

مقایسه ارقام سورگوم دانه‌ای در کشت تابستانه بر اساس عملکرد و راندمان مصرف آب تحت تنش خشکی

معصومه بازگیر^۱، مسعود رفیعی^{۲*}، علی خورگامی^۳

۳- دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، ۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۱)

چکیده

افزایش راندمان مصرف آب، راه‌کاری مؤثر جهت مصرف بهینه آب و رسیدن به پایداری تولید در شرایط بحران کمبود آب به‌شمار می‌رود. در این راستا، اثر تنش خشکی از طریق چهار رژیم آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر، روی چهار رقم سورگوم دانه‌ای (سپیده، کیمیا، پیام و KGS32) در تابستان سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در خرم‌آباد بررسی شد. نتایج نشان داد که خصوصیات مورفولوژیک گیاه همچون ارتفاع بوته و اجزای عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت. حداکثر تعداد دانه در خوشه (۲۲۸۶/۹ دانه) از رقم سپیده و حداکثر وزن هزار دانه (۲۳/۸ گرم) از رقم پیام در سال اول و در شرایط نرمال آبیاری به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری با متوسط ۸۲۳۰/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه از رژیم آبیاری پس از ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۳۹۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار تولید شد. بیشترین کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه، از رقم سپیده در رژیم آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر به‌میزان ۱/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. در مجموع رقم سپیده با رژیم آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، ضمن تولید عملکرد اقتصادی مطلوب، موجب صرفه‌جویی در آب آبیاری شد که برای منطقه معتدل خرم‌آباد و مناطق مشابه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: بحران کمبود آب، تعداد دانه در خوشه، رژیم آبیاری، رقم، وزن هزار دانه.

Comparison of grain sorghum varieties base on yield and water use efficiency under drought stress in summer cropping

Masoomeh Bazgir¹, Masoud Rafiee^{2*}, Ali Khorgami³,

1,3. Department of Agriculture, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, 2. Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREO, Khorramabad, Iran

(Received: August 18, 2018 - Accepted: November 12, 2019)

ABSTRACT

Water use efficiency Increasing is an effective way to optimal water use and to achieve sustainable production in a water deficit crisis. In this regard, the effect of drought stress through four irrigation regimes (after 80 (control), 110, 140 and 170 millimeter evaporation) on four sorghum varieties (Sepideh, Kimia, Payam and KGS32) was studied in the summer of 2016 and 2017 in Khorramabad, Iran. Results showed that the morphological characteristics of plant such as plant height and grain yield components decreased with increasing drought stress. Maximum number of grain per head (2286.9 seeds) from Sepideh and maximum thousand-kernel weight (23.8 g) were obtained from Payam variety in the first year under normal irrigation conditions. The highest grain yield was obtained under normal irrigation conditions with an average of 8230.5 kg ha⁻¹ and the lowest grain yield was obtained from irrigation after 170 mm evaporation with an average of 3917.5 kg ha⁻¹. The highest water use efficiency for grain yield (1.55 kg m⁻³) was obtained from Sepideh variety in the after 110 millimeter evaporation irrigation regime. Totally, Sepideh variety at after 110 millimeter evaporation irrigation regime saves irrigation water, while producing optimal economic performance and is recommended for temperate region of Khorramabad and similar areas.

Keywords: Irrigation regime, number of grains per head, thousand-grain weight, variety, water shortage crisis.

* Corresponding author E-mail: m.rafi@areo.ac.ir

مقدمه

داد، اما بروز تنش در مرحله رشد رویشی، ۳۰ عملکرد را در صد پایین آورد (Amjad Ali *et al.*, 2009). در مطالعه دیگری، تنش ملایم در سورگوم، سبب کاهش معنی‌داری صفت تعداد دانه در خوشه شد، اما ادامه قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا برداشت محصول در تیمار تنش شدید، موجب کاهش وزن دانه در مقایسه با تیمار بدون تنش شد (Khazaie *et al.*, 2016).

آبیاری در مرحله گل‌دهی، بر باروری گلچه‌ها و افزایش تعداد دانه‌ها تأثیر دارد، در حالی که در مرحله دانه‌بندی، بر افزایش اندوخته غذایی و پرشدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Mazaherilaghhab *et al.*, 2001). تنش خشکی بعد از گرده افشانی در سورگوم دانه‌ای، سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود و دلیل افزایش اندازه دانه ناشی از کاهش تعداد دانه در خوشه بیان شده است (Narshima Rao & Shivraj, 1998). کاهش سطح برگ و فتوسنتز خالص و افزایش سرعت تنفس نوری، حتماً موجب کاهش تولید ماده خشک کل در شرایط تنش می‌شود (Perry *et al.*, 1983; Terbea *et al.*, 1995).

در بررسی معیارهای مؤثر در تحمل ده ژنوتیپ سورگوم به تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای و بعد از مرحله گل‌دهی، معلوم شد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر همه صفات مورفوفیزیولوژیک مورد بررسی مانند وزن خشک ریشه، طول ریشه، طول کلئوپتیل، نسبت ریشه به ساقه، سطح برگ پرچم، شاخص سطح و وزن برگ پرچم، ماده خشک برگ، محتوی نسبی آب، پایداری غشای سلولی و عملکرد دانه در هر بوته، تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Amjad Ali *et al.*, 2009). بررسی اثر تنش خشکی روی ذرت نشان داد که آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد دانه و زیست‌توده در ذرت را به ترتیب ۷/۴٪ و ۲۵/۳٪ کاهش داد، ولی به دلیل کاهش در میزان آب مصرفی، راندمان مصرف آب، هم برای دانه و هم زیست‌توده، به ترتیب ۱۱٪ و ۱۲/۶٪ افزایش یافت. در شرایط آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، راندمان مصرف آب دانه، تغییر معنی‌داری پیدا نکرد (Rafiee & Kalhor, 2015).

