دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره پنجم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۴ (۳۵۲-۳۴۱)

اثر تنش خشکی انتهایی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان

مجید رجایی[۱]، سیروس طهماسبی[۱]، محمد جواد بیدادی[۲*]، کاووس زارع[۳] و شهاب سرفرازی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۱۹

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی انتهایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان آزمایشی با ۳۵ لاین و ژنوتیپ به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط آبیاری معمولی (آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه) و تنش خشکی انتهای فصل (قطع کامل آبیاری از شروع مرحله گلدهی) در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی داراب انجام شد. تنش خشکی (شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی انتهایی) به عنوان فاکتور اصلی و ژنوتیپ‌های گندم به عنوان فاکتور فرعی آزمایش در نظر گرفته شدند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد، اجزای عملکرد و کاهش دمای سطح کانوپی بودند و به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شاخص‌های شدت تنش (SI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP) و شاخص تحمل (TOL) نیز ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد، به‌طوری که میانگین عملکرد در شرایط نرمال ۴۶۹۱ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی انتهایی ۳۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بود. همبستگی بین عملکرد دانه با میزان کاهش دمای کانوپی در هر سه مرحله اندازه‌گیری آن از زمان گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک و نیز با میانگین هر سه مرحله هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش خشکی، متوسط تا نسبتاً بالا برآورد شد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از کاهش دمای کانوپی به عنوان یک معیار با سرعت بالا در اندازه‌گیری، می‌تواند جهت انتخاب ارقام با عملکرد بالا در نسل‌های اولیه برنامه‌های اصلاحی مفید باشد. بررسی شاخص‌های تحمل به تنش نیز نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا و متحمل به خشکی از کارایی بهتری برخوردار هستند. هر سه شاخص، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۶ را که در هر دو محیط دارای عملکرد بالایی بودند، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کردند.

واژه‌های کلیدی: ارقام متحمل به خشکی، دمای کانوپی، شاخص‌های تحمل و حساسیت

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (ایستگاه داراب)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- مدرس آموزشکده کشاورزی فسا
۴- کارشناس ارشد زراعت مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان داراب
* نویسنده مسئول: bidadi_67@yahoo.com

مقدمه

رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق دنیا توسط تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده‌ی متعدد محدود می‌گردد. به همین علت اختلاف قابل توجهی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه‌ی محصولات زراعی دیده می‌شود. در دهه‌ی آینده با افزایش جمعیت این محدودیت‌ها به صورت جدی‌تری بر کشاورزی و منابع طبیعی دنیا اثر خواهد گذاشت (Miri, 2005). سیدیک و همکاران (Siddique *et al.*, 2000) گزارش کردند که بهترین راه برای افزایش عملکرد، تولید و پایداری محصول در شرایط کمبود آب و افزایش کاشت ارقام متحمل به خشکی است. اثر تنش رطوبتی در طول دوره و فصول رشد در گیاهان مختلف نیز متفاوت است. بنابراین وقوع تنش در مراحل رویشی و زایشی در گیاهان مختلف می‌تواند به کاهش عملکرد منجر گردد. گیاهان عمدتاً از طریق توسعه‌ی سیستم گسترده‌ی ریشه و نه از طریق تغییرات ساختمانی، نسبت به شرایط خشک سازگار می‌شوند (Shields, 1961). گسترش سیستم ریشه‌ای با مقاومت به خشکی و عملکرد بالا در گندم تحت شرایط تنش رطوبتی خاک همبستگی مثبت دارد (Hurd, 1974). مشاهدات متعدد حاکی از آن است که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود، حال آنکه در شرایط رطوبت کافی، گیاه ارتفاع طبیعی خود را دارد (Fischer, 1973; Unger and Jones, 1981). عملکرد دانه درگندم نیز تابعی از تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه می‌باشد (Evans and Dunstone, 1970; Emam, 2003). اثر تنش خشکی بر عملکرد غلات، بستگی به زمان، مدت و شدت تنش دارد (Kochaki, 1997). نتایج تحقیقات اسلافر و آروس (Slafer and Araus, 1998) نشان داد زمانی که خشکی آخر دوره رشد، تولید محصول را تهدید می‌کند، گزینش ارقام و لاین‌های با قدرت رشد زیاد که بتواند موقعی که رطوبت قابل استفاده بیشتری در خاک موجود است از مرحله رویشی وارد مرحله زایشی شوند، می‌تواند منجر به افزایش شاخص برداشت و عملکرد دانه شود. ژنوتیپ‌های گندم با دمای سطح کانوپی پایین در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر از لحاظ خصوصیات بیولوژیکی و انجام فعالیت‌های متابولیکی و ساختار سلولی برتر هستند. پینتر و همکاران (Pinter *et al.*, 1990) با بررسی شش رقم گندم بهاره تحت شرایط مطلوب رطوبتی همبستگی قابل ملاحظه‌ای بین دمای سایه‌انداز در اواسط روز و عملکرد نسبی مشاهده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند ارقامی که دمای سایه‌انداز بیشتری داشتند آب کمتری استفاده کرده و تبادل روزنه‌ای کمتری از خود نشان می‌دهند. شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آن‌ها ارائه شده است. فرناندز (Fernandez, 1992) گزارش کرد که ژنوتیپ‌های پایدارتر دارای مقادیر بالاتر STI هستند. شفازاده و همکاران (Shafazade *et al.*, 2004) در بررسی ۲۰ ژنوتیپ گندم نان در شرایط آبیاری و تنش خشکی آخر فصل به این نتیجه رسیدند که از میان شاخص‌های مرتبط با مقاومت به خشکی، شاخص‌های STI، GMP و MP در هر دو محیط دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد می‌باشند. شیری و همکاران (Shiri *et al.*, 2002) کارآیی شاخص‌های تحمل به خشکی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شاخص‌های GMP و STI نسبت به سایر شاخص‌ها مؤثرتر بودند. هدف از این تحقیق، بررسی اثر تنش خشکی انتهایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان و همچنین تعیین بهترین شاخص‌های مقاومت به خشکی در انتخاب ارقام مقاوم به خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقات کشاورزی فارس با ۳۵ لاین و رقم که اسامی آن‌ها در جدول شماره ۱ ارایه شده است، به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و تحت دو شرایط رطوبتی نرمال و کم آبیاری انتهایی اجرا شد. در شرایط رطوبتی نرمال، آبیاری گیاهان بر اساس نیاز آبی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک انجام و در شرایط کم آبیاری انتهایی، آبیاری از شروع مرحله گلدهی قطع شد. مطابق توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب میزان نیاز خالص آب آبیاری برای ۱۰۰ درصد پتانسیل تولید ۴۲۸۰ متر مکعب در هکتار در نظر گرفته شد (Radmehr, 1997). زمان آبیاری تیمارها نیز بر اساس ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در نظر گرفته شد. نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک به صورت مرکب هر هفته یک بار از تمام تیمارها و در هر سه تکرار

