دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره پنجم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۴ (۳۶۹-۳۵۳)

ارزیابی تنوع ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم بر اساس خصوصیات زراعی و برخی از صفات مرفولوژیک در شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل

محسن سعیدی[۱*]، مجید عبدلی[۲]، مهدی شفیعی ابنوی[۳]، ماهرخ محمدی[۴] و زهرا اسکندری قلعه[۴]

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۳

چکیده

به منظور بررسی تنوع ژنتیکی و اثر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد دانه و برخی از صفات مرفولوژیک گندم، مطالعه‌ای با ۵۶ ژنوتیپ گندم در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح لاتیس مستطیل با سه تکرار در شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از لحاظ صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد سنبله، بیوماس، شاخص برداشت و ارتفاع گیاه در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. در اثر تنش خشکی انتهای فصل، به طور متوسط عملکرد سنبله ۳۴/۵ درصد، بیوماس ۳۰ درصد، عملکرد دانه ۲۷/۲ درصد، تعداد دانه در سنبله ۲۱/۶ درصد، وزن هزار دانه ۱۵/۹ درصد، شاخص برداشت ۶/۱۳ درصد، ارتفاع گیاه ۵/۶۴ درصد، طول سنبله ۱/۳۷ درصد و وزن پدانکل ۰/۱۵ درصد کاهش، ولی طول پدانکل و طول میانگره ماقبل آخر به ترتیب ۱/۴۷ و ۰/۲۰ درصد افزایش یافت. در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی، بین عملکرد دانه با طول میانگره ماقبل آخر و نیز بین بیوماس با شاخص برداشت، همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری مشاهده شد، در حالی که همبستگی بین تعداد دانه در سنبله با شاخص برداشت و ارتفاع گیاه با طول سنبله مثبت و بسیار معنی‌دار بود. تحلیل همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل با شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که شاخص‌های STI، MP و GMP مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی بودند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های مغان ۱، نوید، گلستان، داراب ۲ و مرودشت دارای بیشترین عملکرد دانه در هر دو شرایط آزمایشی بودند.

واژه‌های کلیدی: تحمل به خشکی، تنوع ژنتیکی، عملکرد دانه

۱- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه
۲- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه
۴- دانش‌آموخته کارشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه
* نویسنده مسئول: saeidi_mohsen@yahoo.com

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum*) مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا است که در محدودهٔ وسیعی از شرایط اقلیمی و مناطق جغرافیایی کشت می‌شود و به‌دلیل تطابق زیاد با شرایط آب و هوایی مختلف، دامنهٔ پراکندگی آن بیش از هر گونهٔ دیگر است. این گیاه، غذای اصلی بخش عمده‌ای از جمعیت جهان است (Royo *et al.*, 2005) و برای هزاران سال قوت روزانهٔ این جمعیت رو به رشد را تأمین کرده است (Gallagher, 1984).

کشور ایران به علت موقعیت خاص جغرافیایی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است (FAO, 2010). متوسط میزان بارش سالانه آن ۲۵۰ میلی‌متر است که حدود یک سوم متوسط میزان بارش جهانی می‌باشد. علاوه بر خشک بودن، ایران کشوری مستعد خشک‌سالی است و میزان خسارت ناشی از خشک‌سالی به علت کاهش سرانهٔ آب قابل دسترس ناشی از افزایش جمعیّت، تغییر اقلیم و بهره‌برداری بیش از حد و کاهش کیفیت منابع آب موجود (شوری و آلودگی) در حال افزایش است (Heidari Sharifabad, 2008). تأمین امنیّت غذایی از مهمترین اهداف توسعه می‌باشد که نیازمند انجام مطالعات و بررسی‌های زیر بنایی در بخش کشاورزی است. تنش‌های مختلف محیطی (اعم از تنش‌های زنده و غیره زنده) همواره از عوامل اصلی کاهش دهندهٔ تولید محصولات زراعی و از موانع اصلی رسیدن به پتانسیل عملکرد محصولات مختلف بوده‌اند. لذا توجه به مقاومت واریته‌های زراعی به این تنش‌ها از دیدگاه فیزیولوژی و به‌نژادی همواره مورد توجه بوده است (Debaeke and Abdellah, 2004; Ercoli *et al.*, 2007).

