نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۲(۶۲)، تابستان ۱۴۰۱، صفحه ۱۶۲-۱۴۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1880528.1614

بررسی واکنش عملکرد ذرت دانه‌ای (SC 704) به تاریخ کاشت مناسب و کم آبیاری با روش آماری چند متغیره

بابک میرشکارنژاد[۱]، فرزاد پاک‌نژاد[۲]* و محمد نبی ایلکایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۰

چکیده

اقلیم خشک و نیمه‌خشک در اغلب نواحی ایران، اهمیت استفاده از روش‌های مدیریت زراعی را دوچندان کرده است. بر این اساس، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه تاریخ کاشت، (۱ اردیبهشت، ۲۱ اردیبهشت و ۱۰ خرداد) و چهار رژیم آبیاری شامل I_{100}: $100\%ET_c$، I_{80}: $80\%ET_c$، I_{60}: $60\%ET_c$ و I_{40}: $40\%ET_c$ مبتنی بر نیاز آبی گیاه ذرت طراحی شدند. بالاترین بهره‌وری اقتصادی مصرف آب به میزان ۱/۱۹ و ۱/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب به‌ترتیب در سال اول و دوم با تاریخ کاشت اول حاصل شد. تجزیه علیت نشان داد که متغیرهایی نظیر وزن بلال با تأثیر مثبت و مستقیم (۱/۲۷) و بهره‌وری بیولوژیکی مصرف آب با تأثیر مستقیم (۰/۹۳۷) از عوامل اصلی تأثیرگذار بر عملکرد دانه بودند. بر اساس آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، صفات عملکرد دانه، وزن بلال، عملکرد بیولوژیک، تعداد کل دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت تحت عنوان صفات زراعی و صفات عملکرد اقتصادی مصرف آب و عملکرد بیولوژیکی مصرف آب به‌عنوان صفات فیزیولوژیکی ذرت در مجموع ۷۰ درصد از کل تغییرات عملکرد را توجیه کردند. بنابراین، با توجه به معنی‌داری اثر متقابل تاریخ کاشت و آبیاری بر عملکرد دانه ($p \leq 0.01$)، کاشت زودهنگام ذرت دانه‌ای و مدیریت کم آبیاری با تعدیل تنش‌های غیرزنده نقش عمده‌ای در کسب عملکرد بهینه و ارتقای بهره‌وری آب آبیاری خواهند داشت.

واژگان کلیدی: بهره‌وری آب، تجزیه علیت، شاخص برداشت، صفات زراعی، وزن بلال.

۱- دانش آموخته دکتری، اداره هواشناسی کشاورزی و سینوپتیک کرج، سازمان هواشناسی، تهران، ایران.

۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

* نگارنده‌ی مسئول farzadpaknejad@yahoo.com

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یک گیاه تک لپه با مسیر فتوسنتزی از نوع گیاهان C_4 است که نسبت به گیاهان C_3 از کارآیی مصرف آب بالاتری برخوردار است. از میان تدابیر به کار گرفته شده به‌منظور بهره‌وری مصرف آب، کم آبیاری یکی از شناخته شده‌ترین روش‌ها می‌باشد که به شیوه‌ای از استعمال آب در سطحی پایین‌تر از نیاز آبی گیاه یا مصرف آب آبیاری در حد بهینه تبخیر و تعرق گیاه تعریف می‌شود. براساس این نگرش، کم آبیاری به‌عنوان آبیاری تراز شده نیز در متون علمی دیگر نام‌گذاری و تعریف شده است (Morison *et al.*, 2008). تنش کم آبیاری یکی از راه‌های افزایش کارآیی مصرف آب برای حصول عملکرد بیشتر به ازای هر واحد آب مصرف شده در کشاورزی می‌باشد (Bekele and Tilahun, 2007). بسیاری از محصولات دانه‌ای در مراحل مختلف رشدی و زایشی نسبت به تنش آبی عکس العمل منفی نشان داده و عملکرد کمتری خواهند داشت. عملکرد محصول تحت تنش آبیاری بستگی به فراهمی و زمان‌بندی کل آب قابل دسترس گیاه دارد (Payero *et al.*, 2009). نتایج اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری بر صفات زراعی گلرنگ ثابت کرد که تنش خشکی از طریق کاهش فتوسنتز جاری و متعاقباً کوتاه شدن دوره پرشدن دانه منجر به وزن کمتر دانه شد (Fanaei *et al.*, 2017).

از میان عوامل اصلی تأثیرگذار بر تولید ذرت، تاریخ کاشت به‌عنوان یکی از عوامل مهم و قابل بحث در پتانسیل عملکرد ذرت شناخته می‌شود. به‌علاوه از بین هیبریدهای شناخته شده ذرت بر حسب تفاوت در رسیدگی فیزیولوژیکی و نمو فنولوژیکی، هیبریدهای دیررس به نسبت بیشتری تحت تأثیر منفی تاریخ کاشت دیرهنگام قرار می‌گیرند (Nielson *et al.*, 2002).

یکی از اهداف تعیین تاریخ کاشت ذرت یافتن زمانی است که پس از آن گیاه بتواند حداکثر استفاده مطلوب را از تمام عوامل اقلیمی نموده و در عین حال در برابر شرایط و عوامل نامساعد محیطی مقاوم بوده و ایمن بماند. تحقیقات ثابت کرد که بیشترین عملکرد دانه ذرت در هیبریدهای دیررس و متوسطرس در تاریخ‌های کاشت به‌موقع به‌دست می‌آید و تأخیر در کاشت موجب افزایش درصد چوب بلال و کاهش اجزای عملکرد می‌شود (Berzsenyi and Lap, 2005). تاریخ کاشت دیرهنگام با اثر نامطلوب بر محتویات رطوبتی بذر در دوره تنش خشکی بیشترین نقش را در کاهش عملکرد گیاه داشت (Akinnuoye-Adelabu and Modi, 2017). با تأخیر در تاریخ کاشت ذرت، متوسط کاهش عملکرد به میزان ۵۵ درصد در کشت دیم و ۲۱ درصد در کشت آبی ذرت برای تمامی هیبریدهای مورد آزمایش گزارش شد (Soler *et al.*, 2007). بر اساس نتایج محققان دیگر، کمترین مقادیر عملکرد دانه ذرت در تاریخ کاشت دیرتر و در زمان پر شدن دانه گزارش گردید (Tsimba *et al.*, 2013).

