بررسی شاخص‌های تنش خشکی در کم آبیاری سطحی ذرت

نادر سلامتی[۱*] و امیرخسرو دانایی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۱)

چکیده

به‌منظور مطالعه و ارزیابی شاخص‌های تنش خشکی در روش آبیاری سطحی به‌روش جویچه‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه ذرت و کارایی مصرف آب آزمایشی طی دو سال (۹۴ -۱۳۹۳) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد. آبیاری در ۲ سطح (آبیاری پس از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A) به‌عنوان فاکتور اصلی و رقم در ۶ سطح به‌عنوان فاکتور فرعی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و ارقام V4 (PH1)، V5 (PH3) و V2 (S.C Mobin) به‌ترتیب با عملکردهای ۱/۳۵۳، ۱/۲۹۹ و ۱/۲۹۶ کیلوگرم دانه ذرت به‌ازای مصرف یک مترمکعب آب، به‌صورت مشترک در رتبه اول و جایگاه برتر قرار گرفتند. میانگین آب مصرفی در سال ۱۳۹۳ در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به‌ترتیب ۵۲۱/۲ و ۴۶۲/۴ میلی‌متر بود. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد با افزایش اجزای عملکرد از جمله: تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه، وزن هزار دانه افزایش یافت و به‌دلیل ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد دانه (r = ۰/۸۷۷۶) به‌تبع آن عملکرد دانه نیز افزایش یافت. بیشترین مقادیر شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP HM و YI در رقم V4 (PH1) محاسبه شد. بیشتر بودن مقادیر شاخص‌های فوق در رقم V4 (PH1) نسبت به دیگر ارقام موجب شد تا این تیمار، برتر معرفی شود. روند کاهشی عملکرد ذرت که با اعمال تنش کم آبی اتفاق افتاد، قطعاً موجب افزایش مقادیر شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP، HM و YI شد و برعکس کاهش عملکرد ذرت موجب تغییرات صعودی در شاخص YSI شد.

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

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

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

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nadersalamati@yahoo.com

مقدمه

ذرت یکی از محصولات غله‌ای مهم در جهان و در کشورهای در حال توسعه، 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 شد تا بیشتر مورد توجه محققین قرار گیرد. همچنین از گیاه ذرت برای مصارفی از قبیل: مصارف دارویی، صنعتی و استحصال اتانول به‌عنوان سوخت زیستی استفاده می‌شود (۹). تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد غلات دانه‌ای از جمله 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. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گیاه در طول رشد خود با دوره‌های کم آبی روبه‌رو می‌شود و برای تولید عملکرد مناسب باید بتواند این دوره‌ها را تحمل کند (۱۲). کوپر و همکاران (۸) گزارش کردند که ظرفیت و توانایی تولید ژنوتیپ های مختلف ذرت در شرایط تنش خشکی با توجه به ویژگی های 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 (۴).

قهفرخی و همکاران (۱۵) 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 از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند. آنها بیان کردند که تنش در مرحله رشد رویشی و گلدهی، صفات مورد بررسی 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 K ۳۶۵۱/۱ به‌عنوان متحمل‌ترین رقم در شرایط تنش در مرحله زایشی و رقم K ۳۶۵۱/۱ به‌عنوان متحمل‌ترین رقم در شرایط تنش در مرحله رویشی 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 مورد بررسی است، ارقام K ۳۶۱۵/۱ (به‌ترتیب با عملکرد ۴/۷۷، ۲/۷ و ۲/۴۳ تن در هکتار) و K ۱۹/۱ (به‌ترتیب با عملکرد ۴/۲۰، ۲/۸۳ و ۲/۵۱ تن در هکتار) را به‌عنوان رقم های با عملکرد بالا در هر سه شرایط بهینه، تنش در مراحل رویشی و زایشی تعیین کردند (۶). چوگان و همکاران (۵) 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 به‌ترتیب 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 شد 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 از نظر 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, GMP دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر بودند. بنابراین دارای ارزش گزینشی یکسانی برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی ذرت هستند (۲۲). 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 مورد بررسی، ارقام L10×k1263/1 و L5×k1263/1 ، 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 معنی دار بین شاخص‌ها، مربوط به GMP و STI (۰/۹۹) بود (۱). به منظور 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 شد. 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 هستند (۱۶). 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 (۲).

کامان و همکاران (۱۸) 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 می‌شود. 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 خرم آباد نشان داد که رژیم‌های مختلف شامل ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار عملکرد را به‌دنبال داشته‌اند. همچنین کاهش عملکرد دانه نتیجه کاهش تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف بوده است (۲۱). 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 (۲۱). استخر و چوگان (۱۳) دریافتند بیشترین همبستگی عملکرد دانه به‌ترتیب با صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف است.

هاول و همکاران (۱۷) 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 متر مکعب در شرایط آبیاری کامل و بدون تنش حاصل می‌شود. ادمیدس و همکاران (۱۱) اظهار داشتند که تنش خشکی عملکرد ذرت را به‌طور متوسط ۱۷ درصد کاهش می‌دهد اما بسته به شدت 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 (۱۹) .

در مورد اعمال تنش خشکی بر ارقام جدید معرفی شده در این پژوهش تاکنون در کشور تحقیقاتی انجام نشده یا نتایج چنین تحقیقاتی تاکنون منتشر نشده است. لذا با توجه به اهمیت ذرت به‌عنوان یکی از غلات مهم در ایران، با اجرای روش کم آبیاری 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 وروش‌ها

به‌منظور بررسی و تعیین عکس‌العمل ارقام جدید ذرت نسبت به تنش آبی، آزمایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با طول جغرافیایی ۱۴: ۵۰ شرقی و ۳۶: ۳۰ عرض شمالی به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار طی دو سال (۱۳۹۴– ۱۳۹۳) اجرا شد. محل آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک، ارتفاع آن از سطح دریا ۳۴۵ متر و متوسط بارندگی سالانه ۳۴۹ میلی‌متر بود. تیمار آبیاری نرمال و تنش خشکی به‌ترتیب شامل آبیاری بعد از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A در

کرت‌های اصلی و شش رقم ذرت (به‌نام‌های Karoon 701، S.C Mobin، S.C 704، PH1، PH3 و PH4) در کرت‌های فرعی مقایسه شدند. ارقام Karoon 701 و S.C Mobin در سال ۱۳۹۰ معرفی شده و با شرایط اقلیمی مناطق گرم‌وخشک سازگار هستند. میانگین عملکرد ارقام فوق به‌ترتیب ۵۵۰۰ و ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است. شکل دانه‌های آنها یکنواخت بوده و طول دوره رسیدگی‌شان به‌ترتیب ۱۲۲ و ۱۱۱ روز است (۱۰). رقم S.C 704 در سال ۱۳۸۵ معرفی شد. متوسط عملکرد آن ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار با طول دوره رسیدگی ۱۳۰ روز است. رقم PH1 از ارقام امیدبخش اصلاح شده در برنامه به‌نژادی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول است که پس از انجام آزمایشات متعدد در زمینه‌های مختلف (به‌جز در مورد تنش خشکی که تاکنون گزارش یا مقاله‌ای منتشر نشده است)، در سال ۱۳۹۸ معرفی می‌شود. میانگین عملکرد آن ۶۸۰۰ کیلوگرم در هکتار با طول دوره رسیدگی ۱۲۷ روز است (۳).