تهیه و با میانگین‌گیری، درصد رطوبت وزنی و عمق آب آبیاری مورد نیاز محاسبه و اعمال شد. میزان آب مصرفی در هر کرت شاهد از طریق فرمول زیر تعیین شد:

$$W = \frac{(FC - Qm) \times Bd \times D \times A}{1000} \quad (۱)$$

در این رابطه، W مقدار آب مصرفی در هر کرت (متر مکعب)، FC درصد رطوبت در ظرفیت زراعی مزرعه، Qm درصد رطوبت وزنی در زمان آبیاری، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، D عمق ریشه بر حسب سانتی‌متر و A مساحت کرت بر حسب متر مربع است. در مجموع در آزمایش نرمال هفت بار آبیاری و در آزمایش کم‌آبیاری پنج بار آبیاری انجام شد. میزان آب مصرف شده در دو تیمار آبیاری نرمال و کم‌آبیاری با احتساب میزان بارندگی در دوره کشت (۱۸۲ میلی‌متر) به ترتیب برابر با ۸۰۶۳ و ۵۶۱۴ متر مکعب در هکتار برآورد شد.

کاشت بذر در نیمه اول آذرماه پس از ضد عفونی بذر با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع انجام شد. هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول ۴/۵ متر و فاصله بین خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. قبل از کاشت از کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتار و نیتروژن خالص از منبع کود اوره در سه مرحله شامل ۵۴ کیلوگرم نیتروژن خالص قبل از کاشت، ۴۵ کیلوگرم در هکتار در مرحله ساقه‌دهی و ۲۷ کیلوگرم در هکتار در مرحله سنبله‌دهی استفاده شد. از مجموع مساحت ۴/۵ متر مربع هر کرت ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر خط به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و از وسط هر کرت، ۱/۲ متر مربع جهت اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه ، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت استفاده شد.

برای اندازه‌گیری کاهش دمای سطح کانوپی (Canopy Temperature Depression)، از دماسنج مادون قرمز دستی مدل Sixth Sense LT300 IRT ساخت کشور آمریکا در سه مرحله و از زمان اعمال کم آبیاری در مرحله گلدهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (شامل مرحله ابتدای گرده‌افشانی (CTD1)، مرحله شیری شدن (CTD2) و مرحله خمیری شدن دانه‌ها (CTD3) به ترتیب مطابق با مرحله رشدی ۶۰، ۷۵ و ۸۵ (Zadoks *et al.*, 1974) استفاده شد. ثبت دمای کانوپی بین ساعات ۱۳ تا ۱۵ هر روز انجام گرفت و همزمان دمای محیط نیز با دماسنج دیجیتال مدل CX808 ثبت و در نهایت تفاوت دمای سطح کانوپی هر ژنوتیپ با دمای محیط به‌عنوان کاهش دمای سطح کانوپی (CTD) محاسبه شد. برای سنجش میزان تحمل و حساسیت ارقام نسبت به تنش خشکی، شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، تحمل به تنش (STI)، میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP) و تحمل (TOL) به ترتیب از روابط ۲ تا ۶ محاسبه شد. در تمامی روابط زیر، Ys میانگین عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش، Yp میانگین عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط نرمال، $\overline{Y}_p$ میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها تحت شرایط نرمال و SI شدت تنش است:

- شاخص حساسیت به تنش (SSI) (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI} \quad \text{و} \quad SI = 1 - \frac{\overline{y}_s}{\overline{y}_p} \quad (۲)$$

مقدار کمتر SSI بیان‌گر تحمل بهتر به تنش است. هر چه مقدار Ys به Yp نزدیک‌تر باشد، حساسیت رقم به خشکی کمتر و در نتیجه مقدار SSI آن رقم کوچک‌تر است. SSI کوچک‌تر از یک نشان‌دهنده تحمل بیشتر به کم‌آبی و خشکی است. دامنه شدت تنش (SI) نیز بین صفر و یک بوده و مقدار بیشتر آن به معنی شدت بیشتر تنش خشکی است).

- شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{Y_s \times Y_p}{\overline{Y}_p^2} \quad (۳)$$

- میانگین تولید (Rossielli and Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad (۴)$$

- میانگین هندسی تولید (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s} \quad (۵)$$

- شاخص تحمل (Rossielli and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_P - Y_S \quad (۶)$$

مقدار بیشتر TOL حساسیت بیشتر و مقدار کمتر آن تحمل بیشتر به تنش را نشان می‌دهد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها بر اساس با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

جدول ۱- شجره ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 1. Pedigeree of the studied genotypes

شماره ژنوتیپ No. of genotyper	ژنوتیپ Genotype
1	Chamran
2	Shiroodi
3	SERI/RAYON
4	LOCAL CHECK
5	KAMBARA1
6	CS/TH.SC//3*PVN/3/MIRLO/BUC/4/MILAN/5/TILHI
7	ATTILA/3*BCN//BAV92/3/PASTOR
8	KAUZ//STAR/LUCO-M/3/TEVEE'S'/SHUHA'S'/4/ATENA-1
9	PASTOR/TUKURU//METSO
10	GIZA-164/YEBROUD-1
11	CHAM-8//TEVEE'S'/KAUZ'S'/3/SERI 82/SHUHA'S'
12	W181/Kauz//Skauz/3/Chamran/4/Star
13	BAU/KAUZ//PASTOR
14	Alvd//Aldan/Ias/3/P101/Anza//1-66-49
15	Alborz/5/K62909/4/Cno//K58/Tob/3/Wa/5/Chen…
16	CHAM-6/4/SISSONAIS/DEPRES//CAL/HU/3/ALD"S"
17	Alvd//Aldan"s"/Ias58/4/kal/Bb//Cj"s"/3/Hork"s"
18	Darab#2/3/WL181/Kauz//Skauz/3/Star
19	Kauz*2/Opata//Kauz/3/W181/Kauz//Skauz
20	PASTOR/3/BJY/COC//PRL/BOW
21	TARRO-3
22	ZHONG ZUO/2*GREEN-3(D-79-15)
23	BOW"S"/CM34796/SNB/…
24	LINE3 FROM DARAB
25	CHAM-6/4/SISSONAIS/DEPRES//CAL/HU/3/ALD"S"
26	PASTOR/3/KAUZ*2/OPATA//KAUZ
27	1-66-54//Avd/Coc/3/Mgn1/4/Tjn
28	Chenab/2/Attila/Bcn
29	Chen/E\Aegilops Squarrosa (Taus)//Bcn/3/Vee#7..
30	Vee/Nac//Suwoon220/3/Darab#2
31	PFAU/WEAVER//KIRITATI
32	WAXWING/KIRITATI
33	WBLL1*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ
34	PASTOR/3/KAUZ*2/OPATA//KAUZ
35	INQALAB91*2/KUKUN

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که نوع آبیاری تاثیر معنی‌داری بر اختلاف دمای کانوپی با دمای آتمسفر در سه مرحله اندازه‌گیری این صفت ندارد که این موضوع می‌تواند به‌دلیل اندازه‌گیری آن در زمان کوتاهی پس از اعمال تنش باشد. در بین ارقام مورد مطالعه تفاوت CTD در هر سه مرحله، در سطح احتمال احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در مجموع میانگین شرایط نرمال و تنش نشان داد که ژنوتیپ‌ها از لحاظ تفاوت در CTD1 فقط به دو گروه تقسیم شدند که این می‌تواند به دلیل اندازه‌گیری این صفت در فاصله زمانی کوتاه پس از اعمال تنش خشکی و تاثیر کم تنش خشکی بر ژنوتیپ‌ها باشد. در مجموع نتایج نشان داد که ژنوتیپ شماره ۱۰ با میانگین ۱۰/۲ دارای بیشترین میزان CTD2 و ژنوتیپ

شماره ۲۲ با میانگین ۷/۳۸ دارای کمترین میزان CTD2 بود (جدول ۴). میانگین کل شرایط نرمال و تنش نشان داد که ژنوتیپ شماره ۳۵ با میانگین ۱۴/۱۷ دارای بیشترین میزان CTD3 و ژنوتیپ شماره ۳۳ با میانگین ۵/۸۶ دارای کمترین میزان CTD3 بودند (جدول ۴). در محیط بدون تنش همبستگی CTD با عملکرد در مرحله اول و سوم در سطح ۵ درصد و در مرحله دوم در سطح یک درصد معنی دار بود. این در حالی است که در محیط تنش خشکی انتهایی همبستگی CTD با عملکرد در مرحله اول و دوم در سطح احتمال یک درصد و در مرحله سوم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۶).

بررسی دمای سطح کانوپی (CTD) در هر یک از سه مرحله اندازه‌گیری نشان داد که تفاوت دمای سطح کانوپی گیاه از دمای محیط هم در محیط بدون تنش و هم در محیط تنش کم‌آبی انتهای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد داشت (جدول ۶). میانگین سه مرحله اندازه‌گیری تفاوت دمای سطح کانوپی گیاه از دمای محیط نیز هم در محیط بدون تنش و هم در محیط تنش خشکی انتهایی همبستگی نسبتاً بالایی (به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۵۲) با عملکرد دانه داشت (جدول ۸)، به طوری که در محیط نرمال ارقام ۲۴، ۸ و ۲۵ که بالاترین عملکرد را داشتند از لحاظ میانگین تنزل دمای کانوپی به ترتیب در رتبه‌های ۲، ۴ و ۵ قرار گرفتند. در محیط تنش کم‌آبی نیز لاین‌های شماره ۱۶، ۱۴ و ۱۸ که بالاترین عملکرد را داشتند، به ترتیب از لحاظ CTD در رتبه‌های ۴، ۷ و ۳ قرار گرفتند. این نتایج نشان داد که استفاده از CTD در هر دو شرایط جهت انتخاب ارقام با عملکرد بالا می‌تواند مفید باشد.