عملکرد دانه و پایداری آن در مناطق متعددی که تنش‌های محیطی وجود دارد، همواره به عنوان معیار مهمی در گزینش و معرفی ارقام مورد استفاده قرار گرفته است (Trethowan and Reynolds, 2007). اما از آنجا که عملکرد به تنهایی شاخص مناسبی برای تحمل به خشکی نیست، پیشرفت سریع‌تر در برنامه‌های به‌نژادی برای عملکرد در شرایط تنش آبی می‌تواند با گزینش صفاتی مانند طول سنبله، مقدار ماده ذخیره شده در پدانکل، پایداری غشاء، کربوهیدرات‌های محلول، میزان آب نسبی برگ، تجمع پرولین، فلوروسنس کلروفیل و غیره که با تحمل به خشکی همبستگی دارند، عملی شود. با توجه به این‌که اصلاح برای عملکرد معمولاً به‌دلیل وراثت‌پذیری پایین آن مشکل می‌باشد، توجه به جنبه‌های دیگر تحمل به خشکی از قبیل شاخص‌های مرفولوژیک و فیزیولوژیک به‌دلیل کم‌هزینه بودن و قابلیت آنها در گزینش مواد ژنتیکی در مراحل اولیه رشد گیاه به‌منظور مطالعهٔ میزان تحمل به خشکی اهمیت دارد (Farshadfar *et al.*, 2012). توان بالقوهٔ ذخیره کربوهیدرات در میانگره‌های مختلف ساقه و انتقال مجدد آن به دانه نیز می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گندم نان تحت شرایط تنش خشکی به کار رود، زیرا در اغلب مناطق گندم‌خیز به‌ویژه در مناطقی با شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای، دورهٔ پر شدن دانه گندم با تنش خشکی و گرما مواجه می‌شود. در چنین شرایطی فتوسنتز جاری به علت تسریع پیری و ریزش برگ‌ها کاهش می‌یابد (Martinez *et al.*, 2003) و مواد حاصله از فتوسنتز، بیشتر به مصرف بقای گیاه می‌رسد و بدین ترتیب آسیمیلات‌های جاری برای پر کردن دانه کافی نخواهد بود (Johnson *et al.*, 1981; Rivero *et al.*, 2009). بنابراین، کربن مورد نیاز برای پرکردن دانه‌ها توسط سایر منابع از جمله انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای ناشی از فتوسنتز قبل از گلدهی که در میانگره‌های ساقه انباشته شده بود (Ehdaie *et al.*, 2006b) و نیز از فتوسنتز سنبله تأمین می‌شود (Blum, 1998; Yang and Zang, 2006).

علاوه بر بررسی خصوصیات مرفولوژیک و فیزیولوژیک به منظور شناخت واکنش ارقام به تنش خشکی، می‌توان از شاخص‌های تحمل یا حساسیت نیز استفاده و ارقام را از نظر واکنش آنها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به چهار گروه ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط (گروه A)، ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب در محیط بدون تنش (گروه B)، ژنوتیپ‌های با عملکرد قابل قبول در محیط تنش (گروه C) و ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و بدون تنش (گروه D) تقسیم کرد (Fernandez, 1992). ایزددوست و همکاران (Izaddoost *et al.*, 2013) در ارزیابی تحمل ارقام برنج تحت شرایط شوری بیان کردند که شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی (GMP) و میانگین هارمونیک (Harm)، شاخص‌های مطلوبی هستند.