کمبود آب را می‌توان به صورت فقدان آب کافی مورد نیاز برای رشد طبیعی و تکمیل چرخه زندگی گیاه تعریف نمود (Jabereldar *et al.*, 2017; Moosavi *et al.*, 2017). مدل‌های تغییرات آب و هوایی، تغییر زیادی در الگوی بارش، همزمان با افزایش طول دوره تابستان خشک پیش‌بینی می‌نمایند که بر بسیاری از مناطق از جمله ایران مؤثر است (IPCC, 2012). افزایش عملکرد گیاهان زراعی، از طریق غنی‌سازی ژنتیکی با بهبود خصوصیات کمی چندانگانه، برای تحمل تنش در طول مراحل مختلف رشد صورت گرفته است (Jabereldar *et al.*, 2017). اثر تنش خشکی، از طریق اصلاح گیاهان جهت تولید ارقام سازگار به شرایط جدید اقلیمی و مقاوم به آفات و بیماری‌های مرتبط با، آن قابل تعدیل است (Menezes *et al.*, 2015).

سورگوم، پنجمین غله مهم در جهان، جزو غذای اصلی بیش از ۵۰۰ میلیون نفر در بیش از ۳۰ کشور است و چهارمین دانه غذایی در جهان محسوب می‌شود (El Naim *et al.*, 2012; Ahmed *et al.*, 2016). این گیاه زراعی در مناطقی که برای سایر گیاهان زراعی بسیار گرم و خشک است، کاشته می‌شود، زیرا به تنش گرما و خشکی تحمل دارد (Kenga *et al.*, 2006). سورگوم با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی منحصر به فردی که دارد، به عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی شده است و نسبت به سایر گیاهان زراعی، در شرایط گرم و دشوار آبیاری مقاوم‌تر است و نیاز آبی کمتری دارد (Ehdaei, 2004). سورگوم با برخورداری از صفاتی همانند روزنه‌های کوچک، قابلیت خود پیچی برگ‌ها، کنترل روزنه‌ها و غیره، سازگاری بالایی به طیف وسیعی از شرایط اکولوژیکی در مقایسه با سایر گیاهان زراعی دارد (Nour-Mohamadi *et al.*, 2007). گیاهان متحمل به خشکی مانند سورگوم، نیازمند بکارگیری مدیریت بهتر در شرایط تغییرات آب و هوایی هستند (Menezes *et al.*, 2015).

در تحقیقی روی سورگوم مشاهده شد که تنش در مرحله رشد زایشی، عملکرد دانه را تا ۵۰ درصد کاهش

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در شهرستان خرم آباد، با ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۱۱۷۱ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. منطقه خرم آباد دارای اقلیم نیمه گرمسیری با تابستان گرم و خشک می‌باشد. آمار هواشناسی شامل درجه حرارت‌های حداکثر مطلق (act. Max)، حداکثر (Max)، میانگین (Mean)، حداقل (min) و حداقل مطلق (act. Min) ماهانه دو سال اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه در شکل ۱ آمده است. هیچ‌گونه بارندگی در طول دوره رشد سورگوم صورت نگرفت.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های خرد شده با چهار تکرار اجرا شد. سه رژیم آبیاری شامل آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس الف، سطوح فاکتور اصلی و چهار رقم سورگوم دانه‌ای شامل سپیده، کیمیا، پیام و هیبرید KGS32، سطوح فاکتور فرعی را تشکیل دادند. کود شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم خالص بر اساس آزمون خاک (جدول ۱)، به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار و به ترتیب از منابع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم در زمان کاشت تأمین شد. مقدار پنج تن کود ورمی‌کمپوست در هکتار نیز مصرف شد. کود سرک به صورت خاک مصرف از منبع اوره و بر اساس ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در هر مرحله مصرف شد.

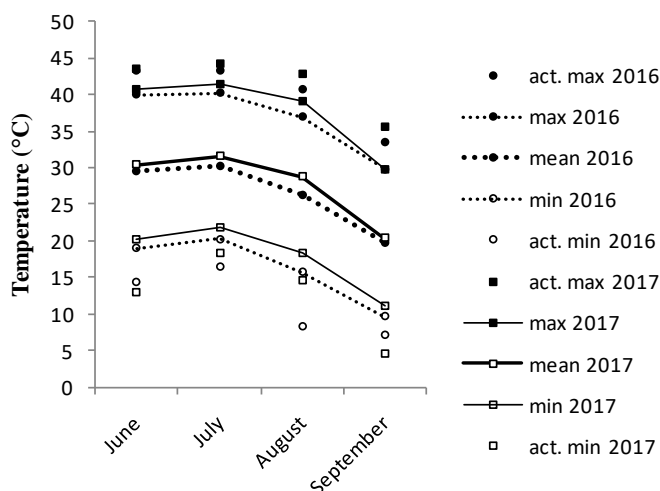
زمین قبل از اجرای آزمایش طی هر دو سال آیش بود. خصوصیات خاک مزرعه (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک مزرعه لومی سیلتی بود و بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره به همراه ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به صورت یکنواخت پاشیده شد و به وسیله دیسک سبک با خاک مخلوط شد. فاصله ردیف‌های کاشت، ۵۰ سانتی‌متر و هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول

مطالعه ۵۲ ساله سورگوم در ایالت کانزاس آمریکا نشان داد که تنش خشکی، مهم‌ترین عاملی محدودکننده عملکرد سورگوم در حدود ۳۰ سال از ۵۲ سال مطالعه بود. رابطه خشکی از نظر شدت، زمان، طول مدت و با دیگر عوامل مانند یخبندان و درجه حرارت بسیار بالا، پیچیدگی خاصی دارد (Assefa *et al.*, 2010). در بررسی اثر تنش خشکی و درجه حرارت بالا بر ۴۹ هیبرید سورگوم دانه‌ای معلوم شد که عملکرد دانه، وزن ۱۰۰۰ دانه، شاخص برداشت، روز تا گلدهی و ارتفاع، تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، به طوری که عملکرد دانه، بیشترین کاهش نسبی را یافت، اما برخی ژنوتیپ‌ها از کاهش عملکرد کمتری برخوردار بودند (Menezes *et al.*, 2015). ژنوتیپ‌های سورگوم، از نظر واکنش به تنش خشکی و تحمل خشکی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری دارند و درجه تحمل به تنش، به اثر متقابل میان ژنوتیپ و سطح تنش کمبود آب بستگی دارد (Jabereldar *et al.*, 2017).

مصرف آب در سورگوم، به مراحل رشد و تقاضای اتمسفری بستگی دارد. از نظر مصرف آب نیز میان هیبریدها تفاوت وجود دارد (Kidambi *et al.*, 1990)، زیرا از نظر عادت رشد و رسیدگی متفاوت‌اند. برای دستیابی به عملکرد بالا، ارقام متوسط‌ترس تا دیررس سورگوم (دوره رسیدگی ۱۱۰ تا ۱۳۰ روزه)، تقریباً به ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر (معادل ۴۵۰ تا ۶۵۰ مترمکعب) آب در طول فصل رشد نیاز دارند (Tolk *et al.*, 2001; FAO, 2002)؛ هر چند نیاز آبی روزانه عمدتاً بسته به مرحله رشد تغییر می‌کند (Menezes *et al.*, 2015). در پژوهشی به منظور تعیین نیاز آبی ارقام سورگوم اسپیدفید، پگاه، پیام، سپیده و کیمیا، میزان آب مورد نیاز ارقام سورگوم برای شرایط آب و هوایی مشابه کرمان، به طور میانگین ۶۶۶ میلی‌متر (۶۶۶ متر مکعب) تعیین شد (Vahidi *et al.*, 2012). هدف از اجرای این آزمایش، بررسی خصوصیات زراعی شامل ارتفاع بوته، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، شاخص برداشت و راندمان مصرف آب برای دانه و زیست‌توده در چهار رقم سورگوم دانه‌ای، تحت شرایط مختلف تنش خشکی در منطقه معتدل خرم‌آباد بود.

هشت تیر ماه انجام شد و تراکم ۲۰۰ هزار بوته در هکتار برای مزرعه در نظر گرفته شد. بسته به نیاز در طول فصل رشد، مراقبت‌های زراعی انجام شد.

شش متر بود. فاصله تکرارها ۲/۵ متر بود و بین کرت‌های اصلی، دو متر و بین کرت‌های فرعی، یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. هر سال کاشت در تاریخ



شکل ۱- درجه حرارت‌های ماهیانه در طول دوره رشد سورگوم در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶.
Figure 1. Monthly temperatures during sorghum growing season in 2016 and 2017.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه.

Table 1. Chemical traits of field soil.

Year	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC (ds/m)
2016	0.31	12.1	332	7.6	1.27
2017	0.42	13.5	361	7.5	1.25

که روی نازل‌های سیستم آبیاری بارانی نصب می‌شد و از دبی خروجی مشخص برخوردار بود، آبیاری می‌شدند. برای تعیین طول مدت (t) آبیاری هر کرت از رابطه زیر استفاده شد:

$$t = V / Q \quad (2)$$

که در آن، V: حجم آب آبیاری بر حسب لیتر و Q: دبی خروجی پمپ آب بر حسب لیتر در ثانیه بود. با ایجاد پشته در اطراف کرت‌های آزمایشی و محصور نمودن آن‌ها، هدررفت آب از کرت‌ها صفر شد. به‌منظور توزیع یکنواخت آب در هر کرت، ابتدا و انتهای جوی‌ها مسدود شد و زمان مورد نیاز برای آبیاری هر کرت، بر تعداد جوی‌ها تقسیم شد تا سهم هر جوی از آب آبیاری مساوی باشد.

