

بررسی شاخص‌های تنش خشکی در کم آبیاری سطحی ذرت

نادر سلامتی^{۱*} و امیر خسرو دانایی^۲

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

چکیده

به منظور مطالعه و ارزیابی شاخص‌های تنش خشکی در روش آبیاری سطحی به روش 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 به صورت کرت‌های یک‌بار خسرده 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) به عنوان فاکتور اصلی و رقم در ۶ سطح به عنوان 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 (PH1) V4، (PH3) V5 و (S.C Mobin) V2 به ترتیب با عملکردهای ۱/۳۵۳، ۱/۲۹۹ و ۱/۲۹۶ کیلوگرم دانه ذرت به ازای مصرف یک مترمکعب آب، به صورت 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 به ترتیب 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 به دلیل ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد دانه ($r = 0/8776$) به تبع آن عملکرد دانه نیز افزایش یافت. بیشترین مقادیر شاخص‌های YI، GMP، STI، SSI، MP، TOL، HM و YI در رقم (PH1) V4 محاسبه شد. بیشتر بودن مقادیر شاخص‌های فوق در رقم (PH1) V4 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 YI، GMP، TOL، MP، STI، SSI و HM 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 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 علائم‌ها 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 رقم‌های 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 GMP، HARM، STI، MP 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

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 به ترتیب 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 کم‌آبیاری می‌توان در هنگام بروز خشکسالی با کمبود آب سازگار شد. هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر تنش خشکی از طریق اعمال دوره‌های 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 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 به ترتیب شامل آبیاری بعد از ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A در

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، 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 (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، 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 خرم‌آباد نشان داد که رژیم‌های مختلف شامل ۷۵ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به ترتیب 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 (۲۱). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که عملکرد دانه

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 استعمال 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:

$$I_n = \frac{(F_c - a_i).D.b}{100} \quad (1)$$

که در آن I_n : عمق آب آبیاری برحسب میلی متر، F_c : رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (درصد وزنی)، a_i : رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد وزنی)، D : عمق ریشه برحسب میلی متر (برای ذرت حداکثر ۶۰۰ میلی متر در نظر 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 ۳۰-۶۰ و ۳۰-۳۰ سانتی متر تعیین و میزان آب مورد نیاز برای هر کرت فرعی محاسبه و به وسیله کنتور در هر کرت فرعی اعمال شد. بعد از سبز شدن کامل مزرعه با استعمال روزانه تبخیر از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بهبهان در یک روز قبل از اینکه مجموع تبخیر از تشت کلاس A به ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی متر می رسد، با نمونه برداری 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 به وسیله کنتور به هر کرت فرعی داده شد. از آب آبیاری در طول فصل نمونه آب تهیه و برای اندازه گیری های کیفی به آزمایشگاه ارسال شد. در هر سال قبل از کاشت نمونه برداری خاک برای آزمون انجام شد. نتایج آزمایش های آب و خاک در جدول های ۱ و ۲ نشان داده شده است. آمار روزانه بارندگی و تبخیر از تشت کلاس A از اداره هواشناسی سینوپتیک بهبهان استعمال شد. تبخیر تجمعی ماهانه از

