تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد چهاردهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۰
۷۳۱-۷۴۵
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3057.1785

مقاله پژوهشی

مطالعه شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام ذرت دانه‌ای در شرایط آب‌وهوای بهبهان

نادر سلامتی[1*]، امیرخسرو دانایی[2]

۱. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز

۲. مربی پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۰۴

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد غلات دانه‌ای ازجمله ذرت (*Zea mays* L.) است. هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر تنش خشکی از طریق اعمال دورهای مختلف آبیاری سطحی و شناسایی رقم برتر بر اساس شاخص‌های تنش است. به‌منظور بررسی و تعیین عکس‌العمل ارقام جدید ذرت نسبت به تنش خشکی، آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال (۱۳۹۴ - ۱۳۹۳) اجرا گردید. سطوح تنش خشکی شامل آبیاری بعد از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A در کرت‌های اصلی و سه رقم ذرت (به‌نام‌های S.C 704، PH3 و PH4) در کرت‌های فرعی بودند. مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و هیبرید PH3 با عملکرد ۱/۲۹۹ کیلوگرم دانه ذرت به ازای مصرف یک مترمکعب آب، در رده‌ی اول بود. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد بیش‌ترین میزان همبستگی عملکرد دانه با کارایی مصرف آب و وزن هزار دانه به ترتیب به میزان‌های ۰/۸۷۶۱ و ۰/۸۴۷۸ محاسبه شد که بیانگر نقش مؤثر وزن هزار دانه در افزایش عملکرد ذرت بود. نتایج تجزیه واریانس رگرسیون نشان داد که وزن هزار دانه بیش‌ترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه ذرت داشت. بیش‌ترین اعداد شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP، HM و YI مربوط به هیبرید PH3 و کم‌ترین اعداد شاخص‌های فوق مربوط به هیبرید PH4 بود. هم‌چنین کم‌ترین میزان شاخص YSI متعلق به هیبرید PH3 بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار اجزای عملکرد با صفت مهم وزن هزار دانه از یک‌سو و همبستگی بسیار معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد از سوی دیگر بیانگر هم سو بودن روند افزایش اجزای عملکرد با افزایش عملکرد دانه است. هیبرید PH3 علی‌رغم اینکه دارای مقادیر STI و GMP بالایی بود اما شاخص‌های SSI و TOL آن نیز بیشتر بود درنتیجه از حساسیت به تنش بالایی برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: **تبخیر، رقم، کارایی مصرف آب، وزن هزار دانه**

مقدمه

ذرت یکی از محصولات غله‌ای مهم در جهان و در کشورهای درحال‌توسعه، منبع اصلی درآمد کشاورزان است. پتانسیل تولید بالای این محصول و اهمیت آن در تغذیه دام و طیور و هم‌چنین تنوع فرآورده‌های حاصل از ذرت، سبب گردید تا بیشتر موردتوجه محققین قرار گیرد. هم‌چنین از گیاه ذرت برای مصارفی از قبیل مصارف دارویی، صنعتی و استحصال اتانول به‌عنوان سوخت زیستی استفاده می‌شود (Dehghanpoor, 2013). تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و عملکرد غلات دانه‌ای ازجمله ذرت (*Zea mays* L.) است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که بسته به فصل و زمانی که واقع می‌شود، می‌تواند به‌صورت جدی به کاهش محصول گیاه منجر شود.

* نگارنده پاسخگو: نادر سلامتی. پست الکترونیک: nadersalamati@yahoo.com

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گیاه در طول رشد خود با دوره‌های کم‌آبی روبرو می‌شود و برای تولید عملکرد مناسب باید بتواند این دوره‌ها را تحمل کند (Emam et al., 2004). کوپر و همکاران (Cooper et al., 2006) گزارش کردند که ظرفیت و توانایی تولید ژنوتیپ‌های مختلف ذرت در شرایط تنش خشکی با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک آن‌ها متفاوت است. گیاه ذرت در مراحل مختلف رشد و نمو نیاز به مقادیر متفاوتی آب دارد. اثر کم‌آبی در گیاه ذرت با علائم مشخصی نمایان می‌شود. این علامت‌ها به‌صورت کاهش ارتفاع بوته و طول ریشه، تأخیر در رسیدن گیاه، کاهش سطح برگ، تولید دانه و زیست‌توده مشاهده می‌شوند (Cakir, 2004).

قهفرخی و همکاران (Ghahfarrokhi et al., 2004) در آزمایشی که برای بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای انجام دادند به این نتیجه رسیدند که صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در ردیف، قطر بلال، طول بلال و تعداد دانه در هر بلال ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند. آن‌ها بیان کردند که تنش در مرحله رشد رویشی و گل‌دهی، صفات موردبررسی را بیش‌تر تحت تأثیر قرار داد و در بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف و قطر بلال بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد نشان دادند. نتایج بررسی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در کرج نشان داد که بر اساس شاخص‌های SSI و TOL رقم K۳۶۵۱/۱ به‌عنوان متحمل‌ترین رقم در شرایط تنش در هر دو مرحله رویشی و زایشی شناخته شدند. دو شاخص مزبور، ارقام با عملکرد پایین در شرایط عادی و دارای عملکرد بالا در محیط تنش را تعیین می‌کنند. شاخص‌های MP، STI، GMP و HARM که مقادیر بالای آن‌ها نشان‌دهنده تحمل به تنش در رقم‌های موردبررسی است، ارقام K۳۶۱۵/۱ (به ترتیب با عملکرد ۴/۷۷، ۲/۷ و ۲/۴۳ تن در هکتار) و K۱۹/۱ (به ترتیب با عملکرد ۴/۲۰، ۲/۸۳ و ۲/۵۱ تن در هکتار) را به‌عنوان رقم‌های با عملکرد بالا در هر سه شرایط بهینه، تنش در مراحل رویشی و زایشی تعیین کردند (Chukan et al., 2006). چوگان و همکاران (Chukan et al., 1998) در کرج با بررسی واکنش ۱۵ رقم ذرت به سطوح مختلف تنش و ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی، ارقام متحمل را شناسایی کردند. در شرایط نرمال، تنش ملایم و تنش شدید رقم OSGT14 به ترتیب با عملکرد ۹/۴۴۵، ۹/۲۷۰ و ۸/۳۵۲ تن در هکتار و در شرایط تنش خیلی شدید رقم SPGT12 با عملکرد ۷/۴۵۵ تن در هکتار دارای بیش‌ترین عملکرد بودند. در این آزمایش از شش شاخص استفاده گردید و شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI که دارای بیش‌ترین همبستگی با عملکرد در شرایط نرمال و سطوح مختلف تنش بودند به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی شدند. به‌منظور بررسی رقم‌های جدید ذرت علوفه‌ای ازنظر تحمل به تنش خشکی، آزمایشی در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در تابستان سال ۱۳۸۹ انجام شد. نتایج نشان داد شاخص‌های مقاومت به خشکی MP، STI، HARM و GMP دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر بودند؛ بنابراین دارای ارزش گزینشی یکسانی برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی ذرت هستند (Soltani et al., 2013). نتایج یک تحقیق در مورد تنش خشکی در ذرت نشان داد که بالاترین عملکرد دانه در شرایط نرمال مربوط به ترکیب هیبرید L5×K1263/1 با ۱۳/۳۰ تن در هکتار و در حالت تنش مربوط به رقم L10×K1263/1 با ۹/۲۰ تن در هکتار است. با توجه به شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM از بین رقم‌های موردبررسی، ارقام L10×K1263/1، L5×K1263/1 و L1×K1263/1 بیش‌ترین عملکرد دانه را داشتند. نتایج همبستگی‌ها حاکی از وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین عملکرد پتانسیل (بدون تنش) با شاخص‌های MP، GMP، STI، TOL و HARM است. بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌ها، مربوط به GMP و STI (99/0) بود (Alipour et al., 2014). به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه چند رقم جدید ذرت و ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی، آزمایشی در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال ۱۳۸۸ اجرا گردید. نتایج حاصل از بررسی ضریب همبستگی نشان داد که در شرایط نرمال و تنش ملایم شاخص‌های GMP،MP و STI و در شرایط نرمال و تنش شدید شاخص‌های TOL و SSI بهترین شاخص‌ها برای تعیین ارقام متحمل به تنش کم‌آبی میان می‌باشند (Haji Babaei and Azizi., 2011). نتایج تحقیقی در کرج نشان داد که شاخص‌های STI و GMP همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، تنش‌های ملایم و شدید داشتند (Azizi and Mahrukh, 2013).