اطلاعاتی که بتواند اصلاح‌گران را از طریق گزینش صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به

خشکی جهت افزایش عملکرد واریته‌های زراعی راهنمایی نماید، بسیار مهم است و همکاری نزدیک فیزیولوژیست‌ها و اصلاح‌کنندگان نبات در شناسایی این صفات و بهره‌برداری از تنوع ژنتیکی موجود جهت انتقال آنها به ارقام زراعی جدید می‌تواند در معرفی ارقام پر محصول متحمل به خشکی مفید باشد (Zarei, 2007). با توجه به اهمیت گندم به عنوان یک گیاه استراتژیک و نیز اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، پژوهش حاضر به منظور ارزیابی برخی از صفات مهم ژنوتیپ‌های گندم نان و دوروم و مطالعه اثر تنش خشکی آخر فصل بر آنها اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این تحقیق، ۵۶ ژنوتیپ گندم تهیه شده از مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرج و کرمانشاه (جدول ۱) بودند که در قالب طرح لاتیس مستطیل ۷×۸ با سه تکرار و در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل بررسی شدند. پژوهش در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا اجرا شد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مطالعه شده در این پژوهش

Table 1. The studied genotypes in this research

شماره Code	ژنوتیپ Genotype	شماره Code	ژنوتیپ Genotype	شماره Code	ژنوتیپ Genotype	شماره Code	ژنوتیپ Genotype
1	نیک نژاد Niknejad	15	بزوستایا Bezostaya	29	گلستان Golestan	43	آذر ۲ Azar 2
2	الوند Alvand	16	نوید Navid	30	رز Roz	44	کراس البرز Alborz cross
3	شیرودی Shiroodi	17	فلات Falat	31	شهریار Shahryar	45	ساجی Saji
4	باز Baz	18	پیشگام Pishgam	32	هیرمند Hirmand	46	اوحدی Ohadi
5	هامون Hamoon	19	قدس Ghods	33	کرج ۲ Karaj 2	47	رصد Rasad
6	الموت Almot	20	مهدوی Mahdavi	34	رسول Rasool	48	زردک (دوروم) Zardak
7	سرداری Sardari	21	ارگ Argh	35	آرتا Arta	49	کوهدشت Kohdasht
8	زارع Zare	22	داراب ۲ Darab 2	36	مغان ۱ Moghan 1	50	DN-11
9	شیراز Shiraz	23	سیوند Sivand	37	مغان ۲ Moghan 2	51	چمران Chamran
10	نیشابور Neishabor	24	طوس Tos	38	مغان ۳ Moghan 3	52	پارسی Parsi
11	کویر Kavir	25	اروم Urom	39	گوهر Ghohar	53	318
12	البرز Alborz	26	پیشتاز Pishtaz	40	پاستور Pastor	54	330
13	بهار Bahar	27	زرین Zarin	41	سیمره Saimareh	55	341
14	اترک Atrak	28	تجن Tajn	42	بهرنگ Behrangh	56	مرودشت Marvdasht

به منظور آماده‌سازی جهت کاشت، زمین مورد نظر در اوایل پاییز شخم و دیسک زده شد. کشت بذر در نیمه دوم آبان ماه ۱۳۸۹ با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع صورت گرفت. هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر و عرض ۲۳ سانتی‌متر بود. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی (وجین) و نیز سایر عملیات داشت به طور یکسان در کلیه کرت‌ها انجام شد. قطع آبیاری از زمان گلدهی که مصادف با اواخر اردیبهشت ماه ۱۳۹۰ بود، در محیط تنش اعمال شد که تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تداوم یافت، اما محیط بدون تنش در این زمان سه نوبت مورد آبیاری قرار گرفت. مقدار بارش، میزان رطوبت و متوسط دمای هوا در طول فصل زراعی در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲- حداقل و حداکثر دما و میزان رطوبت و میانگین ماهانه بارندگی در منطقه کرمانشاه طی سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹

Table 2. Minimum and maximum temperature and relative humidity (RH) and precipitation in Kermanshah region during 2010-2011

