مدیریت آب و آبیاری
(نشریه علمی)
دوره ۱۰ ■ شماره ۳ ■ زمستان ۱۳۹۹
صفحه‌های ۴۰۹-۳۹۷
DOI: 10.22059/jwim.2021.295570.746

مقاله پژوهشی:

بررسی اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب سه هیبرید ذرت با سطوح مختلف آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

فاطمه حیدری[۱]، تیمور سهرابی[۲*]، حامد ابراهیمیان[۳]، حسین دهقانی سانیج[۴]
۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۳. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۴. دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۲

چکیده

کاربرد شیوه‌های نوین آبیاری، کم‌آبیاری و استفاده از ارقام مقاوم‌تر نسبت به تنش‌های خشکی، از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی است. برای بررسی سطح آبیاری و نوع هیبرید ذرت، بر بهره‌وری مصرف آب در تولید ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای، این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۶ و در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج) انجام شد. تیمارهای اصلی شامل دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، تیمارهای فرعی شامل سه هیبرید ذرت KSC704، KSC600 و KSC400 و طرح آزمایش‌های آن براساس کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی بود. صفات موردمطالعه عملکرد علوفه تر، زیست‌توده و دانه، بهره‌وری مصرف آب در تولید علوفه تر، بهره‌وری مصرف آب در تولید زیست‌توده و دانه، وزن هزاردانه و شاخص برداشت بود. نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که اثر سطح آبیاری بر صفات اندازه‌گیری‌شده غیر معنی‌دار و اثر هیبرید بر آن‌ها در دو سطح آبیاری، معنی‌دارشد. بیش‌ترین مقدار بهره‌وری مصرف آب در تولید زیست‌توده برابر ٤/٣٧ کیلوگرم بر مترمکعب در هیبرید KSC600 و بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب در تولید دانه برابر ۲/٤۳ کیلوگرم بر مترمکعب در هیبرید KSC704 (با قرارگیری با هیبرید KSC400 در یک گروه آماری) و در سطح آبیاری ۸۰ درصد حاصل شد. هم‌چنین هیبرید KSC400 با قرارگیری در گروه آماری مشترک با هیبرید KSC704، بیش‌ترین وزن هزاردانه را به مقدار ۵۳۷/۳ گرم داشت. کم‌آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی با استفاده از سامانه آبیاری زیرسطحی هیچ‌گونه اثر معناداری بر عملکرد هیبریدهای ذرت نداشت.

کلیدواژه‌ها: تنش رطوبتی، سامانه‌های نوین آبیاری، کارایی مصرف آب، کم‌آبیاری.

Investigation of yield components and water use efficiency of three maize hybrids with different levels of irrigation in subsurface drip irrigation system

Fatemeh Heydari[1], Teymour Sohrabi[2*], Hamed Ebrahimian[3], Hossein Dehghani Sanij[4]
1. M.Sc. Graduate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
Received: January 12, 2020 Accepted: December 22, 2020

Abstract

The use of modern irrigation methods, deficit irrigation, the use of cultivars more resistant to drought stress, are ways to increase water use efficiency in agriculture. To study the effect irrigation level and type of maize cultivar on water use efficiency in forage and grain maize production, this research was conducted at the research farm of Agricultural and Natural Resources College of University of Tehran (Karaj) in 2017. The main treatments included two levels of irrigation (100 and 80% of maize water requirement) in subsurface drip irrigation system; sub-treatments included three maize cultivars KSC704, KSC600, KSC400. Experimental design was based on split plots based on randomized complete blocks. The studied traits were forage yield, biomass, grain, water use efficiency in forage, biomass and grain production, 1000-grain weight and harvest index. The results showed that the effect of irrigation level on the measured traits was insignificant and the effect of cultivar on them was significant at both irrigation levels. The highest amount of water use efficiency in biomass production was 4.37 kg / m^3 in KSC600 cultivar and the highest water use efficiency in grain production was 2.43 kg / m^3 in KSC704 cultivar (with KSC400 cultivar in a Statistical group) obtained at the irrigation level of 80%. Also, KSC400 cultivar, being in the common statistical group with KSC704 cultivar, had the highest 1000-grain weight of 537.3 grams. Deficit irrigation up to 80% of water requirement using subsurface irrigation system had not any significant effect on the yield of maize cultivars.

Keywords: Deficit irrigation, Modern irrigation systems, Water stress, Water use efficiency.

* نویسنده مسئول Email: myousef@ut.ac.ir

مقدمه

کشت ذرت، نسبت به سایر محصولات به‌طور بی‌سابقه‌ای در حال افزایش است (Wright and Wimberly, 2013; Derner *et al*., 2015). این غله دومین محصول در سراسر جهان است که سالانه بالغ بر ۱۰۰۰ میلیون تن دانه از آن تولید می‌شود (FAOSTATE, 2016) و به‌عنوان خوراک دام و طیور از آن استفاده می‌شود که در نتیجه صنایع لبنی و پروتئین‌های دامی به آن وابسته‌اند (FAO, 2012; USDA, 2012). در کشور ایران، افزایش عملکرد ذرت دانه‌ای از ۷/۵ تن به ۱۰ تن در هکتار و ذرت علوفه‌ای از ۵۲ تن به ۷۰ تن در هکتار تا پایان برنامه ششم توسعه، در دستور کار قرار دارد که براساس گزارش سازمان برنامه وبودجه کشور، میزان تولید ذرت دانه‌ای در سال ۱۳۹۶، برابر با ۱۰۵۰ هزار تن بوده که در مقایسه با مصوب برنامه ششم توسعه (۲۱۰۰ هزار تن)، فقط توانسته ۵۰ درصد هدف برنامه را محقق کند. درحالی‌که در تولید ذرت علوفه‌ای هدف برنامه تحقق بخشیده شده است (Plan and budget organization, 2017). با توجه به اهمیت اقتصادی ذرت، هر عاملی که بتواند در افزایش عملکرد محصول و مصرف بهینه آب مؤثر باشد، باید تقویت شود. بنابراین، باید با توجه به پارامترهای محیطی و شرایط این گیاه، برنامه‌ریزی مناسب آبیاری صورت گیرد (Akbari Nodehi, 2017).

امروزه مهم‌ترین مسأله برای بخش کشاورزی تولید مواد غذایی بیش‌تر در ازای مصرف کم‌تر آب است که می‌توان این هدف را با افزایش بهره‌وری آب به دست آورد (Zwart and Bastiaanssen, 2004). باید توجه داشت که مدیریت مؤثر آب آبیاری در مناطقی که با محدودیت منابع آب روبه‌رو هستند، به توانایی در به حداکثر رساندن بهره‌وری مصرف آب (عملکرد در واحد آبی که توسط محصول استفاده می‌شود) بستگی دارد (Debaeke and Aboudrare, 2004; Comas *et al*., 2019). راه‌کارهای زیادی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب یا WUE[1] پیشنهاد شده است که برخی از آن‌ها عبارتند از کم‌آبیاری، مدیریت حاصلخیزی خاک، کاربرد فناوری‌های نوین آبیاری و اصلاح ارقام.