کرت های اصلی و شش رقم ذرت (به نام های Karoon 701, S.C Mobin, S.C 704, PH1, PH3 و PH4) در کرت های فرعی مقایسه شدند. ارقام Karoon 701 و S.C Mobin در سال ۱۳۹۰ معرفی شده و با شرایط اقلیمی مناطق گرم و خشک سازگار هستند. میانگین عملکرد ارقام فوق به ترتیب ۵۵۰۰ و ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است. شکل دانه های آنها یکنواخت بوده و طول دوره رسیدگی شان به ترتیب 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 PHI از ارقام امیدبخش اصلاح شده در برنامه به- نژادی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول است که پس از انجام آزمایشات متعدد در زمینه های مختلف (به جز در مورد تنش خشکی که تاکنون گزارش یا مقاله ای منتشر نشده است)، در سال ۱۳۹۸ معرفی می شود. 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 به طول ۶ متر با فاصله ردیف ۷۵ سانتی متر کشت شد. هر ردیف آزمایشی شامل ۳۰ کپه به فاصله ۲۰ سانتی متر بوده که بعد از تنک کردن یک بوته در هر کپه باقی ماند. عمق کاشت سه سانتی متر در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در سال اول ۴ مرداد و در سال دوم ۳ مرداد ماه بود. کاشت بذور به روش خشکه کاری و با دست روی ردیف ها انجام گرفت. بعد از حصول اطمینان از سبز شدن یکنواخت مزرعه بوته های اضافی در مرحله ۳ تا ۴ برگی با رعایت فاصله بین بوته ها حذف شدند. مبارزه علیه علف های هرز به وسیله علف کش 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 سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم هر یک به مقدار ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار همزمان با آماده سازی زمین به وسیله دیسک سبک با خاک مخلوط شد. نیتروژن از منبع اوره در دو نوبت (نصف کود اوره همزمان با آبیاری دوم به عنوان پایه و

جدول ۱. نتایج تجزیه نمونه آب

ردیف	EC ($\mu\text{S/m}$)	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

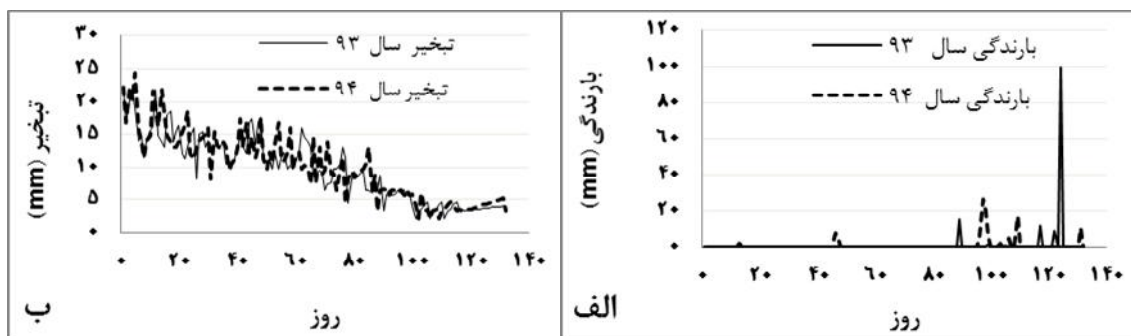
جدول ۲. نتایج تجزیه نمونه خاک آزمایش قبل از کاشت

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/cm ³)	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	بافت خاک
۱۳۹۳	۲/۸	۷/۶	۰/۶۴	۹/۸	۲۴۵	۱/۵۷	۲۴	سیلنتی کلی لوم
۱۳۹۴	۳/۰	۷/۵	۰/۶۶	۹/۲	۲۵۰	۱/۵۷	۲۴	سیلنتی کلی لوم