وزن دانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه در گندم می‌است و بسته به دوره و مرحله وقوع تنش تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Fischer, 1973). نتایج حاصل از تجزیه واریانس میانگین وزن هزار دانه در ۳۵ ژنوتیپ گندم مطالعه شده نشان داد که آبیاری تاثیر معنی‌داری بر میانگین وزن هزار دانه نداشت، در حالی‌که تفاوت بین ارقام مختلف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های صفت وزن هزار دانه در شرایط نرمال نشان داد که ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۶ به ترتیب با میانگین ۴۳/۸ و ۴۲/۲ گرم، دارای بیشترین میزان و ژنوتیپ شماره ۳۱ با میانگین ۲۲ گرم دارای کمترین میزان وزن هزار دانه بودند (جدول ۵).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر آبیاری بر ۳۵ ژنوتیپ گندم از نظر تعداد دانه در سنبله حاکی از آن بود که آبیاری و ژنوتیپ تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر این صفت داشتند (جدول ۳). میانگین تعداد دانه در سنبله در شرایط نرمال با میانگین ۵۱/۵۶ اختلاف معنی‌داری با شرایط تنش کم‌آبی با میانگین ۴۸/۲ داشت و در شرایط نرمال میانگین تعداد دانه در سنبله نیز بیشتر بود (شکل ۱). این مسئله ممکن است در اثر اختلال در انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها و عدم پر شدن دانه‌ها باشد (Ehdaie *et al.*, 1991). در مجموع میانگین شرایط نرمال و تنش، ژنوتیپ‌های شماره ۲۱، ۳۱، ۸، ۲۸ و ۳۰ به ترتیب دارای بیشترین میانگین تعداد دانه در سنبله بودند (جدول ۵).

عملکرد دانه نیز تحت شرایط تنش رطوبتی انتهایی نسبت به آبیاری نرمال کاهش یافت. کاهش فتوسنتز و همچنین کاهش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف اجزای گیاه سبب کاهش ماده خشک هر بوته می‌شود که در نهایت عملکرد دانه را کاهش خواهد داد (Siani and Aspinall, 1981). از ۱۸ ژنوتیپ برتر (بدون تفاوت معنی‌دار)، ژنوتیپ‌های شماره ۱۶ و ۱۴ دارای بالاترین عملکرد در محیط تنش خشکی (به ترتیب ۴۶۸۳، ۴۴۵۴ تن در هکتار) بودند که همین ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش به ترتیب رتبه‌های ۵ و ۶ را به خود اختصاص دادند. تفاوت عملکرد این ارقام با ارقام دارای رتبه‌های ۲، ۳ و ۴ معنی‌دار نبود و به این ترتیب، این ارقام در محیط بدون تنش نیز دارای عملکرد بالایی بودند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر آبیاری بر شاخص برداشت ۳۵ ژنوتیپ گندم نشان داد که اثر آبیاری و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میانگین شاخص برداشت در شرایط نرمال آبیاری ۴۰/۱۸ و در شرایط تنش خشکی ۳۶/۴ درصد بود (شکل ۲). گیاه در شرایط نرمال طول دوره رشدی بیشتری داشته و اختصاص مواد فتوسنتزی و نقل و انتقال آن به اندام‌های زایشی بیشتر است و به همین دلیل در شرایط نرمال شاخص برداشت ارقام مختلف گندم بیشتر می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارها نیز نشان داد که ژنوتیپ شماره ۲ با میانگین ۴۲/۵۰ درصد در محیط نرمال

و ژنوتیپ شماره ۱۴ با میانگین ۳۸/۲۰ درصد در محیط تنش دارای بیشترین میزان شاخص برداشت بودند. در مجموع میانگین شرایط نرمال و تنش، ژنوتیپ شماره ۲ با میانگین حدود ۴۰ درصد دارای بیشترین میزان شاخص برداشت بود (جدول ۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس دمای کانوپی در مراحل گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance of canopy temperature (CT) from heading to physiological maturity stages under normal and terminal drought stress conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares		
		دمای کانوپی در مرحله گلدهی CT at heading stage	دمای کانوپی در مرحله خمیری CT at dough stage	دمای کانوپی در مرحله رسیدگی CT at physiological maturity
تکرار Replication (R)	2	0.544^{ns}	5.071^{ns}	12.390^{ns}
آبیاری (A) Irrigation (A)	1	46.014^{ns}	24.754^{ns}	342.78^{ns}
تکرار × آبیاری R × A	2	3.22	3.640	33.249
ژنوتیپ Genotype (B)	34	1.92**	2.964**	10.70**
آبیاری × ژنوتیپ A × B	34	0.591^{ns}	0.749^{ns}	5.56^{ns}
خطای آزمایش Error	136	0.885	1.448	2.58
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.79	13.13	25.79

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی انتهایی

Table 3. Analysis of variance for yield and its components under normal and terminal drought stress conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		تعداد دانه در سنبله No. of grain per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیست‌توده Biological yield
تکرار Replication (R)	2	77.11^{ns}	1.189^{ns}	143876 0.62^{ns}	3.992^{ns}	155942.5^{ns}
آبیاری (A) Irrigation (A)	1	585.00**	152.23^{ns}	55851547.66*	689.79**	1437574.4*
تکرار × آبیاری R × A	2	27.43	20.88	695829.14	6.852	8063.54
ژنوتیپ Genotype (B)	34	166.36**	125.908**	978441.31*	79.41**	37381.17*
آبیاری × ژنوتیپ A × B	34	42.64^{ns}	9.186^{ns}	596810.284^{ns}	19.82^{ns}	14306.2^{ns}
خطای آزمایش Error	136	34.22	13.43	584444.13	25.44	20.913.49
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		11.72	12.37	18.31	13.15	13.33