کامان و همکاران (Kaman et al., 2011) با اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی در ذرت به این نتیجه رسیدند

که تنش شدید در این مرحله باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع ساقه، ارتفاع بلال از سطح خاک، تعداد برگ، تعداد گره و میانگره، وزن خشک پوشش بلال و طول بلال می‌گردد. تنش ملایم و شدید خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک نهایی ساقه، برگ و افزایش معنی‌دار شاخص برداشت و کارایی استفاده از آب شد. عملکرد دانه به میزان هفت درصد کاهش یافت. نتایج تحقیقی در خرم‌آباد نشان داد که رژیم‌های مختلف شامل ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد را به دنبال داشته‌اند. هم‌چنین کاهش عملکرد دانه نتیجه کاهش تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف بوده است (Sadeghi et al., 2007). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته، ارتفاع بلال و تعداد ردیف دانه در بلال دارد (Sadek et al., 2006). استخر و چوگان (Estakhr and Chogan, 2006) دریافتند بیش‌ترین همبستگی عملکرد دانه به‌ترتیب با صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف است.

هاول و همکاران (Howell et al., 1998) نشان دادند که مصرف آب در ذرت بین مقادیر ۴۶۵ تا ۸۰۲ میلی‌متر بوده و دامنه کارایی مصرف آب بین ۰/۶۵ تا ۱/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب در شرایط آبیاری کامل و بدون تنش حاصل می‌شود. ادمدس و همکاران (Edmeades et al., 1998) اظهار داشتند که تنش خشکی عملکرد ذرت را به‌طور متوسط ۱۷ درصد کاهش می‌دهد اما بسته به‌شدت و زمان وقوع خشکی این کاهش عملکرد به ۸۰ درصد هم می‌رسد. تنش کمبود آب در دوره پر شدن دانه از طریق کاهش وزن دانه عملکرد را کاهش می‌دهد (Panday et al., 2000; Westgate, 1994).

با توجه به اهمیت ذرت به‌عنوان یکی از غلات مهم در ایران، با اجرای روش کم‌آبیاری می‌توان در هنگام بروز خشک‌سالی با کمبود آب سازگار شد. هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر تنش خشکی از طریق اعمال دورهای مختلف آبیاری سطحی و شناسایی رقم برتر بر اساس شاخص‌های تنش است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی و تعیین عکس‌العمل ارقام جدید ذرت نسبت به تنش کم‌آبی، آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با طول جغرافیایی ۱۴: ۵۰ شرقی و ۳۶: ۳۰ عرض شمالی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال (۱۳۹۴ - ۱۳۹۳) اجرا گردید. محل آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک، ارتفاع آن از سطح دریا ۳۴۵ متر و متوسط بارندگی سالانه ۳۴۹ میلی‌متر بود. رژیم‌های آبیاری شامل آبیاری بعد از ۱۰۰ (نرمال) و ۲۰۰ (تنش خشکی) میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A در کرت‌های اصلی و سه رقم ذرت (به‌نام‌های S.C 704، PH3 و PH4) در کرت‌های فرعی بودند. رقم S.C 704 در سال ۱۳۸۵ معرفی گردید. متوسط عملکرد آن ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار با طول دوره رسیدگی ۱۳۰ روز است. هیبرید PH3 از ارقام امیدبخش اصلاح‌شده در برنامه به‌نژادی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول است که پس از انجام آزمایش‌های متعدد در زمینه‌های مختلف، در سال ۱۳۹۸ معرفی می‌شود. میانگین عملکرد آن ۶۸۰۰ کیلوگرم در هکتار با طول دوره رسیدگی ۱۲۷ روز است. دوره رشد و نمو هیبرید PH4 ۱۳۰ تا ۱۳۴ روز است درنتیجه زودرس محسوب می‌شود. متوسط عملکرد آن ۵۳۰۰ کیلوگرم در هکتار است (Barzegari, 2017).

تهیه زمین شامل ۲ بار شخم عمود برهم، ۲ بار دیسک و ماله بود. رقم S.C 704 و هیبریدهای PH3 و PH4 در چهار ردیف به طول ۶ متر بافاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر کشت گردید. هر ردیف آزمایشی شامل ۳۰ کپه به فاصله ۲۰ سانتی‌متر بود که بعد از تنک کردن یک بوته در هر کپه باقی ماند. عمق کاشت سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در سال اول ۴ مرداد و در سال دوم ۳ مردادماه بود. کاشت بذور به روش خشکه‌کاری و با دست روی ردیف‌ها انجام گرفت. بعد از حصول اطمینان از سبز شدن یکنواخت مزرعه بوته‌های اضافی در مرحله ۳ تا ۴ برگی با رعایت فاصله بین بوته‌ها حذف شدند. مبارزه علیه علف‌های هرز به‌وسیله علف‌کش نیکوسولفورون به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در مرحله ۵ برگی صورت گرفت. کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک مصرف شدند. (جدول ۲). کل کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم هر یک به مقدار ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار هم‌زمان با آماده‌سازی زمین به‌وسیله دیسک سبک با خاک مخلوط گردید. نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار در ۲ نوبت (نصف کود اوره هم‌زمان با آبیاری دوم به‌عنوان پایه و نصف دیگر کود اوره در مرحله ۷ تا ۹ برگی شدن) مصرف گردید. آبیاری به روش ثقلی (آبیاری جویچه‌ای) انجام شد. اعمال تیمارهای آبیاری پس از آبیاری

دوم و حصول اطمینان از سبز شدن یکنواخت مزرعه انجام شد. بعد از سبز شدن کامل مزرعه میزان تبخیر از طریق استعلام از اداره هواشناسی سینوپتیک بهبهان یادداشت شد و در میزان‌های مشخص تبخیر از تشت کلاس A با نمونه‌برداری از خاک و تعیین رطوبت موجود، جهت رساندن رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه مقدار آب موردنیاز در تیمارهای مربوطه بر اساس رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$In=((Fc-ai).D.b)/100 \quad [۱]$$

که در آن In: عمق آب آبیاری برحسب میلی‌متر، Fc: رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (درصد وزنی)، ai: رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد وزنی)، D: عمق ریشه برحسب میلی‌متر (برای ذرت ۶۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد، Choukan, 2015)، b: جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3). بدین ترتیب جرم مخصوص ظاهری، عمق ریشه و رطوبت ظرفیت مزرعه در طول اجرای آزمایش ثابت فرض گردید. در هر بار درصد رطوبت خاک در دو عمق ۳۰- ۰ و ۶۰ – ۳۰ سانتی‌متر تعیین و میزان آب موردنیاز برای هر کرت فرعی محاسبه و به‌وسیله کنتور در هر کرت فرعی اعمال شد. بعد از سبز شدن کامل مزرعه در روزهایی که مجموع تبخیر از تشت کلاس A به ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر می‌رسید، با نمونه‌برداری از خاک و تعیین رطوبت موجود جهت رساندن رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه با توجه به مساحت هر کرت فرعی حجم آب آبیاری محاسبه و به‌وسیله کنتور به هر کرت فرعی داده شد. از آب آبیاری در طول فصل نمونه‌ی آب تهیه و جهت اندازه‌گیری‌های کیفی به آزمایشگاه ارسال گردید. در هرسال قبل از کاشت نمونه‌برداری از خاک جهت آزمون انجام شد. نتایج آزمایش‌های آب‌وخاک در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. آمار روزانه بارندگی و تبخیر از تشت کلاس A از اداره هواشناسی سینوپتیک بهبهان استعلام گردید. تبخیر تجمعی ماهانه از تاریخ سوم مرداد تا دوازدهم آذر در دو سال انجام آزمایش در جدول ۳ و آمار بارندگی و تبخیر روزانه در دو سال اجرای پژوهش به‌ترتیب در اشکال (۱ – الف) و (۱ – ب) نشان داده شده است. در شکل (۲) عمق آب آبیاری هر دو تیمار آبیاری فاقد تنش خشکی (شکل ۲ –الف) و تیمار تنش خشکی (شکل ۲- ب) در سال اول و در شکل (۳) به همین ترتیب عمق آب آبیاری فاقد تنش خشکی (شکل ۳ –الف) و تیمار تنش خشکی (شکل ۳- ب) در سال دوم آزمایش که از رطوبت وزنی خاک محاسبه شد و توسط کنتور در هر کرت فرعی اعمال گردید، نشان داده شده است. در هر دو سال در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به‌ترتیب ۱۳ و ۶ نوبت آبیاری انجام گردید. مجموع عمق‌های آب آبیاری مربوط به تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A در سال ۱۳۹۳ به‌ترتیب ۵۲۱/۲ و ۴۶۲/۴ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۴ به‌ترتیب ۵۳۴/۸ و ۴۶۳/۷ میلی‌متر بودند.