تهیه زمین شامل دو بار شخم عمود برهم، دو بار دیسک و ماله بود. هر هیبرید در چهار ردیف به‌طول ۶ متر با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر کشت شد. هر ردیف آزمایشی شامل ۳۰ کپه به‌فاصله ۲۰ سانتی‌متر بوده که بعد از تنک کردن یک بوته در هر کپه باقی ماند. عمق کاشت سه سانتی‌متر درنظر گرفته شد. تاریخ کاشت در سال اول ۴ مرداد و در سال دوم ۳ مرداد ماه بود. کاشت بذور به‌روش 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 به‌میزان 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 سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم هر یک به مقدار ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار همزمان با آماده‌سازی زمین به‌وسیله دیسک سبک با خاک مخلوط شد. نیتروژن از منبع اوره در دو نوبت (نصف کود اوره همزمان با آبیاری دوم به‌عنوان پایه و نصف دیگر کود اوره در مرحله ۷ تا ۹ برگی شدن به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف 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 شده و در میزان‌های مشخص تبخیر از تشت کلاس A با نمونه برداری از خاک و تعیین رطوبت موجود، برای رساندن رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه مقدار آب مورد نیاز در تیمارهای مربوطه بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد:

$$In = \frac{(Fc - ai).D.b}{100} \qquad (۱)$$

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 حداکثر ۶۰۰ میلی‌متر درنظر گرفته شد)، b: جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3) (۷). بدین ترتیب جرم مخصوص ظاهری و رطوبت ظرفیت مزرعه در طول اجرای آزمایش ثابت فرض شد. در هر بار درصد رطوبت خاک در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر تعیین و میزان آب مورد نیاز برای هر کرت فرعی محاسبه و به‌وسیله کنتور در هر کرت فرعی اعمال شد. بعد از سبز شدن کامل مزرعه با استعلام روزانه تبخیر از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بهبهان در یک روز قبل از اینکه مجموع تبخیر از تشت کلاس A به ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر می‌رسید، با نمونه‌برداری از خاک و تعیین رطوبت موجود برای 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 نمونهٔ آب تهیه و برای اندازه‌گیری‌های کیفی به آزمایشگاه ارسال شد. در هر سال قبل از کاشت نمونه‌برداری خاک برای آزمون انجام شد. نتایج آزمایش‌های آب و خاک در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. آمار روزانه بارندگی و تبخیر از تشت کلاس A از اداره هواشناسی سینوپتیک بهبهان استعلام شد. تبخیر تجمعی ماهانه از

جدول ۱. نتایج تجزیه نمونه آب

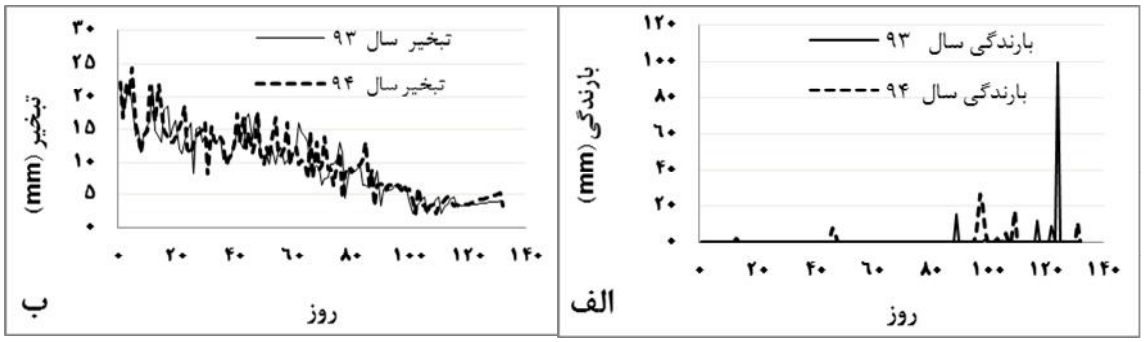
ردیف	EC (µS/m)	pH	T.D.S Mg/lit	کاتیون‌ها (meq/l)			آنیون‌ها (meq/l)		
				Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	HCO_3	So_4^{2-}	cl^{-}
۱	۱۹۷۰	۷/۴	۱۱۴۰	۸/۸	۳/۲	۸/۰	۳/۲	۸/۰	۸/۸

جدول ۲. نتایج تجزیه نمونه خاک آزمایش قبل از کاشت

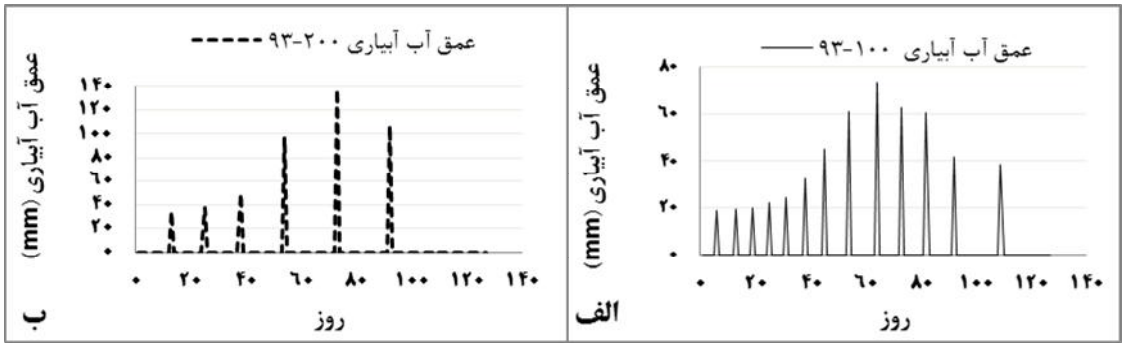
سال	قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m)	واکنش گل اشباع	درصد کربن آلی	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	وزن خصوص ظاهری g/cm3)(	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	بافت خاک
۱۳۹۳	۲/۸	۷/۶	۰/۶۴	۹/۸	۲۴۵	۱/۵۷	۲۴	سیلتی کلی لوم
۱۳۹۴	۳/۰	۷/۵	۰/۶۶	۹/۲	۲۵۰	۱/۵۷	۲۴	سیلتی کلی لوم

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 شکل‌های (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) به‌همین 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 شد، نشان داده شده است. در هر دو سال در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به ترتیب ۱۳ و ۶ نوبت آبیاری انجام شد. 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.