بخش کشاورزی با پتانسیل تولید تقریباً ۵۰٪ از کل نیاز غذایی دنیا و در عین حال مصرف بیش از ۸۰٪ از آب قابل دسترس در مناطق خشک و نیمه خشک به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف کننده اصلی آب در کشورهای در حال توسعه شناخته می‌شود (Strzepek and Boehlert, 2010). افزایش رو به رشد جمعیت و تهدید امنیت غذایی تحت تأثیر پیامدهای منفی تغییر اقلیم جهانی، ضرورت ارتقای کارآیی مصرف آب در کشاورزی مبتنی بر آبیاری‌های برنامه‌ریزی شده را یک مسئله غیرقابل اجتناب کرده است. بنابراین

اهداف مدیریت زراعی این تحقیق بر اساس: شناسایی آن دسته از صفاتی که نقش مؤثر و تعیین کننده در عملکرد ذرت دانه‌ای تحت شرایط تنش کم آبیاری داشته‌اند، و انتخاب تاریخ کاشت مناسب و استفاده مؤثر از آب آبیاری در دوره نمو ذرت که از عوامل اصلی تدابیر سازگاری در زمان بحران خشکی بوده‌اند، برنامه‌ریزی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در شهر کرج اجرا شد. مکان آزمایش در عرض جغرافیایی ´۴۶ ۳۵ شمالی، طول جغرافیایی ´۵۶ ۵۰ شرقی و ارتفاع ۱۲۹۳ متر از سطح دریا واقع شده است. منطقه کرج با بارش متوسط سالانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر، میانگین دمای ۱۴/۴ درجه سلسیوس و متوسط تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی متر از نظر خصوصیات اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی می‌شود. میانگین تعدادی از متغیرهای اقلیمی اندازه‌گیری شده در دوره رشد ذرت در شکل ۱ ارایه شده است.

با توجه به تجزیه نمونه خاک (جدول ۱)، ۱۵۶ کیلوگرم کود فسفر هنگام آماده‌سازی زمین و ۵۰ درصد از نیتروژن کل مورد نیاز معادل ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره در زمان کاشت و مابقی آن به صورت سرک در مرحله ۸-۷ برگی به خاک اضافه شد. واحدهای آزمایشی به تعداد ۳۶ کرت به ابعاد ۳ × ۵ متـر و با فاصله ۱/۵ متـر بین کرت‌ها آماده‌سازی شد. کاشت ذرت دانه‌ای (SC 704) با تراکم ۷۰۰۰۰ بوته در هکتار به‌روش جوی و پشته به‌صـورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاصله ردیف‌ها ۷۰ سانتی‌متر و فاصله دو بـوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه تاریخ کاشت (یکم اردیبهشت، بیست و یکم اردیبهشت و دهم خرداد) در کرت‌های اصلی و ۴ رژیم آبیاری (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و۴۰ درصد) حاصل از برآورد نیاز آبی گیاه به‌عنوان رژیم‌های آبیاری :I_{100} 100%ET_c, I_{80}: 80%ET_c, I_{60}: 60%ET_c و I_{40}: 40%ET_c در کرت‌های فرعی طراحی شدند. آبیاری تا مرحله ۶ برگی گیاهچه‌ها به‌صورت بارانی و سپس با استفاده از کنتور آب انجام شد.

مقدار آب ورودی به هر کرت با تخمین حجم آب آبیاری از تبخیر و تعرق واقعی (ET_c) که از حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در ضریب گیاهی (K_c) به‌دست می‌آید، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

رابطه ۱: $$ET_c=ET_0 \times K_c$$

که در آن: ET_c تبخیر و تعرق گیاه در شرایط استاندارد بر حسب میلی‌متر در روز، ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر در روز و K_c ضریب گیاهی می‌باشند. محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) با ثبت داده‌های تبخیر هفتگی قرائت شده از تشت تبخیر کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی کرج انجام شد. بر اساس مطالعات پیشین، مقادیر ضریب گیاهی (K_c) در چهار مرحله رشدی گیاه ذرت (مرحله آغازین، مرحله نمو، گلدهی و مرحله پر شدن دانه) به‌ترتیب به میزان ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲ و ۰/۶ در نظر گرفته شد (Abedinpour, 2015).

حجم آب ورودی به هر کرت پس از شروع اعمال تیمارهای تنش کم آبیاری، با جمع داده‌های تبخیر از ایستگاه سینوپتیک کرج و با استفاده از رابطه (۲) برآورد گردید (Howell, 2003).

رابطه ۲: $$In = \frac{0.623 \times A \times Kc \times ET0}{IE}$$

که در آن: In حجم آب آبیاری بر حسب متر مکعب، (۰/۶۲۳) ضریب ثابت معادله، A مساحت سطح کرت بر حسب متر مربع، K_c معرف ضریب گیاهی، ET_o تبخیر و تعریق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر در روز می‌باشد که برای تسهیل و تطابق با واحدهای دیگر در سیستم متریک SI به واحد متر تبدیل شد. به‌علاوه، IE در مخرج کسر نشان دهنده راندمان آبیاری ذرت بود که به‌میزان ۰/۷۰ تعیین شد.

به‌منظور اعمال تنش‌های کم آبیاری و کنترل حجم آب ورودی به هر کرت از کنتور سنجش آب استفاده شد. به‌نحوی‌که بر اساس حجم آب آبیاری به‌دست آمده از رابطه ۲، دور کنتور محاسبه و تنظیم گردید. مقدار کل آب استفاده شده در دوره رشد گیاه در جدول ۲ ارایه شده است. به‌دلیل بارش‌های کمتر و تبخیر و تعرق بیشتر در سال دوم حجم کل آبیاری‌ها در سال دوم کمی بیشتر از سال اول برآورد گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد و تعیین برخی از صفات زراعی ذرت پس از رسیدگی کامل گیاه و با ظاهر شـدن لایه سیاهرنگ در قاعده دانه‌های بلال، ده بوته از دو ردیف مجاور به‌طور تصادفی کف‌بر شدند، سپس هر بوته به قطعات برگ، ساقه و بلال جداسازی و نمونه‌های مربوط به هر تیمار در دستگاه خشک‌کن با درجه حرارت ۷۵ درجه سلسیوس به‌مـدت ۴۸ سـاعت رطوبت‌زدایی گردیده و در نهایت وزن خشک نمونه‌ها بر حسب گرم اندازه‌گیری شدند. همچنین، وزن بلال‌های برداشت شـده و وزن دانه‌های مربوط به هر تیمار پس از خشک شدن در دستگاه و در حد رطوبت ۱۵ درصد تعیین گردید. در پایان شاخص برداشت (HI) با استفاده از رابطه (۳) و بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب (Water productivity of irrigation based on GY/BY) با استفاده از رابطه‌های (۴) و (۵) محاسبه شدند.