جدول ۱. نتایج تجزیه نمونه آب

Table 1 - Water Sample Analysis Results

هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	کدورت T.D.S	کلسیم Ca^{2+}	منیزیوم Mg^{2+}	سدیم Na^{+}	بی‌کربنات HCO_3	سولفات SO_4^{-2}	کلر Cl^{-}
(µS/m)		mg/lit	---------- meq/l ----------					
1740	7.4	1140	8.8	3.2	8.0	3.2	8.0	8.8

جدول ۲. نتایج تجزیه نمونه خاک آزمایش قبل از کاشت

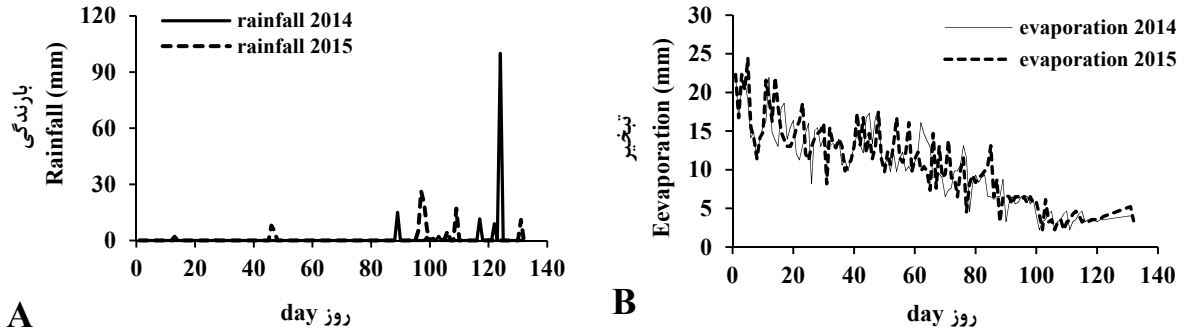
Table 2. Sample analysis of soil samples before planting

سال Year	FC	pb	K^{+}	P	کربن آلی Organic crbon	pH	EC	عمق خاک Soil deapth	بافت خاک Soil texture
	%	g/cm^2	mg/kg		%		dS/cm	cm	
2014	24	1.57	245	9.8	0.64	7.6	2.8	0-30	**Silty clay loam**
2015	24	13.57	250	9.2	0.66	7.5	3	0-30	

جدول ۳. تبخیر تجمعی از تشت کلاس A در ماه‌های انجام آزمایش (میلی‌متر) (از ۳ مرداد تا ۱۲ آذر)

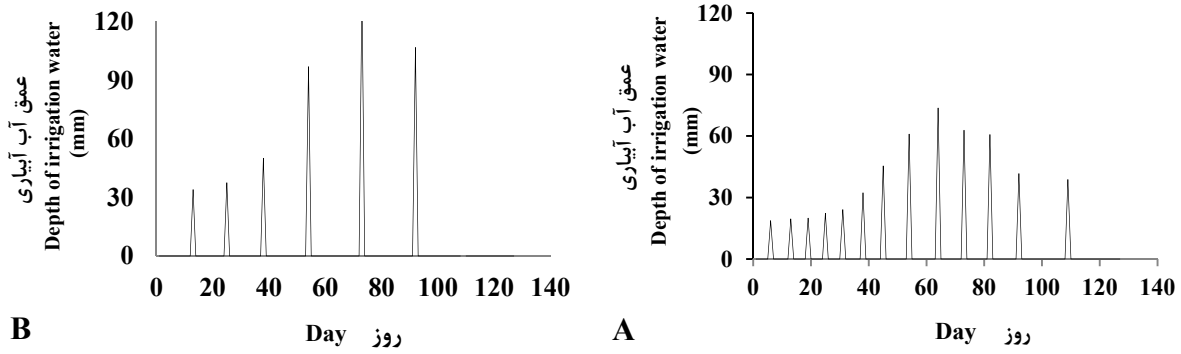
Table 3. Cumulative evaporation from Class A pan during the experiment (mm) (from 25 July to 3 December)

Year	سال	مرداد August-july	شهریور July - September	مهر September - October	آبان October - November	آذر November-December	مجموع Total
2014-15	۱۳۹۳	533.8	437.9	268.4	155.6	25	1420.7
2015-16	۱۳۹۴	504.6	405.7	309.2	129.2	22	1370.7
Mean	میانگین	519.2	421.8	288.8	142.4	23.5	1395.7



شکل ۱. بارندگی (الف) و تبخیر از تشت کلاس A روزانه (ب) در دو سال انجام آزمایش (از ۳ مرداد تا ۱۲ آذر)

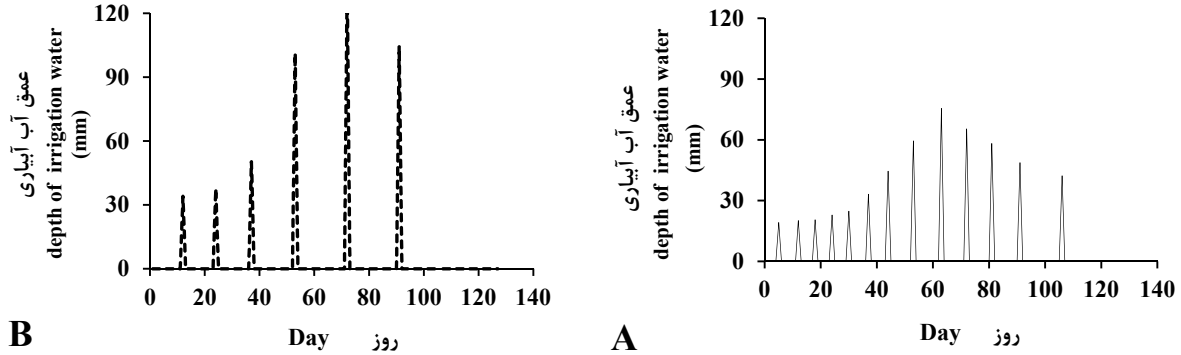
Fig. 1. Precipitation (a) and evaporation from Class A pan (b) daily for two years of experiment (from 25 July to 3 December)



شکل ۲. عمق آب در تیمارهای آبیاری و نوبت‌های آبیاری (A = تیمار ۱۰۰ میلی‌متر و B= تیمار ۲۰۰ میلی‌متر) در سال اول آزمایش (از ۳ مرداد تا ۱۲ آذر ۱۳۹۳)

Fig. 2. Water depth in irrigation treatments and irrigation intervals (A = 100 mm treatment and B = 200 mm treatment) in the first year of experiment (from 25 July to 3 December 2014)

زمان شروع و خاتمه هر مرحله رشدی بر اساس مشاهده آن مرحله به ترتیب در ۴۰ و ۹۰ درصد هر کرت فرعی در نظر گرفته شد. بر این اساس یادداشت‌برداری از مراحل مهم رشد و نمو شامل تاریخ ظهور اندام‌های زایشی و رسیدگی فیزیولوژیک دانه انجام و در جداول مربوطه ثبت گردیدند. هم‌چنین برخی خصوصیات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته و بلال اندازه‌گیری و یادداشت شدند. دو هفته پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف در هر کرت فرعی دو ردیف وسط به طول ۵ متر با مساحت ۷/۵ مترمربع برداشت گردیدند. پس از برداشت، سایر شاخص‌ها شامل تعداد ردیف دانه، تعداد دانه روی ردیف و وزن هزار دانه در جداول یادداشت‌برداری ثبت شدند. سپس کل بلال‌های برداشت‌شده از هر کرت توزین و به‌وسیله شیلر، دانه از چوب‌بلال جدا گردید.