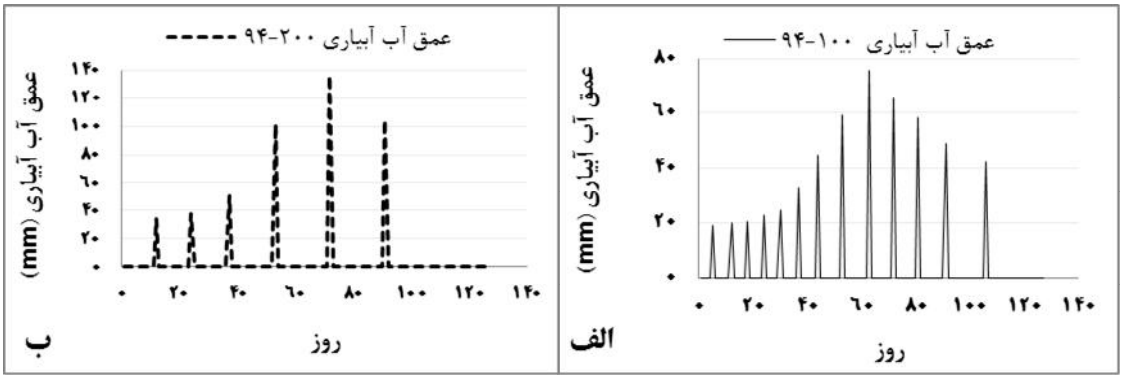
زمان شروع و خاتمه هر مرحله رشدی بر اساس مشاهده آن مرحله به‌ترتیب در ۴۰ و ۹۰ درصد هر کرت فرعی درنظر گرفته شد. بر این اساس یادداشت‌برداری از مراحل مهم رشد و نمو شامل تاریخ ظهور اندام‌های زایشی و رسیدگی فیزیولوژیک دانه انجام و در جدول‌های مربوطه ثبت شدند. همچنین برخی خصوصیات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته 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 به‌طول ۵ متر با مساحت ۷/۵ متر مربع برداشت شدند. پس از برداشت، سایر شاخص‌ها شامل تعداد ردیف دانه، تعداد دانه روی ردیف و وزن هزار دانه در جدول‌ها یادداشت‌برداری و ثبت شدند. سپس کل بلال‌های برداشت شده از هر کرت توزین و به‌وسیله شیلر، دانه از چوب بلال جدا شد. 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 شد. تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی، عملکرد دانه و اجزای آن با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C انجام و مقایسه میانگین‌های مربوطه به‌روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت. سرانجام مناسب‌ترین ارقام در شرایط تنش تعیین و شناسایی شدند. پارامترهای مختلف اندازه‌گیری و محاسبه شده با ضریب همبستگی پیرسون



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



شکل ۲. الف) عمق آب در تیمار نرمال آبیاری و ب) تیمار تنش و نوبت‌های آبیاری در سال اول آزمایش (از ۳ مرداد تا ۱۲ آذر)



شکل ۳. الف) عمق آب در تیمار نرمال آبیاری و ب) تیمار تنش و نوبت‌های آبیاری در سال دوم آزمایش (از ۳ مرداد تا ۱۲ آذر)

جدول ۳. تبخیر تجمعی از تشت کلاس A در ماه‌های انجام آزمایش (میلی‌متر) (از ۳ مرداد تا ۱۱ آذر)

سال	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	مجموع
۱۳۹۳	۵۳۳/۸	۴۳۷/۹	۲۶۸/۴	۱۵۵/۶	۲۵/۰	۱۴۲۰/۷
۱۳۹۴	۵۰۴/۶	۴۰۵/۷	۳۰۹/۲	۱۲۹/۲	۲۲/۰	۱۳۷۰/۷
میانگین	۵۱۹/۲	۴۲۱/۸	۲۸۸/۸	۱۴۲/۴	۲۳/۵	۱۳۹۵/۷

مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند.

بارندگی مؤثر از رابطه SCS (رابطه ۲) تعیین شد (۲۳):

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

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

ارزیابی ارقام از نظر تحمل به خشکی توسط شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI= Stress Susceptibility Index)، تحمل (TOL=Tolerance Index)، تحمل به تنش (STI =Stress Tolerance Index)، بهره‌وری متوسط (MP= Mean Productivity)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP=Geometric Mean Productivity)، میانگین هارمونیک (HM= Harmonic mean)، شاخص عملکرد (YI =Yield index) و شاخص پایداری عملکرد (YSI =Yield stability index) انجام شد. شاخص‌های فوق به‌شرح زیر محاسبه شدند (۱۴):

$$SSI = [1-(Y_S/Y_P)] / [1- (Y_{S'}/Y_{P'})] \quad (۳)$$

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (۴)$$

$$STI = (Y_P/Y_{P'}) (Y_S/Y_{S'}) (Y_{S'}/Y_{P'}) = (Y_P) (Y_S) / (Y_{P'})^2 \quad (۵)$$

$$GMP = (Y_P \times YS)^{.5} \quad (۶)$$

$$MP = (Y_P + Y_S)/2 \quad (۷)$$

$$HM = (2 \times Y_P \times YS)/(Y_P + Y_S) \quad (۸)$$

$$YI = Y_S / Y_S \quad (۹)$$

$$YSI = Y_S / Y_P \quad (۱۰)$$

در این فرمول Y_S و Y_P به‌ترتیب میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش، بدون تنش و $Y_{S'}$ و $Y_{P'}$ نیز میانگین کل عملکرد دانه رقم‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش است. دور آبیاری در دو سطح (آبیاری پس از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A) است. برای تجزیه‌وتحلیل رگرسیون چندمتغیره خطی (Linear Multivariate Regression) به‌روش گام به گام (Stepwise) 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.