رابطه (۳) $$HI = (GY/BY) \times 100$$

رابطه (۴) $$WPI = (GY/I)$$

رابطه (۵) $$WPI = (BY/I)$$

که در آن HI شاخص برداشت بر حسب درصد، WPI بهره‌وری آب آبیاری بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، GY عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، BY عملکرد بیولوژیک بر حسب کیلوگرم در هکتار و I مقدار آب مصرف شده بر حسب متر مکعب می‌باشند. به‌علاوه، WP_{ETc} معادل بهره‌وری آب بر اساس تبخیر و تعرق گیاه بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب به کمک رابطه (۶) ارزیابی گردید.

رابطه (۶) $$WPETc = (GY/ETc)$$

که در آن GY عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم و ET_c تبخیر و تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شدند.

نرمال بودن داده‌های حاصل از این پژوهش دو ساله با کمک روش‌های متداول آماری مورد بررسی قرار گرفت. سپس به روش آماری چند متغیره با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل آماری انجام و متغیرهای منتخب برای ورود به معادله رگرسیونی تعیین شدند. به علاوه با استفاده از نرم‌افزار Path2 معنی‌داری و همبستگی متغیرها و میزان تاثیرگذاری هر متغیر مشخص گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در آنالیز طرح‌های آزمایشی شرط آزمون

مرکب آن است که واریانس چند آزمایش با هم برابر باشند. بنابراین، اگر طرح آزمایشی در دو منطقه یا سال‌های مختلف معنی‌دار شد اطلاعات آماری را در هم ادغام و آزمایش را تجزیه و تحلیل می‌کنند. در این آزمایش آزمون بارتلت نشان دهنده تفاوت بین واریانس خطاها در دو سال آزمایش بود که در این حالت محقق اجازه آزمون مرکب را نداشته و به‌دلیل معنی‌دار نبودن اثر سال تجزیه واریانس هر سال به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در اکثر صفات اندازه‌گیری شده بین تیمارهای تنش آبیاری تفاوت معنی‌دار ($p \leq 0.01$) وجود داشت (جداول ۳ و ۴). از نظر عامل آزمایشی تاریخ کاشت، صفات عملکرد بیولوژیک و بهره‌وری بیولوژیکی مصرف آب در سال اول و صفت عملکرد دانه در سال دوم در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار شدند. اثرات متقابل بین تاریخ کاشت و آبیاری در سال اول فقط برای وزن بلال در سطح احتمال خطای ۵ درصد و در سال دوم برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال خطای ۱ درصد و برای صفات وزن هزار دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود.

صفت تعداد دانه نیز از نظر عامل آبیاری در هر دو سال آزمایش معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$). این نتایج حاکی از آن است که تنش شدید خشکی ضمن تاثیر منفی بر عملکرد دانه و ماده خشک تولیدی با اختلال در تسهیم کربوهیدرات به دانه موجب کاهش شاخص برداشت می‌شود. نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Abasi Sadr *et al.*, 2018).

مقایسه میانگین صفات

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، کمترین عملکرد دانه به‌میزان ۴۱۵۰ و ۳۵۸۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک به میزان ۱۴۳۵۴ و ۱۳۵۶۴ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در سال اول و دوم در تیمار تنش کم آبیاری حاصل از ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه (I_{40}) ثبت گردید.

تنش خشکی و افزایش دما با تأثیر منفی بر روند پر شدن دانه‌ها نقش تعیین کننده در اندازه و وزن دانه داشتند که در انتها منجر به کاهش عملکرد دانه به‌میزان ۴۴ و ۴۹ درصد در عامل کم آبیاری I_{40} در مقایسه با عامل آبیاری I_{100} به‌ترتیب در سال اول و دوم شد. همچنین، با تأخیر در کاشت، کاهش عملکرد به‌میزان ۲۲ و ۱۶ درصد برای ذرت دانه‌ای تحت تاریخ کاشت دهم خرداد (PD_3) به‌ترتیب در سال اول و دوم اندازه‌گیری شد (جداول ۵ و ۶). براساس نتایج افشاری و همکاران (Afshari *et al.*, 2021)، بیشترین میزان فتوسنتز جاری و عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کمترین عملکرد دانه در تیمار قطع آبیاری حاصل شد.

میزان مواد ساخته شده جدید برای رشد گیاه در روز علاوه بر شدت تنش کم آبی و دمای هوا به غلظت CO_2 اتمسفری نیز وابسته می‌باشد. در تعدادی از تحقیقات به کاهش عملکرد به علت بسته بودن روزنه‌ها متأثر از آماس سلول‌های روزنه نیز اشاره شده است، چرا که مقدار دی‌اکسیدکربن جذب شده توسط برگ میزان فتوسنتز را کنترل می کند (Lizaso, 2017). محققان دیگر اظهار داشتند که با افزایش تنش آبی پتانسیل آب برگ در ذرت به‌طور فزاینده‌ای منفی شده و عملکرد دانه و ماده خشک کاهش می‌یابد. کمبود آب از یک سو با تأثیر بر مقدار سطح برگ تراز فعال فتوسنتزی را کاهش داده و از سوی دیگر با افت

محتوای رطوبت نسبی برگ زمینه کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ را فراهم می‌کند (Abrokwah *et al*., 2017).

به‌نظر می‌رسد ذرت‌های کاشته شده در تاریخ کاشت اول (یکم اردیبهشت) با دوره رشد طولانی‌تر و متعاقباً تجمع بیشتر درجه روز رشدی از پتانسیل عملکرد بالاتری در تلقیح مناسب گلچه‌ها و تولید بلال‌هایی با وزن بیشتر نسبت به تاریخ کاشت‌های دوم و سوم برخوردار بودند. کمترین مقادیر شاخص برداشت به‌میزان ۲۸/۷۶ و ۲۶/۳۴ درصد به‌ترتیب در سال اول و دوم در رژیم کم آبیاری (I_{40}) حاصل شدند. هرچند بیشترین مقادیر شاخص برداشت به‌میزان ۳۹/۰۲ و ۳۶/۲۸ به‌ترتیب در سال اول و دوم در تاریخ کاشت اول (یکم اردیبهشت) اتفاق افتاد.