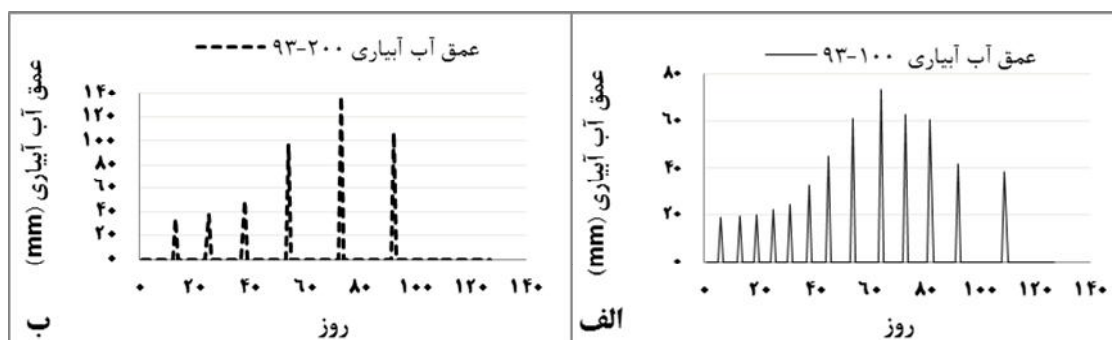
خصوصیات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته و بلال اندازه‌گیری و یادداشت شدند. دو هفته پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف در هر کرت فرعی دو ردیف وسط به طول ۵ متر با مساحت ۷/۵ متر مربع برداشت شدند. پس از برداشت، سایر شاخص‌ها شامل تعداد ردیف دانه، تعداد دانه روی ردیف و وزن هزار دانه در جدول‌ها یادداشت‌برداری و ثبت شدند. سپس کل بلال‌های برداشت شده از هر کرت توزین و به وسیله شیلر، دانه از چوب بلال جدا شد. به منظور 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 به روش 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

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 به ترتیب 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) 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 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 به ترتیب ۵۲۱/۲ و ۴۶۲/۴ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۴ به ترتیب ۵۳۴/۸ و ۴۶۳/۷ میلی‌متر بودند.

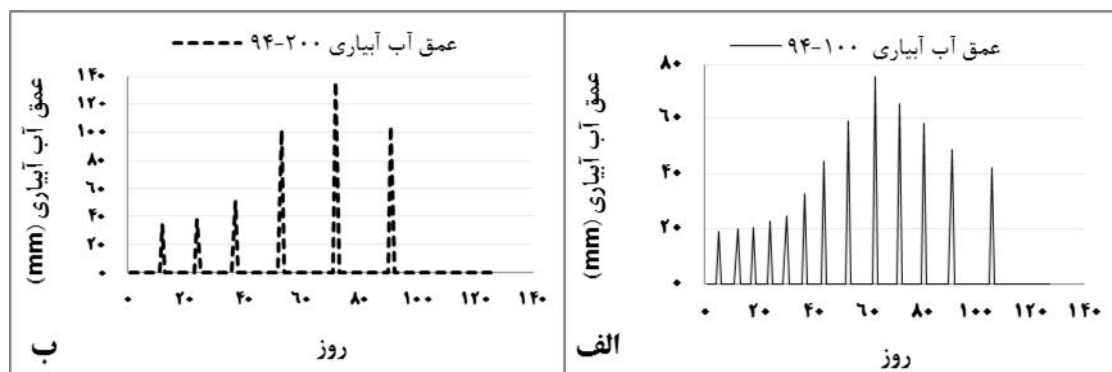
زمان شروع و خاتمه هر مرحله رشدی بر اساس مشاهده آن مرحله به ترتیب در ۴۰ و ۹۰ درصد هر کرت فرعی در نظر گرفته شد. بر این اساس یادداشت‌برداری از مراحل مهم رشد و نمو شامل تاریخ ظهور اندام‌های زایشی و رسیدگی فیزیولوژیک دانه انجام و در جدول‌های مربوطه ثبت شدند. همچنین برخی



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

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 به ترتیب معادل ۱۴۲۰/۷ و ۱۳۷۰/۷ میلی‌متر بود. میزان تبخیر بر میزان نیاز آبی ذرت و به تبع آن بر میزان آب داده شده به ذرت تأثیر داشته است به‌طوری که میزان آب دریافتی ذرت در دو سال انجام آزمایش به ترتیب 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 به ترتیب 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.

مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

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

$$Pe = P \times \frac{(125 - (0.2 \times P))}{125} \quad (2)$$

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 (Stress Tolerance Index =STI)، 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 به شرح زیر محاسبه شدند (۱۴):

$$SSI = [1 - (Y_S / Y_P)] / [1 - (Y_S' / Y_P')] \quad (3)$$

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (4)$$

$$STI = (Y_P / Y_P') (Y_S / Y_S') (Y_S / Y_P') = (Y_P) (Y_S) / (Y_P')^2 \quad (5)$$

$$GMP = (Y_P \times Y_S)^{.5} \quad (6)$$

$$MP = (Y_P + Y_S) / 2 \quad (7)$$

$$HM = (2 \times Y_P \times Y_S) / (Y_P + Y_S) \quad (8)$$

$$YI = Y_S / Y_S \quad (9)$$

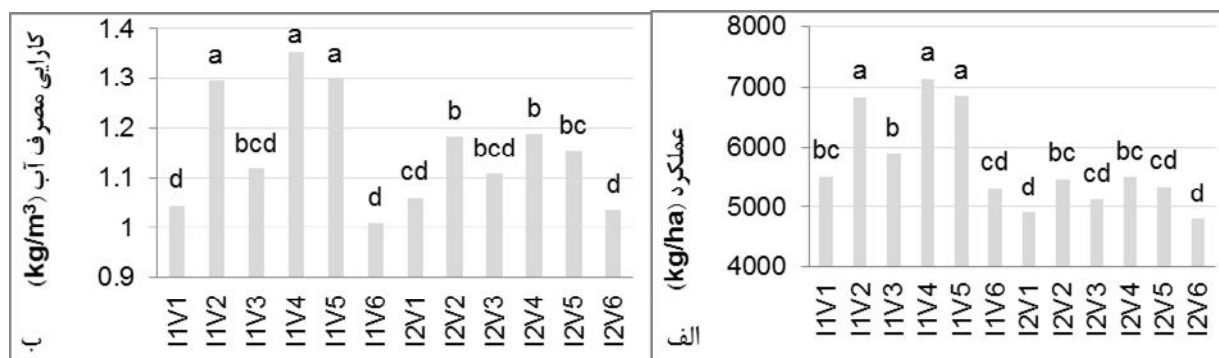
$$YSI = Y_S / Y_P \quad (10)$$

در این فرمول Y_P و Y_S به ترتیب میانگین عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش، بدون تنش و Y_P' و Y_S' 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 تجزیه و تحلیل رگرسیون چندمتغیره خطی (Linear Multivariate Regression) به روش گام به گام (Stepwise) و انجام تجزیه علیت از نرم‌افزار SPSS16 بهره گرفته شد. تجزیه فوق به‌منظور تبیین میزان

جدول ۴ میانگین مربعات و سطح معنی دار 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.s.۴۹۱۹۵	n.s.۰/۰۱۶۲
تکرارداخل سال	۶	n.s.۲۸۰۹۸۱	n.s.۰/۰۱۱۵
آبیاری	۱	**۲۷۵۲۴۰۲۶	n.s.۰/۰۱۰۲
سال×آبیاری	۱	n.s.۴۹۵	**۰/۰۰۴۷
خطا	۶	۲۱۷۱	۰/۰۰۰۰
رقم	۵	**۴۵۸۸۲۷۶	**۰/۱۷۷۶
سال×رقم	۵	n.s.۱۶۲۰	n.s.۰/۰۰۰۱
آبیاری×رقم	۵	**۹۶۳۶۳۴	**۰/۰۲۹۳
سال×آبیاری×رقم	۶۰	n.s.۴۱	n.s.۰/۰۰۰۰
خطا	۹۵	۱۱۱۰۹۰	۰/۰۰۴۵
ضریب تغییرات	-	۵/۸۲	۵/۸۲

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



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

(I1= تیمار ۱۰۰ میلی متر تبخیر از تشت، I2= تیمار ۲۰۰ میلی متر تبخیر از تشت)

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

میلی متر تبخیر از تشت کلاس A و ارقام V2 و V4 به ترتیب با تولید ۱/۱۸۸ و ۱/۱۸۲ کیلوگرم دانه ذرت به ازای مصرف یک مترمکعب آب به صورت مشترک در رده 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. دامنه مقادیر

مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در اثرات متقابل آبیاری و رقم نشان داد که تیمار ۱۰۰ میلی متر تبخیر از تشت کلاس A و ارقام V4، V5 و V2 به ترتیب با عملکردهای ۱/۳۵۳، ۱/۲۹۹ و ۱/۲۹۶ کیلوگرم دانه ذرت به ازای مصرف یک مترمکعب آب، به صورت مشترک در رتبه اول و جایگاه برتر بودند. تیمار ۱۰۰

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

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

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 معنی‌دار 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 معنی‌داری در سطح یک درصد با صفات تعداد دانه در ردیف،

کارایی مصرف آب این تحقیق با محدوده دامنه‌ای که توسط هاوول 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

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

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

میزان همبستگی تعداد دانه در ردیف به میزان $r=0/8993$ با صفت وزن هزار دانه محاسبه شد که بیانگر نقش مؤثر تعداد ردیف دانه در افزایش وزن هزار دانه و به تبع 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 معنی دار خود با صفات مزبور را از دست دهد بلکه موجب شد تا طول بلال همبستگی منفی و معنی داری در سطح یک درصد با عملکرد و کارایی مصرف آب از خود نشان دهد. به عبارت دیگر تنش خشکی موجب شد تا طول بلال روند منفی و معنی داری با عملکرد و کارایی مصرف آب داشته باشد. بیشترین میزان همبستگی طول بلال به میزان $r=0/6442$ با صفت وزن هزار دانه محاسبه شد که بیانگر نقش مؤثر وزن هزار دانه در افزایش طول بلال و به تبع آن افزایش عملکرد ذرت بود (جدول ۵). نتایج این پژوهش با نتایج

تعداد ردیف دانه، طول بلال و کارایی مصرف آب نشان داد. این در حالی بود که وزن هزار دانه همبستگی منفی و معنی داری در سطح یک درصد با صفت روز تا رسیدگی داشت (جدول ۵). در حالت تنش، وزن هزار دانه توانست همبستگی مثبت و معنی دار 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 به حدی باشد که باعث معنی دار نشدن همبستگی دو صفت فوق با وزن هزار دانه شود (جدول های ۵ و ۶). بیشترین میزان همبستگی وزن هزار دانه در دو حالت فوق به میزان $r=0/8993$ با صفت تعداد دانه در ردیف محاسبه شد که بیانگر نقش مؤثر تعداد دانه در ردیف در افزایش وزن هزار دانه و به تبع 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 معنی دار و هم راستا در سطح یک درصد بود (جدول ۵). تنش خشکی موجب شد تا تعداد دانه در ردیف همبستگی مثبت و معنی دار خود با عملکرد و کارایی مصرف آب را از دست بدهد (جدول ۶). بیشترین

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	سطح معنی داری
مدل	۳	۶۸۵۳۸۳۵/۱۲۴	۴۱/۷۰	۰/۸۶۴	۰/۷۴۶	۰/۰۰**
خطا	۴۲	۱۶۶۸۸۲/۷۷۱			۰/۷۲۸	
کل	۴۵					

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

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

مدل	ضرایب غیر استاندارد		ضرایب استاندارد		سطح معنی داری
	ضریب B	خطای معیار	Beta	t محاسبه شده	
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 معنی دار در سطح ۱٪ * : اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ n.s. : اختلاف معنی داری 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	سطح معنی داری
مدل	۳	۳۸۷۶۵۰/۸۴۳	۲/۹۶۶	۰/۴۲۰	۰/۱۷۶	۰/۰۴۱*
خطا	۴۲	۱۲۹۳۱۶/۸۶۶			۰/۱۱۸	
کل	۴۵					

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

نتایج تجزیه و تحلیل 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 ($R^2=0/746$) میزان نوسانات متغیر وابسته را تبیین می‌کنند. همچنین معنی دار بودن رگرسیون و رابطه

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 معنی دار و هم‌راستا در سطح یک درصد را نشان داد (جدول ۵). ولی تنش خشکی موجب شد تا این صفت همبستگی معنی دار خود با تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف دانه را از دست بدهد (جدول ۶).