نتایج و بحث

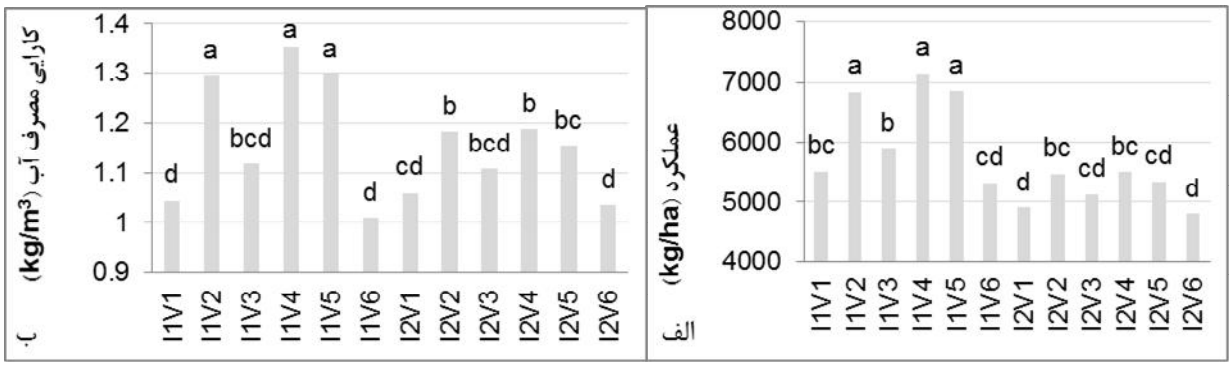
میانگین مربعات و سطح معنی‌دار بودن عملکرد و کارایی مصرف آب دانه ذرت در جدول تجزیه واریانس مرکب دو ساله نشان داد که اثر آبیاری، رقم و اثر متقابل آبیاری و رقم در عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر سال و تکرار معنی‌دار نبود (جدول ۴). البته اثر سال×آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار شد که دقت در اعداد و توضیحات شکل (۱) و جدول (۳) نشان می‌دهد که مجموع میزان تبخیر روزانه در دوره رشد ذرت در دو سال اجرای پروژه به‌ترتیب معادل ۱۴۲۰/۷ و۱۳۷۰/۷ میلی‌متر بود. میزان تبخیر بر میزان نیاز آبی ذرت و به‌تبع آن بر میزان آب داده شده به ذرت تأثیر داشته است به‌طوری که 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 می‌کند (جدول ۴).

مقایسه میانگین عملکرد دانه در اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و ارقام V4، V5 و V2 به‌ترتیب با عملکردهای ۷۱۴۳/۵، ۶۸۵۴/۹ و ۶۸۴۱/۲ کیلوگرم در هکتار به‌صورت مشترک در رتبه اول و جایگاه برتر قرار گرفتند. تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و رقم V3 با عملکرد ۵۸۹۸/۵ کیلوگرم در هکتار در رده‌ی بعدی جای داشت (شکل ۴ – الف). نتایج این آزمایش با نتایج حاصل از تحقیقات قهفرخی (۱۵)، کامان و همکاران (۱۸) و ادمیدس و همکاران (۱۱)، مطابقت دارد.

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	کارایی مصرف آب
سال	۱	n.s۴۹۱۹۵	n.s۰/۰۱۶۲
تکرارداخل سال	۶	n.s۲۸۰۹۸۱	n.s۰/۰۱۱۵
آبیاری	۱	**۲۷۵۲۴۰۲۶	n.s۰/۰۱۰۲
سال× آبیاری	۱	n.s۴۹۵	**۰/۰۰۴۷
خطا	۶	۲۱۷۱	۰/۰۰۰۰
رقم	۵	**۴۵۸۸۲۷۶	**۰/۱۷۷۶
سال× رقم	۵	n.s۱۶۲۰	n.s۰/۰۰۰۱
آبیاری×رقم	۵	**۹۶۳۶۳۴	**۰/۰۲۹۳
سال×آبیاری ×رقم	۶۰	n.s۴۱	n.s۰/۰۰۰۰
خطا	۹۵	۱۱۱۰۹۰	۰/۰۰۴۵
ضریب تغییرات	–	۵/۸۲	۵/۸۲

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



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

(I1= تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، I2= تیمار ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت

(V1= Karoon 701, V2= S.C Mobin, V3= S.C 704, V4= PH1, V5= PH3, V5= PH4,

مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و ارقام V4، V5 و V2 به‌ترتیب با عملکردهای ۱/۳۵۳، ۱/۲۹۹ و ۱/۲۹۶ کیلوگرم دانه ذرت به‌ازای مصرف یک مترمکعب آب، به‌صورت مشترک در رتبه اول و جایگاه برتر بودند. تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A و ارقام V4 و V2 به‌ترتیب با تولید ۱/۱۸۸ و ۱/۱۸۲ کیلوگرم دانه ذرت به‌ازای مصرف یک مترمکعب آب به‌صورت مشترک در ردهٔ دوم قرار گرفتند (شکل ۴ – ب). مقادیر کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف از ۱/۰۳۵ تا ۱/۳۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. دامنهٔ مقادیر

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

n = ۴۸ ٪۵=۰/۳۶۱۳ ٪۱=۰/۲۸۱۸	عملکرد دانه (kg/ha)	وزن هزار دانه (gr)	تعداد دانه در ردیف	تعداد ردیف دانه	طول بلال (cm)	روز تا رسیدگی	روز تا ظهور بلال	حجم آب مصرفی (m^3/ha)	کارایی مصرف آب (kg/m^3)
عملکرد دانه (kg/ha)	۱	۰/۸۵۴۱**	۰/۸۰۱۷**	۰/۶۶۳۹**	۰/۴۹۰۰**	−۰/۷۱۹۷**	۰/۳۵۳۴*	۰/۰۳۲۰	۰/۹۹۴۷**
وزن هزار دانه (gr)		۱	۰/۸۹۹۳**	۰/۷۸۹۳**	۰/۶۴۴۲**	−۰/۶۲۷۳**	۰/۴۳۵۱**	−۰/۱۶۱۲	۰/۸۶۳۱**
تعداد دانه در ردیف			۱	۰/۸۰۷۸**	۰/۵۱۸۶**	−۰/۷۱۹۹**	۰/۲۸۵۲*	−۰/۰۸۷۳	۰/۸۰۳۱**
تعداد ردیف دانه				۱	۰/۵۴۵۹**	−۰/۶۰۲۱**	۰/۱۶۵۹	۰/۲۰۶۳	۰/۶۷۸۲**
طول بلال (cm)					۱	−۰/۴۰۸۹**	۰/۲۴۱۵	۰/۳۳۲۴	۰/۵۲۰۰**
روز تا رسیدگی						۱	−۰/۱۸۹۶	−۰/۰۰۰۱	−۰/۷۱۳۳**
روز تا ظهور بلال							۱	−۰/۰۸۸۴	−۰/۳۴۳۸*
حجم آب مصرفی (m^3/ha)								۱	−۰/۱۳۴۲
کارایی مصرف آب (kg/m^3)									۱