شکل ۳. عمق آب در تیمارهای آبیاری و نوبت‌های آبیاری (A = تیمار ۱۰۰ میلی‌متر و B= تیمار ۲۰۰ میلی‌متر) در سال دوم آزمایش (از ۳ مرداد تا ۱۲ آذر ۱۳۹۴)

Fig. 3. Water depth in irrigation treatments and irrigation intervals (A = 100 mm treatment and B = 200 mm treatment) in the second experiment year (from 25 July to 3 December 2015)

به‌منظور تعیین صفاتی نظیر ارتفاع بوته و بلال، تعداد ردیف دانه، تعداد دانه روی ردیف از هر کرت فرعی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و این صفات در آن‌ها اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه بعد از برداشت محصول، ۱۰ نمونه ۵۰۰ تایی از دانه‌های هر کرت فرعی به‌طور تصادفی انتخاب و با ضرب کردن میانگین وزن آن‌ها در عدد ۲، وزن هزار دانه محاسبه گردید. تجزیه واریانس مرکب صفات موردبررسی، عملکرد دانه و اجزای آن با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C انجام و مقایسه میانگین‌های مربوطه به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. سرانجام مناسب‌ترین ارقام در شرایط تنش تعیین و شناسایی گردیدند. پارامترهای مختلف اندازه‌گیری و محاسبه‌شده با ضریب همبستگی پیرسون موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند.

بارندگی مؤثر از رابطه SCS (رابطه ۲) تعیین شد (Sephevand, 2009).

$$Pe=P\times\frac{(125-(0.2\times P))}{125} \quad [۲]$$

Pe بارندگی مؤثر (میلی‌متر) و P بارندگی روزانه (میلی‌متر) است.

ارزیابی رقم‌ها ازنظر تحمل به خشکی توسط شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI[1])، تحمل (TOL[2])، تحمل به تنش (STI[3])، بهره‌وری متوسط (MP[4])، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP[5])، میانگین هارمونیک (HM[6])، شاخص عملکرد (YI[7]) و شاخص پایداری عملکرد (YSI[8]) انجام شد. شاخص‌های فوق به شرح زیر محاسبه گردیدند:

$$SSI = [1-(YS/YP)] / [1- (YS'/YP')] \quad [۳]$$

$$TOL = YP-YS \quad [۴]$$

$$STI=(YP/YP')(YS/YS')(YS'/YP')=(YP)(YS)/(YP')^2 \quad [۵]$$

$$GMP = (YP\times YS) \quad [۶]$$

$$MP= (YP +YS)/2 \quad [۷]$$

$$HM = (2\times YP\times YS)/(YP +YS) \quad [۸]$$

$$YI= YS /YS' \quad [۹]$$

$$YSI= YS / YP \quad [۱۰]$$

در این معادله‌ها YS و YP به ترتیب میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش، بدون تنش و 'YS و 'YP نیز میانگین کل عملکرد دانه رقم‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش است. دور آبیاری در ۲ سطح (آبیاری پس از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A) است. برای تجزیه‌وتحلیل رگرسیون چند متغیره خطی به روش گام‌به‌گام و انجام تجزیه علیت از نرم‌افزار SPSS16 بهره گرفته شد. تجزیه فوق به‌منظور تبیین میزان تغییرات اجزای عملکرد (وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه) به‌عنوان متغیرهای مستقل و تعیین معادله تخمین عملکرد ذرت به‌عنوان متغیر وابسته انجام شد.

[1] Stress Susceptibility Index
[2] Tolerance Index
[3] Stress Tolerance Index
[4] Mean Productivity
[5] Geometric Mean Productivity
[6] Harmonic mean
[7] Yield index
[8] Yield stability index

نتایج و بحث

میانگین مربعات و سطح معنی‌دار بودن عملکرد و کارایی مصرف آب دانه ذرت در جدول تجزیه واریانس مرکب دوساله نشان داد که اثر آبیاری، رقم و اثر متقابل آبیاری و رقم در عملکرد در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود ولی اثر سال و تکرار معنی‌دار نبود (جدول ۴). البته اثر سال×آبیاری در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد که دقت در اعداد و توضیحات شکل (۱) و جدول (۳) نشان می‌دهد که میزان تبخیر در دو سال اجرای پروژه به ترتیب معادل ۱۴۲۰/۷ و ۱۳۷۰/۷ میلی‌متر بود. میزان تبخیر بر میزان نیاز آبی ذرت و به‌تبع آن بر میزان آب داده شده به ذرت تأثیر داشته است به‌طوری‌که میزان آب دریافتی ذرت در دو سال انجام آزمایش به‌ترتیب ۵۲۱/۲ و ۴۶۲/۴ میلی‌متر محاسبه شد. همچنین میزان آب دریافتی محصول بر صفت کارایی مصرف آب اثر مستقیم دارد. لذا نگاهی اجمالی به میزان تبخیر و آب داده شده به محصول در دو سال انجام آزمایش به‌وضوح معنی‌دار شدن اثر سال×آبیاری را مشخص می‌نماید (جدول ۴).

جدول ۴. میانگین مربعات و سطح معنی‌دار بودن عملکرد و کارایی مصرف آب دانه ذرت در تیمارهای آزمایشی در تجزیه مرکب دوساله

Table 4. Comparison of mean squares and significance level of yield and water use efficiency of corn grain in experimental treatments in two-year composite analysis

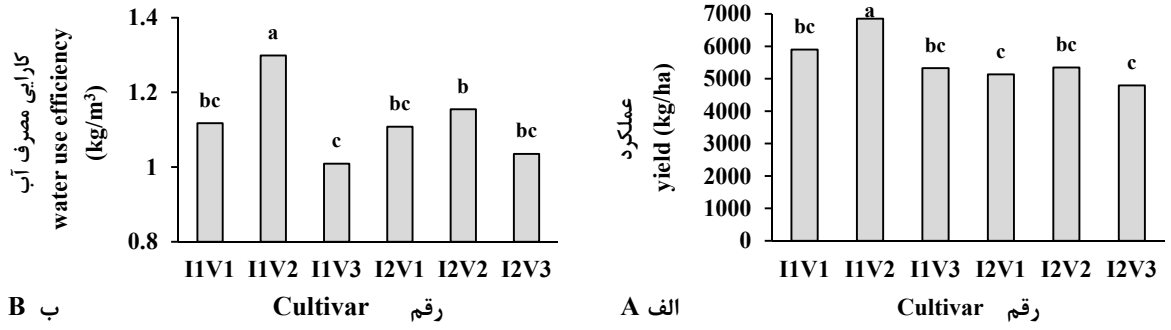
Sources of variance	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency
Year	سال	1	26532.6 $^{n.s}$	0.008 $^{n.s}$
Repeat (year)	تکرار داخل سال	6	333061.2 $^{n.s}$	0.014 $^{n.s}$
Irrigation	آبیاری	1	10509537.8**	0.021**
Year × irrigation	سال× آبیاری	1	248.4 $^{n.s}$	0.002 **
Error	خطا	6	1846.9	0.000
Variety	رقم	2	4355801.5**	0.168**
Year × variety	سال× رقم	2	3311.9 $^{n.s}$	0.000 $^{n.s}$
Variety × irrigation	آبیاری×رقم	2	1037198.4**	0.032**
Year× irrigation × variety	سال×آبیاری×رقم	2	79.2 $^{n.s}$	0.000 $^{n.s}$
Error	خطا	24	148259.6	0.006
Coefficient of variation%	ضریب تغییرات	-	6.93	6.93