روش‌های آبیاری زیرسطحی راه‌حل مناسبی برای سازگاری با کمبود آب برای آبیاری زمین‌های فاریاب و مواجهه با خشک سالی‌ها در حال حاضر و آینده به‌شمار می‌آیند (Jolaini and Ganji, 2017). سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی SDI[2] یکی از کارآمدترین سامانه‌های آبیاری، ازنظر افزایش بهره‌وری مصرف آب و کاهش تلفات تبخیر از سطح خاک است (Irmak *et al*., 2013). این سامانه در حال حاضر پیشرفته‌ترین روش آبیاری موضعی محسوب می‌شود که در مقایسه با سایر سامانه‌های آبیاری، با نیاز به آب کم‌تر، می‌تواند باعث حفظ و حتی افزایش عملکرد در بیش از ۳۰ نوع محصول ازجمله ارقام مختلف ذرت، یونجه، پنبه و گوجه‌فرنگی شود (Adamsen, 1992; Alam *et al*., 2002; Wood and Finger, 2006; Wang *et al*., 2017). در این سامانه، صرفه‌جویی در مصرف آب به‌دلیل آبیاری دقیق نسبت به روش‌های رایج آبیاری از ۳۰ تا ۷۰ درصد متغیر است. هم‌چنین باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب، از ۲۰ تا ۹۰ درصد برای محصولات مختلف شده و نیاز به نیروی کارگری، علف‌کش و کودها را نسبت به‌روش معمولی آبیاری کاهش می‌دهد (Reddy *et al*., 2004). Obrien *et al*. (2001) در پژوهش‌های پنج‌ساله‌ای که در کانزاس ایالات متحده آمریکا روی گیاه ذرت، در شش سطح مختلف آبیاری و چهار تراکم کشت مختلف انجام دادند، دریافتند عملکرد دانه‌ای ذرت در سامانه SDI، در یک سال خشک، دو برابر سایر روش‌ها بوده است.

یکی دیگر از راه‌کارهای افزایش WUE کم‌آبیاری

است. در ذرت بهره‌وری مصرف آب نسبت به سایر محصولات زراعی زیاد است، اما در کم‌آبیاری با کاهش تبخیر-تعرق به‌صورت خطی، عملکرد به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد (Farre and Faci, 2006; Comas *et al.*, 2019) و این گیاه در مراحل اولیه پر شدن دانه، به تنش آب بسیار حساس است (Trout and DeJonge, 2017). Lamm and Ttooien (2003) در مطالعات پژوهشی که در کانزاس، در ایالات‌متحده آمریکا، بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۱ برای تعیین نیاز آبی ذرت تحت آبیاری سامانه SDI انجام دادند، با کاهش میزان آب مصرفی به ۷۵ درصد نیاز آبی، تغییری در عملکرد محصول مشاهده نکردند.

ارتباط عملکرد در برابر تبخیر و تعرق واقعی گیاه ذرت، در مکان‌های مختلف متفاوت است که احتمالاً دلیل آن تفاوت در توزیع بارندگی، ویژگی‌های خاک و گیاه و شرایط آب‌وهوایی است. بنابراین ارتباط عملکرد دانه و آب مصرفی توسط گیاه ذرت، تحت تأثیر عواملی مانند مقدار آب آبیاری، ویژگی‌های خاک، آب و هواست (Jorooni *et al.*, 2017). از سوی دیگر واکنش و عملکرد گیاهان، به‌خصوص گیاهان زراعی، در شرایط محیطی مختلف، از طریق اثر متقابل ژنو تایپ و محیط، در زمان بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در هر مرحله از رشد و نمو گیاه امکان‌پذیر است (Entz and Fowler, 1990). بنابراین میزان اثر کم‌آبیاری بر عملکرد ذرت، علاوه بر این‌که به شرایط محیطی (شرایط اقلیمی، شیوه آب‌رسانی و ...) وابسته است، به نوع هیبرید آن نیز بستگی خواهد داشت.

در بسیاری از پژوهش‌های صورت‌گرفته، نوع و هیبرید گیاه، به‌عنوان مهم‌ترین جز برای افزایش بهره‌وری مصرف آب، نادیده گرفته شده و تنها به جنبه بازده آبیاری پرداخته شده‌است و یا برعکس. هیبریدهای ذرت از اصلاح و تلقیح دو یا چند هیبرید به‌وجود آمده و هر کدام ویژگی و عملکردهای خاص خود را دارند که می‌توان آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد و پربازده‌ترین هیبرید را برای کشت و توسعه انتخاب نمود. در این پژوهش سعی شد علاوه بر تأثیر نوع سامانه آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب، تأثیر نوع هیبرید نیز موردبررسی قرار گیرد.

با توجه به مطالب عنوان‌شده، این سؤال مطرح است که آیا در شرایط اقلیمی ایران، با توجه به محدودیت منابع آب، با کاهش میزان آب مصرفی تا ۸۰ درصد نیاز آبی در سامانه SDI، با صرف آب کم‌تر، تغییری در عملکرد و WUE ایجاد نمی‌شود؟ اهداف پژوهش حاضر عبارتند از الف- ارزیابی و مقایسه عملکرد و WUE در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ب- نقش هیبرید برافزایش بهره‌وری مصرف آب ذرت در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در یک قطعه ۲۵۲ مترمربعی در مزرعه آزمایشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، واقع در کرج، با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۵۰ درجه و ۵۸ ثانیه شرقی و ۵۹ درجه و ۳۵ ثانیه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۲۹۲/۹ متر و متوسط بارندگی (در دوره بلندمدت ۵۰ ساله) ۲۴۸ میلی‌متر در سال انجام شد. طرح آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. در کرت‌های اصلی تیمارهای آبیاری در دو سطح ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه و در کرت‌های فرعی اثر هیبرید موردبررسی قرار گرفت. در ابتدای فصل کشت از عمق‌های صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک نمونه‌برداری شد سپس توزیع اندازه ذرات خاک، درصد سیلت، شن و رس با استفاده از روش هیدرومتری اندازه‌گیری‌شده و

بافت خاک با استفاده از مثلث بافت خاک لوم رسی تعیین گردید. جرم مخصوص ظاهری خاک، با استفاده از رینگ‌های فلزی با اندازه حجم و وزن معلوم و جرم مخصوص حقیقی با استفاده از پیکنومتر اندازه‌گیری شد، مقدار رطوبت ظرفیت زارعی و نقطه پژمردگی دائم خاک نیز با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین گردید (جدول ۱). عمق خاک زراعی در این مزرعه ٦٠ سانتی‌متر است.