کارایی مصرف آب این تحقیق با محدودهٔ دامنه‌ای که توسط هاول و همکاران (۱۷) نتیجه گرفتند، مطابقت و همخوانی داشت. کاهش مصرف آب در تیمار تنش (تیمار ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A) موجب کاهش عملکرد آب در این تیمار 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 تیمارها 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 به‌وقوع پیوسته در ازای کاهش مصرف آب را پوشش دهد و کماکان تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A با وجود مصرف بیشتر آب نسبت به تیمار ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به‌دلیل افزایش عملکرد به‌وجود آمده بیشترین کارایی مصرف آب را به‌خود اختصاص داد. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش کامان و همکاران (۱۸) همخوانی دارد. ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای صفات اندازه‌گیری شده در دو حالت تنش و بدون تنش نشان داد که:

عملکرد دانه در حالت بدون تنش همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد با صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه به‌عنوان اجزای عملکرد از خود نشان داد (جدول ۵). این درحالی بود که تنش خشکی موجب شد که عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری با تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه نداشته باشد (جدول ۶). عملکرد دانه در دو حالت فوق (تنش و بدون تنش) بیشترین همبستگی معنی‌دار را با کارایی مصرف آب از خود نشان داد به‌طوری که 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 معنی دار عملکرد دانه با اجزای عملکرد از جمله 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 (۱۳) و صادق و همکاران (۲۱) 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 معنی داری در سطح یک درصد با صفات تعداد دانه در ردیف،

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

n = ۴۸ ٪۵=۰/۳۶۱۳ ٪۵=۰/۲۸۱۸	عملکرد دانه (kg/ha)	وزن هزار دانه (gr)	تعداد دانه در ردیف	تعداد ردیف دانه	طول بلال (cm)	روز تا رسیدگی	روز تا ظهور بلال	حجم آب مصرفی (m^3/ha)	کارایی مصرف آب (kg/m^3)
عملکرد دانه (kg/ha)	۱	۰/۳۷۰۵*	۰/۲۶۲۵	۰/۰۷۷۸	-۰/۴۲۴۶**	-۰/۶۵۹۸**	۰/۶۳۲۳*	-۰/۰۵۳۲	۰/۹۹۹۸**
وزن هزار دانه (gr)		۱	۰/۶۱۳۷**	۰/۴۳۲۱**	۰/۰۵۰۴	-۰/۳۲۳۴*	۰/۳۷۶۵**	-۰/۳۷۲۱**	۰/۳۷۷۱**
تعداد دانه در ردیف			۱	۰/۵۲۷۷**	-۰/۱۰۲۰	-۰/۳۱۴۷*	۰/۲۲۸۹*	-۰/۱۵۸۹	۰/۲۶۵۱
تعداد ردیف دانه				۱	۰/۰۸۵۲	-۰/۱۷۷۷	۰/۱۱۰۹	۰/۳۰۹۱*	۰/۰۸۳۴
طول بلال (cm)					۱	۰/۵۶۵۷**	۰/۵۶۵۵**	۰/۳۳۰۷*	-۰/۴۱۷۸**
روز تا رسیدگی						۱	۰/۹۵۳۳**	-۰/۰۰۰۲	-۰/۶۵۸۹**
روز تا ظهور بلال							۱	-۰/۰۱۸۹	-۰/۶۳۱۱**
حجم آب مصرفی (m^3/ha)								۱	-۰/۰۷۲۱
کارایی مصرف آب (kg/m^3)									۱

تعداد ردیف دانه، طول بلال و کارایی مصرف آب نشان داد. این درحالی بود که وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با صفت روز تا رسیدگی داشت (جدول ۵). در حالت تنش، وزن هزار دانه توانست همبستگی مثبت و معنی‌دار خود در سطح یک درصد را با تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه حفظ کند. البته لازم به ذکر است که تنش خشکی موجب کاهش میزان همبستگی وزن هزار دانه در دو صفت فوق شد. ولی تنش خشکی موجب نشد تا این کاهش به‌حدی باشد که باعث معنی‌دار نشدن همبستگی دو صفت فوق با وزن هزار دانه شود (جدول‌های ۵ و ۶). بیشترین میزان همبستگی وزن هزار دانه در دو حالت فوق به میزان r=۰/۸۹۹۳ 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).

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 یک درصد بود (جدول ۵). تنش خشکی موجب شد 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=۰/۸۹۹۳ با صفت وزن هزار دانه محاسبه شد 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 (۲۰)، 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 یک درصد با صفات عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه و کارایی مصرف آب داشت (جدول ۵). تنش خشکی موجب شد تا طول بلال نه تنها همبستگی مثبت و معنی‌دار خود با صفات مزبور را از دست دهد بلکه موجب شد تا طول بلال همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با عملکرد و کارایی مصرف آب از خود نشان دهد. به‌عبارت دیگر تنش خشکی موجب شد تا طول بلال روند منفی و معنی‌داری با عملکرد و کارایی مصرف آب داشته باشد. بیشترین میزان همبستگی طول بلال به‌میزان r=۰/۶۴۴۲ 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

جدول ۷. تجزیه و تحلیل واریانس در مدل رگرسیون (تیمارهای فاقد تنش)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده	ضریب رگرسیون	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل شده	سطح معنی داری
مدل	۳	۶۸۵۳۸۳۵/۱۲۴	۴۱/۷۰	۰/۸۶۴	۰/۷۴۶	۰/۷۲۸	۰/۰۰**
خطا	۴۲	۱۶۶۸۸۲/۷۷۱					
کل	۴۵						

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

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

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	t محاسبه شده	سطح معنی‌داری
	ضریب B	خطای معیار	Beta		
عدد ثابت	-۱۴۸۸/۸۹۵	۷۰۹/۵۳۳	-	-۲/۰۹۸	۰/۰۴۲
X1= وزن هزار دانه	۱۷/۱۲۱	۴/۶۹۴	۰/۶۷۳	۳/۶۴۸	۰/۰۰۱**
X2= تعداد دانه در ردیف	۶۹/۹۹۲	۴۷/۳۶۲	۰/۲۸۳	۱/۴۷۸	۰/۱۴۷ n.s
X3= تعداد ردیف دانه	-۵۰/۱۷۳	۷۳/۳۵۶	-۰/۰۹۲	-۰/۶۸۴	۰/۴۹۸ n.s

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

جدول ۹. تجزیه و تحلیل واریانس در مدل رگرسیون (تیمارهای تنش)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F محاسبه شده	ضریب رگرسیون	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل شده	سطح معنی‌داری
مدل	۳	۳۸۷۶۵۰/۸۴۳	۲/۹۶۶	۰/۴۲۰	۰/۱۷۶	۰/۱۱۸	۰/۰۴۱*
خطا	۴۲	۱۲۹۳۱۶/۸۶۶					
کل	۴۵						

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

مطالعات پاندای و همکاران (۱۹) و وستیج (۲۴) 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 یک درصد را نشان داد (جدول ۵). ولی تنش خشکی موجب شد تا این صفت همبستگی معنی‌دار خود با تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه را از دست بدهد (جدول ۶).

نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس در مدل رگرسیون در دو حالت (تیمارهای فاقد تنش و تیمارهای تنش) در جدول‌های ۷ و ۹ نشان داده شده است. همچنین ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون در سه حالت فوق در جدول‌های ۸ و ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان داد در تیمارهای فاقد تنش، متغیرهای مورد بررسی ۷۴/۶ درصد (R^2=۰/۷۴۶) میزان نوسانات متغیر وابسته را تبیین می‌کنند. همچنین معنی‌دار بودن رگرسیون و رابطه

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

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد	t محاسبه شده	سطح معنی‌داری
	ضریب B	خطای معیار	Beta		
عدد ثابت	۱۰۹۲/۵۶۷	۱۴۸۳/۷۰۶	–	۰/۷۳۶	۰/۴۶۶
X1= وزن هزار دانه	۱۲/۰۹۲	۶/۲۷۴	۰/۳۴۲	۱/۹۲۷	۰/۰۶۱ n.s
X2= تعداد دانه در ردیف	۴۹/۰۴۹	۵۰/۹۶۸	۰/۱۸۰	۰/۹۶۲	۰/۳۴۱ n.s
X3= تعداد ردیف دانه	۷۸/۲۴۵	۷۸/۲۴۵	−۰/۱۵۲	−۰/۹۲۳	۰/۳۶۱ n.s

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

خطی بین متغیرها نیز مشخص شد ($P<۰/۰۱$) (جدول ۷). در تیمارهای تنش، متغیرهای معادله رگرسیون ۱۷/۶ درصد ($R^2=۰/۱۷۶$) 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 ۹). مدل نهایی رگرسیون چندمتغیره در حالتی که تیمارهای فاقد تنش بررسی شدند، میزان عملکرد ذرت را با معادله ذیل تخمین زد:

$$Y= -1488.895+17.121X_1+69.992\ X_2\ -50.173\ X_3$$

متغیری که بیشترین تأثیر مستقیم بر عملکرد ذرت داشت متغیر وزن هزار دانه بود ولی این تأثیر معنی‌دار نبود. این میزان تأثیر معادل ۰/۶۷۳ بود (جدول ۸). مدل نهایی رگرسیون چندمتغیره در حالتی که تیمارهای تنش بررسی شدند، میزان عملکرد ذرت را با معادله ذیل تخمین زد:

$$Y= 1092.567+12.092\ X_1+49.049\ X_2\ -72.242\ X_3$$

هیچ یک از متغیرها تأثیر مستقیم و معنی‌داری بر عملکرد ذرت نداشت (جدول ۱۰). به‌عبارت دیگر با عنایت به توضیحات فوق از بین اجزای عملکرد، وزن هزار دانه بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه ذرت داشت.

مقایسه شکل (۴) و استفاده از تیمارهای برتر این شکل نشان می‌دهد رقم PH1 که بیشترین عملکرد و کارایی مصرف آب را به‌خود اختصاص داده است باید در جدول (۱۱) ملاک عمل قرار گیرد. به‌عبارت دیگر 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 مورد بررسی را به بهترین شکل توجیه کند. بیشترین اعداد شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP، HM و YI مربوط به رقم PH1 و کمترین اعداد شاخص‌های فوق مربوط به رقم Karoon701 بود. همچنین کمترین میزان شاخص YSI متعلق به رقم PH1 بود. به‌عبارت دیگر دقت در عملکرد تیمارهای تنش و بدون تنش دو رقم PH1 و Karoon701 نشان می‌دهد که اعداد شاخص‌های فوق ارقام مورد بررسی را بر اساس عملکرد تنش و بدون تنش آنها به‌ترتیب از نزولی به صعودی طبقه‌بندی می‌کنند (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. به این ترتیب 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 همزمان برای شناسایی رقم‌های مناسب برای هر شرایط توصیه کرد. این نتیجه تحقیق با نتایج پژوهش‌های چوگان و همکاران (۶)، مطابقت و همخوانی دارد.

ضریب همبستگی شاخص‌های تنش خشکی نشان داد

جدول ۱۱. میانگین شاخص‌های تنش محاسبه شده در ارقام مورد بررسی

رقم	YSI	YI	HM	GMP	TOL	MP	STI	SSI	YP (kg/ha)	YS (kg/ha)
Karoon 701 V1:	۰/۸۹	۰/۹۴۵	۵۱۹۴/۲	۵۲۰۳/۰	۶۰۶/۷	۵۲۱۱/۸	۰/۶۹۱	۰/۶۴۳	۵۵۱۵/۲	۴۹۰۸/۵
V2: S.C Mobin	۰/۸۰	۱/۰۵۴	۶۰۸۱/۱	۶۱۱۸/۹	۱۳۶۸/۲	۶۱۵۷/۱	۰/۹۵۵	۱/۱۷۰	۶۸۴۱/۲	۵۴۷۲/۹
V3: S.C 704	۰/۸۷	۰/۹۸۸	۵۴۸۸/۴	۵۵۰۱/۷	۷۶۶/۸	۵۵۱۵/۱	۰/۷۷۷	۰/۷۶۰	۵۸۹۸/۵	۵۱۳۱/۷
V4: PH1	۰/۷۷	۱/۰۵۹	۶۲۱۵/۲	۶۲۶۸/۴	۱۶۴۳/۰	۶۳۲۲/۰	۱/۰۰۵	۱/۳۴۵	۷۱۴۳/۵	۵۵۰۰/۵
PH3 V5:	۰/۷۸	۱/۰۳۰	۶۰۰۷/۷	۶۰۵۴/۱	۱۵۰۸/۱	۶۱۰۰/۹	۰/۹۳۵	۱/۲۸۷	۶۸۵۴/۹	۵۳۴۶/۸
PH4 V6:	۰/۹۰	۰/۹۲۳	۴۷۹۳/۷	۵۰۵۳/۰	۵۳۲/۶	۵۰۶۰/۱	۰/۶۵۳	۰/۵۸۵	۵۳۲۶/۴	۴۷۹۳/۷
میانگین	۰/۸۰	۱/۰۰۰	۵۶۳۰/۰	۵۶۹۹/۹	۱۰۷۰/۹	۵۷۲۷/۸	۰/۸۰۰	۱/۰۰۰	۶۲۶۳/۳	۵۱۹۲/۴

