‌افشانی، موجب کاهش شدید عملکرد دانه در این گیاه می‌شود.

روش‌های مدیریتی که ذخیره آب خاک را افزایش دهند، موجب تولید پایدار محصول تحت شرایط تنش خشکی می‌شوند. تأثیر مثبت مدیریت بقایای محصول بر حفظ رطوبت خاک توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (Aune *et al*., 2001; Ozpinar & Cay, 2005; Rockström *et al*., 2009; Schlegel *et al*., 2018). نتایج سایر محققان نشان داد که سیستم بدون خاک‌ورزی، از طریق افزایش تخلخل کل خاک و همچنین کاهش تبخیر از سطح خاک، موجب افزایش رشد محصول نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم می‌شود (Wu *et al*., 2014; Madarász *et al*., 2016; Peng *et al*., 2020). Elramlawi *et al* (2018). همچنین Tripathi *et al*. (2015) بیان کردند که عملکرد و کارایی مصرف آب سورگوم در تیمار خاک-ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم افزایش یافت است درحالی‌که برخی از مطالعات دیگر (Ayub *et al*., 2003; Elramlawi *et al*., 2008) عملکرد کمتر یا برابر با خاک‌ورزی مرسوم را گزارش کرده‌اند. در مطالعات کوتاه‌مدت، تنوع پاسخ عملکرد گیاهان به سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی، عمدتاً ناشی از اثرات متقابل نیازهای محصول، خصوصیات خاک و ویژگی‌های آب‌وهوایی منطقه گزارش شده است (Giller *et al*., 2009).

سورگوم گیاهی است دومنظوره (علوفه‌ای - دانه‌ای) که سازگاری بالایی به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران دارد، اما تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل کاهش‌دهنده عملکرد آن معرفی شده است (Khalesroo *et al*., 2010) همچنین به سبب آن‌که خاک‌ورزی حفاظتی به‌عنوان راهبردی مؤثر در راستای کشاورزی اقلیم هوشمند در برابر تنش خشکی ناشی از پدیده گرمای جهانی گزارش شده است (Thierfelder *et al*., 2017)، این تحقیق به‌منظور بررسی تنش خشکی و سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد سورگوم دانه‌ای در کرج اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج در تابستان ۱۳۹۵ با طول جغرافیایی ۳۵ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۱ متر انجام شد. این منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک می‌باشد و میانگین ۳۰ ساله بارندگی آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. کلاس بافت خاک مزرعه مورد آزمایش لومی رسی بود. به‌منظور تعیین خصوصیات خاک، تعداد شش نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به‌صورت ضربدری از مزرعه تهیه و پس از مخلوط نمودن آن‌ها، یک نمونه مرکب تولید شد و این نمونه به آزمایشگاه تجزیه خاک گروه علوم خاک دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی ارسال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. این تحقیق به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Physiochemical properties of the experimental site soil.

Depth (cm)	K	P	pH	EC	Soil texture	Sand	Silt	Clay	Organic Carbon	Total N
		(mg kg^{-1})		(dS m^{-1})		%				
0-30	145	7.8	8.3	0.97	Clay Loam	25	44	31	0.76	0.09

عامل اصلی در این آزمایش، خاک‌ورزی در دو سطح (بدون خاک‌ورزی و مرسوم) و عامل فرعی، آبیاری در سه سطح (بدون تنش[۱]، تنش متوسط[۲] و شدید[۳] به‌ترتیب بر اساس ۷۵، ۱۱۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) در نظر گرفته شدند.

بر اساس آنالیز خاک، کود نیتروژن موردنیاز (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره در سه نوبت (قبل از کشت، هشت برگی و ظهور خوشه) به‌وسیلهٔ دست به‌صورت نواری پای بوته‌ها اضافه شد. همچنین کودهای فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به‌ترتیب در مقادیر ۱۲۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت مصرف شد. زمین مربوطه قبل از اعمال تیمارها، زیر کاشت جو بود. در خاکورزی مرسوم، ابتدا زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم و سپس دو مرحله دیسک زده شد و در نهایت برای کاشت سورگوم از کارنده پنوماتیک استفاده شد. برای کاشت سورگوم در روش بدون خاک‌ورزی، با استفاده از کارنده مخصوص بدون خاک‌ورزی پنوماتیک شرکت تراشکده، اقدام به کشت مستقیم بذرها در خاک شد (میزان تقریبی بقایا ۱/۴ تن در هکتار بود). فاصله بین عامل‌های اصلی، فرعی و بلوک‌ها (تکرارها) به‌ترتیب ۱۰، دو و۱۰ متر در نظر گرفته شد. داخل هر کرت آزمایشی شش خط کشت ۱۰ متری وجود داشت. همچنین فاصله ردیف‌های کشت سورگوم (رقم کیمیا) در کرت‌ها، ۶۰ و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (طول کرت‌ها ۱۰ و عرض آن‌ها ۶/۳ متر بود).

برای تعیین نیاز آبی از روش تشتک تبخیر کلاس A و با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$$ET_C = K_C \times ET_0 \qquad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، ET_c: تبخیر و تعرق گیاه زراعی موردنظر (میلی‌متر بر روز)، Kc: ضریب گیاهی و ET0: تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$ET0 = K p \times E pan \qquad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، KP: ضریب تشتک (بدون واحد) و Epan : تبخیر تشتک (میلی‌متر بر روز) می‌باشد. برای تعیین و اصلاح ضرایب گیاهی و ضریب تشتک، از نشریه شماره ۵۶ سازمان فائو استفاده شد (Allen *et al*., 1998).