Month	ماه	حداقل دما (درجه سلسیوس) Minimum temperature (°C)	حداکثر دما (درجه سلسیوس) Maximum temperature (°C)	میزان بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	حداقل رطوبت (درصد) Minimum RH (%)	حداکثر رطوبت (درصد) Maximum RH (%)
Sep. 23-Oct. 22	مهر	10.6	30.3	1	13.2	46.4
Oct. 23-Nov. 21	آبان	4.5	21.9	31	22.8	66.8
Nov. 22-Dec. 21	آذر	-1.5	16.8	24	26.5	62.4
Dec. 22-Jan. 20	دی	-2.2	9.6	50	47.1	91.0
Jan. 21-Feb. 19	بهمن	-2.7	8.0	65	52.1	94.2
Feb. 20-Mar. 20	اسفند	0.6	15.4	21	28.1	82.0
Mar. 21-Apr. 20	فروردین	4.5	20.1	47	24.6	78.8
Apr. 21-May. 21	اردیبهشت	9.5	23.6	128	33.6	87.4
May. 22-June 21	خرداد	12.8	33.8	0	11.3	51.1
June 22-Jul. 22	تیر	17.1	38.5	0	6.6	32.1
Jul. 23-Aug. 22	مرداد	18.1	39.5	0	6	27.7
Aug. 23-Sep. 22	شهریور	13.8	34.6	0	7.8	32.0

Source: Meteorological Organization of Iran منبع: سازمان هواشناسی کشور

برای محاسبه عملکرد دانه در مرحله رسیدگی پس از حذف حاشیه‌ها، از هر کرت ۱ متر مربع برداشت و بعد از خرمن‌کوبی، وزن کل دانه‌های آن بعنوان عملکرد دانه در سطح مزبور در نظر گرفته و واحد آن به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. به منظور اندازه گیری اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد سنبله و همچنین طول سنبله، طول میانگره‌های مختلف ساقه و ارتفاع گیاه، ۱۰ بوته بصورت تصادفی انتخاب و اندازه گیری‌های مذکور انجام شدند. بدین ترتیب که طول سنبله، فاصله بین پایه سنبله تا سنبلچه انتهایی سنبله در نظر گرفته شد. فاصله بین پایه سنبله تا گره اول ساقه و همچنین فاصله بین گره اول تا دوم از بالای ساقه به ترتیب طول میانگره پدانکل و میانگره پنالتیمت در نظر گرفته شدند. فاصله بین سطح زمین تا سنبلچه انتهایی سنبله (مجموع طول سنبله و میانگره‌های مختلف ساقه) در زمان برداشت بعنوان ارتفاع بوته منظور شد. به منظور تخمین حداکثر وزن میانگره پدانکل پس از گرده‌افشانی، در مرحله گلدهی در هر کرت تعدادی ساقه اصلی یکنواخت و مشابه مشخص شد و از مرحله گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک، هر هفته ۵ ساقه برداشت شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند و پس از خشک شدن نمونه‌ها، میانگره پدانکل جدا و وزن شد (Ehdaie *et al.*, 2006a). این نمونه‌برداری در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی برای کلیه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه انجام شد. به منظور برآورد شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی، از روابط پیشنهادی فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978)، روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) و فرناندز (Fernandez, 1992) استفاده شد:

(۱) شاخص حساسیت به تنش

$$SSI = \frac{1 - \frac{Y_p}{Y_s}}{1 - \frac{\overline{Y_s}}{\overline{Y_p}}}$$

(۲) شاخص تحمل $TOL = Y_p - Y_s$

(۳) میانگین عملکرد $MP = \frac{Y_p + Y_s}{2}$

(۴) میانگین هندسی عملکرد $GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$