دوره رسیدگی کوتاه‌تر ذرت‌ها تحت شرایط تنش خشکی و در نتیجه پتانسیل کمتر گیاه در تبدیل بیوماس به دانه‌های در حال توسعه از دلایل اصلی کاهش شاخص برداشت در تاریخ کاشت دیرتر (دهم خرداد) بودند. واکنش گیاه به کم آبی با تغییر گونه گیاهی، فاز نموی، درجه و مدت تنش آبی متفاوت خواهد بود (Lisar, *et al*., 2012). پژوهش‌های پیشین دلیل افزایش شاخص برداشت و عملکرد دانه در غلات را با توزیع بالقوه انتقال مجدد مواد خشک از ذخایر این مواد به دانه‌های در حال توسعه مرتبط کرده است (Yang *et al*., 2002). در مقابل دیپائولو و رینالدی (Di Paolo and Rinaldi, 2008) شاخص برداشت بیشتر را با تیمار تنش کم آبی متوسط حاصل از ۵۰ درصد تبخیر و تعرق ($50\%ET_c$) و شاخص برداشت متوسط را با تیمار آبیاری بدون تنش ($100\%ET_c$) گزارش کردند.

عملکرد دانه

اثر متقابل تاریخ کاشت و آبیاری به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) عملکرد دانه را در سال دوم تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). عملکرد دانه به شدت تحت تأثیر عامل تنش آبی ۴۰ درصد در هر سه تاریخ کاشت قرار گرفت. با تأخیر در کاشت (دهم خرداد) و نامساعد شدن عوامل تنش‌زا اعم از نور، دما و سرعت تبخیر در نتیجه کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد گیاه، وزن بلال افت و عملکرد نهایی کاهش یافت (شکل ۲). بر اساس تحقیقات انجام شده، افزایش شدت دما و تنش کم آبی با تأثیر منفی بر تعداد برگ و دوره رشد رویشی و زایشی گیاه منجر به کاهش انتقال مواد خشک از ساقه به دانه و عملکرد پایین ذرت شد (Kiziloglu *et al*., 2009). همچنین، مطالعات دیگر نشان داد که تشدید تنش آبی و کاهش نور دریافتی در مرحله شیری ذرت متأثر از تاریخ کاشت دیرتر موجب ریزش برگ‌های پایین‌تر، تولید کمتر بیوماس و افت عملکرد دانه گردید (Cakir, 2004).

بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب

در این آزمایش بالاترین بهره‌وری اقتصادی مصرف آب به‌ترتیب به‌میزان ۲۳ و ۱۵ درصد و بیشترین بهره‌وری بیولوژیکی مصرف آب به میزان ۴۷ و ۴۴ درصد در سال اول و دوم در تیمار آبیاری تنش معادل ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه (I_{40}) نسبت به تیمار آبیاری بدون تنش (I_{100}) اندازه-گیری شدند (جدول ۵ و ۶). تغییرات میانگین بهره‌وری آب بر اساس تبخیر و تعرق گیاه در سال اول بین ۰/۲۸ تا ۰/۵۰ و در سال دوم بین ۰/۳۱ تا ۰/۶۱ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد (شکل ۳). بنابراین، با توجه به ثبت بالاترین مقادیر بهره‌وری اقتصادی مصرف آب در تاریخ کاشت اول (۱/۱۹ و ۱/۰۱) و شرایط اقلیمی مطلوب در ماه اردیبهشت (شکل ۱)، به‌نظر می‌رسد ذرت‌های زودتر کاشته شده (یکم اردیبهشت) با

دوره رشدی طولانی‌تر در استفاده از شرایط رشدی مطلوب در ابتدای فصل رویش از توانایی بیشتری برای تولید دانه‌هایی با وزن بالاتر در ازای آب مصرف شده در قیاس با تاریخ کاشت‌های دوم و سوم (بیست و یکم اردیبهشت و دهم خرداد) برخوردار باشند. زمانی که گیاه تحت تأثیر تنش آبی قرار می گیرد غیرقابل دسترس شدن آب برای ریشه ها و شدت تعرق، میزان جذب آب توسط گیاه را افزایش می دهد که این فرایند اثرات منفی بر رشد، عملکرد، استحکام غشاء، محتویات رنگدانه، تنظیم اسمزی، نیاز آبی و فعالیت فتوسنتزی خواهد داشت (Praba *et al.*, 2009).

تجزیه علیت

بر اساس نتایج مندرج در جدول ۷، وزن بلال با اثرات مستقیم (۱/۲۷، ۰/۹۹۹ و ۰/۷۳۴) به‌ترتیب تحت تیمارهای I_{100}، I_{80} و I_{40} بیشترین سهم را در تعیین عملکرد نهایی بر عهده داشت. وزن بلال با تأثیر مستقیم به‌میزان ۱/۲۷ و اثرات غیرمستقیم به‌میزان ۰/۲۳۷- و ۰/۳۵۵- به‌ترتیب از طریق عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت عامل آبیاری بدون تنش (I_{100}) در مجموع ۰/۶۸ از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. از سوی دیگر وزن بلال همراه با متغیرهای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در مجموع ۰/۷۹ از کل تغییرات عملکرد را از طریق مستقیم و غیرمستقیم در تیمار تنش کم آبیاری I_{40}، توجیه کرد. همچنین، تاثیر مستقیم مثبت و منفی به میزان ۰/۹۳۷ و ۰/۶۹۵- به‌ترتیب از طریق بهره‌وری بیولوژیکی مصرف آب و عملکرد بیولوژیک بر عملکرد دانه تحت عامل کم آبیاری I_{60} حاصل شد. به‌علاوه تاثیر غیرمستقیم و مثبت به‌میزان ۱/۰۵۴ از طریق عملکرد بیولوژیک بر عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. ارتباط مستقیم مصرف آب با عملکرد دانه و تنش کم آبی حاصل از ۶۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه از دلایل اصلی اثرگذاری بیشتر متغیرهای بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب بر عملکرد دانه نسبت به وزن بلال و عملکرد بیولوژیک تحت عامل کم آبیاری ۶۰ درصد (I_{60}) به‌شمار می‌رود. به‌نظر می‌رسد افزایش تولید بیوماس و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه متأثر از تبخیر و تعرق گیاه ذرت تحت تنش کم آبی تا یک حد اپتیمم از نیاز آبی گیاه ($60\%ET_c$) منجر به بهبود بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیکی مصرف آب در گیاه می‌شود. هرچند ادامه تنش کم آبی بعد از این مرحله دیگر تأثیری بر افزایش بهره‌وری مصرف آب نخواهد داشت. نتایج این آزمایش با نتایج تحقیقات پیشین مشابهت داشت (Fereres and Soriano, 2006).