هیبریدهای موردمطالعه شامل سینگل‌کراس ۷۰٤ (KSC704)، سینگل‌کراس ٦٠٠ (KSC600)، سینگل‌کراس ٤٠٠ (KSC400) بودند که به‌صورت کاملاً تصادفی در کرت‌های فرعی پراکنده شدند. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و وزارت جهاد کشاورزی در ایران، برخی از ویژگی‌های این هیبریدها را بیان کرده‌اند (Institute Seed and Improvement, 1980) (جدول ۲). این سه هیبرید در یک روز (دهه دوم خردادماه) و در عمق پنج سانتی‌متری کاشته شدند. در هر کرت سه در چهار مترمربعی، چهار ردیف ذرت کاشته شد که دو ردیف کناری و قسمتی از بالا و پایین هر کرت به‌منظور اجتناب از اثرات حاشیه‌ای تعیین و فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۷۵ و فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف ۱۸ سانتی‌متر تعیین و به‌این‌ترتیب تراکم ۷٤٥۰۰ بوته در هکتار حاصل شد.

به‌منظور کنترل میزان حجم آب ورودی، در محل ورود آب به قطعه یک کنتور حجمی نصب و میزان دقیق آب آبیاری، در طول فصل رشد، در کرت‌های ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی ثبت شد. شکل (۱) حجم آب آبیاری را در دو سطح آبیاری، پس از اعمال تیمار کم‌آبیاری نشان می‌دهد. برای به حداقل رساندن عدم یکنواختی توزیع ناشی از کم یا زیادبودن فشار آب، با نصب فشارسنج در مسیر خط لوله اصلی، فشار آب در تمام آبیاری‌ها تنظیم و تحت کنترل قرار گرفت. برای سهولت در اجرا، در ابتدای لوله‌های جانبی که کرت‌های ۸۰ درصد نیاز آبی را آبیاری می‌کردند شیرفلکه تعبیه شد تا پس از اعمال این میزان بتوان با بستن شیرفلکه‌ها از ورود آب به آن‌ها تا تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی برای کرت‌های باقی‌مانده جلوگیری نمود. جانمایی کرت‌ها و سامانه آب‌رسانی در شکل (۲) نشان داده شده است. اعمال کم‌آبیاری ٤۱ روز بعد از اولین آبیاری صورت گرفت و قبل از آن، همه تیمارها به‌طور مساوی و بدون اعمال تنش رطوبتی آب دریافت کردند.

Table 1. Determination of important physical properties of soil

Depth (cm)	Soil moisture (‰θ_v)		Soil texture	Distribution of soil particles (%)		
	PWP	FC		Silt	Sand	Clay
0-20	13.5	29.8	Clay loam	41.1	28.91	29.99
20-40	13.5	30.3	Clay loam	45.22	26.3	28.48
40-60	13.5	29.6	Clay loam	51.46	15.98	32.56

Table 2. Determination of important properties of three maize hybrids

Parameter		Three maize hybrids		
		KSC704	KSC600	KSC400
Kernel type		Dent corn	Flint / Pop corn	Dent corn
Emergence to maturity period		125-135 days	115-125 days	115-120 days
Disease resistance	Common smut	Relative resistance	Relative resistance	high resistance
	Fusarium	Relative resistance	Relative resistance	high resistance
FAO group		FAO 700	FAO 600	FAO 400
Year of introduction		1980	1999	2008
Suitable areas for cultivation		Most regions of Iran / Suitable for growing fodder and grain	Most regions of Iran / Suitable for preparing pop corn	Fars, Isfahan, Khorasan, Kermanshah province

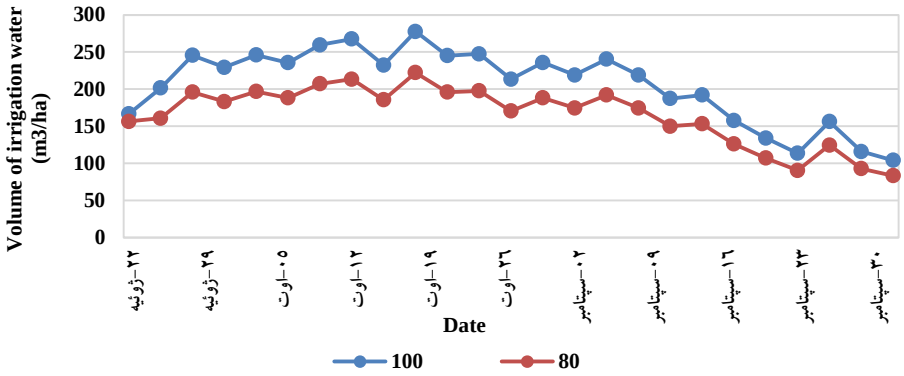

Figure 1. Volume of water use during the maturity period

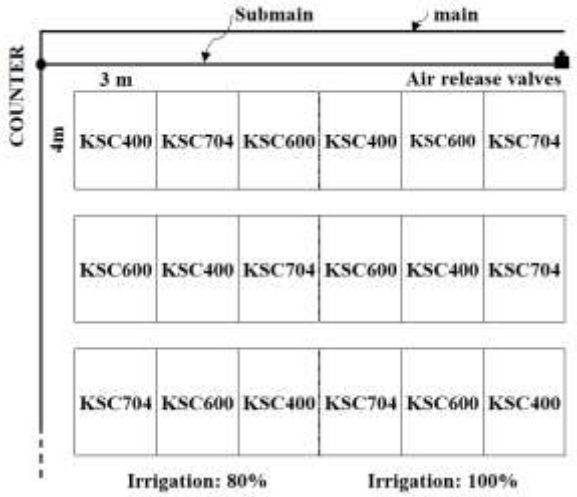

Figure 2. Schematic of the experimental design and placement of treatments and its replicates in subsurface irrigation

دور آبیاری هر سه روز یک‌بار تعیین و در هر نوبت برای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع از نرم‌افزار ET_0-Calculator و اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی مزرعه پردیس استفاده شد. برای این کار از آمار داده‌های روزانهٔ هواشناسی شامل دمای هوای بیشینه و کمینه، متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد، ساعات آفتابی و تابش خالص استفاده و محاسبات توسط نرم‌افزار Excel و با استفاده از معادله‌ی پنمن–مانتیث انجام شد (رابطه ۱).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر متر بر روز)، G شار گرمای خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)، u_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، $(e_s - e_a)$ کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال) می‌باشند. شکل (۳) نمودار ضریب گیاهی ذرت را در طول فصل رشد، براساس نشریه شماره ۵۶ فائو، نشان می‌دهد که در این پژوهش از آن استفاده شد.