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

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

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

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 STI، SSI، 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. به عبارت 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 به ترتیب 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

خطی بین متغیرها نیز مشخص شد ($P < 0/01$) (جدول ۷). در تیمارهای تنش، متغیرهای معادله رگرسیون ۱۷/۶ درصد ($R^2 = 0/176$) میزان نوسانات متغیر وابسته را تبیین می‌کنند که نشان‌دهنده پایین بودن میزان وابستگی متغیرها بود و همچنین معنی دار نبودن رگرسیون و رابطه خطی بین متغیرها نیز مشخص شد ($P > 0/05$) (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 معنی دار 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 معنی داری بر عملکرد ذرت نداشت (جدول ۱۰). به عبارت 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 به خود اختصاص داده است باید در جدول (۱۱) ملاک عمل قرار گیرد. به عبارت دیگر ستون‌هایی از جدول (۱۱) که در

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

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

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

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، YI و همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد با شاخص YSI داشت. بیشترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص SSI به میزان $r=0/9926$ 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 $r=0/9989$ با شاخص GMP محاسبه شد. همچنین بیشترین ضریب همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص MP به میزان $r=0/9998$ 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 بین شاخص GMP با

همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین عملکرد رقم تحت تنش خشکی (YS) و عملکرد رقم فاقد تنش (YP)، وجود داشت. به عبارت 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 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 $r=0/9917$ با شاخص MP داشت. مقایسه 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. به عبارت دیگر روند کاهش 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 به ترتیب به

جدول ۱۲. ضریب همبستگی محاسبه شده شاخص‌های تنش

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

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

و YSI هستند. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های علی‌پور و همکاران (۱) و حاجی بابایی و عزیز (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 میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A به دلیل 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 ($r=0/8873$) و همبستگی بسیار معنی‌دار تعداد دانه در ردیف با وزن هزار دانه ($r=0/9443$) از یک طرف و همبستگی معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد دانه ($r=0/8776$)

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. در نتیجه غیرحساس‌ترین شاخص برای معرفی تیمار متحمل به تنش خشکی شاخص GMP و حساس‌ترین شاخص‌ها SSI

خشکی برتر بود، مقادیر شاخص‌های STI، SSI، MP، GMP، HM و YI نیز نسبت به ارقام دیگر بالاتر بود.

سپاسگزاری

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

از طرف دیگر حاکی از مؤثر بودن افزایش اجزای عملکرد در افزایش وزن هزار دانه و به تبع آن افزایش عملکرد دانه است. به عبارت دیگر همبستگی معنی‌دار اجزای عملکرد با صفت مهم وزن هزار دانه از یک‌سو و همبستگی بسیار معنی‌دار وزن هزار دانه با عملکرد از سوی دیگر بیانگر هم‌مسو بودن روند افزایش اجزای عملکرد با افزایش عملکرد دانه است. رقم ذرتی که عملکرد دانه آن در هر دو حالت تنش و غیر تنش نسبت به دیگر ارقام مورد بررسی برتری داشت، به عنوان رقم متحمل به تنش معرفی شد. بنابراین رقم PH1 که از نظر تحمل به تنش

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. Choukan, 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 Jihad – 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 Jihad -e- Agriculture. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Seed and Plant Improvement Institute 91-97. (in Farsi).
10. Dehghanpoor, 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.), *Proceeding of an International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC, Shanhu, 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 coefficient analysis in five parents inbred lines and their six white maize (*Zea mays* L.) single crosses developed 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 indicators 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 status and development of the maize endosperm and embryo during drought stress. *Crop Science* 34: 76-83.

Investigation of Drought Stress Indices in Corn Surface Water Deficit

N. Salamati^{1*} and A. Danaie²

(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 Improvement Department, Khuzestan. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran

Corresponding author, Email: nadersalamati@yahoo.com