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪؛ *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪؛ $^{n.s}$: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**: Significant difference at 1% level; *: Significant difference at 5% level; n.s: There was no significant difference

مقایسه میانگین عملکرد دانه در اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و رقم V2 با عملکرد ۶۸۵۴/۹ کیلوگرم در هکتار در رتبه اول و جایگاه برتر قرار گرفت. تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و رقم V1 با عملکرد ۵۸۹۸/۵ کیلوگرم در هکتار در رده‌ی بعدی جای داشت (شکل ۴– الف). عملکرد رقم برتر (هیبرید PH3) در تیمار تنش (۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت) معادل ۵۳۴۶/۸ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد که ۲۲ درصد کم‌تر از عملکرد همین رقم در تیمار ۱۰۰ میلی-تبخیر از تشت بود. لذا این میزان کاهش عملکرد در محدوده-ی کاهشی عملکردی بود که در نتایج تحقیق ادمدس و همکاران (Edmeades et al., 1998)، گزارش شد. نتایج این آزمایش با نتایج حاصل از تحقیقات قهفرخی و همکاران (Ghahfarrokhi et al., 2004)، کامان و همکاران (Kaman et al., 2011) مطابقت داشت.

مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و هیبرید PH3 با عملکرد ۱/۲۹۹ کیلوگرم دانه ذرت به‌ازای مصرف یک مترمکعب آب، در رده‌ی اول و جایگاه برتر بود. تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و هیبرید PH3 با تولید ۱/۱۵۵ کیلوگرم دانه ذرت به ازای مصرف یک مترمکعب آب در رتبه‌ی دوم قرار گرفت (شکل ۴– ب). مقادیر کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف از ۱/۰۳۵ تا ۱/۲۹۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود. دامنه‌ی مقادیر کارایی مصرف آب این تحقیق با محدوده‌ی دامنه‌ای که توسط Howell et al (1998) نتیجه گرفتند، مطابقت و هم‌خوانی داشت. کاهش مصرف آب در تیمار تنش (تیمار ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A) موجب کاهش عملکرد ذرت در این تیمارها نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A شد. در شکل (۴ – ب) کاهش مصرف آب در تیمار تنش موجب نشد تا کارایی مصرف آب این تیمار نسبت به تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A افزایش پیدا کند. به‌عبارت دیگر اثر کاهش مصرف آب حتی در تیمار تنش به حدی بود که نتوانست کاهش عملکرد به وقوع پیوسته در ازای کاهش مصرف آب را پوشش دهد و کماکان تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A علی‌رغم مصرف بیش‌تر آب نسبت به تیمار ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به دلیل افزایش عملکرد به وجود آمده بیش‌ترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش کامان و همکاران (Kaman et al., 2011) هم‌خوانی دارد.



شکل ۴. میانگین عملکرد (الف) و میانگین کارایی مصرف آب (ب) در اثرات متقابل سطوح آبیاری و رقم

Fig. 4 - Average yield (A) and average water use efficiency (B) in interactions between irrigation levels and cultivar

ضریب همبستگی پیرسون محاسبه‌شده برای صفات اندازه‌گیری شده در دو حالت تنش و بدون تنش نشان داد که عملکرد دانه در حالت بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه به‌عنوان اجزای عملکرد از خود نشان داد (جدول ۵). این در حالی بود که تنش خشکی موجب گردید که عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری با اجزای عملکرد نداشته باشد (جدول ۶). عملکرد دانه در دو حالت فوق (تنش و بدون‌تنش) بیش‌ترین همبستگی معنی‌دار را با کارایی مصرف آب از خود نشان داد به‌طوری‌که این میزان در حالت تنش به میزان ۰/۹۹۹۸ رسید (جدول ۶). به‌عبارت دیگر تنش خشکی موجب تغییر معنی‌داری در میزان همبستگی عملکرد با کارایی مصرف آب نشد. همچنین همبستگی معنی‌دار عملکرد دانه با اجزای عملکرد ازجمله وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب در حالت بدون تنش بیانگر نقش مؤثر وزن هزار دانه در افزایش عملکرد ذرت بود؛ مانند تحقیقات استخر و چوگان (Estakhr and Chogan, 2006) و صادق و همکاران (Sadek et al., 2006) عملکرد دانه در حالت بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد ردیف دانه در بلال داشت.

وزن هزار دانه در حالت بدون تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با صفات تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه، طول بلال و کارایی مصرف آب نشان داد. این در حالی بود که وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با صفت روز تا رسیدگی داشت (جدول ۵). در حالت تنش، وزن هزار دانه توانست همبستگی مثبت

و معنی‌دار خود در سطح ۱ درصد را با تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه حفظ نماید. البته لازم به ذکر است که تنش خشکی موجب کاهش میزان همبستگی وزن هزار دانه در دو صفت فوق شد. ولی تنش خشکی موجب نگردید تا این کاهش به حدی باشد که باعث معنی‌دار نشدن همبستگی دو صفت فوق با وزن هزار دانه شود (جداول ۵ و ۶). بیش‌ترین میزان همبستگی وزن هزار دانه در دو حالت فوق به میزان r=۰/۹۳۸۱ با صفت تعداد دانه در ردیف محاسبه شد که بیانگر نقش مؤثر تعداد دانه در ردیف در افزایش وزن هزار دانه و به‌تبع آن افزایش عملکرد ذرت بود (جدول ۵).

جدول ۵. ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب (بدون تنش)

Table 5. Calculated correlation coefficient for yield, yield components and water use efficiency (non-stress)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	عملکرد دانه Seed yield (kg/ha)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (gr)	تعداد دانه در ردیف Number of seeds in a row	تعداد ردیف دانه Number of rows of seeds	طول بلال cob length (cm)	روز تا رسیدگی Day to maturity	روز تا ظهور بلال Day until the emergence of cob	حجم آب مصرفی Volume of consumed water (m^3/ha)	کارایی مصرف آب water use efficiency (kg/m^3)
1	1.0000	0.8439**	0.7674**	0.6208**	0.2318	-0.8620**	0.0427	-0.0354	0.9944**
2		1.0000	0.9381**	0.8270**	0.5313**	-0.9289**	0.0611	-0.1395	0.8504**
3			1.0000	0.8935**	0.4600*	-0.8672**	0.1327	-0.0636	0.7658**
4				1.0000	0.4469*	-0.7578**	0.1895	-0.1701	0.6310**
5					1.0000	-0.4731*	0.0203	-0.2982	0.2610
6						1.0000	0.1775	-0.0080	-0.8517**
7							1.0000	-0.0682	0.0489
8								1.0000	-0.1403
9									1.0000

N=24; 5%=0.4060; 1%=0.5164

جدول ۶. ضریب همبستگی محاسبه‌شده برای عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب (تنش)

Table 6. Calculated correlation coefficient for yield, yield components and water use efficiency (stress)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	عملکرد دانه Seed yield (kg/ha)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (gr)	تعداد دانه در ردیف Number of seeds in a row	تعداد ردیف دانه Number of rows of seeds	طول بلال cob length (cm)	روز تا رسیدگی Day to maturity	روز تا ظهور بلال Day until the emergence of cob	حجم آب مصرفی Volume of consumed water (m^3/ha)	کارایی مصرف آب water use efficiency (kg/m^3)
1	1.0000	0.3124	0.3320	0.0965	-0.5358**	-0.5447**	-0.4611*	-0.0545	0.9998**
2		1.0000	0.7708**	0.5805**	0.1798	-0.1646	-0.0290	-0.3357	0.3182
3			1.0000	0.7665**	-0.0957	-0.4079*	-0.2851	-0.1066	0.3334
4				1.0000	0.0058	-0.2643	-0.1560	-0.2470	0.1006
5					1.0000	0.6107**	0.6309**	-0.2553	-0.5303**
6						1.0000	0.9808**	-0.0029	-0.5438**
7							1.0000	-0.0126	-0.4602*
8								1.0000	-0.0727
9									1.0000