حجم آب آبیاری بر اساس کسر آبیاری برای هر کرت و

تیمارهای مختلف تنش خشکی در مرحله چهار تا شش برگی، یعنی پس از استقرار کامل گیاه در مزرعه اعمال شد. حجم آب در هر بار آبیاری و برای هر کرت اصلی، بر اساس فرمول زیر محاسبه شد:

$$VW = (FC - \theta) \times BD \times A \times D / Ea \quad (1)$$

که در آن، VW: حجم آب آبیاری (متر مکعب)، FC: درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (۲۷ درصد)، θ : درصد وزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری، BD: وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (۱/۲۸ گرم بر سانتیمتر مکعب)، A: مساحت کرت اصلی آزمایش (۵۴ متر مربع)، D: عمق ریشه (متر) و Ea: راندمان کاربرد آب آبیاری (۹۰ درصد) بود. پس از محاسبه مقدار آب لازم بر اساس تیمارهای تنش خشکی، کرت‌های اصلی تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه، با استفاده از شلنگی

بر اساس آزمون چند دامنه‌های دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و پردازش داده‌ها با Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

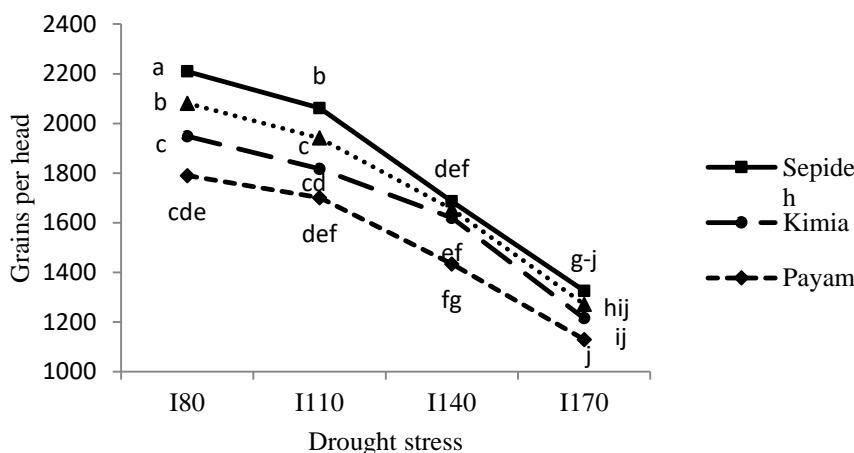
تعداد دانه در خوشه

تعداد دانه در خوشه، اختلاف معنی‌داری در سطوح سال، تنش خشکی و رقم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در رقم و سال در تنش خشکی و اثر متقابل سه‌گانه سال در تنش خشکی در رقم نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه سال در تنش خشکی در رقم نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد دانه در خوشه کاهش معنی‌داری یافت. بیشترین تعداد دانه در خوشه، در سال اول اجرای آزمایش و در شرایط نرمال آبیاری (رژیم آبیاری ۷۰ میلی‌متر تبخیر) از رقم سپیده (۲۲۸۶/۹ دانه) به دست آمد و کمترین تعداد دانه در خوشه، در سال دوم اجرای آزمایش در رژیم آبیاری ۱۹۰ میلی‌متر تبخیر در رقم پیام (۱۰۶۱/۶ دانه) مشاهده شد (شکل ۲).

با توجه به درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری محاسبه شد و با نصب شلنگ بر روی نازل‌های سیستم آبیاری بارانی با دبی خروجی مشخص، تا رسیدن رطوبت منطقه ریشه به حد ظرفیت مزرعه اعمال شد. برای تعیین درصد رطوبت خاک قبل از هر آبیاری، از دستگاه رطوبت‌سنج استفاده شد.

پس از رسیدن فیزیولوژیک، با رعایت اثر حاشیه و به طور تصادفی، ۱۰ بوته جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد برداشت شدند و صفاتی نظیر طول خوشه، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه برای هر یک از نمونه‌ها، به طور مجزا محاسبه شد. عملکرد دانه از ردیف‌های میانی هر کرت با رعایت نیم متر حاشیه از طرفین، پس از جداسازی دانه‌ها از محور پانیکول و بر اساس رطوبت استاندارد ۱۳ درصد تعیین شد. راندمان مصرف آب (WUE_{BY}) و راندمان اقتصادی مصرف آب (WUE_{GY})، به ترتیب از طریق نسبت عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه به کل آب مصرفی در هر تیمار محاسبه شد.

پس از آزمون بارتلت و اطمینان از همگن بودن واریانس خطای آزمایشی، آنالیز واریانس مرکب داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS ver 9.1 انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تنش خشکی در رقم بر تعداد دانه در خوشه.

Figure 2. Mean comparison of the interaction effects of year × drought stress × variety on grain number per panicle.

عمدتاً ناشی از سقط جنین یا ناباروری دانه بوده است. گزارش شده است که تنش خشکی بعد از گرده افشانی در سورگوم دانه‌ای، سبب افزایش اندازه دانه ناشی از کاهش تعداد دانه در خوشه شده است (Narshima Rao & Shivraj, 1998). تنش خشکی

تفاوت در تعداد دانه در میان ژنوتیپ‌ها می‌تواند ناشی از واکنش آن‌ها به تنش باشد که با اظهارات Boyer & Westgate (2004) و Jabereldar *et al.* (2017) مطابقت دارد. بر اساس نظر آن‌ها، کاهش در عملکرد دانه و تشکیل دانه در غلات دانه‌ریز تحت تنش خشکی،

قبل و در زمان گل‌دهی در ژنوتیپ‌های حساس، منجر به تأخیر در گل‌دهی، عقیم شدن گلچه‌ها، کاهش اندازه پانیکول، تعداد دانه در پانیکول و کاهش ارتفاع می‌شود. در تنش خشکی پس از گل‌دهی، مرگ زودرس ساقه و برگ‌ها و نیز کاهش وزن دانه‌ها در ژنوتیپ‌های حساس رخ می‌دهد (Amjad Ali *et al.*, 2009).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در سورگوم دانه‌ای.