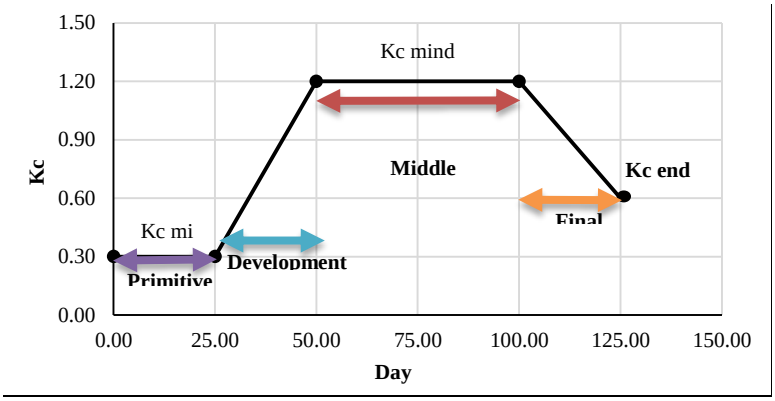

Figure 3. Corn crop coefficient curve during the growing season

برای تعدیل ضریب گیاهی تحت تأثیر اقلیم، از رابطه (۲) استفاده شد.

$$K_{cadj} = K_c + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)](\frac{h}{3})^{0.3} \quad (۲)$$

که در آن $K_{c\,adj}$ ضریب گیاهی تعدیل‌شده، u_2 میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، RH_{min} میانگین حداقل رطوبت نسبی روزانه (درصد) و h میانگین ارتفاع گیاه (متر) می‌باشد (قبل از هر آبیاری ارتفاع چهار بوته از هر تکرار اندازه‌گیری و میانگین سه تکرار به‌عنوان ارتفاع بوته هیبرید موردنظر در تیمار آبیاری در نظر گرفته می‌شد (شکل ٤).

عملیات داشت شامل واکاری قسمتی از کرت‌ها که بذر کاشته‌شده در آن جوانه نزده بود، تزریق علف‌کش مایع 2.4-D+MCPA 67.5 percent، تزریق کود NPK 20-20-20 به میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار، به‌صورت کودآبیاری در سه آبیاری متوالی، پاشیدن حشره‌کش دلتامترین ۲/۵ درصد و چندین نوبت وجین علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی در طی فصل رشد انجام شد. با توجه به تفاوت دوره رشد در سه هیبرید ذرت، نمونه‌برداری از آن‌ها به‌منظور علوفه و دانه، در روزهای مشخصی صورت گرفت. برای نمونه‌برداری با حذف حاشیه‌های هر کرت (ردیف‌های کناری و ۷۵ سانتی‌متر از بالا و پایین هر کرت)، چهار بوته به‌طور تصادفی انتخاب و اجزای عملکرد آن‌ها به‌عنوان نمایندهٔ آن تیمار اندازه‌گیری شد. به‌این‌ترتیب برداشت علوفه‌ای هیبرید KSC600 در روز ۸۵، KSC704 در روز ۱۰۲ و KSC400 در روز ۱۴۲ از کاشت (هرگاه دانه‌های ۵۰ درصد از بوته‌های ذرت یک کرت حالت خمیری پیدا کردند) و برداشت دانه‌ای آن‌ها به‌ترتیب ۱۰۲ و ۱۴۲ روز پس از کاشت (زمانی‌که در ۵۰ درصد از بوته‌ها، لایه قهوه‌ای یا سیاه در محل اتصال دانه به چوب بلال تشکیل شده باشد) انجام شد. نمونه‌ها از دو ردیف میانی هر کرت، از یک کادر یک‌دریک انتخاب شدند. نمونه‌های علوفه از نزدیک‌ترین قسمت به زمین کف‌بر شده و در محل اندازه‌گیری شدند. سپس به آون منتقل و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷٤ درجه سانتی‌گراد خشک و دوباره توزین شدند. نمونه‌برداری برای منظور دانه‌ای نیز از دو ردیف میانی و به‌طور تصادفی از بوته‌های مختلف چهار بلال انتخاب شد و پس از اندازه‌گیری رطوبت آن‌ها به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج، وزن شدند. سپس وزن و عملکرد دانه‌ها به کمک رابطه (۳) به وزن دانه در رطوبت ١٤ درصد تبدیل شد. با تقسیم وزن دانه‌های یک بوته ذرت بر وزن کل اندام هوایی آن شاخص برداشت محاسبه شد. هم‌چنین با اندازه‌گیری صفاتی مانند طول بوته، تعداد برگ در بوته و قطر حجم اندام هوایی یک بوته ذرت مشخص شد.

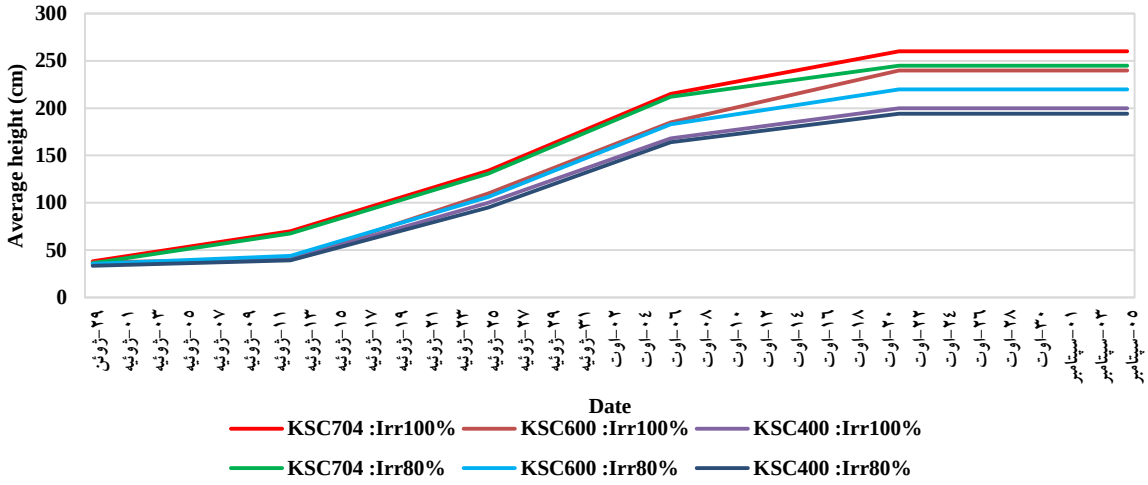

Figure 4. Average plant height of maize hybrids during the growing season

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار آماری SAS Ver9.2 انجام و برای مقایسه میانگین عملکرد هیبریدها از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

$$W_f = W_a \times \frac{100 - \theta_a}{100 - \theta_f} \qquad (۳)$$

که در آن W_f وزن نهایی (گرم)، W_a وزن اندازه‌گیری‌شده (گرم)، θ_a رطوبت اندازه‌گیری‌شده (درصد) و θ_f رطوبت نهایی (۱٤ درصد) می‌باشند. پس از جمع‌آوری داده‌ها، میزان بهره‌وری مصرف آب از رابطه (٤) به‌دست آورده شد:

$$WUE = \frac{Y_c}{ET_{A-S}} \qquad (٤)$$

که در این معادله WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y_c عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) و ET_{A-S} میزان آب مصرف‌شده به‌صورت تبخیر و تعرق از گیاه (مترمکعب در هکتار) است.