N=24; 5%=0.4060; 1%=0.5164

روند تغییرات تعداد دانه در ردیف در حالت بدون تنش با روند تغییرات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد ردیف دانه، طول بلال و کارایی مصرف آب روندی معنی‌دار و هم‌راستا در سطح ۱ درصد بود (جدول ۵). تنش خشکی موجب گردید تا تعداد دانه در ردیف همبستگی مثبت و معنی‌دار خود با عملکرد و کارایی مصرف آب را از دست بدهد (جدول ۶). بیش‌ترین میزان همبستگی تعداد دانه در ردیف به میزان r=۰/۹۳۸۱ با صفت وزن هزار دانه محاسبه گردید که بیانگر نقش مؤثر تعداد ردیف دانه در افزایش وزن هزار دانه و به‌تبع آن افزایش عملکرد ذرت بود (جدول ۵). نتایج این پروژه نیز مانند نتایج تحقیقات صادقی و همکاران (Sadeghi et al., 2007)، مؤثر بودن تعداد دانه در ردیف را در افزایش عملکرد ذرت نشان داد.

طول بلال در حالت بدون تنش همبستگی مثبت و معنی-داری در سطح ۱ درصد با صفات وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب و در سطح ۵ درصد با صفات تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه داشت (جدول ۵). تنش خشکی موجب گردید تا طول بلال نه‌تنها همبستگی مثبت و معنی‌دار خود با صفات مزبور را از دست دهد بلکه موجب گردید تا طول بلال همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با عملکرد و کارایی مصرف آب از خود نشان دهد؛ به‌عبارت‌دیگر تنش خشکی موجب شد تا طول بلال روند منفی و معنی‌داری با عملکرد و کارایی مصرف آب داشته باشد. بیش‌ترین میزان همبستگی طول بلال به میزان r=۰/۵۳۱۳ با صفت وزن هزار دانه محاسبه شد که بیانگر نقش مؤثر وزن هزار دانه در افزایش طول بلال و به‌تبع آن افزایش عملکرد ذرت بود (جدول ۵). نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات پاندای و همکاران (Panday et al., 2000) و وستگیت (Westgate, 1994) هم‌خوانی داشت. روند تغییرات کارایی مصرف آب در حالت بدون تنش با روند تغییرات عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه روندی معنی‌دار و هم‌راستا در سطح ۱ درصد را نشان داد (جدول ۵). ولی تنش خشکی موجب گردید تا این صفت همبستگی معنی‌دار خود با اجزای عملکرد را از دست بدهد (جدول ۶).

نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس در مدل رگرسیون در دو حالت (تیمارهای تنش و تیمارهای فاقد تنش) در جداول ۷ و ۸ نشان داده شده است. هم‌چنین ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون در سه حالت فوق در جداول ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان داد در تیمارهای تنش، متغیرهای معادله رگرسیون ۱۷/۸ درصد (R^2=۰/۱۷۸) میزان نوسانات متغیر وابسته را تبیین می‌کنند که نشان‌دهنده پایین بودن میزان وابستگی متغیرها بود و همچنین معنی‌دار نبودن رگرسیون و رابطه خطی بین متغیرها نیز مشخص شد (P>۰/۰۵) (جدول ۷).

جدول ۷. تجزیه‌وتحلیل واریانس در مدل رگرسیون (تیمارهای تنش)

Table 7. Analysis of variance in regression model (stress treatments)

منابع تغییر Sources of variance		درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares	F محاسبه‌شده F Value	ضریب رگرسیون The regression coefficient	ضریب تبیین R-square	ضریب تبیین تعدیل‌شده Corrected R-square	سطح معنی‌داری Sig.
Model	مدل	3	215897.8	1.439	0.421	0.178	0.054	0.261 n.s
Error	خطا	20	150036.1					
Total	کل	23						

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪؛ *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪؛ n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**: Significant difference at 1% level; *: Significant difference at 5% level, n.s: There was no significant difference.

در تیمارهای فاقد تنش، متغیرهای موردبررسی ۷۳/۱ درصد (R^2=۰/۷۳۱) میزان نوسانات متغیر وابسته را تبیین می‌کنند. هم‌چنین معنی‌دار بودن رگرسیون و رابطه خطی بین متغیرها نیز مشخص شد (P<۰/۰۱) (جدول ۹). مدل نهایی رگرسیون چند متغیره در حالتی که تیمارهای تنش بررسی شدند، میزان عملکرد ذرت را با معادله ذیل تخمین زد: $Y= 1806.293 + 6.164X_1 + 124.317X_2 - 172.118X_3$. هیچ‌یک از متغیرها تأثیر مستقیم و معنی‌داری

بر عملکرد ذرت نداشت (جدول ۸). مدل نهایی رگرسیون چند متغیره در حالتی که تیمارهای فاقد تنش بررسی شدند، میزان عملکرد ذرت را با معادله ذیل تخمین زد: $Y= -2947.156 + 30.476 X_1 + 13.157X_2 -131.952X_3$. تنها متغیری که تأثیر مستقیم و معنی‌داری بر عملکرد ذرت داشت متغیر وزن هزار دانه بود. این میزان تأثیر معادل ۱/۰۰۹ درصد بود (جدول ۱۰)؛ به‌عبارت‌دیگر با عنایت به توضیحات فوق از بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه بیش‌ترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه ذرت داشت.

جدول ۸. ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون (تیمارهای تنش)

Table 8. Coefficients of variables in the regression equation (stress treatments)

Model	مدل	ضرایب غیراستاندارد Unstandardized Coefficients: ضریب B B coefficient	خطای معیار The standard error	ضرایب استاندارد Standardized Coefficients: Beta	t محاسبه‌شده t Value	سطح معنی‌داری. Sig
Constant number	عدد ثابت	1806.293	3040.492	-	0.594	0.559
1000-grain weight=X_1	وزن هزار دانه	6.164	15.170	0.129	0.406	0.689 n.s
Number of seeds in a row=X_2	تعداد دانه در ردیف	124.317	95.894	0.523	1.296	0.210 n.s
Number of rows of seeds=X_3	تعداد ردیف دانه	-172.118	143.154	-0.380	-1.202	0.243 n.s

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪؛ *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪؛ n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**: Significant difference at 1% level, *: Significant difference at 5% level, n.s: There was no significant difference.

جدول ۹. تجزیه‌وتحلیل واریانس در مدل رگرسیون (تیمارهای فاقد تنش)

Table 9. Analysis of variance in regression model (non-stress treatments)

منابع تغییر Sources of variance		درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean squares	F محاسبه‌شده F Value	ضریب رگرسیون The regression coefficient	ضریب تبیین R-square	ضریب تبیین تعدیل‌شده Corrected R-square	سطح معنی‌داری Sig.
Model	مدل	3	3105142.9	18.141	0.855	0.731	0.691	0.00**
Error	خطا	20	171169.9					
Total	کل	23						

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪؛ *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪؛ n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**: Significant difference at 1% level, *: Significant difference at 5% level, n.s: There was no significant difference.