ضرایب گیاهی برای گیاهان مختلف در شرایط استاندارد توسط سازمان فائو در نشریه شماره ۵۶ این سازمان منتشر شده است که باتوجه‌به شرایط اقلیمی هر منطقه باید نسبت به اصلاح آن‌ها اقدام کرد. این ضرایب برای ذرت در مراحل میانی و پایانی رشد بر اساس نشریه شماره ۵۶ سازمان فائو، به‌ترتیب برابر با ۱/۲۰ و ۰/۳۵ می‌باشند که پس از اصلاح برای منطقه موردنظر به‌ترتیب برابر با ۱/۲۵ و ۰/۴۷ شد. همچنین سازمان فائو ضرایب تشت‌های مختلف را در نشریه شماره ۵۶ منتشر کرده است که این عدد برای تشت تبخیر کلاس A و با توجه‌به داده‌های هواشناسی منطقه برابر با ۰/۷ به‌دست آمد. آبیاری با استفاده از نوارهای پلاستیکی (تیپ) انجام شد و حجم آبیاری توسط کنتور کنترل شد؛ همچنین به‌منظور مبازه با علف‌های‌هرز از علف‌کش بروماپسید ام آ به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله‌ی شش برگی استفاده شد.

برداشت محصول و اندازه‌گیری صفات

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته در زمان برداشت، در هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و طول آن به‌وسیله متر از سطح خاک تا انتهای خوشه اندازه‌گیری شد و میانگین ارتفاع آن‌ها محاسبه شد. به‌منظور تعیین عملکرد نهایی، در مرحله رسیدگی کامل، ردیف‌های اول و دوم و همچنین پنجم و ششم به‌عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شدند و از ردیف‌های سوم و چهارم هر کرت

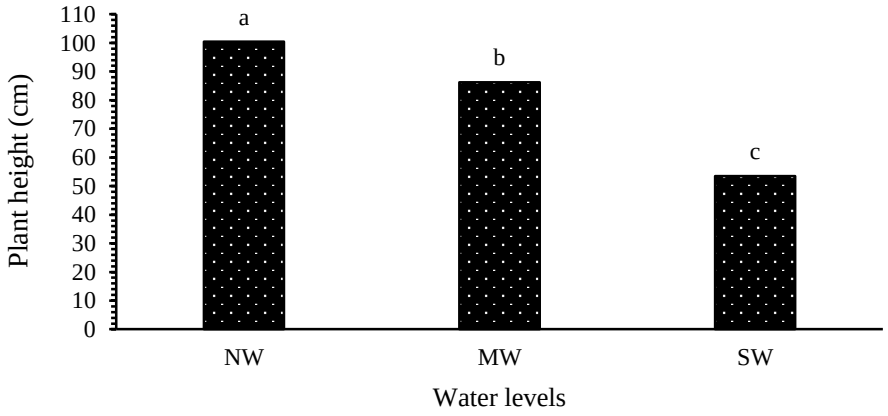
[۱]- No water stress
[۲]- Moderate water stress
[۳]- Severe water stress

بعد از حذف دو متر از ابتدا و انتهای آن‌ها به‌عنوان اثر حاشیه، پنج مترمربع برداشت و برای خشک شدن نهایی به مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری شدند. پیش از جداکردن دانه از خوشه، وزن کل بوته‌ها (برگ، ساقه، خوشه و دانه) تعیین شد و عملکرد زیست‌توده (بیوماس) برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. پس از جداکردن دانه‌ها از خوشه، وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت یک هزارم گرم اندازه‌گیرب و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. وزن هزار دانه پس از انتخاب یک نمونه تصادفی از دانه-های به‌دست‌آمده از هر تیمار شمارش و برحسب گرم محاسبه شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده به‌دست آمد (Ntanos & Koutroubas, 2002). برای محاسبه کارایی مصرف آب آبیاری، از نسبت عملکرد دانه تولیدشده برحسب کیلوگرم در هکتار به حجم آب مصرف‌شده برحسب مترمکعب در هکتار استفاده شد. داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹,۴) آنالیز شدند و مقایسه میانگین ها با استفادها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و برای ترسیم شکل-ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (شکل ۱). بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۰/۳۸ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری در شرایط بدون تنش آبی (۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و کمترین میزان آن (۵۳/۵ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری در شرایط تنش آبی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) به‌دست آمد.



شکل ۱- تأثیر سطوح آبیاری بر ارتفاع بوته. NW ، MW و SW: به‌ترتیب بدون تنش آبی، تنش آبی متوسط و تنش آبی شدید. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند

Figure 1. Effect of water level on plant height. NW, MW and SW: No water stress, moderate and sever water stresses, respectively. Column with similar letters are not significantly different.

به دلیل کاهش فاصله میانگره‌ها در تنش خشکی متوسط و همچنین کاهش تعداد و فاصله میانگره‌ها در تنش خشکی شدید، ارتفاع بوته کاهش یافت. در همین رابطه بیان شد برای طویل شدن سلول، به یک حداقل پتانسیل آب نیاز است و در اثر کمبود آب، میانگره‌ها و ارتفاع ساقه کوتاه می‌شود (Nazarli & Zardashti, 2010). همچنین Hajhassani *et al*., (2011) بیان کردند که تولید مریستم‌های انتهایی ساقه، موجب افزایش ارتفاع یا طول گیاه می‌شود، ولی در شرایط تنش خشکی، تولید آن‌ها کم می‌شودو در نتیجه ارتفاع ساقه کاهش می یابد. تاثیر تنش خشکی بر کاهش ارتفاع بوته سورگوم توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Razmi & Chasemi, 2007; Bibi *et al*., 2010).