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از نظر دمای کانوپی در مراحل گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 4. Mean comparisons of the genotypes for canopy temperature (CT) from heading to physiological maturity stages under normal and drought stress conditions

دمای کانوپی در مرحله گلدهی CT at heading stage		دمای کانوپی در مرحله خمیری CT at dough stage		دمای کانوپی در مرحله رسیدگی CT at physiological maturity	
ژنوتیپ† Genotype†	میانگین Mean (℃)	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean (℃)	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean (℃)
8	11.60 A	10	10.20 A	35	14.16 A
15	11.57 A	24	10.18 A	19	9.67 B
7	11.52 A	8	10.00 AB	9	9.55 BC
24	11.47 A	20	9.92 AB	7	9.28 BCD
25	11.47 A	7	9.90 AB	25	9.05 BCD
20	11.25 AB	18	9.88 AB	16	9.00 BCD
16	11.22 AB	16	9.83 AB	8	8.87 B-E
3	11.13 ABC	13	9.75 AB	14	8.77 B-E
18	11.10 ABC	14	9.65 AB	12	8.73 B-E
12	11.07 ABC	25	9.62 AB	24	8.67 B-E
14	11.05 ABC	9	9.50 AB	23	8.53 B-E
10	11.05 ABC	28	9.48 AB	30	8.52 B-E
9	10.98 ABC	30	9.48 AB	18	8.43 B-E
13	10.95 ABC	12	9.43 ABC	2	8.40 B-E
1	10.95 ABC	2	9.40 ABC	15	8.38 B-E
28	10.93 A-D	3	9.38 ABC	1	8.35 B-E
30	10.90 A-D	1	9.37 ABC	3	8.30 B-E
31	10.88 A-D	15	9.35 ABC	27	8.23 B-E
21	10.80 A-D	11	9.18 ABC	32	8.23 B-E
19	10.77 A-D	33	9.17 ABC	11	8.22 B-E
5	10.77 A-D	6	9.15 ABC	6	8.22 B-E
11	10.72 A-E	19	9.10 A-D	5	8.18 B-E
33	10.67 A-E	35	9.05 A-D	4	8.12 B-E
29	10.63 A-E	21	9.03 A-D	29	8.07 B-E
17	10.62 A-E	17	8.97 A-E	34	8.03 B-E
35	10.58 A-E	5	8.78 A-E	20	7.97 B-E
2	10.43 A-E	31	8.72 A-E	10	7.84 B-E
27	10.28 A-E	23	8.70 A-E	26	7.48 B-E
26	10.10 B-E	29	8.68 A-E	28	7.23 B-E
22	10.05 B-E	4	8.62 A-E	17	7.15 B-E
6	10.02 B-E	27	8.48 A-E	22	7.12 B-E
23	9.97 B-E	26	8.28 B-E	13	7.02 B-E
4	9.83 CDE	32	7.73 CDE	21	6.55 CDE
32	9.83 CDE	34	7.45 DE	31	6.27 DE
34	9.58 E	22	7.38 E	33	5.87 E

†: شماره ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارایه شده است.

†: Number of genotypes are shown in Table 1.

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by a same letter are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک در ۳۵ ژنوتیپ گندم نشان داد که اثر آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و تفاوت بین ارقام مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). میانگین عملکرد بیولوژیک تحت شرایط نرمال ۱۱۶۷/۲۳ و تحت شرایط تنش خشکی ۱۰۰۱/۷۶ گرم بر متر مربع بود (نمودار ۳). گیاه در شرایط نرمال طول دوره رشدی و تجمع مواد بیشتری داشت که در نهایت منجر به عملکرد بیولوژیک بیشتر تحت شرایط نرمال نسبت به تنش خشکی شد. تحت شرایط نرمال، ژنوتیپ شماره ۲۰ با میانگین ۱۳۴۸ گرم بر متر مربع و تحت شرایط تنش، ژنوتیپ شماره ۲۹ با میانگین ۱۱۲۲ گرم بر متر مربع دارای بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک بودند. در مجموع میانگین دو شرایط، از میان ۲۸ ژنوتیپ برتر (بدون تفاوت معنی‌دار)، ژنوتیپ شماره ۲۰ با میانگین ۱۲۳۲ گرم دارای بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و اجزای آن تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 5. Mean comparisons of the genotypes for yield and its components under normal and drought stress conditions