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

همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین عملکرد رقم تحت تنش خشکی (Y_S) و عملکرد رقم فاقد تنش (Y_P)، وجود داشت. به‌عبارت دیگر رقمی که در حالت بدون تنش عملکرد بالاتری نسبت به دیگر ارقام داشت در حالت تنش نیز این برتری عملکرد به‌وقوع پیوست. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک 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 (۵) و عزیزی و ماهرخ (۲) مطابقت و همخوانی دارد. رقم فاقد تنش در تیمارهای ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت، بیشترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار را به میزان r=۰/۹۹۱۷ با شاخص MP داشت. مقایسهٔ اعداد ضریب همبستگی شاخص‌های تنش در عملکرد تیمارهای تنش و فاقد تنش نشان داد که با اعمال تنش خشکی، شاخص‌های SSI، STI، MP، TOL، GMP و HM کاهش و شاخص‌های YI و YSI افزایش یافت. به‌عبارت دیگر روند کاهشی عملکرد ذرت که با اعمال تنش کم‌آبی 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 شد (جدول ۱۲). قدر مطلق بیشترین اختلاف بین اعداد شاخص‌های تنش در عملکرد رقم تحت تنش و فاقد تنش در شاخص‌های SSI و YSI به‌ترتیب به میزان‌های ۰/۲۳۳۰ و ۰/۲۳۳۰ محاسبه شد. همچنین کمترین اختلاف بین اعداد شاخص‌های تنش در عملکرد رقم تحت تنش و فاقد تنش در شاخص GMP به میزان ۰/۰۲۰۲ محاسبه شد (جدول ۱۲). شاخص SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص‌های STI، MP، TOL، GMP، HM و YI و همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص YSI داشت. بیشترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص SSI به میزان r=۰/۹۹۲۶ با شاخص TOL محاسبه شد (جدول ۱۲).

همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد بین شاخص STI و شاخص‌های MP، GMP، HM و YI محاسبه شد. بیشترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص STI به میزان r=۰/۹۹۸۹ با شاخص GMP محاسبه شد. همچنین بیشترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص MP به‌میزان r=۰/۹۹۹۸ با شاخص GMP محاسبه شد (جدول ۱۲). شاخص MP همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص‌های GMP، HM و YI و همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص YSI داشت. شاخص TOL همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص‌های GMP، HM و YI داشت (جدول ۱۲). همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد بین شاخص GMP با

جدول ۱۲. ضریب همبستگی محاسبه شده شاخص‌های تنش

۴۸n = ۰/۲۷۸۹=٪۵ ۰/۳۶۱۳=٪۱	YS (kg/ha)	YP (kg/ha)	SSI	STI	MP	TOL	GMP	HM	YI	YSI
YS(kg/ha)	۱	۰/۹۲۲۳**	۰/۶۷۱۶**	۰/۹۶۸۳**	۰/۹۶۴۶**	۰/۷۴۴۲**	۰/۹۶۹۰**	۰/۹۵۶۹**	۱/۰۰۰۰**	-۰/۶۷۱۶**
YP(kg/ha)		۱	۰/۹۰۴۶*	۰/۹۸۸۰**	۰/۹۹۱۷**	۰/۹۴۴۷**	۰/۹۸۹۲**	۰/۹۸۱۶**	۰/۹۲۲۳**	-۰/۹۰۴۶*
SSI			۱	۰/۸۲۹۱**	۰/۸۴۲۴**	۰/۹۹۲۶**	۰/۸۳۳۱**	۰/۸۳۶۲**	۰/۶۷۱۶**	-۱/۰۰۰۰**
STI				۱	۰/۹۹۸۸**	۰/۸۸۴۸**	۰/۹۹۸۹**	۰/۹۸۸۰**	۰/۹۶۸۳**	-۰/۸۲۹۱**
MP					۱	۰/۸۹۴۲**	۰/۹۹۹۸**	۰/۹۹۰۶**	۰/۹۶۴۶**	-۰/۸۴۲۴**
TOL						۱	۰/۸۸۶۳**	۰/۸۸۳۵**	۰/۷۴۴۴**	-۰/۹۹۲۶**
GMP							۱	۰/۹۹۰۸**	۰/۹۶۹۰**	-۰/۸۳۳۱**
HM								۱	۰/۹۵۶۹**	-۰/۸۳۶۲**
YI									۱	-۰/۶۷۱۶**
YSI										۱

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

شاخص‌های SSI، STI، MP، HM و YI محاسبه شد. شاخص HM همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک 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 این با نتایج سلطانی و همکاران (۲۲) همخوانی دارد.

همان‌طور که بررسی اعداد مربوط به شاخص SSI در جدول‌های ۵، ۶ و ۱۲ نشان می‌دهند، مقاوم بودن رقم به تنش خشکی موجب می‌شود تا سیر نزولی این شاخص مهم شتاب بیشتری گرفته و منفی‌تر عمل کند. لذا رقمی مقاوم به تنش خشکی است که رقم 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 کرد. درنتیجه غیرحساس‌ترین شاخص برای معرفی تیمار متحمل به تنش خشکی شاخص GMP و حساس‌ترین شاخص‌ها SSI وYSI هستند. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های علی‌پور و همکاران (۱) و حاجی بابایی و عزیزی (۱۶) همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و رقم از نظر کارایی مصرف آب نشان داد کاهش مصرف آب در تیمار تنش موجب کاهش عملکرد در این تیمار نسبت به تیمار فاقد تنش شد. اثر کاهش مصرف آب حتی در تیمار تنش به حدی بود که نتوانست کاهش عملکرد به‌وقوع پیوسته در ازای کاهش مصرف آب را پوشش دهد و کماکان تیمار ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A با وجود مصرف بیشتر آب نسبت به تیمار ۲۰۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A به‌دلیل افزایش عملکرد به وجود آمده بیشترین کارایی مصرف آب را به‌خود اختصاص داد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه (r=۰/۸۸۷۳) و همبستگی بسیار معنی‌دار تعداد دانه در ردیف با وزن هزار دانه (r=۰/۹۴۴۳) از یک طرف و همبستگی معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد دانه (r=۰/۸۷۷۶)