Table 2. Variance analysis of measured traits of grain sorghum.

S.O.V	df	Height	Grain per head	Thousand grain weight	Grain yield	Harvest Index	WUE _{GY}	WUE _{BY}
Year (Y)	1	87.5	131846**	5070.68**	8259814**	13.56	0.562**	7.014**
Rep.(Y)	6	7.3	6749	9.19	64070	0.40	0.003	0.015
Drought stress (S)	3	366.8**	901576**	246.85**	28864439**	109.58**	0.128*	3.265*
Ea	18	28.6	19498	7.78	361588	13.80	0.021	0.041
Variety (V)	3	595.6**	311444**	121.29**	44668570**	17.5	2.731**	12.0*
S × V	9	17.2	25315*	89.0**	7988	9.83	0.112**	3.431*
Y × S	3	15.1	241991**	34.03	294807	0.95	0.037	0.234
Y × V	3	478.2**	9557	140.64**	8177	14.94	0.103	0.283
Y × S × V	9	47.6	70384**	43.31**	606479	13.65	0.045	0.546
Eb	72	30.9	10062	10.78	406273	20.45	0.025	0.167
C.V.		15.5	16.7	12.4	16.6	13.7	10.7	9.01

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

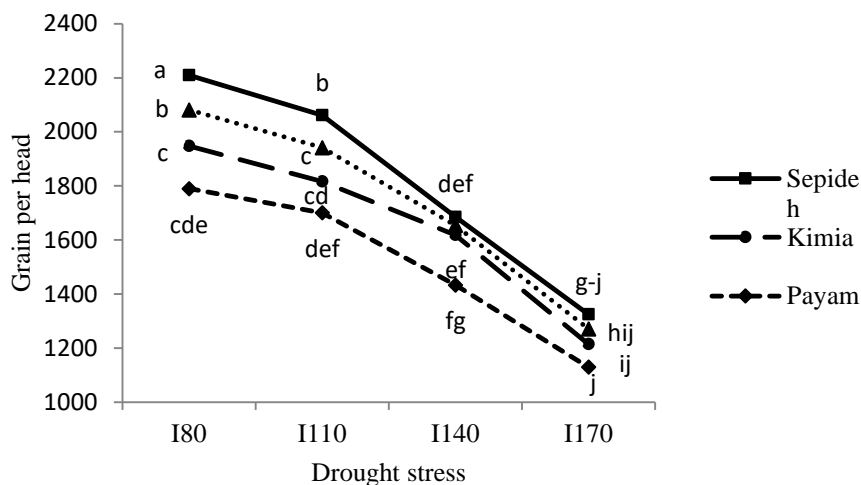
* and **: significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

وزن هزار دانه

ممکن است ناشی از تفاوت در اندازه دانه در هر ژنوتیپ باشد (Maman *et al.*, 2004; Alikhani *et al.*, 2017; Jabereldar *et al.*, 2017). زیرا کمبود آب، تعداد هسته‌های آندوسپرم را کاهش می‌دهد و در نهایت منجر به کاهش تجمع نشاسته و وزن خشک آندوسپرم در مرحله رسیدگی می‌شود (Ober *et al.*, 1991). نتایج مشابهی از آزمایشات دیگر محققین به دست آمده است (Narshima Rao & Shivraj, 1998 & Amjad Ali *et al.*, 2009). علت این امر به این صورت توجیه شده است که آبیاری در مرحله گل‌دهی، بر باروری گلچه‌ها و افزایش تعداد دانه‌ها تأثیر دارد، در حالی که در مرحله دانه‌بندی، آبیاری بر افزایش اندوخته غذایی و پر شدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Mazaherilaghbab *et al.*, 2001). هم‌چنین، تنش خشکی بعد از گرده افشانی در سورگوم دانه‌ای، سبب کاهش طول دوره پر شدن دانه شده و کاهش تعداد دانه، موجب افزایش اندازه دانه شده است (Narshima Rao & Shivraj, 1998); هرچند در مواجهه با تنش خشکی، وزن هزار دانه در بین سایر صفات مرتبط با عملکرد،

وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد دانه، تابع محیط و ژنتیک می‌باشد. وزن دانه، جزئی از عملکرد است که بیانگر رابطه میان منبع و مخزن مواد فتوسنتزی در طول مرحله پر شدن دانه است. در این آزمایش، وزن هزار دانه، اختلاف معنی‌داری در سطوح سال، تنش خشکی و رقم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در رقم و سال در رقم و اثر متقابل سه‌گانه سال در تنش خشکی در رقم نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه سال در تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در سال اول اجرای آزمایش در شرایط نرمال آبیاری (رژیم آبیاری ۷۰ میلی‌متر تبخیر) از رقم پیام (۲۳/۸ گرم) به دست آمد و کمترین وزن هزار دانه در سال اول اجرای آزمایش در رژیم آبیاری ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر در رقم سپیده (۱۵/۶ گرم) مشاهده شد (شکل ۳). محققین دیگری نیز کاهش در اندازه دانه در شرایط تنش نسبت به نرمال را گزارش کرده‌اند (El Naim *et al.*, 2010; Jabereldar *et al.*, 2017). تفاوت در وزن دانه میان ژنوتیپ‌ها

ثبات بیشتری دارد (Mozafari et al., 1996).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در تنش خشکی در رقم بر وزن هزار دانه.