تعداد دانه در خوشه

سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در خوشه معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین (۲۴۰۸ عدد) و کمترین (۱۵۳۷/۸ عدد) تعداد دانه در خوشه به‌ترتیب در تیمار آبیاری در شرایط بدون تنش آبی (۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و تیمار تنش آبی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) مشاهده شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و خاک‌ورزی

Table 2. Variance analysis (MS) of yield and yield components of grain sorghum affected by different irrigation and tillage treatments

Source of variations	df	Plant height	Number of seeds per panicle	1000-grain weight	Grain yield	Biological yield	Harvest index	Wate effic
Replication	2	40.013 ns	246945.500 ns	0.959 ns	593052.39 ns	4714540.06 ns	7.935 ns	0.0
Tillage systems	1	0.0050 ns	13068.056 ns	0.496 ns	3252100.06**	3611776.06 ns	77.916 ns	0.0
Error a	2	125.957	278155.722	0.213	21420.39	1211219.39	48.956	0.0
Water levels	2	3471.653**	1181236.167 **	7.699*	5812791.06**	20847966.72**	9.579 ns	0.2
Tillage systems × Water levels	2	26.501317 ns	73326.722 ns	2.745 ns	676090.39 ns	1314373.39 ns	8.577 ns	0.00
Error b	8	87.238011	58449.528	1.016	322218.22	1053993.39	11.50	0.0
Coefficient of Variation (%)		11.66	11.94	3.33	11.81	10.51	11.50	12

ns، ** و *: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

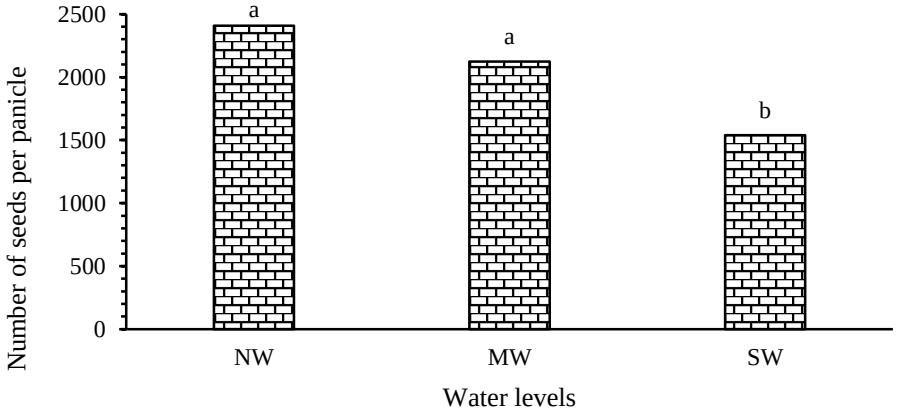
Ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

همچنین تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین تیمار آبیاری در شرایط تنش خشکی متوسط و شرایط بدون تنش آبی در تعداد دانه در خوشه مشاهده نشد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی شدید از طریق عقیمی دانه‌های گرده و افزایش تعداد دانه‌های پوک در خوشه، موجب کاهش تعداد دانه در گیاه شده است. همچنین با کاهش شدید آب قابل‌دسترس برای گیاه، سطح اندام‌های فتوسنتزکننده کاهش‌یافته و مواد آسمیلات کمتری نیز تولید شده است؛ در نتیجه پتانسیل تولید دانه در گیاه کاهش‌یافته است. در همین راستا بیان شد که تنش خشکی موجب کاهش تعداد گلچه‌ها و تعداد دانه در سورگوم (Sarvari & Beheshti, 2012; Khazai *et al*., 2016)، کاهش ظهور سلول‌های اولیه گل و در نتیجه کاهش تعداد غلاف در کلزا (Abulhashem *et al*., 1998) و همچنین کاهش تعداد دانه در طبق آفتاب‌گردان (Mazaherilaghab *et al*., 2001) می‌شود.