عملکرد دانه Grain yield (g.plot^{-1})		وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)		زیست‌توده Biomass (g.plot^{-1})		شاخص برداشت Harvest index		تعداد دانه در سنبله No. of grain.spike^{-1}	
ژنوتیپ† Genotype†	میانگین Mean	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean	ژنوتیپ Genotype	میانگین Mean
16	1538.7A	14	43.80 A	20	1231. 7 A	2	0.40 A	21	62.32 A
14	1498.2 AB	6	42.21 A	10	1210.0 AB	33	0.38 AB	31	60.34 AB
25	1468.1 ABC	7	37.80 AB	8	1187.5 ABC	7	0.37 ABC	8	59.97 ABC
18	1444.9 A-D	2	34.53 BC	16	1185.0 A-D	14	0.36 A-D	28	57.39 A-D
24	1433.0 A-E	34	33.60 BCD	1	1163.3 A-E	34	0.36 A-D	30	56.90 A-E
33	1426.4 A-E	29	33.47 B-E	18	1160.8 A-E	32	0.36 A-D	23	56.83 A-E
8	1421.1 A-E	33	33.20 B-E	17	1160.0 A-E	16	0.36 A-D	1	53.04 B-F
20	1395.0 A-E	3	32.20 C-F	25	1155.8 A-E	3	0.36 A-D	26	52.86 B-G
3	1388.9 A-E	15	31.60 C-G	24	1151.7 A-E	18	0.35 A-F	10	52.58 C-H
1	1371.0 A-E	4	31.33 C-D	9	1147.5 A-F	19	0.35 A-F	18	52.34 C-H
7	1355.7 A-E	22	31.13 C-G	30	1147.5 A-F	25	0.35 A-F	20	52.04 D-H
19	1320.7 A-F	13	30.73 C-H	29	1135.8 A-F	35	0.35 A-F	4	51.37 D-H
15	1307.7 A-F	25	30.60 C-I	3	1116.7 A-F	4	0.35 A-F	32	50.81 D-I
2	1297.4 A-G	12	30.40 C-I	14	1116.7 A-F	1	0.35 A-F	15	50.32 D-I
3	1280.9 A-G	8	30.20 C-I	15	1115.0 A-F	29	0.35 A-F	12	50.30 D-I
13	1277.8 A-G	16	30.13 C-I	7	1100.8 A-F	6	0.34 B-J	33	49.76 D-I
21	1269.5 A-G	24	29.73 C-J	4	1095.8 A-F	24	0.34 B-J	5	49.62 D-I
4	1258.6 A-G	35	29.07 D-K	19	1085.8 A-F	21	0.34 B-J	27	48.87 D-I
17	1258.6 B-H	5	29.00 D-K	5	1080.8 A-F	28	0.34 B-J	19	48.76 D-I
28	1221.8 B-H	19	28.93 D-K	31	1078.3 A-F	13	0.33 C-J	17	48.29 E-J
34	1200.5 B-H	20	28.73 D-K	33	1067.5 A-F	8	0.32 D-K	16	48.05 E-J
9	1198.8 B-H	32	28.73 D-K	13	1056.7 A-F	12	0.32 D-K	13	47.79 F-J
29	1196.6 B-H	9	28.53 D-K	21	1051.7 A-F	20	0.31 E-L	3	47.72 F-J
12	1187.7 C-H	1	28.33 D-K	23	1041.7 A-F	22	0.31 E-L	9	47.54 F-J
32	1175.1 C-H	18	27.33 F-K	2	1039.2 A-F	5	0.31 E-L	11	47.51 F-J
10	1166.5 C-H	17	27.20 F-K	11	1035.8 A-F	30	0.30 F-L	24	47.01 F-J
5	1152.9 D-I	26	26.73 G-K	12	1026.7 A-F	26	0.30 F-L	34	46.38 F-J
6	1139.0 E-I	21	25.67 H-L	28	1016.7 A-F	15	0.29 G-M	2	45.84 F-J
35	1106.8 F-I	10	25.47 I-L	26	1011.7 A-F	17	0.29 G-M	25	45.44 F-J
11	1086.2 GHI	27	24.80 JKL	6	993.3 C-G	9	0.29 G-M	22	45.00 F-J
31	1048.9 HI	28	24.53 KL	35	985.8 C-G	27	0.29 G-M	14	44.54 G-J
23	1034.0 HI	30	24.47 KL	32	976.7 D-G	11	0.28 H-M	29	44.34 HIJ
26	1032.8 HI	11	24.07 KL	34	958.3 EFG	10	0.26 LM	7	43.03 IJ
22	1031.4 HI	23	22.60 L	22	943.3 FG	23	0.26 LM	6	40.84 J
27	867.6 I	31	22.07 L	27	925.8 G	31	0.25 M	35	40.76 J

†: شماره ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارایه شده است. †: Number of genotypes are shown in Table 1.

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، تفاوت معنی‌داری از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by a same letter are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۶ ارایه شده است. بررسی مقادیر این شاخص‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط تنش از میزان TOL و SSI مناسبی برخوردار نبودند. به طور مثال، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۲۶، ۲۷ و ۲۹ با دارا بودن حداقل TOL و SSI عملکرد مناسبی تحت شرایط تنش خشکی نداشتند. از این‌رو انتخاب بر اساس شاخص SSI سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش نمی‌شود. در مقابل، انتخاب بر اساس شاخص‌های MP، GMP و STI که در تمام حالات ژنوتیپ‌های مشترکی را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل معرفی کردند، می‌تواند قابل اطمینان باشد. برای گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ تحمل به خشکی، ۲۰ درصد از بهترین ژنوتیپ‌ها (۷ ژنوتیپ) بر اساس هر یک از شاخص‌ها انتخاب شدند. بر اساس Y_p ژنوتیپ‌های شماره ۲۴، ۸، ۲۵، ۳۲، ۱۶، ۱۴ و۲۰ به ترتیب دارای بالاترین مقدار بودند، در حالی که بر اساس Y_s به ترتیب ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۴، ۱۸، ۲۵، ۳، ۲ و ۷ بهترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس شاخص TOL ژنوتیپ‌های شماره ۲۹، ۲۶،

۲۷، ۲، ۴، ۳۵ و ۱۲ کمترین تفاوت عملکرد را تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشتند، در حالی که بر اساس شاخص MP ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۴، ۲۵، ۱۸، ۲۴، ۳۳ و ۸ به ترتیب دارای بالاترین مقادیر بودند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۶، ۱۴، ۲۵، ۱۸، ۳۳، ۸ و ۲۴ نیز به ترتیب دارای بالاترین مقدار شاخص‌های STI و GMP بودند و این در حالی بود که ژنوتیپ‌های شماره ۲۹، ۲، ۲۶، ۲۷، ۴، ۱۶ و ۳ به ترتیب دارای کمترین مقدار شاخص SSI بودند (جدول ۶).