مقایسه شکل (۴) و استفاده از تیمارهای برتر این شکل نشان می‌دهد هیبرید PH3 که بیش‌ترین عملکرد و کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داده است باید در جدول (۱۱) ملاک عمل قرار گیرد؛ به‌عبارت‌دیگر ستون‌هایی از جدول (۱۱) که در آن اعداد مربوط به رقم فوق، بیش‌ترین و یا کم‌ترین میزان را به خود نسبت داده‌اند می‌توانند شاخصی باشند که توصیف تنش خشکی ارقام موردبررسی را به بهترین شکل توجیه نماید. بیش‌ترین اعداد شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP، HM و YI مربوط به هیبرید PH3 و کم‌ترین اعداد شاخص‌های فوق مربوط به رقم V3 بود. هم‌چنین کم‌ترین میزان شاخص YSI متعلق به رقم V2 بود. به‌عبارت دیگر دقت در عملکرد تیمارهای تنش و بدون تنش هیبرید PH3 نشان می‌دهد که اعداد شاخص‌های فوق ارقام موردبررسی را بر اساس عملکرد تنش و بدون تنش آن‌ها به‌ترتیب از نزولی به صعودی طبقه‌بندی می‌نمایند (جدول ۱۱). لذا بیش‌تر بودن شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL،

GMP، HM و YI در هر رقم نسبت به رقم دیگر نشان‌دهنده مقاوم بودن رقم به تنش خشکی یا اعمال کم‌آبیاری است. بنابراین می‌توان ملاک شناسایی رقم مقاوم به خشکی را مقادیر بالای شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP، HM و YI قرار داد. به‌این‌ترتیب مقادیر شاخص‌های فوق و استفاده از آن‌ها در انتخاب ارقام متحمل به خشکی بیان‌گر افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش است و می‌توان آن‌ها را به‌طور توأم برای شناسایی رقم‌های مناسب برای هر شرایط توصیه نمود. این نتیجه تحقیق با نتایج پژوهش‌های چوگان و همکاران (Chougan et al., 2006) مطابقت و هم‌خوانی دارد (جدول ۱۱).

جدول ۱۰. ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون (تیمارهای فاقد تنش)

Table 10. Coefficients of variables in the regression equation (non-stress treatments)

مدل Model	ضرایب غیراستاندارد Unstandardized Coefficients		ضرایب استاندارد Standardized Coefficients	t محاسبه‌شده t Value	سطح معنی‌داری Sig.
	ضریب B B coefficient	خطای معیار The standard error	Beta		
عدد ثابت Constant number	-2947.156	1403.992	-	-2.099	0.049
وزن هزار دانه 1000-grain weight=X_1	30.476	10.139	1.009	3.006	0.007**
تعداد دانه در ردیف Number of seeds in a row=X_2	13.157	93.401	0.059	.141	0.889 n.s
تعداد ردیف دانه Number of rows of seeds=X_3	-131.952	128.296	-0.266	-1.028	0.316 n.s

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪؛ *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪؛ n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**: Significant difference at 1% level, *: Significant difference at 5% level, n.s: There was no significant difference.

جدول ۱۱. میانگین شاخص‌های تنش محاسبه‌شده در ارقام موردبررسی

Table 11. Mean stress indices calculated in the studied cultivars

رقم Variety	تیمار تنش YS (kg/ha)	تیمار فاقد تنش YP (kg/ha)	حساسیت به تنش SSI	تحمل به تنش STI	بهره‌وری متوسط MP	تحمل TOL	میانگین هندسی بهره‌وری GMP	میانگین هارمونیک HM	عملکرد YI	پایداری عملکرد YSI
V1: S.C 704	5131.7	5898.5	0.837	0.839	5515.1	766.8	5501.7	5488.4	1.008	0.870
V2: PH3	5346.8	6854.9	1.417	1.010	6100.9	1508.1	6054.1	6007.7	1.050	0.780
V3: PH4	4793.7	5326.4	0.644	0.705	5060.1	532.6	5053.0	4793.7	0.942	0.900
میانگین	5090.7	6026.6	0.966	0.852	5558.7	935.8	5536.3	5429.9	1.000	0.850

YS = میانگین عملکرد رقم در تیمار ۲۰۰ میلی‌متر، YP = میانگین عملکرد رقم در تیمار ۱۰۰ میلی‌متر،

YS = Average cultivar yield per 200 mm treatment; YP = Average cultivar yield per 100 mm treatment

ضریب همبستگی شاخص‌های تنش خشکی نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین عملکرد رقم تحت تنش خشکی (YS) و عملکرد رقم فاقد تنش (YP) وجود داشت. به‌عبارت دیگر رقمی که در حالت بدون تنش عملکرد بالاتری نسبت به دیگر ارقام داشت در حالت تنش نیز این برتری عملکرد به وقوع پیوست. هم‌چنین همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین عملکرد رقم تحت تنش با شاخص‌های SSI، STI، MP، GMP، HM، YI و

YSI محاسبه شد. این نتیجه تحقیق با نتایج پژوهش‌های چوگان و همکاران (Choukan et al., 1998) و عزیزی و ماهرخ (Azizi and Mahrukh, 2013) مطابقت و هم‌خوانی دارد. بیش‌ترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار رقم فاقد تنش (YP)، با شاخص MP به میزان r=۰/۹۸۷۰ محاسبه شد (جدول ۱۲). مقایسه‌ی ضرایب همبستگی شاخص‌های تنش نشان داد که شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP و HM در تیمارهای تنش (YS) کم‌تر از تیمار فاقد تنش (YP) بود و برعکس روندی افزایشی در شاخص‌های YI و YSI مشاهده شد (جدول ۷)؛ به‌عبارت‌دیگر روند کاهشی عملکرد ذرت که با اعمال تنش خشکی اتفاق افتاد، قطعاً موجب کاهش شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP و HM شد و برعکس کاهش عملکرد ذرت موجب تغییرات صعودی در شاخص‌های YI و YSI گردید (جدول ۱۲). قدر مطلق بیش‌ترین اختلاف بین اعداد شاخص‌های تنش در عملکرد رقم تحت تنش و فاقد تنش در شاخص‌های SSI و YSI هر دو به میزان مساوی ۰/۳۲۱۶ محاسبه شد. هم‌چنین قدر مطلق کم‌ترین اختلاف بین اعداد شاخص‌های تنش در عملکرد رقم تحت تنش و فاقد تنش در شاخص STI به میزان ۰/۰۲۲۶ محاسبه گردید (جدول ۱۲). شاخص SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با شاخص‌های STI، MP، TOL، GMP، HM و YI و همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با شاخص YSI داشت. بیش‌ترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص SSI به میزان r=۰/۹۹۲۷ با شاخص TOL محاسبه شد (جدول ۱۲).

جدول ۱۲ . ضریب همبستگی محاسبه‌شده شاخص‌های تنش

Table 12. Correlation coefficient of stress indices

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	تیمار تنش YS (kg/ha)	تیمار فاقد تنش YP (kg/ha)	حساسیت به تنش SSI	تحمل به تنش STI	بهره‌وری متوسط MP	تحمل TOL	میانگین هندسی بهره‌وری GMP	میانگین هارمونیک HM	عملکرد YI	پایداری عملکرد YSI
1	1.0000	0.8931**	0.5358**	0.9595**	0.9538**	0.6228**	0.9598**	0.9368**	1.0000**	-0.5358**
2		1.0000	0.8574**	0.9821**	0.9870**	0.9081**	0.9835**	0.9792**	0.8931**	-0.8574**
3			1.0000	0.7469**	0.7641**	0.9927**	0.7508**	0.7753**	0.5358**	-1.0000**
4				1.0000	0.9987**	0.8152**	0.9990**	0.9862**	0.9595**	-0.7469
5					1.0000	0.8290**	0.9998**	0.9887**	0.9538**	-0.7641**
6						1.0000	0.8173**	0.8312**	0.6228**	-0.9927**
7							1.0000	0.9884**	0.9598**	-0.7508**
8								1.0000	0.9368**	-0.7753**
9									1.0000	-0.5358**
10										1.0000

n = 24; 5%=0.3976; 1%=0.5069

Y_S = میانگین عملکرد رقم در تیمار ۲۰۰ میلی‌متر، Y_P = میانگین عملکرد رقم در تیمار ۱۰۰ میلی‌متر،

Y_S = Average cultivar yield per 200 mm treatment; Y_P = Average cultivar yield per 100 mm treatment

همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین شاخص STI و شاخص‌های MP، GMP، HM و YI مشاهده شد. بیش‌ترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص STI به میزان r=۰/۹۹۹۰ با شاخص GMP دیده شد. هم‌چنین بیش‌ترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص MP به میزان r=۰/۹۹۹۸ با شاخص GMP محاسبه گردید (جدول ۱۱). شاخص MP همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با شاخص‌های GMP، HM و YI و همبستگی منفی

و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با شاخص YSI داشت. شاخص TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با شاخص‌های GMP، HM و YI داشت (جدول ۱۱). همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین شاخص GMP با شاخص‌های SSI، STI، MP، HM و YI محاسبه شد. شاخص HM همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد با شاخص‌های SSI، STI، MP، GMP و YI داشت (جدول ۱۲).