نتایج و بحث

مشخصات سه هیبرید ذرت در دو سطح آبیاری در سامانه SDI، نشان داد که میزان خصوصیات هیبریدهای ذرت، در دو تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، تقریباً یکسان بوده است (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد هیبریدهای ذرت نشان داد که اثر متقابل سطح آبیاری× هیبرید روی هیچ‌کدام از صفات اندازه‌گیری معنی‌دار نبوده است و اعمال کم‌آبیاری در سامانه SDI، بر روی اجزای عملکرد هیچ‌کدام از هیبریدهای ذرت تأثیرگذار نبوده است و بین این اجزا در تیمارهای آبیاری کامل و تیمارهای کم‌آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است (جدول ٤). Ghadiri and Majidian (2003) گزارش کردند که تنش رطوبتی باعث کاهش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ و نیز وزن کل ماده خشک در گیاه، ساقه و برگ ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ شد. هم‌چنین تنش رطوبتی، میزان رشد گیاه، شاخص سطح برگ، میزان جذب، نسبت سطح برگ و میزان رشد نسبی رشد نسبی گیاه را کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت کم‌آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تنش رطوبتی را تعدیل کرده و مانع از کاهش عملکرد ذرت می‌شود.

در این سامانه، گیاه در برابر تنش آب و مواد مغذی حالت بافر به خود می‌گیرد. بازدهی سامانه SDI در

استفاده از مواد مغذی و آب می‌تواند بالاتر باشد (Bar-Yosef, 1999) بنابراین بهره‌وری مصرف آب در این سامانه بالا است و حتی در کم‌آبیاری نیز نیاز روزانه گیاه به آب تأمین می‌شود. Lamm and Trooien (2003) براساس مطالعاتی که در دانشگاه کالبی کانزاس ایالات‌متحده آمریکا، برای تعیین نیاز آبی ذرت در سامانه آبیاری SDI انجام دادند، نتیجه گرفتند که با کاهش میزان آبیاری تا ۷۵ درصد نیاز آبی روزانه گیاه، تغییری در عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب در مقایسه با تیمارهای آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی روزانه گیاه) مشاهده نمی‌شود. بنابراین چنانچه محدودیت منابع آب وجود داشته باشد اعمال کم‌آبیاری تا ۷۵ درصد نیاز آبی در سامانه SDI می‌تواند یک راهبرد مطلوب به‌حساب آید درحالی‌که آبیاری با میزان کم‌تر از ۷۵ درصد به‌جز در سال‌های مرطوب که بارندگی کافی در آن وجود داشته، می‌تواند باعث کاهش قابل‌توجه عملکرد شود (Rudnick *et al.*, 2017).

هم‌چنین اثر هیبرید بر تمامی اجزای عملکرد سه هیبرید ذرت، در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار شد. همان‌طورکه پیش‌تر نیز گفته شد، واکنش و عملکرد گیاهان، به‌خصوص گیاهان زراعی، در شرایط محیطی مختلف، از طریق اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، در زمان بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در هر مرحله از رشد و نمو گیاه امکان‌پذیر است. بنابراین اختلاف عملکرد هیبریدهای مختلف ذرت تحت شرایط محیطی یکسان دور از انتظار نبوده است. به‌منظور تمرکز بیش‌تر بر موضوع، بررسی نتایج به‌دست‌آمده را به دو دسته عملکرد علوفه‌ای و دانه‌ای تقسیم کرده و به هر بخش به‌طور جداگانه پرداخته می‌شود.

Table 3. Determination of properties of three maize hybrids at two levels irrigation

Parameter		Irrigation: 100%			Irrigation: 80%		
		KSC 704	KSC 600	KSC 400	KSC 704	KSC 600	KSC 400
Date	Planting	13 June 2017			13 June 2017		
	Germination	18 June 2017			18 June 2017		
Tasseling (after planting)		28 days	26 days	19 days	27 days	24 days	17 days
Plat height		260	240	200	245	220	194
Ear cover (1-5)		4	4	4	4	4	3
Emergence to matority	Forage	98	98	83	98	98	83
	Grain	141	141	101	141	141	101
Ear length		22.5	17.38	22.41	22.15	16.93	21.9
Ear diameter		5.2	3.56	5.1	5	3.42	4.67
Kernel per ear		710	630	610	695	577	569
Grain depth		11.2	0.7	11.6	11.1	6.7	11.4
Kernel color		Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Table 4. Results of analysis of variance of yield components evaluated under moisture stress and irrigation method

Sources of variation	DF	Mean of squared							
		Fresh		Wet		Grain			Harvest index
		Plant weight (gr)	Water productivity (kg/m^3)	Yield biomass (ton/ha)	Water productivity (kg/m^3)	Yield (ton/ha)	Water productivity (kg/m^3)	Weight of one thousand seeds (gr)	
Repeat	2	79.72^{ns}	2.16^{ns}	35.55^{ns}	0.95^{ns}	4.06^{ns}	0.103^{ns}	461.86^{ns}	0.0007^{ns}
Levels of irrigation	1	12.9^{ns}	0.038^{ns}	2.21^{ns}	0.003^{ns}	1.08^{ns}	0.006^{ns}	643.68^{ns}	0.0008^{ns}
Experiment error	2	1.12	0.188	0.09	0.006	0.03	0.0005	564.58	0.000005
Hybrid	2	367.31^{**}	3.87^{ns}	169.97^{**}	3.147^{**}	92.54^{**}	2.4^{**}	12681.56^{**}	0.093^{**}
Hybrid*irrigation	2	1.5^{ns}	0.002^{ns}	0.24^{ns}	0.0001^{ns}	0.085^{ns}	0.0008^{ns}	1385.5^{ns}	0.000037^{ns}
Coeff var		9.49	9.08	14.6	14.28	12.84	12.74	7.45	12.89

****, * and ns: Significant different at 1% and 5% probability levels and non-significant difference, respectively.**

به‌منظور مقایسه عملکرد علوفه‌ای در سه هیبرید ذرت، چهار شاخص عملکرد علوفه‌تر، عملکرد زیست‌توده، بهره‌وری مصرف آب در تولید علوفه‌تر و زیست‌توده، در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، موردبررسی قرار گرفتند (جدول ۵). براساس آزمون دانکن بین میانگین عملکرد علوفه تر (تن در هکتار) و میانگین عملکرد زیست‌توده (تن در هکتار)، در سه هیبرید، در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌دار بوده است. به این ترتیب هیبرید KSC600 با اختلاف ۱۵/۳۸ درصد نسبت به هیبرید KSC704 و اختلاف ۲۵/۳٦ درصد نسبت به هیبرید KSC400، بیش‌ترین میانگین عملکرد علوفه‌تر را به‌خود اختصاص داد و هم‌چنین این هیبرید با اختلاف ۲۷/٤ درصد نسبت به هیبرید KSC704 و اختلاف ۳۹/۲ درصد نسبت به هیبرید KSC400، بیش‌ترین میانگین عملکرد زیست‌توده را داشت (جدول ۵).

میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید علوفه‌تر (کیلوگرم بر مترمکعب) در همه هیبریدها در یک گروه آماری قرار گرفت. ازآنجاکه عملکرد علوفه‌تر در هیبریدهای KSC704 و KSC600 در یک گروه آماری، برداشت علوفه‌ای آن‌ها در یک روز و میزان آب آبیاری در هردوی آن‌ها به یک اندازه بود، بهره‌وری مصرف آب در هردوی آن‌ها نیز در یک گروه آماری قرار گرفت چون حاصل دو کسر است که صورت و مخرج‌هایی نسبتاً برابر دارند. از سویی دیگر هیبرید KSC400 متوسط‌رس بوده و نسبت به دو هیبرید دیگر آب کم‌تری مصرف کرده است که می‌تواند عملکرد کم‌تر علوفه‌ای را در آن جبران کند. براساس آزمون دانکن بین میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید زیست‌توده (کیلوگرم بر مترمکعب)، در سه هیبرید، در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌دار وجود داشت و هیبرید KSC600 با اختلاف ۲۷ درصد نسبت به هیبرید KSC704 و اختلاف ۳۰ درصد نسبت به هیبرید KSC400، بیش‌ترین میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید زیست‌توده را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

اندازه میانگین عملکرد علوفه تر و زیست‌توده در یک هیبرید ذرت، با حجم اندام هوایی آن رابطه مستقیم دارد. طول بوته، تعداد برگ در بوته و قطر طوقه ازجمله صفاتی هستند که حجم اندام هوایی یک بوته ذرت را مشخص می‌کنند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین این شاخص‌های زراعی بین سه هیبرید نشان می‌دهند هیبرید KSC600 با میانگین ٦۲ تن علوفه‌تر (سیلویی) در هکتار، عملکرد بهتری داشته است. هرچند اختلاف آن با میانگین عملکرد هیبرید KSC704 در سطح معنی‌داری قرار نگرفت. چنان‌چه این تفاوت در عملکرد را ناشی از اختلاف حجم اندام هوایی در سه هیبرید موردمطالعه بدانیم می‌توان گفت عملکرد بهتر هیبریدهای KSC704 و KSC600 با طول بوته به‌ترتیب ۲٦۰ و ۲٤۰ سانتی‌متر، نسبت به هیبرید KSC400 با طول بوته ۲۰۰ سانتی‌متر (جدول ۳) قابل پیش‌بینی بوده است.

Table 5. Comparison of average effects of level of irrigation on maize yield components (forage yield)

Hybrid	Levels of irrigation	Comparison of average			
		Fresh		Wet	
		Plant weight (ton/ha)	Water productivity (kg/m^3)	Yield biomass (ton/ha)	Water productivity (kg/m^3)
KSC704	100%	56.6^{abc}	8.8^{a}	19.52^{b}	3.14^{b}
	80%	52.3^{bc}	8.84^{a}	18.75^{b}	3.17^{b}
KSC600	100%	62.77^{a}	10.1^{a}	27^{a}	4.33^{a}
	80%	60.55^{ab}	10.24^{a}	25.86^{a}	4.37^{a}
KSC400	100%	46.3^{c}	8.7^{a}	16.15^{b}	3.03^{b}
	80%	45.75^{c}	8.8^{a}	15.88^{b}	3.05^{b}

The mean of each column having one letter in common is not significantly different at the 5% probability level, according to Duncan test.

به‌منظور مقایسه عملکرد دانه‌ای در سه هیبرید ذرت، میانگین عملکرد دانه (تن در هکتار)، میانگین وزن هزاردانه (گرم)، میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید دانه (کیلوگرم بر مترمکعب) و میزان شاخص برداشت موردبررسی قرار گرفتند (جدول ٦). مقایسه میانگین عملکرد دانه‌ای سه هیبرید نشان داد که هیبریدهای KSC704 و KC400 با قرارگیری در گروه آماری مشترک، با میانگین عملکرد هیبرید KSC600 اختلاف معنی‌داری داشتند که هیبرید KSC600 در تیمار آبیاری ۸۰ درصد، با ۸/۲ تن در هکتار، کم‌ترین میانگین عملکرد دانه را داشت. هم‌چنین اثر متقابل هیبرید بر وزن هزاردانه معنی‌دار بود و مطابق نتایج به‌دست‌آمده، هیبرید KCS400 در تیمار آبیاری کامل، با اختلافی حدود ۵۰ درصد نسبت به هیبرید KSC600 و ۱۳ درصد نسبت به هیبرید KSC704، بیش‌ترین میانگین وزن هزاردانه را داشت. Golbashi *et al.* (2010)، دریافتند که عملکرد دانه در هیبریدهای مختلف ذرت به عمق دانه در آن‌ها رابطه مستقیم دارد و کاهش عمق دانه سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت عملکرد دانه‌ای بهتر و وزن هزاردانه بیش‌تر هیبرید KCS400 با عمق دانه بیش‌تر نسبت به دو هیبرید دیگر دو از انتظار نبوده است. هم‌چنین تعداد دانه در بلال به‌عنوان جزء اصلی در عملکرد دانه محسوب می‌شود و صفت طول بلال، از طریق تأثیر بر تعداد دانه در ردیف، بر عملکرد دانه مؤثر است (Vega *et al.*, 2001). اندازه بلال شامل طول و قطر آن، رابطه مستقیمی با تعداد دانه در بلال دارد، می‌توان نتیجه گرفت عملکرد دانه‌ای پایین هیبرید KSC600 با طول بلال ۱۷/۳۷۵، قطر ۳/٥٦ سانتی‌متر و تعداد ٦١٠ دانه در بلال، نسبت به هیبرید KSC704 با میانگین طول ۲۲/٥، قطر ٥/۲ سانتی‌متر و تعداد ۷۱۰ دانه در بلال و هیبرید KSC400 با میانگین طول بلال ۲۲/٤۱، قطر ٥/۱ سانتی‌متر و تعداد ٦۳۰ دانه در بلال، قابل پیش‌بینی است. لازم به یادآوری است که دانه‌های هیبرید KSC400 از نوع دندان اسبی و دانه‌های هیبرید KSC600 از نوع سخت هستند (جدول ۳).