(۵) شاخص تحمل به تنش $STI = \frac{Y_p \times Y_s}{(\overline{Y}_p)^2}$

(۶) میانگین هارمونیک $HMP = \frac{2(Y_p Y_s)}{Y_p + Y_s}$

در این روابط، Ys و Yp به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش و بدون تنش و $\overline{Y}_s$ و $\overline{Y}_p$ به ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش است. درصد تغییرات صفات در اثر تنش خشکی نیز از طریق تقسیم مقدار کاهش هر صفت تحت شرایط تنش بر همان صفت تحت بدون تنش بر حسب درصد محاسبه شد. تجزیه واریانس مرکب و ضریب همبستگی صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بین شرایط تنش و بدون تنش از نظر تمامی صفات به غیر از حداکثر وزن پدانکل پس از گرده‌افشانی، طول سنبله، طول پدانکل و طول میانگره ماقبل آخر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نیز برای عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، وزن دانه‌ها در سنبله، بیوماس و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. معنی‌دار بودن اثر متقابل به این مفهوم است که ژنوتیپ‌ها از نظر این صفات به تنش آبی واکنش متفاوتی نشان دادند (جدول ۳).

تحت شرایط تنش، ژنوتیپ ۵۴ (۳۳۰) بیشترین (۵۴۱۹ کیلوگرم در هکتار) و ژنوتیپ ۳ (شیرودی) کمترین (۱۸۷۴ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه را داشتند، در حالی که تحت شرایط بدون تنش، ژنوتیپ ۲۲ (داراب-۲) بیشترین (۷۶۰۳ کیلوگرم در هکتار) و ژنوتیپ ۴۷ (رصد) کمترین (۴۱۱۹ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴).

درصد تغییر میانگین صفات مختلف در اثر تنش خشکی در جدول ۶ ارایه شده است. تنش خشکی عملکرد دانه را به میزان ۲۷/۲ درصد کاهش داد. این کاهش احتمالا به علّت کاهش تعداد دانه در سنبله (۲۱/۶ درصد) و وزن هزار دانه (۱۵/۹ درصد) بوده است. پانتوان و همکاران (Pantuwan *et al.*, 2002) نیز علت کاهش عملکرد دانه برنج را کاهش تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گزارش کردند. امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2013) گزارش کردند که بیشترین خسارت ناشی از تنش خشکی مربوط به عملکرد دانه بود که نسبت به شرایط بدون تنش، ۲۳/۵ درصد کاهش نشان داد.

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در جدول ۸ ارایه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، عملکرد دانه با وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت، در حالی که همبستگی آن با طول میانگره ماقبل آخر منفی و معنی‌دار بود (جدول ۸).

تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه: از نظر تعداد دانه در سنبله، ژنوتیپ ۳۳ (کرج-۲) بیشترین تعداد دانه در سنبله را تحت هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشت و ژنوتیپ‌های ۵۶ (مرودشت) و ۳۷ (مغان-۲) کمترین مقدار را به ترتیب تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشتند (جدول ۴). از نظر وزن هزار دانه نیز تحت شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ ۳۹ (گوهر) بیشترین (۴۹/۴ گرم) و ژنوتیپ ۳ (شیرودی) کمترین (۲۲/۱ گرم) میزان را داشتند، در حالی که تحت شرایط بدون تنش، ژنوتیپ ۳۱ (شهریار) بیشترین (۵۷/۰ گرم) و ژنوتیپ ۴۳ (آذر-۲) کمترین (۲۳/۱ گرم) وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

نتایج نشان داد که میانگین وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی، ۱۵/۹ درصد و تعداد دانه در سنبله ۲۱/۶ درصد کاهش یافت (جدول ۶). کاهش تعداد دانه در اثر تنش خشکی در گندم بین ۲۱/۴ تا ۳۱/۸ درصد توسط بلوم و همکاران (Blum *et al.*, 1989) و پاندی و همکاران (Pandy *et al.*, 2001) گزارش شده است. پاندی و همکاران (Pandy *et al.*, 2001) کاهش وزن هزار دانه