وزن هزار دانه

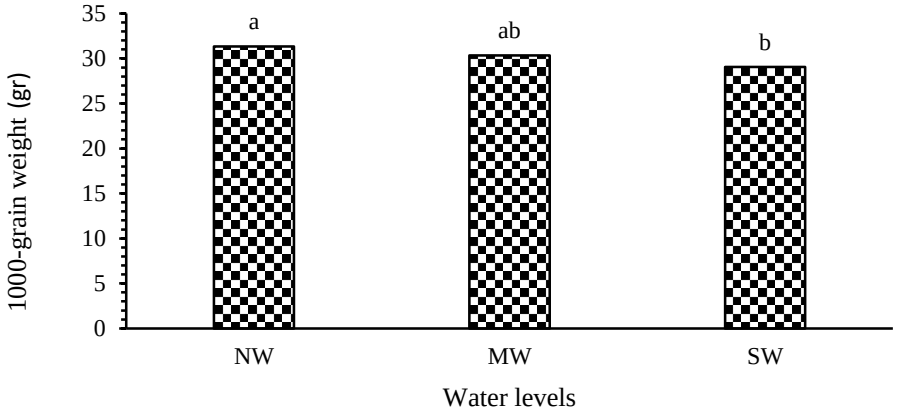
اثر سطوح آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه (۳۱/۳۳ گرم) از تیمار آبیاری در شرایط نرمال رطوبتی (۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) به‌دست آمد، اما تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری با مقدار به‌دست‌آمده (۳۰/۳۳ گرم) در تیمار تنش خشکی متوسط (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) وجود نداشت همچنین تنش خشکی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)، موجب کمترین وزن هزار دانه (۲۹/۰۷ گرم) شد (شکل ۳). در تیمار بدون تنش آبی، احتمالاً انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها، به سبب طولانی شدن مرحله دانه‌بندی و رسیدگی دانه‌ها افزایش‌یافته است و در نهایت موجب افزایش وزن دانه‌ها شده است، ولی در طی تنش خشکی، به دلیل عقیمی دانه‌های گرده، درصد دانه‌های پوک در خوشه افزایش‌یافته است؛ همچنین به دلیل کاهش ظرفیت منبع (سطح برگ)، ظرفیت مخزن (اندازه دانه‌ها) نیز کاهش‌یافته و وزن هزار دانه افت کرده است. Mazaherilaghab *et al* (2001) اظهار داشتند که هرگونه کاهش آب در مرحله دانه‌بندی، موجب کاهش وزن دانه‌ها می‌شود. یافته‌های سایر محققان در مورد تأثیر منفی تنش خشکی بر وزن هزار دانه سورگوم نتایج

این تحقیق را تأیید کرده‌اند (Olufayo *et al*., 1997; Sarvari & Beheshti, 2012; Khazai *et al*., 2016)



شکل ۲- تأثیر سطوح آبیاری بر تعداد دانه در خوشه. NW ، MW و SW: به‌ترتیب بدون تنش آبی، تنش آبی متوسط و تنش آبی شدید. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 2. Effect of water level on number of seed per panicle. NW, MW and SW: No water stress, moderate and sever water stresses, respectively. Column with similar letters are not significantly different.



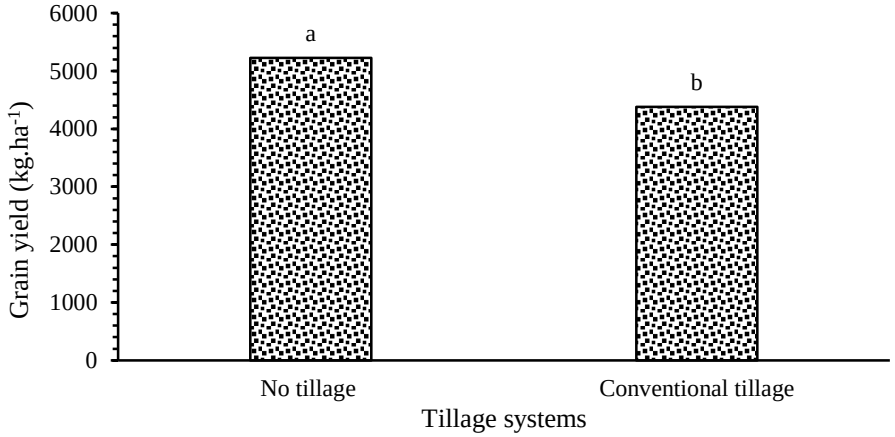
شکل ۳- تأثیر سطوح آبیاری بر وزن هزار دانه. NW ، MW و SW: به‌ترتیب بدون تنش آبی، تنش آبی متوسط و تنش آبی شدید. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 3. Effect of water level on thousand grain weight. NW, MW and SW: No water stress, moderate and sever water stresses, respectively. Column with similar letters are not significantly different.

عملکرد دانه

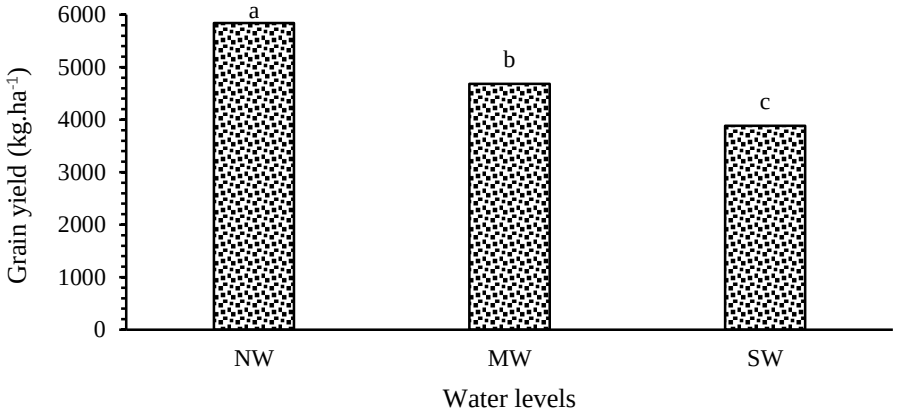
اثر ساده سامانه‌های خاک‌ورزی و سطوح آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). روش بدون خاک‌ورزی نسبت به روش خاک‌ورزی مرسوم، ۱۶/۲۵ درصد عملکرد دانه بیشتری داشت(شکل ۴).. همچنین تنش خشکی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) نسبت به تنش خشکی متوسط (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و آبیاری در شرایط نرمال (۵۷ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)، به‌ترتیب موجب کاهش ۱۷ و ۳۳/۵ درصدی در عملکرد دانه شد (شکل ۵). گزارش شده است که بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، از طریق کاهش شیب پتانسیل آب بین ریشه و خاک و همچنین بین ریشه و برگ‌های گیاه

(Peng *et al*., 2019)، موجب افزایش پتانسیل آبی برگ‌های گیاه شده است (Zhang *et al*., 2008; Wang *et al*., 2014) و از این طریق، سبب بهبود رشد و در نهایت افزایش عملکرد دانه خواهد شد.