در ادامه و براساس آزمون دانکن بین میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)، در سه هیبرید، در سطح پنج درصد، اختلاف معنی‌داری وجود داشت که میانگین بهره‌وری مصرف آب در هیبریدهای KSC704 و KSC400 با قرارگیری در گروه آماری مشترک، با میانگین بهره‌وری مصرف آب در هیبرید KSC600 اختلاف معنی‌داری داشتند و هیبرید KSC600 با اختلاف ٤٥ درصد نسبت به هیبرید KSC704 و اختلاف ٤٦ درصد نسبت به هیبرید KSC400، کم‌ترین میانگین بهره‌وری مصرف آب در تولید دانه را داشت. میانگین شاخص برداشت در هیبریدهای KSC704 و KSC400 با قرارگیری در گروه آماری مشترک، با میانگین شاخص برداشت در هیبرید KSC600 اختلاف معنی‌داری داشتند. به‌این‌ترتیب هیبرید KSC600 با اختلاف ٤٥/٥ درصد نسبت به هیبرید KSC704 و اختلاف ٤٨ درصد نسبت به هیبرید KSC400، کم‌ترین میانگین شاخص برداشت را داشت (جدول ٦).

Table 6. Comparison of average effects of level of irrigation on maize yield components (grain yield)

Hybrid	Levels of irrigation	Comparison of average			
		Grain			Harvest index
		Yield (ton/ha)	Water productivity (kg/m^3)	Weight of one thousand seeds (gr)	
KSC704	100%	15.91^a	2.373^a	481.49^{ab}	0.45^a
	80%	15.36^a	2.43^a	437.95^b	0.45^a
KSC600	100%	8.43^b	1.26^b	260.95^c	0.247^b
	80%	8.2^b	1.3^b	244^c	0.243^b
KSC400	100%	14.8^a	2.33^a	537.3^a	0.476^a
	80%	14.1^a	2.35^a	528.14^a	0.476^a

The mean of each column having one letter in common is not significantly different at the 5% probability level, according to Duncan test.

تولید علوفه و زیست‌توده در هیبرید متوسطرس- دیررس KSC600 بیش‌تر هیبرید زودرس KSC400 و هیبرید دیررس KSC704 بود. اگرچه در این پژوهش زمان برداشت هیبرید KSC600 و KSC704 هم‌زمان بوده است، اما این هیبرید از نظر گروه رسیدن جزو هیبریدهای متوسطرس بوده و در اکثر استان‌های کشور قابل‌کشت و بهره‌برداری است. استفاده از هیبریدهای متوسطرس جایگزین هیبریدهای دیررس می‌تواند ضمن کاهش طول دوره‌ی کشت و تعداد دفعات آبیاری، باعث افزایش تولید و بهره‌وری مصرف آب شود. هیبرید KSC600 از ارقام آجیلی است که برای تهیه پاپ‌کورن از آن استفاده می‌شود. گرچه بیش‌تر به‌منظور تولید دانه کشت می‌شود اما عملکرد زیست‌توده آن بالا و قابل‌قبول بوده است. میانگین شاخص برداشت در همه هیبریدها، تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار نگرفت. به‌نظر می‌رسد در مدیریت نوین گیاهان زراعی، شاخص برداشت یک هیبرید معین صفت ثابتی است که حتی در شرایط تنش نیز تغییر اندکی می‌کند (Ghadiri and Majidian, 2003).

در سال‌های اخیر کشت ذرت به‌منظور تولید دانه صورت می‌گیرد و تولید دانه مهم‌ترین عامل کشت این غله پرکاربرد و ارزشمند است (Jagla *et al.*, 2019). در تولید دانه و به‌تبع آن بهره‌وری مصرف آب در تولید دانه، هیبریدهای KSC400 و KSC704 با قرارگیری در یک گروه آماری عملکرد بهتری نسبت به هیبرید KSC600 داشتند. هیبرید KSC400 یا دهقان، زودرس- متوسطرس بوده و به‌عنوان کشت دوم و تأخیری معرفی‌شده است. زودرس‌بودن این هیبرید نسبت به هیبریدهای متوسطرس و دیررس رایج در کشور، برداشت با رطوبت مناسب، جلوگیری از تأخیر در کشت‌های پاییزه، عملکرد مناسب و مقاومت نسبت به بیماری سیاهک معمولی از ویژگی‌های این هیبرید است. ازآنجاکه یکی از مشکلات کشت دوم ذرت در کشور، کمبود هیبریدهایی است که علاوه بر زودرس‌بودن، مشکلات هیبریدهای دیررس در کشت دوم را نداشته و بتوانند از افت کمی و کیفی عملکرد دانه جلوگیری کنند، هیبرید KSC400 با بالاترین عملکرد در تولید دانه، وزن هزاردانه و بهره‌وری در تولید دانه نسبت به دو هیبرید دیگر و هم‌چنین عملکرد مطلوب و قابل‌قبول در تولید علوفه سیلویی و زیست‌توده، می‌تواند به‌عنوان یک هیبرید مناسب در سراسر کشور مورداستفاده قرارگیرد و جایگزین مناسبی برای هیبرید رایج KSC704 باشد.

Dehghanpour *et al.* (2009) در یک طرح تحقیقی- ترویجی که در مرودشت و داریون شیراز انجام دادند، برتری عملکرد هیبرید KSC400 یا دهقان را نسبت به هیبرید KSC704، گزارش کردند. مطابق با نتایج حاصل از آن پژوهش، بین برداشت دو هیبرید ۱۵ روز اختلاف زمانی وجود داشت که باعث شد هیبرید KSC400 از سرمازدگی‌های آخر فصل دور بماند (Dehghanpour *et al.*, 2009) هم‌چنین در سال ۱۳۸۰ این هیبرید را همراه با ۱۶ هیبرید دیگر ازجمله هیبرید شاهد KSC301 در قالب آزمایش مقدماتی در کرج موردمطالعه قرار دادند که این هیبرید با میانگین عملکرد حدود ۱۲ تن در هکتار، حدود ۰/۸ تن نسبت به هیبرید شاهد برتری عملکرد داشت. یادآور می‌شود که عملکرد دانه‌ای هیبرید KSC400 در آبیاری SDI، در تیمار آبیاری کامل ۱٤/۸ و در تیمار ۸۰ درصد ۱٤/۱ تن در هکتار بود که برتری عملکرد در این سامانه آبیاری را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌منظور بررسی میزان تأثیر تنش رطوبتی بر گیاه ذرت انجام شد. معمولاً پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه تنها یک هیبرید را موردبررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش علاوه بر استفاده از هیبریدهای مختلف ذرت از سامانه آبیاری زیرسطحی برای آبیاری استفاده گردید.

در پژوهش‌های زیادی کم‌آبیاری در مرحله رشد زایشی ذرت باعث کاهش معنی‌دار عملکرد شده است. اما نتایج این پژوهش نشان داد که هیبریدهای مختلف ذرت در کم‌آبیاری عملکردهای متفاوتی را در تولید دانه و علوفه داشتند. هم‌چنین کم‌آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی، با استفاده از سامانه آبیاری SDI، هیچ‌گونه تأثیری بر عملکرد هیبریدهای ذرت نداشته است. این سامانه آبیاری با توزیع و نگهداشت مطلوب رطوبت در خاک و به حداقل‌رساندن تبخیر از سطح خاک، باعث افزایش رطوبت در دسترس گیاه شده که حتی در کم‌آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی، رطوبت کافی در دسترس گیاه قرار خواهد گرفت. در این پژوهش بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای کم‌آبیاری بیش‌تر از آبیاری کامل بود.