گندم را در اثر تنش رطوبتی و مصرف ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و عدم مصرف نیتروژن به ترتیب ۱۹ و ۱۲ درصد گزارش کردند. پانتوان و همکاران (Pantuwan *et al.*, 2002) اظهار داشتند که وزن هزار دانه گیاه برنج در اثر تنش خشکی در مرحله رویشی و گلدهی به ترتیب ۲۲ و ۲۷ درصد کاهش یافت. سعیدی و همکاران (Saeidi *et al.*, 2010) تنش کم‌آبی را در مراحل مختلف رشد دانه اعمال کردند، نشان دادند که کاهش عملکرد و وزن هزار دانه بیشتر به علت تامین مواد پرورده برای پرشدن دانه‌ها، کاهش قدرت مخزن برای جذب مواد فتوسنتزی و نیز کاهش دوره رشد دانه می‌باشد و احتمالاً واکنش‌های اولیه رشد دانه (تقسیم سلولی و شکل‌گیری اندازه مخزن) کمتر تحت تاثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند. عبدلی و سعیدی (Abdoli and Saeidi, 2012) طی تحقیقات خود در منطقه غرب ایران بیان کردند که تنش کم‌آبی عملکرد دانه و وزن هزار دانه ارقام مورد بررسی را به ترتیب ۳۴ و ۲۷ درصد کاهش داد، ولی اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح نداشت.

تعداد دانه در سنبله همبستگی منفی و معنی‌داری با وزن هزار دانه تحت شرایط تنش خشکی داشت (جدول ۸). این مطلب نشان می‌دهد که تلاش در جهت افزایش عملکرد از طریق افزایش تعداد دانه در سنبله تا اندازه‌ای از طریق کاهش وزن هزار دانه خنثی می‌شود. وان جینکل و همکاران (Van Ginkel *et al.*, 1998) معتقدند که فراوانی تعداد دانه در سنبله برای شرایط تنش بحرانی است و با عملکرد در شرایط خشکی همبستگی منفی دارد. سی‌وسه‌مرده و همکاران (Siose-Mardeh *et al.*, 2006) نیز تعداد کم دانه در سنبله را صفتی مطلوب برای شرایط خشکی دانستند.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات مورد مطالعه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Combined analysis of variance for the studied traits under non-stress and stress conditions

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean square میانگین مربعات					
			عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در سنبله No. of grains.spike^{-1}	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد سنبله Spike yield	بیوماس Biomass	شاخص برداشت Harvest index
Environment (En)	محیط	1	183981020**	7827**	3585**	33.7**	96.04**	1479**
Replication/En	تکرار درون محیط	4	10627	8.799	8.776	0.024	0.139	44.0
Genotype (G)	ژنوتیپ	55	2247483**	208.4**	264.5**	0.597**	1.406**	1034**
En × G	ژنوتیپ × محیط	55	1018671**	75.2**	35.1**	0.216**	0.309**	279.5**
Error	خطای آزمایش	220	66856	8.95	3.63	0.023	0.027	31.6
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)	-	5.51	7.49	5.04	10.1	5.02	11.9

Table 3. Continued

جدول ۳- ادامه

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean square میانگین مربعات				
			حداکثر وزن پدانکل Peduncle maximum weight	طول سنبله Spike length	طول پدانکل Peduncle length	طول میانگره ماقبل آخر Penultimate length	ارتفاع گیاه Plant height
Environment (En)	محیط	1	0.00006 ^{ns}	1.534 ^{ns}	25.3 ^{ns}	0.210 ^{ns}	2432 **
Replication/En	تکرار درون محیط	4	0.00002	0.418	1.548	4.216	341.4
Genotype (G)	ژنوتیپ	55	0.0655 **	9.512 **	189.4 **	48.5 **	638.3 **
En × G	ژنوتیپ × محیط	55	0.00006 **	2.236 **	18.66 **	12.1 **	101.9 *
Error	خطای آزمایش	220	0.00002	0.648	8.12	4.88	69.7
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)	-	0.79	8.13	7.58	9.46	9.01

^{ns} ، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار 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 ژنوتیپ‌های مطالعه شده از نظر صفات زراعی تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 4. Mean comparison of the studied genotypes for agronomic traits under non-stress and stress conditions