شکل ۴- تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی بر عملکرد دانه. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 4. Effect of tillage systems on grain yield. Column with similar letters are not significantly different.



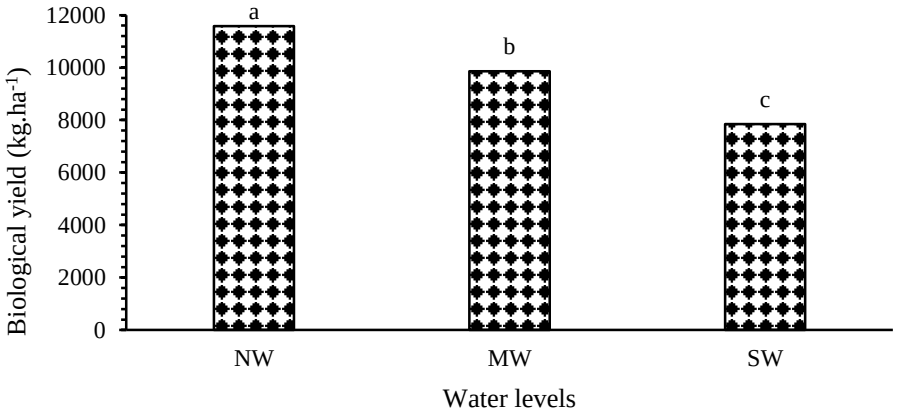
شکل ۵- تأثیر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه. NW ، MW و SW: به‌ترتیب بدون تنش آبی، تنش آبی متوسط و تنش آبی شدید. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 5. Effect of water level on grain yield. NW, MW and SW: No water stress, moderate and sever water stresses, respectively. Column with similar letters are not significantly different.

تأثیر مثبت بدون خاک‌ورزی بر افزایش عملکرد سایر گیاهان از جمله گندم (Su *et al*., 2007; Jin *et al*., 2009) و ذرت (Munyao *et al*., 2019) قبلاً گزارش شده است. در طی تنش خشکی، احتمالاً به دلیل پیری زودرس برگ‌ها و همچنین ریزش آن‌ها، محدودیت در تولیدات فتوسنتزی رخ داده است و برآیند این عوامل، موجب کاهش ظرفیت مخزن (تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه سورگوم) شده و در نهایت عملکرد دانه را کاهش داده است. Kumudini *et al*., (2002) کاهش ظرفیت فتوسنتزی در طی تنش خشکی را مهم‌ترین عامل کاهش‌دهنده عملکرد معرفی کرده‌اند. سایر محققان نیز معتقدند تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه سورگوم می‌شود که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد (Haussmann *et al*., 1998; Beheshti, & Behbodifar, 2010; Khazae & Fouman, 2012; Sarvari & Beheshti, 2012; Khazai *et al*., 2016).

عملکرد زیستی

اثر سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر صفت عملکرد زیستی معنی‌دار شد (جدول ۲). آبیاری در تیمار بدون تنش آبی (۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)، تنش آبی متوسط (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) و تنش آبی شدید (۱۵۰ میلی-متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)، به‌ترتیب موجب تولید ۱۱۵۷۵، ۹۸۶۴/۲ و ۷۸۵۱ کیلوگرم زیست‌توده شد (شکل ۶). با توجه به مطالب قبلی که تنش خشکی شدید موجب کاهش تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد و از آن‌جا که عملکرد زیستی، برآیندی از کل ماده خشک تولید شده در گیاه می‌باشد، بنابراین این صفت نیز در طی تنش خشکی کاهش یافت. Beheshti & Behbodifar (2010) بیان کردند تنش رطوبتی علاوه بر محدود نمودن منبع، باعث کاهش مخـزن و ظرفیت ذخیره‌ای آن شد و به‌تبع آن، عملکرد زیستی کـاهش یافت. هم‌راستا با نتایج این تحقیق، کاهش عملکرد زیستی سورگوم در پی تنش خشکی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Blum, 1998; Sarvari & Beheshti, 2012; Khazai *et al*., 2016)



شکل ۶- تأثیر سطوح آبیاری بر عملکرد زیستی. NW ، MW و SW: به‌ترتیب بدون تنش آبی، تنش خشکی متوسط و تنش خشکی شدید. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

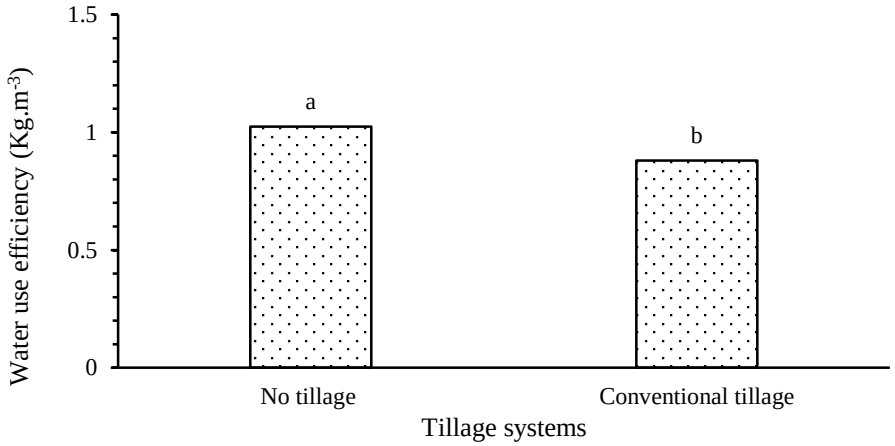
Figure 6. Effect of water level on biological yield. NW, MW and SW: No water stress, moderate and sever water stresses, respectively. Column with similar letters are not significantly different.