شاخص‌های STI، MP، TOL، GMP، HM دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر بودند که با نتایج سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) هم‌خوانی دارد.

همان‌طور که بررسی اعداد مربوط به شاخص SSI در جداول ۵ و ۷ نشان می‌دهند، مقاوم بودن رقم به تنش خشکی موجب می‌گردد تا سیر نزولی این شاخص مهم شتاب بیش‌تری گرفته و منفی‌تر عمل نماید. لذا رقمی مقاوم به تنش خشکی است که ضریب همبستگی شاخص SSI آن منفی‌تر شده یا روند نزولی شاخص آن شدیدتر باشد. عکس مطلب فوق برای شاخص YSI صادق است؛ بنابراین می‌توان شاخص‌های SSI و YSI را به‌عنوان بارزترین و شاخص‌ترین مؤلفه‌های تشخیص رقم مقاوم به تنش خشکی معرفی نمود. درنتیجه غیرحساس‌ترین شاخص برای معرفی تیمار متحمل به تنش خشکی شاخص GMP و حساس‌ترین شاخص‌ها SSI و YSI می‌باشند. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های علی‌پور و همکاران (Alipour et al., 2014) و حاجی‌بابایی و عزیزی (Haji Babaei et al., 2011) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری نهایی

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و رقم ازنظر کارایی مصرف آب نشان داد کاهش مصرف آب در تیمار تنش موجب کاهش عملکرد آب در این تیمار نسبت به تیمار فاقد تنش گردید. اثر کاهش مصرف آب حتی در تیمار تنش به حدی بود که نتوانست کاهش عملکرد به وقوع پیوسته در ازای کاهش مصرف آب را پوشش دهد و کماکان تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A علی‌رغم مصرف بیش‌تر آب نسبت به تیمار ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به دلیل افزایش عملکرد به وجود آمده بیش‌ترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص داد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در ردیف با تعداد ردیف دانه (r=۰/۹۲۵۹) و وزن هزار دانه (r=۰/۸۱۴۷) ازیک‌طرف و همبستگی مثبت و معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد دانه (r=۰/۸۴۷۸) از طرف دیگر حاکی از مؤثر بودن افزایش اجزای عملکرد در افزایش وزن هزار دانه و به‌تبع آن افزایش عملکرد دانه است؛ به‌عبارت‌دیگر همبستگی مثبت و معنی‌دار اجزای عملکرد با صفت مهم وزن هزار دانه از یک‌سو و همبستگی بسیار معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد از سوی دیگر بیانگر هم سو بودن روند افزایش اجزای عملکرد با افزایش عملکرد دانه است. رقم ذرتی که عملکرد دانه‌ی آن در هر دو حالت تنش و غیر تنش نسبت به دیگر ارقام موردبررسی برتری داشت، به‌عنوان رقم متحمل به تنش معرفی گردید؛ بنابراین در هیبرید PH3 که ازنظر تحمل به تنش خشکی برتر بود، مقادیر شاخص‌های SSI، STI، MP، GMP، HM و YI نیز نسبت به ارقام دیگر بالاتر بود.

قدردانی

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل تقبل هزینه‌های مادی و حمایت‌های معنوی در انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Alipour, M., Ranjbar, Gh., Khavari Khorasani, S., Babaeian Jelodar, N., 2014. Evaluation of drought tolerance in maize hybrids (*Zea mays* L.). Journal of Crop Breeding. 6(14). 41-53. [In Persian with English summary].

Azizi, F., Mahrukh, A., 2013. Determination of drought tolerance indices in different sweet maize hybrids. Journal of Crops Improvement. 15, 1-13. [In Persian with English summary].

Barzegari, M., 2017. Report on the introduction of maize variety: PH1. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Seed and Plant Improvement Institute. Safiabad Agricultural Research Center. [In Persian with English summary].

Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research. 89, 1-6 .

Choukan, R., Heidari, R., Mohammadi, A., Haddadi, M.H., 1998. Evaluation of drought tolerance in grain maize hybrids using drought tolerance indices. Journal of Seed and Plant. 24, 543-562. [In Persian with English summary].

Chukan, R., Tahrokhani, T., Candies, M. R., Khodarahmi, M., 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences. 8(1), 79-81. [In Persian with English summary].

Choukan, R., 2015. Final report of Yield trial of promising late and medium maturing maize hybrids (final stage). Ministry OF Jahad – e-Agriculture. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Seed and Plant Improvement Institute: 16p. [In Persian].

Cooper, M., Van Eeuwijk, F., Chapman, S. C., Podlich, D. W., Löffler, C., 2006. Genotype-by-environment interactions under water-limited conditions. In: Ribaut, J.M. (ed.), Drought Adaptation in Cereals. Binghamton, NY, the Haworth Press, Inc.pp: 51-96.

Dehghanpoor, Z., 2013. Directions for planting, keeping and harvesting corn. Ministry OF Jahad – e- Agriculture. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Seed and Plant Improvement Institute, 91-97. [In Persian].

Dehghanpour, Z., 2014. Technical instruction on planting, harvesting and harvesting of corn (grains and forage). Karaj, Ministry of Agriculture, Agricultural Research, Education and Promotion Institute, Seed and Plant Improvement Research Institute, Agricultural Education Publishing. [In Persian].

Edmeades, G.O., Bolanos, J., Banziger, M., Ortega, A., 1998. Developing drought and low-nitrogen tolerant. Maize Symposium Abstracts. Dept. Agriculture, University of Queensland, Brisbane 4072. Australia.

Emam, Y., Niknejad, M., 2004. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press, 571 p. [In Persian].

Estakhr, A., Chogan, R., 2006. The evaluation yield and components yield and correlation between them on foreign and native hybrides corn. Iranian Journal of Agricultural Science. 37(1), 85- 91. [In Persian with English summary].

Ghahfarrokhi, A. R., Khodabandeh, N., Ahmadi, A., Bankehsaz, A., 2004. Study on effect of drought stress in different growth stages on yield, yield components and quality of grain maize. Abstracts of the 8th Iranian Congress of Crop Sciences. College of Agriculture, University of Guilan, Rasht. 239p. [In Persian with English Summary].

Haji Babaei, M., Azizi, F., 2011. Evaluation of drought tolerance indices in some new maize hybrids. Electronic Journal of Crop Production. 4, 139-155. [In Persian with English summary].

Howell, T.A., Tock, J.A., Schneider, A.D., Evett, S.R., 1998. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. Agronomy Journal. 90, 3-9.

Kaman, H., Kirda, C., Sesveren, S., 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. Agricultural Water Management. 98, 801-807.

Panday, R.K., Marienville, J.W., Adum, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. I. Grain yield components. Agricultural Water Management. 46, 1-13.

Sadeghi, L., Madani, H., Rafiee, M., 2007. Investigation of the effect of different irrigation levels on yield and yield components of four corn maize cultivars. New Findings in Agricultural. 1, 278-267. [In Persian with English summary].

Sadek, S.E., Ahmed, M.A., Abdel-Ganeey, H.M., 2006. Correlation and path coefcient analysis in fve parents inbred lines and their six white maize (*Zea mays* L.) single crosses develobed and grown egypt. Journal of Applied Sciences Research. 2, 159-167.

Soltani, M., Azizi, F., Chaichi, M.R., 2013. Evaluating new forage maize hybrids, based on drought tolerance indicatores in low-irrigating regimes. Arid Biome. 3, 51-61. [In Persian with English summary].

Sephevand, M., 2009. Comparison of Water Requirement, Water Productivity and Its Economic Productivity in Wheat and Canola in the West of Iran during Rainy Years. Iranian Journal of Water Research. 3, 63-68. [In Persian with English summary].

Westgate, M.E., 1994. Water statues and development of the maize endosperm and embryo during drought stress. Crop science. 34, 76-83.