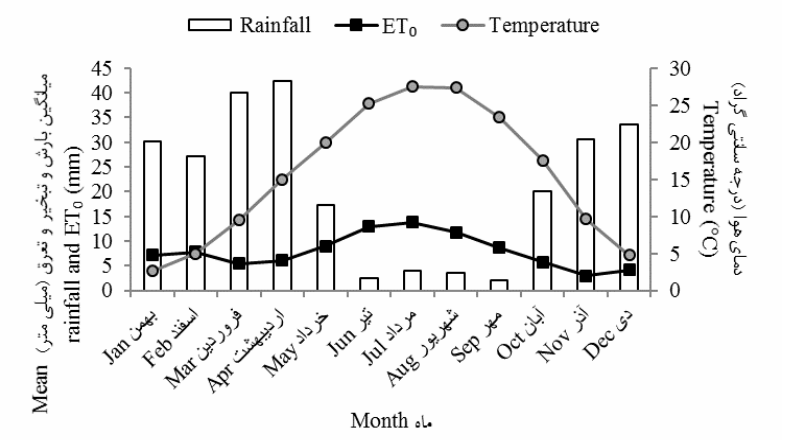
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

بر اساس نتایج این آزمایش مؤلفه‌های اول و دوم با داشتن مقادیر ویژه بیشتر در مجموع ۷۰ درصد از کل تغییرات واریانس را توجیه نمودند. مؤلفه اول با مقدار ویژه ۹/۵ و واریانس ۵۹ درصد و مؤلفه دوم با مقدار ویژه ۱/۷ و واریانس ۱۱ درصد نقش مهمی در تغییرات عملکرد نهایی داشتند (جداول ۸ و ۹). صفاتی نظیر عملکرد دانه، وزن بلال، عملکرد بیولوژیک، تعداد کل دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در مؤلفه اول قرار گرفتند. مؤلفه دوم نیز که ۱۱ درصد از کل تغییرات را شامل شد، دارای بزرگ‌ترین ضرایب عاملی روی صفاتی مانند عملکرد اقتصادی مصرف آب و عملکرد بیولوژیکی مصرف آب بود. بنابراین، هرگونه اقدام اصلاحی جهت افزایش عملکرد ذرت دانه‌ای تحت شرایط مشابه مستلزم گزینش صفات زراعی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در این آزمایش به‌عنوان اصلی‌ترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد نهایی می‌باشد. با استفاده از آزمون چند

متغیره، محققان دیگر در ذرت دانه‌ای، ۸ مؤلفه را که بیش از ۸۸ درصد از تغییرات واریانس موجود را توجیه کرده بود شناسایی کردند (Golbashi *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی تغییر در نسبت ماده خشک و نمو فنولوژیکی ذرت دانه‌ای تحت اثر متقابل بین تاریخ کاشت و آبیاری و متعاقباً همزمان شدن دوره پرشدن دانه با تنش خشکی موجب کاهش عملکرد ذرت‌های کاشته شده در تاریخ کاشت دیرتر (دهم خرداد) شد. صفات زراعی و فیزیولوژیکی معرفی شده طی مراحل مختلف آزمون‌های چند متغیره نقش مثبت و تعیین کننده‌ای تحت تیمارهای مختلف آبیاری در توجیه پتانسیل عملکرد نهایی داشتند. بالاترین مقادیر عملکرد دانه به‌میزان ۶۶۱۳ و ۵۷۷۰ کیلوگرم در هکتار و بیشترین بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱/۱۹ و ۱/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب با تاریخ کاشت اول به‌ترتیب در سال اول و دوم آزمایش حاصل شد. این نتایج تصریح کرد که کاشت زودهنگام ذرت دانه‌ای (یکم اردیبهشت) با توجه به دوره رشد طولانی‌تر با تسهیل انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از منابع رویشی به گیرنده‌های این مواد در مراحل زایشی از نظر استفاده مؤثر از آب آبیاری و تولید دانه‌هایی با وزن بالاتر از برتری بالقوه بیشتری نسبت به تاریخ کاشت‌های دیگر برخوردار بود. در این تحقیق با کاهش نیاز آبی گیاه راندمان مصرف آب افزایش یافت ولی عملکرد کاهش یافت. بنابراین، باید بدنبال بیشترین راندمان مصرف آب و نه بالاترین عملکرد بود. با توجه به دماهای پایین‌تر در ابتدای فصل رشد، اتلاف کمتر آب از طریق تبخیر سطحی و دوره رشد طولانی‌تر ذرت دانه‌ای تحت تاریخ کاشت اول، توصیه می‌شود تولید کنندگان با اعمال شیوه کم آبیاری به‌نحوی آب قابل دسترس گیاه را مدیریت کنند که در ازای حداقل مقدار آب مصرف شده بیشترین عملکرد ممکن قابل بهره‌برداری باشد.



شکل ۱- میانگین فصلی مقادیر بارش، تبخیر و تعرق و دمای هوا در دوره رشد گیاه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵

Figure 1- Seasonal average of rainfall, ET_o and air temperature during crop life cycle in 2015-16

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش

Table 1- Some physical and chemical characteristics of soil in the experimental site

سال Year	عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dSm^{-1})	درصد رطوبت اشباع Sp (%)	اسیدیته خاک pH	ازت کل N (%)	فسفر قابل جذب P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب K ($mg.kg^{-1}$)	درصد کربن آلی O.C (%)
۱۳۹۵ 2015	0-30	2.53	39.8	8.3	0.08	6.3	203	0.71
۱۳۹۶ 2016	0-30	1.58	38.2	8.5	0.09	7	207	0.75

جدول ۲- تبخیر و تعرق کل و حجم کل آب استفاده شده برای هر تیمار آبیاری

Table 2- Total evapotranspiration (ET_o) and the whole volume of water applied per irrigation treatment

سال Year	تبخیر و تعرق کل Total ET_0 (mm)	حجم کل آب استفاده شده برای رژیم‌های آبیاری Total water volume applied for irrigation regimes (m^3/ha)			
		$40\%ET_c$	$60\%ET_c$	$80\%ET_c$	$100\%ET_c$
۱۳۹۵ 2015	973	3453	4949	6446	7942
۱۳۹۶ 2016	1013	3496	4994	6492	7990