کارایی مصرف آب

اثرات ساده سامانه‌های خاک‌ورزی و سطوح تنش خشکی به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد بر کارایی مصرف آب معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب به‌ترتیب در روش بدون خاک‌ورزی (۱/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب) و روش خاک-ورزی مرسوم (۰/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌دست آمد (شکل ۷). همچنین کارایی مصرف آب با افزایش شدت تنش خشکی افزایش یافت و بیشینه مقدار آن (۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار تنش خشکی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) مشاهده شد که افزایشی معادل ۳۸/۲۶ درصد نسبت به تیمار آبیاری در شرایط بدون تنش آبی (۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) داشت (شکل ۸). نتایج تحقیقات مختلف نشان داد که سیستم بدون خاک‌ورزی با افزایش ظرفیت نگه‌داری آب خاک، موجب بهبود رشد گیاه، افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب سورگوم (Schlegel *et al*., 1999; Schlegel *et al*., 2018)، گندم و ذرت شد (Su *et al*., 2007; Shao *et al*., 2016)؛ با این حال Baumhardt & Jones (2002) تفاوت معنی‌داری از لحاظ کارایی مصرف آب سورگوم با کاربرد روش بدون خاک‌ورزی مشاهده نکردند.

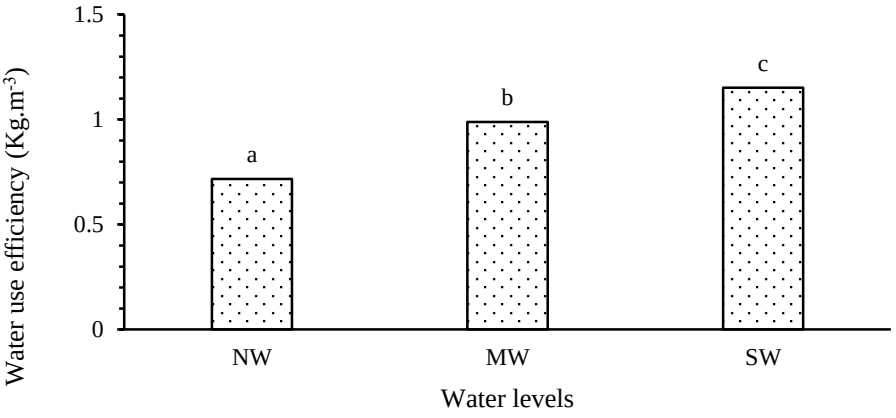
Condon *et al* (2004) بیان کردند که در طی تنش خشکی، میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد، اما به دلیل

افزایش مقاومت روزنه‌ای، میزان اتلاف آب نسبت به کاهش سرعت فتوسنتز کمتر می‌شود؛ در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش خواهد یافت. یافته‌های سایر محققان در مورد افزایش کارایی مصرف آب سورگوم (Payne *et al*., 1992; Razmi & Chasemi, 2007)، ذرت (Parvizi& Nabati, 2004)، گندم و چاودار (Golestani *et al*., 2016) در پی تنش خشکی موید نتایج این تحقیق است.



شکل ۷- تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی بر کارایی مصرف آب. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 7. Effect of tillage system on water use efficiency. Column with similar letters are not significantly different.



شکل ۸- تأثیر سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب. NW ، MW و SW: به‌ترتیب بدون تنش آبی، تنش آبی متوسط و تنش آبی شدید. ستون‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 8. Effect of water level on water use efficiency. NW, MW and SW: No water stress, moderate and sever water stresses, respectively. Column with similar letters are not significantly different.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که روش بدون خاک‌ورزی موجب افزایش عملکرد دانه (۱۶/۲۵ درصد) و کارایی مصرف آب (۱۳/۷۲ درصد) نسبت به خاک-ورزی مرسوم شد. همچنین تنش خشکی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر) نسبت به آبیاری در شرایط بدون تنش آب (۷۵ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)، کاهش شدید ارتفاع بوته (۴۶/۷ درصد)، تعداد دانه در خوشه (۳۶/۱۳ درصد)، وزن هزار دانه (۷/۲۱ درصد)، عملکرد دانه (۳۳/۵ درصد)، و عملکرد زیستی (۳۲/۱۷ درصد) را در پی داشت، اما کارایی مصرف آب را ۳۸/۲۶ درصد افزایش داد.