از طرف دیگر حاکی از مؤثر بودن افـزایش اجـزای عملکـرد در افزایش وزن هزار دانه و به‌تبع آن افزایش عملکـرد دانـه اسـت. به‌عبارت دیگر همبستگی معنی‌دار اجزای عملکرد با صفت مهم وزن هزار دانه از یک‌سو و همبستگی بسیار معنی‌دار وزن هـزار دانه با عملکرد از سوی دیگر بیانگر همسو بودن رونـد افـزایش اجزای عملکرد با افزایش عملکرد دانـه اسـت. رقـم ذرتـی کـه عملکرد دانهٔ آن در هر دو حالت تنش و غیـر تـنش نسـبت بـه دیگر ارقام مورد بررسی برتری داشت، به‌عنوان رقم متحمـل بـه تنش معرفی شد. بنابراین رقم PH1 که از نظر تحمـل بـه تـنش خشکی برتر بود، مقادیر شـاخص‌هـای SSI، STI، MP، GMP، HM و YI نیز نسبت به ارقام دیگر بالاتر بود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مرکـز تحقیقـات و آمـوزش کشـاورزی و منـابع طبیعی خوزستان به‌دلیل تقبل هزینه‌های مـادی و حمایـت‌هـای معنوی در انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Alipour, M., Gh. Gholamali Ranjbar, S. Khavari Khorasani and N. Babaeian Jelodar. 2014. Evaluation of drought tolerance in maize hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Crop Breeding* 6(14): 41-53.
2. Azizi, F. and A. Mahrukh. 2013. Determination of drought tolerance indices in different sweet maize hybrids. *Agricultural Crops* 15(1): 1-13.
3. 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 3-5. (in Farsi).
4. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89: 1-6.
5. Choukan, R., R. Heidari, A. Mohammadi and M. H. Haddadi. 1998. Evaluation of drought tolerance in maize hybrids using indicators of drought tolerance. *Journal of Seed and Plant* 24: 543-562.
6. Chukan, R., T. Tahrokhani, M. R. Candies and M. Khodarahmi. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Sciences* 8(1): 79-81.
7. 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. (in Farsi).
8. Cooper, M., F. Van Eeuwijk, S. C. Chapman, D. W. Podlich and C. Löffler. 2006. Genotype-by-environment interactions under water-limited conditions. PP. 51-96. *In*: Ribaut J. M. (Ed.), Drought Adaptation in Cereals. Binghamton, NY, The Haworth Press.
9. 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 Farsi).
10. 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, Final report Agricultural Education Publishing. (in Farsi)
11. Edmeades, G. O., J. Bolanos, M. Banziger and A. Ortega. 1998. Developing drought and low-nitrogen tolerant. Maize Symposium Abstracts. Dept. Agriculture, University of Queensland, Brisbane 4072. Australia.
12. Emam, Y. and M. Niknejad. 2004. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press. (in Farsi).
13. Estakhr, A. and R. Choukan. 2006. The evaluation yield and components yield and correlation between them on foreign and native hybrids corn. *Iranian Journal Agriculture Science, Specific for Crops, Breeding and Biotechnological Science* 37(1): 85-91.
14. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *In*: Kuo, C. C. (Ed.), Procceding of an International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shanhua, Taiwan.

15. Ghahfarrokhi, A. R., N. Khodabandeh, A. Ahmadi and A. Bankehsaz. 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. (in Farsi). From https://agri.guilan.ac.ir/
16. Haji Babaei, M. and F. Azizi. 2011. Evaluation of drought tolerance indices in some new maize hybrids. *Electronic Journal of Crop Production* 4(3): 139-155.
17. Howell, T. A., J. A. Tock, A. D. Schneider and S. R. Evett. 1998. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agronomy Journal* 90: 3-9.
18. Kaman, H., C. Kirda and S. Sesveren. 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 98: 801-807.
19. Panday, R. K., J. W. Marienville and A. Adum. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. I. Grain yield components. *Agricultural Water Management* 46: 1-13.
20. Sadeghi, L., H. Madani and M. Rafiee. 2007. Investigation of the effect of different irrigation levels on yield and yield components of four corn maize cultivars. *New Agricultural Findings* 1(4): 278-267.
21. Sadek. S. E., M. A. Ahmed and H. M. Abdel-Ganeey. 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(3): 159-167.
22. Soltani, M., F. Azizi and M. R. Chaichi. 2013. Evaluating new forage maize hybrids, based on drought tolerance indicatores in low-irrigating regimes. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 3(2): 51-61.
23. 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(4): 63-68.
24. Westgate, M. E. 1994. Water statues and development of the maize endosperm and embryo during drought stress. *Crop Science* 34: 76-83.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 4, Winter 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of Drought Stress Indices in Corn Surface Water Deficit

N. Salamati[1*] and A. Danaie[2]

(Received: April 18-2020; Accepted: July 1-2020)

Abstract

In order to study and evaluate the drought stress indices in surface irrigation by furrow method on grain yield, the yield components and water use efficiency, an experiment was conducted at Behbahan Agricultural Research Station in 2014-16. The experiment was conducted as a split plot in a randomized complete block design with 4 replications. Irrigation at two levels (irrigation after 100 and 200 mm evaporation from Class A pan, respectively) was evaluated as the main factor and corn cultivar was considered at 6 levels as the sub-factor. Comparison of the mean water use efficiency in irrigation and cultivar interactions showed 100 mm evaporation from Class A pan and cultivars V4 (PH1), V5 (PH3) and V2 (SC Mobin) were ranked the first and foremost, respectively, with the yields of 1.353, 1.299 and 1.296 kg of corn per kg of water consumed, respectively. The mean water consumed in 2014 of the experiment in 100 and 200 mm evaporation from Class A pan was 521.2 and 462.4 mm, respectively. Pearson correlation coefficient results also showed that with increasing the yield components, such as the number of grains per row and number of rows, the 1000-grain weight was increased due to the highly significant correlation coefficient of 1000-grain weight with grain yield (r = 0.8776). Consequently, grain yield was also increased. The highest values of SSI, STI, MP, TOL, GMP HM and YI indices were calculated in V4 (PH1). The higher values of the above indices in cultivar V4 (PH1) than other cultivars caused this treatment to be introduced as the superior one. The decreasing trend of corn yield, which was caused by water deficit stress, increased SSI, STI, MP, TOL, GMP and YI indices, while it decreased corn yield, leading to incremental changes in the YSI indices.

Keywords: 1000-grain weight, Water use efficiency, Variety, Evapotranspiration.

1 Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
2. Seed and Plant lmprovement Department, Khuzestan. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran
Corresponding author, Email: nadersalamati@yahoo.com