Figure 3. Mean comparison of the interaction effect of year × drought stress × variety on thousand grain weight.

تحت تنش خشکی عنوان شده بود (Khazaie et al., 2016) که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. کاهش عملکرد دانه سورگوم تحت تنش خشکی، توسط سایر محققین گزارش شده است (Mazaherilaghab et al., 2001; Amjad Ali et al., 2009; Ahmed et al., 2016; Jabereldar et al., 2017).

شاخص برداشت

شاخص برداشت که سهم عملکرد دانه از عملکرد بیولوژیک می‌باشد، اختلاف معنی‌داری تنها در سطوح تنش خشکی نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین دو ساله نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص برداشت، کاهش معنی‌داری یافت. بیشترین شاخص برداشت در شرایط تنش ملایم (رژیم آبیاری ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) با متوسط ۳۹/۳ درصد و کمترین شاخص برداشت از رژیم آبیاری ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۲۵/۸ درصد به‌دست آمد (جدول ۳). در بررسی اثر تنش خشکی روی شاخص برداشت در ذرت (Costa et al., 1988; Setter et al., 1990; Rafiee & Kalhor, Hussman et al., 1998;) و سورگوم دانه‌ای (Mazaherilaghab et al., 2001; Amjad Ali et al., 2009; Khazaie et al., 2016) نتایج مشابهی به‌دست آمده است.

عملکرد دانه

عملکرد دانه سورگوم که برآیند اجزای عملکرد می‌باشد، اختلاف معنی‌داری تنها در سطوح ساده سال، تنش خشکی و رقم نشان داد (جدول ۲) و عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی، کاهش معنی‌داری یافت. بیشترین عملکرد دانه در شرایط نرمال آبیاری (رژیم آبیاری ۸۰ میلی‌متر تبخیر) با متوسط ۸۲۳۰/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه از رژیم آبیاری ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر با متوسط ۳۹۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). علت آن را می‌توان به اثر منفی تنش کمبود آب بر اجزای عملکرد دانه مانند تعداد دانه بر پانیکول، وزن ۱۰۰ دانه، وزن پانیکول و وزن دانه در گیاه نسبت داد.

در میان ارقام مورد بررسی، رقم سپیده با میانگین ۶۶۹۵/۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه و رقم پیام با میانگین ۶۱۴۲/۸ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). میانگین عملکرد دانه در سال اول، ۶۵۶۱/۱ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم، ۶۳۲۴/۷ کیلوگرم در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). پیشتر نیز برتری رقم سپیده نسبت به سایر ارقام مورد بررسی

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات زراعی سورگوم دانه‌ای.

Table 3. Mean comparison of measured traits of grain sorghum.

Treatments	Grain per head	Thousand grain weight (g)	Grain yield (Kg/ha)	Harvest Index (%)	WUE _{gy} (Kg/m ³)	WUE _{by} (Kg/m ³)
Drought stress*						
70	2007.2a	21.9a	8230.5a	38.0a	1.39ab	3.64d
110	1880.1b	21.0ab	7889.3a	39.3a	1.50a	3.83bc
150	1598.2c	17.8b	5734.4b	33.5b	1.29b	3.84cd
190	1235.3d	16.0c	3917.5c	25.8c	1.09c	4.21a
Variety						
Sepideh	1820.6a	18.5b	6695.0a	34.1a	1.37a	4.03a
Kimia	1649.8bc	19.2ab	6386.5b	34.2a	1.30ab	3.85cd
Payam	1513.4c	20.1a	6142.8c	33.9a	1.25b	3.71d
KGS32	1737.0ab	18.9ab	6547.4ab	34.4a	1.34ab	3.92bc
Year						
2016	1735.4a	19.5a	6561.1a	33.6a	1.35a	4.0a
2017	1625.0b	18.8a	6324.7a	34.7a	1.28b	3.7b

*تنش خشکی: آبیاری پس از ۸۰ (شاهد)، ۱۱۰، ۱۴۰ و ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس الف. میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

*Drought stress: irrigation after 80 (control), 110, 140 and 170 mm evaporation from pan class A. Means in the same column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's Multiple Range Test.

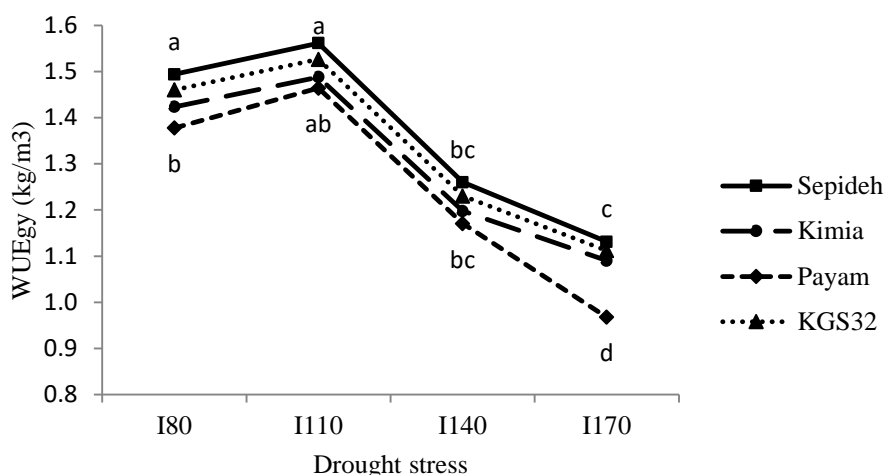
به‌دست آمد (شکل ۴).