REFERENCES

1. Abulhashem, L., Amin Majumdar, M. N. & Hossain, M. (1998). Drought stress on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability and gas exchange of synthesized *Brassica napus*. *L. Journal of Agronomy and Crop Science*, *180*, 129-136.
2. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.
3. Aune, J. B., Bussa, M. T., Asfaw, F. G. & Ayele, A. A. (2001). The ox ploughing system in Ethiopia: can it be sustained?. *Outlook on Agriculture*, 30(4), 275-280.
4. Ayub, M., Tanveer, A., Nadeem, M. A. & Tayyub, M. (2003). Fodder yield and quality of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as influenced by different tillage methods and seed rates. *Pak. J. Agron*, 2(3), 179-184.
5. Baumhardt, R. L. & Jones, O. R. (2002). Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil and Tillage Research*, 68(2), 71-82.
6. Beheshti, A. & Behbodifar, B. (2010). Investigation of dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L. Moench) under normal conditions and drought stress in field conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(4), 717-725. (In Persian)
7. Bibi, A., Sadaqat, H. A., Akram, H. M., Khan, T. M. & Usman, B. F. (2010). Physiological and agronomic responses of sudangrass to water stress. *Journal of Agricultural Research* (03681157), 48(3).
8. Blum, A. (1998). Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. *Euphytica*, 100(1), 77-83.
9. Blum, A. (2004). Sorghum physiology. *Physiology and Biotechnology Integration for Plant Breeding, CRC Press, Boca Raton, FL, USA*, 141-224.
10. Brown, A. R., Cobb, C. & Wood, E. H. (1964). Effects of irrigation and row spacing on grain sorghum in the Piedmont 1. *Agronomy Journal*, 56(5), 506-509.
11. Condon, A. G., Richards, R. A., Rebetzke, G. J. & Farquhar, G. D. (2004). Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2447-2460.
12. Ejeta, G. & Knoll, J. E. (2007). Marker-assisted selection in sorghum. In *Genomics-assisted crop improvement* (pp. 187-205). Springer, Dordrecht.
13. Elramlawi, H. R., Mohammed, H. I., Elamin, A. W., Abdallah, O. A. & Taha, A. A. A. M. (2018). *Adaptation of Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) Crop Yield to Climate Change in Eastern Dryland of Sudan*. In Handbook of Climate Change Resilience (pp. 1-25). Springer International Publishing Cham.
14. Giller, K. E., Witter, E., Corbeels, M. & Tittonell, P. (2009). Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field Crops Research*, 114(1), 23-34.
15. Golestani Far, F., Mahmoodi, S., Zamani, G. R., & Sayyari Zahan, M. H. (2016). Effect of drought stress on water use efficiency and root dry weight of wheat (*Triticum aesativum* L.) and rye (*Secale cereale* L.) in competition conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(2), 430-450. (In Persian)

16. Hajhassani Asl, A., Moradi Agham, A., Ali ababi frahan, H. & Rassei Far, M. (2011). Three forage yield and its componts under water condition on delay in khoy zone (Iran). *Environmental Biology*, 5(5): 847-852.
17. Haussmann, B. I. G., Obilana, A. B., Blum, A., Ayiecho, P. O., Schipprack, W. & Geiger, H. H. (1998). Hybrid performance of sorghum and its relationship to morphological and physiological traits under variable drought stress in Kenya. *Plant Breeding*, 117(3), 223-229.
18. Jin, H., Qingjie, W., Hongwen, L., Lijin, L. & Huanwen, G. (2009). Effect of alternative tillage and residue cover on yield and water use efficiency in annual double cropping system in North China Plain. *Soil and Tillage Research*, 104(1), 198-205.
19. Khalesroo, S., Aghaalikhani, M. & Moddares Sanavy, S.A.M. 2010. Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of forage maize, pearl millet and sorghum in double-cropping system. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7: 930–938. (In Persian)
20. Khazaei, A. & Fouman, A. (2012). Evaluation of drought tolerance in cultivars and Advanced grain sorghum lines under low irrigation stress conditions. *Journal of Crop Production*, 5(3), 63-79. (In Persian)
21. Khazai, G., Saburi, A., Shabar, Z. S. & Shahbazi, M. (2016). Evaluation of grain yield of cultivars and promising lines of grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using of drought tolerance indices. *Seed and Plant Production*, 32(2), 99-118. (In Persian)
22. Kumudini, S., Hume, D. J. & Chu, G. (2002). Genetic improvement in short-season soybeans: II. Nitrogen accumulation, remobilization, and partitioning. *Crop Science*, 42(1), 141-145.
23. Lewis, R. B., Hiler, E. A. & Jordan, W. R. (1974). Susceptibility of Grain Sorghum to Water Deficit at Three Growth Stages 1. *Agronomy Journal*, 66(4), 589-591.
24. Ludlow, M. M., Santamaria, J. M., & Fukai, S. (1990). Contribution of osmotic adjustment to grain yield in Sorghum bicolor (L.) Moench under water-limited conditions. II. Water stress after anthesis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41(1), 67-78.
25. Madarász, B., Juhos, K., Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Benke, S., Jakab, G. & Szalai, Z. (2016). Conservation tillage vs. conventional tillage: long-term effects on yields in continental, sub-humid Central Europe, Hungary. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 14(4), 408-427.
26. Mazaherilaghab, H., Nori, F., Zare-Abyane, H. & Vafai, H. (2001). Effect of final irrigation on important traits of three varieties of sunflower in dry land farming. *Iranian Journal of Agricultural Research*, 1, 41-44. (In Persian)
27. Morgan, J. M. (1983). Osmoregulation as a selection criterion for drought tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, *34*(6), 607-614.
28. Munyao, J. K., Gathaara, M. H. & Micheni, A. N. (2019). Effects of conservation tillage on maize (*Zea mays* L.) and beans (*Phaseolus vulgaris* L.) chlorophyll, sugars and yields in humic nitisols soils of Embu County, Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 14(29), 1272-1278.
29. Nakayama, F. S. & Van Bavel, C. H. M. (1963). Root Activity distribution patterns of sorghum and soil moisture conditions 1. *Agronomy Journal*, 55(3), 271-274.