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)		تعداد دانه در سنبله No. of $grains.spike^{-1}$		وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)		عملکرد سنبله Spike yield (g)		بیوماس Biomass ($g.plant^{-1}$)		شاخص برداشت Harvest index (%)	
	بدون تنش Normal	تنش Stress	بدون تنش Normal	تنش Stress	بدون تنش Normal	تنش Stress	بدون تنش Normal	تنش Stress	بدون تنش Normal	تنش Stress	بدون تنش Normal	تنش Stress
1	6320	3977	56.6	40.1	35.1	32.3	1.98	1.30	6.07	3.88	32.7	33.4
2	6146	3750	45.3	27.0	34.8	32.0	1.57	0.87	6.00	3.89	26.3	22.2
3	4819	1874	42.1	37.6	32.0	22.1	1.35	0.83	4.22	2.67	31.9	31.3
4	4681	3462	44.6	38.5	34.7	33.6	1.55	1.29	4.54	2.72	34.0	47.3
5	5250	4252	47.8	43.2	37.0	31.8	1.77	1.37	4.95	3.75	35.7	36.6
6	5190	4662	57.3	48.7	34.4	26.2	1.97	1.27	4.97	3.68	39.6	34.7
7	5607	4357	45.9	37.2	38.5	35.1	1.77	1.31	5.48	4.72	32.2	27.6
8	6250	3608	51.7	39.2	40.2	33.6	2.08	1.31	5.54	4.17	37.4	31.5
9	5328	3037	45.3	42.2	35.1	32.3	1.59	1.36	5.44	3.97	29.3	34.3
10	6013	4223	38.3	29.7	35.1	32.1	1.34	0.95	5.70	3.90	23.6	24.4
11	5108	3715	41.5	33.6	45.1	38.7	1.87	1.30	6.50	4.77	28.8	27.3
12	5954	3621	38.8	34.3	48.2	30.7	1.87	1.05	5.51	4.06	33.9	26.0
13	5550	4852	35.9	31.3	44.8	41.3	1.61	1.29	5.66	3.95	28.5	32.6
14	6250	4367	47.3	39.8	47.7	35.9	2.26	1.43	5.95	4.06	38.0	35.2
15	6488	3830	48.1	28.0	49.1	34.9	2.37	0.98	5.86	3.79	40.4	25.8
16	6902	4696	53.9	32.3	42.9	38.2	2.32	1.23	6.22	3.98	37.2	31.0
17	5285	4380	42.8	36.5	49.2	38.9	2.10	1.42	5.41	4.14	38.9	34.2
18	5234	3205	38.4	27.7	43.2	39.4	1.66	1.09	5.43	4.10	30.5	26.6
19	5397	4218	44.2	35.5	41.8	28.2	1.85	0.99	5.30	3.45	34.8	28.9
20	4545	4206	42.0	39.2	42.2	37.7	1.77	1.47	5.05	4.34	35.0	34.0
21	6386	3635	53.2	32.6	46.4	31.8	2.46	1.04	8.05	4.68	30.5	22.1
22	7603	3921	53.2	38.6	47.2	32.4	2.51	1.25	7.39	4.39	34.0	28.5
23	5188	4520	42.4	36.4	43.3	38.2	1.84	1.39	5.39	4.32	34.1	32.2
24	5433	3901	37.6	30.9	40.5	38.0	1.52	1.18	5.64	4.29	27.0	27.7
25	4799	3989	46.7	32.8	43.9	37.0	2.05	1.21	5.74	4.24	35.8	28.6
26	6149	4034	47.8	32.0	51.0	42.2	2.44	1.35	6.51	3.86	37.4	34.9
27	4729	3991	36.0	23.2	47.8	43.3	1.72	1.01	5.48	3.84	31.4	26.2
28	5626	4620	49.0	42.2	47.6	39.3	2.33	1.66	5.79	4.00	40.3	41.4