بررسی همبستگی بین شاخص‌ها (جدول ۷) نیز نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی بالا و معنی‌داری با عملکرد تحت هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی داشتند، اما شاخص‌های TOL و SSI فقط در شرایط نرمال همبستگی بالایی با عملکرد داشتند و همبستگی آن‌ها با عملکرد تحت شرایط تنش معنی‌دار نبود (جدول ۷). بنابراین می‌توان بیان کرد که شاخص‌های MP، GMP و STI برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا و متحمل به خشکی از کارایی بهتری برخوردار بودند.

جدول ۶- برآورد شاخص‌های تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه

Table 6. Evaluating of drought tolerance indices in the studied genotypes

ژنوتیپ† Genotype†	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
1	5140	4000	1141	4570	4534	0.93	1.01
2	4533	4117	416	4325	4320	0.85	0.42
3	5071	4188	883	4630	4609	0.97	0.79
4	4519	3872	647	4195	4183	0.80	0.65
5	4398	3288	1109	3843	3803	0.66	1.15
6	4197	3396	801	3797	3775	0.65	0.87
7	4986	4052	933	4519	4495	0.92	0.85
8	5596	3877	1719	4737	4658	0.99	1.39
9	4442	3550	892	3996	3971	0.72	0.91
10	4509	3268	1242	3888	3839	0.67	1.25
11	4220	3021	1199	3621	3571	0.58	1.29
12	4339	3579	760	3959	3941	0.71	0.80
13	4736	3755	1008	4259	4229	0.81	0.96
14	5534	4454	1080	4994	4965	1.12	0.89
15	4917	3800	1117	4359	4323	0.85	1.03
16	5574	4684	890	5129	5110	1.19	0.73
17	4646	3595	1051	4121	4078	0.76	1.03
18	5358	4275	1082	4816	4786	1.04	0.92
19	5051	3754	1297	4402	4354	0.86	1.17
20	5455	3845	1610	4650	4580	0.95	1.34
21	4772	3691	1080	4232	4197	0.80	1.03
22	3884	2992	892	3438	3409	0.53	1.04
23	3887	3006	882	3447	3418	0.53	1.03
24	5835	3719	2116	4777	4658	0.99	1.65
25	5582	4205	1377	4894	4845	1.07	1.12
26	3620	3265	355	3443	3438	0.54	0.44
27	3096	2688	409	2892	2885	0.38	0.60
28	4591	3554	1037	4073	4040	0.74	1.03
29	4151	3826	325	3989	3985	0.72	0.36
30	4815	3724	1091	4270	4235	0.81	1.03
31	4070	2922	1147	3496	3449	0.54	1.28
32	4558	3276	1282	3917	3864	0.68	1.28
33	5575	3934	1641	4755	4683	1.00	1.34
34	4439	3564	875	4002	3987	0.72	0.89
35	4062	3316	746	3689	3670	0.61	0.83

†: شماره ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارایه شده است. Yp عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش، Ys عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی، TOL شاخص تحمل، MP متوسط بهره‌وری، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، STI شاخص تحمل به تنش، SSI شاخص حساسیت به تنش.

†: Number of genotypes are shown in Table 1. Yp, grain yield under non-stress; Ys, grain yield under drought stress; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; STI, stress tolerance index; SSI, stress susceptibility index.

جدول ۷- همبستگی بین شاخص‌های تحمل و عملکرد دانه تحت شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 7. Correlation coefficients among tolerance indices and grain yield under normal and drought conditions

شاخص† Index†	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	SSI
Yp	1						
Ys	0.807**	1					
TOL	0.713**	0.16ns	1				
MP	0.96**	0.93**	0.50**	1			
GMP	0.95**	0.94**	0.47**	0.99**	1		
STI	0.95**	0.94**	0.46**	0.99**	0.99**	1	
SSI	0.45**	-0.14ns	0.93**	0.21ns	0.18ns	0.17 ns	1

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ ٪.

†: Yp عملکرد دانه تحت شرایط بدون تنش، Ys عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی، TOL شاخص تحمل، MP متوسط بهره‌وری، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، STI شاخص تحمل به تنش، SSI شاخص حساسیت به تنش.

ns and **: Not-significant and significant at 1% probability levels, respectively.

†: Yp, grain yield under non-stress; Ys, grain yield under drought stress; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; STI, stress tolerance index; SSI, stress susceptibility index.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی آخر فصل تمامی صفات مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داد، به طوری که میانگین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی انتهایی تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. بررسی اختلاف دمای سطح کانوپی با دمای اتمسفر در هر سه مرحله نشان داد که تفاوت دمای سطح کانوپی گیاه از دمای محیط هم در محیط بدون تنش و هم در محیط تنش خشکی انتهای همبستگی متوسط تا نسبتا بالای با عملکرد دارند (جدول ۸). همچنین میانگین سه مرحله اندازه‌گیری تفاوت دمای سطح کانوپی گیاه از دمای محیط هم در محیط بدون تنش و هم در محیط تنش خشکی انتهای همبستگی نسبتا بالایی با عملکرد داشت (به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۵۲)، به طوری که از لحاظ میانگین کاهش دمای کانوپی تحت شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های ۲۴، ۸ و ۲۵ که بالاترین عملکرد را داشتند، به ترتیب در رتبه‌های ۲، ۴ و ۵ و تحت شرایط تنش خشکی انتهایی، ژنوتیپ‌های ۱۶، ۱۴ و ۱۸ که بالاترین عملکرد را نشان دادند، به ترتیب در رتبه‌های ۴، ۷ و ۳ قرار گرفتند. این نتایج بیان‌گر این موضوع است که استفاده از معیار کاهش دمای کانوپی به عنوان یک معیار با سرعت بالا در اندازه‌گیری، می‌تواند جهت انتخاب ارقام با عملکرد بالا در نسل‌های اولیه برنامه‌های اصلاحی مفید باشد. بررسی شاخص‌های تحمل به تنش نیز نشان داد که شاخص‌های MP، GMP و STI برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا و متحمل به خشکی از کارایی بهتری برخوردار هستند. هر سه شاخص، ژنوتیپ‌های ۱۴ و ۱۶ را به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی کردند. این ارقام در هر دو محیط دارای عملکرد، وزن هزار دانه و شاخص برداشت بالایی بودند.