30. Nazarli, H. & Zardashti, M. R. (2010). The effect of drought stress and super absorbent polymer (A200) on agronomical traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under field condition. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 3(143), 4-14.
31. Ntanos, D. A. & Koutroubas, S. D. (2002). Dry matter and N. accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 74, 93-101
32. Olufayo, A. A., Ruelle, P., Baldy, C. & Aidaoui, A. (1997). Biomass of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under variable water regime. *Biomass and Bioenergy*, 12(5), 383-386.
33. Ozpinar, S. & Cay, A. (2005). Effect of minimum and conventional tillage systems on soil properties and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in clay-loam in the Canakkale region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* (Turkey), 29(1), 9-18.
34. Parvizi, Y. & Nabati, E. 2004. Effect of manure application and irrigation interval on yield indices and water use efficiency in maize (*Zea mays* L.). *Pajouhesh and Sazandegi*, 63, 21-29. (in Persian)
35. Payne, W. A., Drew, M. C., Hossner, L. R., Lascano, R. J., Onken, A. B. & Wendt, C. W. (1992). Soil phosphorus availability and pearl millet water-use efficiency. *Crop Science*, 32(4), 1010-1015.
36. Peng, Z., Wang, L., Xie, J., Li, L., Coulter, J. A., Zhang, R., ... & Choudhary, S. (2019). Conservation tillage increases water use efficiency of spring wheat by optimizing water transfer in a semi-arid environment. *Agronomy*, 9(10), 583.
37. Peng, Z., Wang, L., Xie, J., Li, L., Coulter, J. A., Zhang, R., ... & Whitbread, A. (2020). Conservation tillage increases yield and precipitation use efficiency of wheat on the semi-arid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 231, 106024.
38. Ramazanzadeh, S. & Asgharipour, M. R. (2011). Physiological growth responses of sorghum genotypes to impairment of plant photosynthesis using potassium iodide. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(11), 1884-1890.
39. Razmi, N. & Chasemi, M. 2007. Effect of different irrigation regimes on growth, grain yield and its components of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars under Isfahan conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 9(2):169-183. (In Persian)
40. Rockström, J., Kaumbutho, P., Mwalley, J., Nzabi, A. W., Temesgen, M., Mawenya, L. & Damgaard-Larsen, S. (2009). Conservation farming strategies in East and Southern Africa: Yields and rain water productivity from on-farm action research. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 23-32.
41. Rosenow, D. T., Ejeta, G., Clark, L. E., Gilbert, M. L., Henzell, R. G., Borrell, A. K. & Muchow, R. C. (1997). Breeding for pre-and post-flowering drought stress resistance in sorghum, *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 327–338.
42. Sarvari, S. M. & Beheshti, S. A. (2012). Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(2), 183-201. (In Persian)
43. Schlegel, A. J., Assefa, Y., Haag, L. A., Thompson, C. R. & Stone, L. R. (2018). Long-term tillage on yield and water use of grain sorghum and winter wheat. *Agronomy Journal*, 110(1), 269-280.

44. Schlegel, A. J., Dhuyvetter, K. C., Thompson, C. R. & Havlin, J. L. (1999). Agronomic and economic impacts of tillage and rotation on wheat and sorghum. *Journal of Production Agriculture*, 12(4), 629-636.
45. Shao, Y., Xie, Y., Wang, C., Yue, J., Yao, Y., Li, X., ... & Guo, T. (2016). Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *European Journal of Agronomy*, 81, 37-45.
46. Su, Z., Zhang, J., Wu, W., Cai, D., Lv, J., Jiang, G., ... & Gabriels, D. (2007). Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, 87(3), 307-314.
47. Tabatabai, A. & Dehghan Herati, H. (2012). Effect of drought stress on yield and yield components of three grain sorghum cultivars. *Journal of Crop Physiology*.٤(16), 53-64 (In Persian).
48. Thierfelder, C., Chivenge, P., Mupangwa, W., Rosenstock, T. S., Lamanna, C. & Eyre, J. X. (2017). How climate-smart is conservation agriculture (CA)?–its potential to deliver on adaptation, mitigation and productivity on smallholder farms in southern Africa. *Food Security*, 9(3), 537-560.
49. Tripathi, R. P., Kafil, I. & Ogbazghi, W. (2015). Tillage and irrigation requirements of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) at Hamelmalo, Anseba Region of Eritrea. *Open Journal of Soil Science*, 5(12), 287.
50. Valadabadi, A., Mazaheri, D., Normohamadi, G. & Hashemi, A. (2000). Effect of drought stress on quality and quantitiy and growth characteristics of corn-sorghum and millet. *Iranian Journal of Agron Science*. 2(1): 39-47. (In Persian)
51. Wang, K., Zhang, R., Dong, B. & Xie, J. (2014). Effect of long-term conservation tillage on soil water regimes and leaf water potential of crops in rainfed areas of the Loess Plateau. *Acta Ecol. Sin*, 34, 3752-3761.
52. Wu, J., Cai, L. Q., Luo, Z. Z., Li, L. L. & Zhang, R. Z. (2014). Effects of conservation tillage on soil physical properties of rainfed field of the Loess Plateau in Central of Gansu. *J. Soil Water Conserv*, 28, 112-117.
53. Zhang, M., Zhang, R. Z. & Cai, L. Q. (2008). Leaf water potential of spring wheat and field pea under different tillage patterns and its relationships with environmental factors. *The Journal of Applied Ecology*, 19(7), 1467-1474.