مشاهده می‌شود که با وجود بروز تنش خشکی ملایم در آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، میزان کاهش در آب مصرفی، بیشتر از کاهش عملکرد دانه بوده است، بنابراین با کاهش جزئی در عملکرد دانه، صرفه‌جویی بیشتری در آب آبیاری صورت گرفته است. دلیل افزایش WUE در تیمار ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، افزایش عملکرد دانه در این گیاه زراعی است که خود منعکس‌کننده انتقال (یا مصرف) آب برای دانه است (Ahmed *et al.*, 1993; El Naim *et al.*, 2010). سورگوم با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی منحصر به فردی که دارد، به‌عنوان شاخص گیاهان زراعی مقاوم به خشکی معرفی شده است و نسبت به سایر گیاهان زراعی، در شرایط گرم و دشوار آبیاری، مقاوم‌تر است و نیاز آبی کمتری دارد (Ehdaei, 2000). کاهش در کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه ناشی از اعمال تنش خشکی در سورگوم، گزارش شده است (Jabereldar *et al.*, 2017).

کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه

کارایی مصرف آب، یکی از خصوصیات مهم فیزیولوژیک است که نشان‌دهنده توانایی گیاه در مقابله با تنش آبی است (Daniel & Scott, 1991). این صفت، اختلاف معنی‌داری در سطوح سال، تنش خشکی و رقم و اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد (جدول ۲). میانگین کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه در سال اول، ۱/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب و در سال دوم، ۱/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود که تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه، از رقم سپیده در شرایط تنش ملایم خشکی (رژیم آبیاری ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر)، به‌میزان ۱/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد، اما کمترین کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه از رقم پیام در رژیم آبیاری ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر، به‌میزان ۰/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب



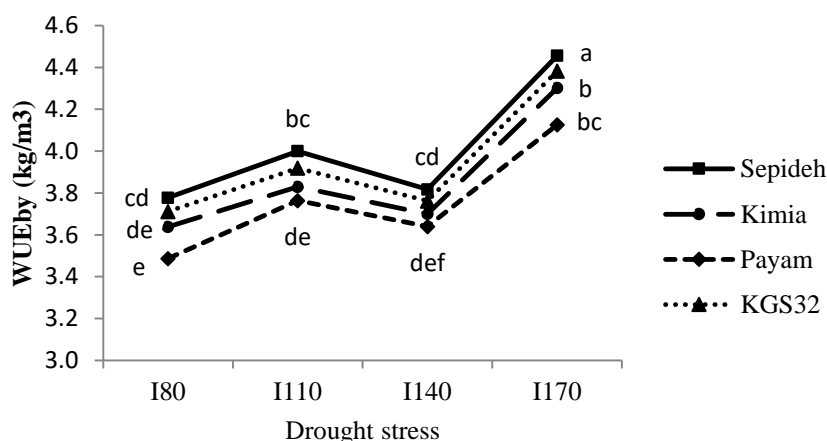
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم بر کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه.

Figure 4. Mean comparison of the interaction effects of drought stress × variety on water use efficiency for grain yield (WUEgy).

۳/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود که تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک، از رقم KGS32 در شرایط تنش شدید خشکی (رژیم آبیاری ۱۷۰ میلی‌متر تبخیر) و به میزان ۴/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد، اما کمترین کارایی مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک، از رقم پیام در رژیم آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر و به میزان ۳/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (شکل ۵).

راندمان مصرف آب جهت عملکرد بیولوژیک

نسبت عملکرد بیولوژیک (زیست توده) به آب مصرفی، کارایی مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک می‌باشد. بررسی نتایج تجزیه واریانس کارایی مصرف آب جهت عملکرد بیولوژیک نشان داد که این صفت، اختلاف معنی‌داری در سطوح سال، تنش خشکی و رقم و اثر متقابل دوگانه تنش خشکی در رقم نشان داد (جدول ۲). میانگین کارایی مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک در سال اول، چهار کیلوگرم بر مترمکعب و در سال دوم،



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی در رقم بر کارایی مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک.

Figure 5. Mean comparison of the interaction effects of drought stress × variety on water use efficiency for biological yield (WUEby).

عملکرد دانه شد. در ذرت نیز نتایج مشابهی گزارش شده است که نشان دهنده تحمل بیشتر اندام‌های رویشی نسبت به زایشی به تنش خشکی است (Rafiee & Kalhor, 2015).