جدول ۸- همبستگی بین عملکرد دانه تحت شرایط نرمال و تنش خشکی با دمای کانوپی در مراحل گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 8. Correlation coefficients among grain yield under normal and drought stress and canopy temperature (CT) recorded at heading, dough and physiological maturity

صفت Trait	دمای کانوپی در مرحله گلدهی CT at heading stage	دمای کانوپی در مرحله خمیری CT at dough stage	دمای کانوپی در مرحله رسیدگی CT at physiological maturity
Y_P	0.42*	0.45**	0.35*
Y_S	0.57**	0.56**	0.42*

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

References

Ehdaie, B., Hall, A. E., Farguhar, G. D., Nyuen, H. T. and Wains, J. G. 1991. Water use efficiency and carbon isotope discrimination in wheat. **Crop Science** 31: 1282-1288.

Emam, Y. 2003. Agriculture grains. Shiraz University Press. (In Persian).

Evans, L. T. and Dunstone, R. L. 1970. Some physiological aspects of evolation in wheat. **Australian Journal of Biological Science** 23: 725-741.

Fernandez, G. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G. (Ed.). Proceeding of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temprature and water stress. August 13-18, Taina, Taiwan. pp: 257-270.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. **Australian Jouranl of Agricultural Research** 29: 897-912.

Hurd, E. A. 1974. Phenotype and drought tolerance in wheat. **Agricultural Meteorology** 14: 39-55.

Kochaki, A. 1997. Farming and breeding in rainfed agriculture. **Mashhad University Press.** (In Persian).

Miri, H. R. 2005. Physiology and crop yield under drought stress. **Navid Shiraz Press.** (In Persian).

Pinter, J. P. J., Zipoli, G., Reginato, R. J., Jackson, R. D., Idso, S. B. and Hohman, J. P. 1990. Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars. **Agricultural Water Management** 18 (1): 35-48.

Rossielli, A. and Hamblin, A. J. 1981. Theorical aspects of selection for stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 1441-1446.

Shafazade, M. V., Yazdansepas, V., Amini, V. M. and Ghanad, H. 2004. Evaluation of end-season drought stress in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. **Seed and Plant Journal** 20: 71-75. (In Persian with English Abstract).

Shields, L. M. 1961. Morphology in relation to exermorphysm. In: Shiels, L. M. and Gardner, L. J. (Eds). Bioecology of the arid and semiarid lands of south-west. New Mexico Highlands University Bulletin.

Siani, H. S. and Aspinall, D. 1981. Effects of water deficit on sporogensis in wheat. **Annals of Botany** 48 (5):.623-633.

Siddique, M. R. B., Hamid, A. and Islam, M. S. 2000. Drought sterss effects on water relation of wheat. **Botanical Bulletin of Academia Sinica** 41: 35-39.

Slafer, G. A. and Araus, J. L. 1998. Improving wheat responses to abiotic stress. In: Slinkard, A. E. (Ed.). Proceeding of 9th International Wheat Genetic Symposium. August 2-7, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. pp: 201-213.

Unger, P. W. and Jones, O. R. 1981. Effect of soil water content and a growing season straw muulh on grain sorghum. **Soil Science Society of America Journal** 45: 129-134.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research** 14 (6): 415-421.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 5, No. 4, Winter 2016 (341-352)

The effect of terminal drought stress on yield and yield components of wheat genotypes

Majid Rajaie[1], Sirous Tahmasebi[1], Mohammad Javad Bidadi[2*], Kavos Zare[3] and Shahab Sarfarazi[4]

Received: February 17, 2014 Accepted: August 10, 2015

Abstract

To investigate the effect of terminal drought stress on wheat, 35 lines and varieties were evaluated as split plot arrangement based on randomized complete block design with three replications under normal irrigation (based on crop water requirement) and terminal drought stress (no irrigation from flowering stage) in Darab Agricultural Research Station in 2009. Drought stress (normal irrigation and terminal drought stress) and wheat genotypes were considered as the main and sub-plots, respectively. The studied traits were included grain yield, yield components and canopy temperature depression (CTD). To select drought tolerant varieties, five drought tolerance indices including stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP) and tolerance (TOL) were also calculated. The results indicated that drought stress reduced grain yield and its components, so that average grain yield under normal and terminal drought stress conditions was 4691 and 3659 kg.ha^{-1}, respectively. The correlation coefficients between grain yield and CTD at three measured stages from heading to physiological maturity as well as average CTD at all three stages under both normal and terminal drought conditions were moderate to relatively high. In total, the results of this research indicated that the CTD could be used as a rapid and effective criterion for screening high yielding genotypes in early generations of breeding programs. Evaluating drought tolerance indices also showed that the MP, GMP and STI are the more effective to select high yielding and drought tolerant varieties. All three indices identified the genotypes 14 and 16 as drought tolerant genotypes. These genotypes had the high yield in both normal and drought stress conditions.

Keywords: Canopy temperature, Drought tolerant varieties, Susceptibility and tolerance indices

1. Scientific Board Member, Darab Agricultural Research Station, Agricultural and Natural Resources Research Center of Fars, Fars, Iran
2. M. Sc. Graduate, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Teacher, Fasa Agricultural College, Fars, Iran
4. M. Sc., Darab Agricultural Management, Darab, Fars, Iran
* Corresponding author: bidadi_67@yahoo.com