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی از صفات ذرت در سال اول

Table 3- Analysis of variance (mean squares) for some traits of maize in the firs year

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن بلال Ear weight	وزن هزاردانه 1000-KW	تعداد دانه Grain number	شاخص برداشت HI	بهره وری اقتصادی مصرف آب WPI_{EY}	بهره وری بیولوژیکی مصرف آب WPI_{BY}
تکرار rep	2	4545646^{*}	2580792^{*}	5502825.58^{*}	1292^{ns}	7697^{ns}	95.18^{*}	0.16^{*}	0.08^{ns}
تاریخ کاشت (a)	2	7045481^{*}	10174702^{**}	4968768^{*}	7895^{*}	1827^{ns}	93.12^{*}	0.24^{**}	0.37^{**}
E(a)	4	558024	393754	690436.58	1181	15512	13.09	0.02	0.02
آبیاری (b)	3	18468264^{**}	18569700^{**}	24334868.99^{**}	9341^{**}	99715^{**}	304.82^{**}	0.12^{**}	6.50^{**}
تاریخ کاشت × آبیاری (a×b)	6	116965^{ns}	110349^{ns}	363212.85^{*}	598^{ns}	519^{ns}	2.53^{ns}	0.01^{ns}	0.01^{ns}
E(b)	18	81276	223348	105766.1	304	1283	2.78	0.004	0.008
ضریب تغییرات (%) C.V.		4.9	3	4.7	8.8	8.8	4.6	6.3	3.1

ns غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵٪ و ۱٪ .

ns= non significant, * and ** significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی از صفات ذرت در سال دوم

Table 4- Analysis of variance (mean squares) for some traits of maize in the second year

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن بلال Ear weight	وزن هزاردانه 1000-KW	تعداد دانه Grain number	شاخص برداشت HI	بهره وری اقتصادی مصرف آب WPI_{EY}	بهره وری بیولوژیکی مصرف آب WPI_{BY}
تکرار rep	2	1689770^{**}	346185^{ns}	2246267.11^{**}	518^{ns}	7729^{ns}	54.88^{**}	0.06^{*}	0.02^{ns}
تاریخ کاشت (a)	2	2289997^{**}	2420239^{*}	733344.44^{*}	1452^{*}	2479^{ns}	51.48^{*}	0.07^{*}	0.07^{*}
E(a)	4	95435	241130	96362.82	160	3733	4.82	0.005	0.008
آبیاری (b)	3	20907556^{**}	23247776^{**}	16124864.62^{**}	14820^{**}	64126^{**}	370.88^{**}	0.04^{**}	5.11^{**}
تاریخ کاشت × آبیاری (a×b)	6	403322^{**}	470711^{ns}	153472.15^{ns}	845^{*}	192^{ns}	9.44^{*}	0.008^{ns}	0.01^{ns}
E(b)	18	75571	194915	187595.69	310	826	2.81	0.004	0.007
ضریب تغییرات(%) C.V.		5.2	2.9	6.8	9.2	6.7	4.9	6.8	3.1

ns غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵٪ و ۱٪.

ns= non significant, * and ** significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده ذرت در سال اول

Table 5- Means comparison for measured traits of maize in the first year

صفات ذرت Maize traits		عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	وزن بلال Ear weight ($kg.ha^{-1}$)	وزن هزاردانه 1000-KW (g)	تعداد کل دانه Total grain number	شاخص برداشت Harvest index (%)	بهره وری اقتصادی مصرف آب WPI_{EY} ($kg.m^{-3}$)	بهره وری بیولوژیکی مصرف آب WPI_{BY} ($kg.m^{-3}$)
سطوح آبیاری Irrigation levels	I_{40}	4150^{d}	14354^{d}	5177^{d}	165.55^{c}	304^{d}	28.76^{d}	1.20^{a}	4.16^{a}
	I_{60}	5038^{c}	14885^{c}	5774^{c}	180.33^{c}	350^{c}	33.76^{c}	1.02^{b}	3.01^{b}
	I_{80}	6446^{b}	16643^{b}	7873^{b}	203.78^{b}	421^{b}	38.53^{b}	1.00^{b}	2.58^{c}
	I_{100}	7364^{a}	17398^{a}	8613^{a}	239.44^{a}	546^{a}	42.16^{a}	0.92^{c}	2.19^{d}
تاریخ های کاشت Planting dates	PD_1	6613^{a}	16724^{a}	7599^{a}	211.50^{a}	417^{a}	39.02^{a}	1.19^{a}	3.15^{a}
	PD_2	5484^{b}	15853^{b}	6547^{b}	212.67^{a}	406^{a}	34.20^{b}	0.98^{b}	2.99^{b}
	PD_3	5151^{b}	14883^{c}	6431^{b}	167.67^{b}	393^{a}	34.19^{b}	0.92^{b}	2.80^{c}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشابه در سطح احتمال خطای ۵٪ اختلاف معنی‌دار آماری با هم ندارند.

Means within the same column followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.05$).

I_{100}, I_{80}, I_{60} and I_{40} are irrigation treatments. PD= Planting date, KW= Kernel weight, WPI_{EY}/WPI_{BY}= Water productivity of economical/biological yields.

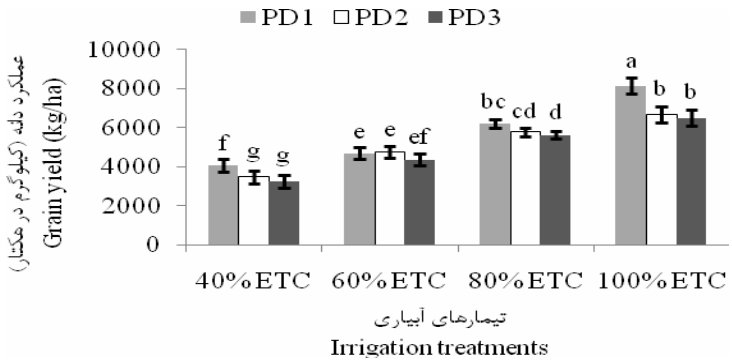
جدول ۶- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده ذرت در سال دوم