تشکر و قدردانی

از شرکت‌های بنیز تجهیز و آرین خوشه پارس که در تهیه تجهیزات، بذر و اجرای سامانه‌های آبیاری یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

1. Water Use Efficiency
2. Subsurface Drip Irrigation (SDI)

منابع

1. Adamsen, F. J. (1992). Irrigation method and water quality effects on corn yield in the mid-Atlantic coastal plain. *Agronomy Journal*, 84(5), 837-843.
2. Akbari Nodehi, D. (2017). Effect of water stress at different growth stages on yield and water use efficiency of maize. *Water and Irrigaton Management*, 7 (2), 305-318. (In Persian)
3. Alam, M., Trooien, T. P., Dumler, T. J., & Rogers, D. H. (2002). Using subsurface drip irrigation for alfalfa 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 38(6), 1715-1721.
4. Bar-Yosef, B. (1999). Advances in fertigation. *Advances in agronomy*, Agricultural Research Organization, Bet Dagan, Israel, Academic Press
5. Comas, L. H., Trout, T. J., DeJonge, K. C., Zhang, H., & Gleason, S. M. (2019). Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. *Agricultural Water Management*, 212, 433-440.
6. Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 433-446.
7. Dehghanpour, Z., Sabzi, M., Zamani, M., Mozayan, A., Hasanzadeh Moghaddam, H., Mohseni, M., Estakhr, A., Sadeghi, F., Gangei, R. (2009). 'Dehghan, A New Early-Medium Maturity Grain Maize Hybrid (KSC 400)', *Seed and Plant Improvment Journal*, 25(2), 365-368. (In Persian)
8. Derner, J., Joyce, L., Guerrero, R., & Steele, R. (2015). *USDA Northern Plains regional climate hub assessment of climate change vulnerability and adaptation and mitigation strategies*. Retrieved from T. Anderson, Eds., Department of Agriculture, United States,Website: https://www.climatehubs.usda.gov/sites/default/files/NorthernPlains_Vulnerability_Assessment_2015.pdf
9. Entz, M. H., & Fowler, D. B. (1990). Defferential Agronomic Response of Winter Wheat Cultivars to Preanthesis Environmental Stress. *Crop science*, 30(5), 1119-1123.
10. FAO. (2012). FAOSTAT Online Database. Retrieved from http://faostat.fao.org/default.aspx#ancor.
11. FAOSTAT. (2016). FAO statistical database (online). Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. Accessed 14 May 2018
12. Farre, I., & Faci, J. M. (2006). Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management*, 83(1-2), 135-143.
13. Ghadiri, H., Majidian, M. (2003). Effect of different nitrojen fertilizer levels and moisture stress during milky and dough stages on grain yield, yield components and water use efficiency of corn. *Journal of Water and Soil Science*, 7(2), 103-113. (In Persian)
14. Golbashi, M., Ebrahimi, M., Khavari Khorsandi, S., *et al*. (2010). Evaluation of morfological traits, yield and yield components of corn. *Agroecology*, 2(1), 83-93. (In Persian)

15. Irmak, S., Odhiambo, L. O., Specht, J. E., & Djaman, K. (2013). Hourly and daily single and basal evapotranspiration crop coefficients as a function of growing degree days, days after emergence, leaf area index, fractional green canopy cover, and plant phenology for soybean. *Transactions of the ASABE*, 56(5), 1785-1803.
16. Jagła, M., Szulc, P., Ambroży-Deręgowska, K., Mejza, I., & Kobus-Cisowska, J. (2019). Yielding of two types of maize cultivars in relation to selected agrotechnical factors. *Plant, Soil and Environment*, 65(8), 416-423.
17. Jolaini, M., Ganji moghaddam, E. (2017). 'Effect of surface and subsurface drip irrigation methods on yield and water use efficiency of two nectarine cultivars', *Water and Irrigation Management*, 7(2), 211-226. (In Persian).
18. Jorooni, E., Alinejadian Bidabadi, A., Maleki, A. (2017). 'Determination of crop water production function and response of total dry matter and grain yield to deficit irrigation in Maize', *Water and Irrigation Management*, 7(2), 241-256. (In Persian).
19. Lamm, F. R., & Trooien, T. P. (2003). Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas. *Irrigation Science*, 22(3-4), 195-200.
20. O'brien, D. M., Lamm, F. R., Stone, L. R., & Rogers, D. H. (2001). Corn yields and profitability for low–capacity irrigation systems. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(3), 315.
21. Plan and budget organization (2017-2018), *Sixth Socio-economic and cultural Development Plan Act of the Islamic Republic of Iran.* Retrieved from https://www.mporg.ir. (In Persian).
22. Reddy, K. S., Singh, R. M., Rao, K. V. R., & Bhandarkar, D. M. (2004). Economic Feasibility of Drip Irrigation Systems In India. *Agricultural Engineering Today*, 28(1 and 2), 65-69.
23. Rudnick, D., Irmak, S., Ray, C., Schneekloth, J., Schipanski, M., Kisekka, I., ... & West, C. (2017). Deficit irrigation management of corn in the high plains: A review. In: Proceedings of *the 29th Annual Central Plains Irrigation Conference. Burlington, Colorado,*USA, 21-22.
24. Institute Improvement Plant and Seed (1980-2017), *Research achievements*. Retrieved from http://spii.ir/fa-IR/DouranPortal/5221/page/%D8%B0%D8%B1%D8%AA. (In Persian).
25. Trout, T. J., & DeJonge, K. C. (2017). Water productivity of maize in the US high plains. *Irrigation Science*, 35(3), 251-266.
26. USDA, (2012). Production, Supply and Distribution Online Database. *Foreign Agricultural Service*. Retrieved from http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx
27. Vega, C. R., Andrade, F. H., Sadras, V. O., Uhart, S. A., & Valentinuz, O. R. (2001). Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower, and maize. *Crop Science*, 41(3), 748-754.
28. Wang Z, Li J, Hao F, Li Y. (2017). *Effects of phosphorus fertigation and lateral depths on distribution of Olsen-P in soil and yield of maize under subsurface drip irrigation*. In: Proceedings of *ASABE Annual International Meeting*. July 16-19, Sponsored by American Society of Agricultural and Biological Engineers. Spokane, Washington, 1-11
29. Wood, M. L., & Finger, L. (2006). Influence of irrigation method on water use and production of perennial pastures in northern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(12), 1605-1614.
30. Wright, C. K., & Wimberly, M. C. (2013). Recent land use change in the Western Corn Belt threatens grasslands and wetlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(10), 4134-4139.
31. Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115-133.