برخلاف راندمان مصرف آب برای عملکرد دانه، با افزایش شدت تنش، راندمان مصرف آب برای عملکرد بیولوژیک افزایش یافت، زیرا در شرایط تنش شدید خشکی، مرحله زایشی که منجر به تولید دانه می‌شود، کاهش زیادی یافت و سبب کاهش راندمان مصرف آب برای

REFERENCES

- Ahmed, A. A., Hassan, M.S. M. & El Naim, A. M. (2016). Evaluation of some local sorghum genotypes in north Kordofan of Sudan semi-arid agro-ecological environment. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 6(1), 54-57.
- Ahmed, M. F. and El Naim, A. M. (1993). Effects of watering interval on consumptive use, water use efficiency and crop factor of sunflower (*Helianthus annuus* L.). University of Khartoum. *Journal of Agricultural Science*, 1(2), 1-16.
- Alikhani, M. A., Etemadi, F. & Ajirlo, A. F. (2012). Physiology basis of yield difference in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in a semi-arid environment. *ARP Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(7), 488-496.
- Amjad Ali, M., Abbas, A., Niaz, S., Zulkiffal, M. & Ali S. (2009). Morphophysiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages. *International Journal of Agricultural Biotechnology*, 11, 674-680.
- Assefa, Y. & Staggenborg, S. A. (2010). Grain sorghum yield with hybrid advancement and change in agronomic practices from 1957 through 2008. *Agronomy Journal*, 102, 703-706.
- Boyer, J and Westgate, M. (2004). Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2385-2394.
- Costa, J. O., Ferreira, L. G. R. & Souza, F. D. E. (1988). Yield of maize under different levels of water stress. *Field Crop Abstracts*, 91, 183.
- Ehdaei, B. (2004). *Plant Breeding*. Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran (in Persian).
- El Naim A. M., Baldu, M. A. M. & Zaied, M. M. B. (2012). Effect of tillage depth and pattern on growth and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) under rain-fed. *Journal of Novel Applied Sciences*, 1(3), 68-73.
- El Naim, A. M., Ibrahim, I. M, Abdel Rahman, M. E. & Ibrahim, E. A. (2010). Evaluation of some local sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes in rain-fed. *International Journal of Plant Research*, 2(1), 15-20.
- FAO. (2002). Crop water management. Online. *AGLW Water Management Group*, United Nations FAO, Rome, Italy.
- Hussman, B., Obilana, A., Blum, A., Ayiecho, P. & Schipperack, W. (1998). Hybrid performance of sorghum and its relationship to morphological and physiological traits under variable drought stress. *Plant Breeding*, 117, 223-229.
- IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D., et al., eds.). Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- Jabereldar, A. A., El Naim, A. M., Abdalla, A. A. & Dagash, Y. M. (2017). Effect of water stress on yield and water use efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in semi-arid environment. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 7(1), 1-6.
- Khazaei, A., Sabouri, A., Shobbar, Z. & 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(1), 99-118.
- Kidambi, P. S., Krieg, D. R. & Rosenow, D. T. (1990). Genetic variation for gas exchange rates in grain sorghum. *Plant Physiology*, 92, 1211-1214.
- Maman, N., Mason, S. C., Lyon, D. J. & Dhungana, P. (2004). Yield components of pearl millet and grain sorghum across environments in the Central Great Plains. *Crop Science*, 44, 2138-2145.
- Mazaherilaghah, H., Nori, F., Zare- Abyane, H. & Vafaei, 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).

19. Menezes, C. B., Saldanha, D. C., Santos, C. V., Andrade, L. C., Mingote Júlio, M. P., Portugal, A. F. & Tardin, F. D. (2015). Evaluation of grain yield in sorghum hybrids under water stress. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 12675-12683.
20. Moosavi, S. G., Seghatoleslami, M. J., Javadi, H. & Ansari-nia, E. (2011). Effect of irrigation intervals and planting patterns on yield and qualitative traits of forage sorghum. *Advances in Environmental Biology*, 5(10), 3363-3368.
21. Narshima Rao, C. L., & Shivraj, A. (1998). Effect of water stress on grain growth of glossy and non glossy varieties of grain sorghum. *Indian Journal of Agricultural Science*, 58, 770-773.
22. Nour-Mohamadi, G., Siadat, A. & Kashni, A. (2007). *Agronomy (Cereal Crops)*. Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran (in Persian).
23. Ober, E. S., Setter, T. L., Medison, G. T. & Shopiro, S. P. (1991). Influence of water deficit on maize endosperm development enzyme activities and RNA transcripts of starch and zein synthesis abscisic acid and cell division. *Plant physiology*, 97(1), 154-164.
24. Rafiee, M. & Kalhor, M. (2015). Economic water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) hybrids as affected by irrigation regimes: A case study in West of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-9. DOI: 10.1080/03650340.2015.1105360.
25. Setter, T. L. (1990). Transport/harvest index: Photosynthate partitioning in stressed plants. P. 17-36. *Stress responses in plant: Aduptation and acclimation mechanism*. Wiley-Liss, Inc. New York. 14853.
26. Terbea, M., Vranceanu, A. V., Petcu, E., Craiciu, D. S. & Micut, G. (1995). Physiological response of sunflower plants to drought. *Romanian Agricultural Research*, 3, 61-67.
27. Tolk, J. A. & Howell, T. A. (2001). Measured and simulated evapotranspiration of grain sorghum with full and limited irrigation in three high plains soils. *Trans. Of ASAE*, 44, 1553-1558.
28. Vahidi, H., Khajavi Nezhad, G., Rezaei, R. & Abdul Shahi, R. (2012). Determination of water requirement and vegetation coefficient of sorghum in Kerman region. Third national conference on integrated water resources management. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. http://www.civilica.com/Paper-NCUIMWR03-NCUIMWR03_155.html.