Table 6- Means comparison for measured traits of maize in the second year

صفات ذرت Maize traits		عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	وزن بلال Ear weight ($kg.ha^{-1}$)	وزن هزاردانه 1000-KW (g)	تعداد کل دانه Total grain number	شاخص برداشت Harvest index (%)	بهره وری اقتصادی مصرف آب WPI_{EY} ($kg.m^{-3}$)	بهره وری بیولوژیکی مصرف آب WPI_{BY} ($kg.m^{-3}$)
سطوح آبیاری Irrigation levels	I_{40}	3589^{d}	13564^{d}	4849^{d}	151.40^{d}	337^{d}	26.34^{d}	1.03^{a}	3.88^{a}
	I_{60}	4597^{c}	14690^{c}	5808^{c}	171.40^{c}	391^{c}	31.25^{c}	0.92^{b}	2.94^{b}
	I_{80}	5860^{b}	15851^{b}	6936^{b}	197.40^{b}	460^{b}	37.00^{b}	0.90^{b}	2.44^{c}
	I_{100}	7099^{a}	17318^{a}	7927^{a}	245.30^{a}	531^{a}	40.96^{a}	0.88^{b}	2.16^{d}
تاریخ های کاشت Planting dates	PD_1	5770^{a}	15628^{a}	6617^{a}	203.58^{a}	446^{a}	36.28^{a}	1.01^{a}	2.91^{a}
	PD_2	5168^{b}	15601^{a}	6399^{ab}	188.50^{b}	425^{a}	32.70^{b}	0.91^{b}	2.89^{a}
	PD_3	4921^{b}	14837^{b}	6124^{b}	182.16^{b}	418^{a}	32.69^{b}	0.87^{b}	2.76^{b}

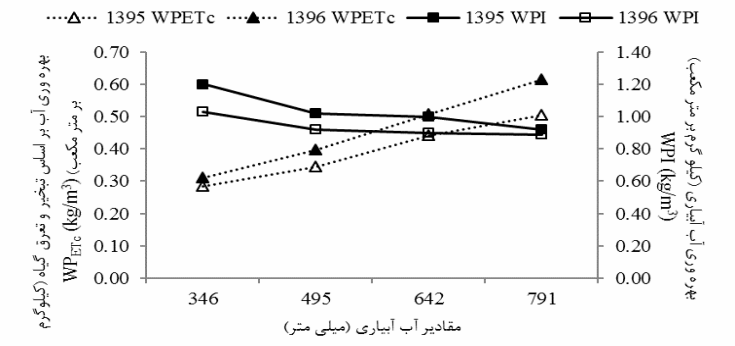
در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشابه در سطح احتمال خطای ۵٪اختلاف معنی‌دار آماری با هم ندارند.

Means within the same column followed by the same letters are not significantly different ($p < 0.05$).
I_{100}, I_{80}, I_{60} and I_{40} are irrigation treatments. Planting date, KW= Kernel weight, WPI_{EY}/WPI_{BY}= Water productivity of economical/biological yields.



شکل ۲- اثرات متقابل آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه در سال دوم

Figure 2- The interactions of planting date and irrigation level on grain yield in the second year



شکل ۳- ارتباط بهره‌وری آب بر اساس تبخیر و تعرق گیاه (WP_{ETc}) و بهره‌وری آب آبیاری (WIP) با آب مورد نیاز گیاه در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

Figure 3- Relationship between water productivity over the actual evapotranspiration (WP_{ETc}) and water productivity of irrigation (WPI) with water applied during maize growth period in 2015 and 2016 years

خطوط نقطه چین بهره‌وری آب بر اساس تبخیر و تعرق گیاه و خطوط ممتد بهره‌وری آب آبیاری می‌باشند.

The dotted lines are WP_{ETc} and the solid lines are WPI.

جدول ۷- میزان تاثیرگذاری متغیرهای غیروابسته درعملکرد دانه بر اساس تجزیه علیت برای دو سال آزمایش
Table 7- Effectiveness values of independent variables on grain yield based on path analysis for both years

سطوح آبیاری Irrigation levels	متغیر های مؤثر بر عملکرد دانه Effective factors on grain yield	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect by			کل Total	ضریب همبستگی Correlation coefficient	اثر باقی مانده Residual effect
			1	2	3			
I_{100}	وزن بلال Ear weight	1.27	-	-0.355	-0.237	0.68	0.83	0.179
	عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.428	1.054	-	-0.398	0.23	0.41	
	شاخص برداشت Harvest index	-0.577	0.521	-0.295	-	-0.35	0.68	
I_{80}	وزن بلال Ear weight	0.999	-	-0.213	-0.068	0.72	0.67	0.21
	عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.317	0.669	-	-0.233	0.11	0.13	
	شاخص برداشت Harvest index	-0.518	0.129	-0.143	-	-0.53	0.72	
I_{60}	عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.695	-	0.145	0.618	0.07	0.25	0.147
	بهره وری اقتصادی مصرف آب WP_{EY}	0.582	-0.174	-	0.29	0.69	0.66	
	بهره وری بیولوژیکی مصرف آب WP_{BY}	0.937	-0.459	0.18	-	0.66	0.07	
I_{40}	وزن بلال Ear weight	0.734	-	-0.07	0.124	0.79	0.32	0.157
	عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.216	0.235	-	0.1	0.11	-0.21	
	شاخص برداشت Harvest index	-0.593	-0.155	0.036	-	-0.71	0.79	

جدول ۸- مقادیر ویژه و واریانس‌های مؤلفه‌های اصلی برای صفات ذرت در هر دو سال
Table 8- Eigen values and variances of principle components of sorne traits in both years

مؤلفه Component	مقدار ویژه Eigenvector	درصد واریانس نسبی Relative variance (%)	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance (%)
مؤلفه اول (PC1)	9.5	59	59
مؤلفه دوم (PC2)	1.7	11	70

جدول ۹- مقادیر ویژه متغیرهای اندازه‌گیری شده در دو مؤلفه اول از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای دو سال آزمایش
Table 9- Eigenvector of measured variables in the first two principal components for both years

متغیرها (Variables)	مؤلفه ها (Components)	
	مؤلفه اول (PC1)	مؤلفه دوم (PC2)
عملکرد دانه (Grain yield)	0.31	0.17
وزن بلال (Ear weight)	0.30	0.13
عملکرد بیولوژیک (Biological yield)	0.29	0.16
تعداد کل دانه (Total number of grain)	0.28	-0.14
وزن هزار دانه (Kernel weight-1000)	0.26	0.14
شاخص برداشت (Harvest index)	0.30	0.16
بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (WP_{EY})	-0.04	0.69
بهره‌وری بیولوژیکی مصرف آب (WP_{BY})	-0.26	0.36

$WP_{EY/BY}$= Water productivity of economical/biological yields

References منابع مورد استفاده

- Abasi Sadr, S., S. Sharafi, and A. Hassanzadeh Ghorttapeh. 2018. Effect of drought stress and seed priming on some traits of vegetative and reproductive of castor bean (*Ricinus Communis* L.) plant. *Journal of Crop Ecophysiology*. 12(1): 75-88. (In Persian).
- Abedinpour, M. 2015. Evaluation of growth-stage-specific crop coefficients of maize using weighing lysimeter. *Soil and Water Research*. 10: 99-104.
- Abrokwah, O.A., A. Antwi-Boasiako, and Z. Zechariah Effah. 2017. Effects of drought stress on maize genotypes (*Zea mays* L.) using some plant parameters. *Journal of Science Research in Allied Science*. 6(3): 481-490.
- Afshari, M., A. Naderi, M. Mojadam, Sh. Lak, and M. Alavifazel. 2021. Response of physiological and iochemical arameters of maize (*Zea mays* L.) to the application of zinc and iron at irrigation cutoff conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15 (4):515-534. (In Persian).
- Akinnuoye-Adelabu, D.B., and A.T. Modi. 2017. Planting dates and harvesting stages influence on maize yield under rain-fed conditions. *Journal of Agricultural Science.* 9: 43-55.
- Bekele, S., and K. Tilahun. 2007. Regulated deficit irrigation scheduling of onion in a semiarid region of Ethiopia. *Agricultural Water Management*. 89: 148-152.
- Berzsenyi, Z., and D.Q. Lap. 2005. Responses of maize (*Zea mays* L.) hybrids to sowing date, N fertilizer and plant density in different years. *Journal of Acta Agronomica Hungarica*. 53: 119-131.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research.* 89: 1-16.
- Di Paolo, E., and M. Rinaldi. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*. 105: 202-210.
- Fanaei, H.R., A. Azmal, and I. Piri. 2017. Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*. 8(4): 551-566. (In Persian).
- Fereres, E., and M.A. Soriano. 2006. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Biology*. 58(2): 147-159.
- Golbashy, M., M. Ebrahimi, S.K. Khorasani, and R. Choukan. 2010. Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. *African Journal of Agricultural Research*. 5: 2714-2719.
- Howell, T.A. 2003. Irrigation efficiency. In: Encyclopedia of water science Stewart, B.A., and T.A. Howell (Eds.). Marcel Dekker, New York. 467- 472p.
- Kiziloglu, F.M., U. Sahin, Y. Kuslu, and T. Tunc. 2009. Determining water–yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semiarid region. *Irrigation Science*. 27: 129-137.
- Lisar, S.Y.S., R. Motafakkerazad, M.M. Hossain, and I.M.M. Rahman. 2012. Water stress in plants: Causes, Effects and Responses. DOI: 10.5772/39363.

- Lizaso, J. 2017. Modeling the response of maize phenology, kernel set, and yield components to heat stress and heat shock with CSM-IXIM. *Field Crops Research*. 214: 239-252.
- Morison, J.I.L., N.R. Baker, P.M. Mullineaux, and W.J. Davies. 2008. Improving water use in crop production. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 363: 639-658.
- Nielson, R.L., P.R. Thomison, G.A. Brown, A.L. Halter, J. Wells, and K.L. Wuethrich. 2002. Delayed planting effects on flowering and grain maturation of dent corn. *Journal of Agronomy*. 94: 549-558.
- Payero, J.O., D.D. Tarkalson, S. Irmak, D. Davison, and J.L. Petersen. 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agricultural Water Management*. 96: 1387-1397.
- Praba, M.L., J.E. Cairns, R.C. Babu, and HR. Lafitte. 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *Journal of Agronomy.* 195: 30-46.
- Soler, C.M.T., P.C. Sentelhas, and G. Hoogenboom. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal of Agronomy*. 27: 165-177.
- Strzepek, K., and B. Boehlert. 2010. Competition for water for the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 365: 2927-2940.
- Tsimba, R., G.O. Edmeades, J.P. Millner, and P.D. Kemp. 2013. The effect of planting date on maize: Phenology, thermal time durations and growth rates in a cool temperate climate. *Field Crops Research*. 150: 145-155.
- Yang, J.C., J.H. Zhang, L.J. Liu, Z.Q. Wang, and Q.S. Zhu. 2002. Carbon remobilization and grain filling in Japonica/ Indica hybrid rice subjected to post-anthesis water deficit. *Agronomy Journal*. 94: 102–109.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1880528.1614

Assessment of Maize Yield (S.C. 704) Responses to Appropriate Planting Date and Deficit Irrigation Using Multivariate Analysis

Babak Mirshekarnezhad[1], Farzad Paknejad[2*] and Mohammad Nabi Ilkaee [3]

Received: October 2019 , Revised: 1 March 2021, Accepted: 30 March 2021

Abstract

Arid and semiarid climate in many parts of Iran dictates the employment of agronomic practices. With this approach, a statistical experiment was set up in split-plot based on randomized complete block design with three replicates during 2015 and 2016 cropping seasons. The experiment took place in College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Experimental treatments scheduled on three planting dates: (21st April, 11th May and 31th May) and four irrigation regimes: I_{100}: 100%ET_c, I_{80}: 80%ET_c, I_{60}: 60%ET_c and I_{40}: 40%ET_c, based on plant water need. The highest value of water productivity of economical yield (1.19 kg.m^{-3}) and the greatest value of water productivity of biological yield (1.03 kg.m^{-3}) obtained in early-planting date in both years, respectively. Path analysis showed that ear weight with direct effect (1.27) and water productivity of biological yield (0.973), positively contributed to the final yield determination under irrigation regimes I_{100} and I_{60}, respectively. According to principal component analysis (PCA), the variables such as grain yield, ear weight, biological yield, total number of grain, kernel weight and harvest index as agronomic traits in PC1 and water productivity of economical yield and biological yield as physiological traits in PC2 were accounted for 70% of the final yield variations in total. Due to interactions of planting date and irrigation level on the grain yield ($p \leq 0.01$), early planting of grain maize and deficit irrigation management as early season strategies will have great potential to achieve optimal yield and higher water productivity by mitigating early abiotic factors.

Key words: Agronomic traits, Ear weight, Harvest index, Path analysis, Water productivity.

1- Ph.D. Graduated in Agronomy, Agrometeorology and Synoptic Office of Karaj, Meteorological Organization, Tehran, Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
**Corresponding Author:Farzadpaknejad@yahoo.com*