29	6465	4914	48.6	26.2	42.6	40.0	2.07	1.05	6.44	4.35	32.1	24.1
30	5171	3470	34.7	29.6	46.7	39.8	1.62	1.19	4.95	3.75	32.7	31.6
31	4716	3618	52.6	44.3	57.0	41.3	3.00	1.83	7.12	4.14	42.0	44.1
32	5481	4450	46.8	33.5	44.9	36.6	2.11	1.22	5.84	4.22	35.9	29.1
33	4924	2925	59.5	55.0	37.4	33.0	2.23	1.81	6.42	4.81	34.7	37.7
34	4911	2393	58.5	37.8	45.1	39.2	2.64	1.48	5.55	3.60	47.6	41.2
35	4917	4138	57.3	27.1	48.6	38.4	2.79	1.04	6.26	3.85	44.5	26.9
36	7405	5095	53.9	40.5	44.9	38.6	2.42	1.56	6.50	4.47	37.3	34.9
37	4893	4249	42.1	22.0	41.2	33.0	1.73	0.74	4.63	3.42	37.4	21.1
38	5165	3795	35.4	28.7	41.4	35.1	1.46	1.01	5.08	3.55	28.8	28.4
39	5048	4813	43.6	39.5	56.3	49.4	2.45	1.95	5.18	4.17	47.3	46.9
40	5413	4091	31.5	36.2	50.8	46.6	1.59	1.68	4.80	3.99	32.9	42.2
41	6198	3984	30.5	24.6	52.9	43.0	1.61	1.06	6.62	5.00	24.4	21.2
42	5408	4770	37.8	29.1	43.2	41.2	1.63	1.21	6.55	4.13	24.9	29.0
43	4845	3684	49.1	28.8	23.1	37.4	1.13	1.08	4.89	4.35	23.1	24.8
44	4278	3821	46.1	31.9	40.0	27.3	1.84	0.87	5.68	3.33	32.4	26.1
45	5542	3720	48.5	43.1	29.5	22.7	1.43	0.98	6.05	4.55	23.5	21.5
46	4288	2580	51.3	42.2	36.3	24.7	1.86	1.04	5.05	3.23	36.9	32.2
47	4191	3506	45.4	40.2	28.9	22.2	1.31	0.89	5.58	3.94	23.5	22.7
48	4322	3647	47.0	40.4	28.3	24.9	1.33	1.01	5.60	3.51	23.7	28.7
49	4204	3308	46.7	36.5	28.9	23.3	1.35	0.85	4.59	3.39	29.4	25.0
50	6619	4352	38.1	31.1	40.6	35.2	1.55	1.10	5.47	3.44	28.3	31.8
51	5455	4788	37.6	34.5	36.2	33.1	1.36	1.14	5.06	3.85	27.0	29.6
52	4650	2789	47.9	34.9	32.2	24.9	1.54	0.87	5.19	3.50	29.7	24.8
53	4402	4221	39.7	33.2	30.9	23.1	1.23	0.77	5.24	3.86	23.4	19.9
54	5826	5419	34.1	30.6	48.0	46.0	1.64	1.41	6.16	4.59	26.6	30.6
55	5190	4591	40.7	34.8	30.7	25.3	1.25	0.88	5.04	3.59	24.8	24.5
56	6235	3484	28.0	39.5	35.1	31.8	0.98	1.27	6.15	3.93	16.0	31.7
Mean	5436	3956	44.8	35.1	41.1	34.5	1.83	1.20	5.67	3.97	32.3	30.3
Minimum	4191	1874	28.0	22.0	23.1	22.1	0.98	0.74	4.22	2.67	16.0	19.9
Maximum	7603	5419	59.5	55.0	57.0	49.4	3.00	1.95	8.05	5.00	47.6	47.3
LSD (5%)	790	681	7.35	6.36	7.49	6.62	0.44	0.27	0.73	0.47	6.46	6.42

بیوماس و شاخص برداشت: عملکرد زیست توده و شاخص برداشت در شرایط رطوبتی تفاوت معنی‌داری نشان داد، این دو صفت متناسب با تنش خشکی کاهش داشتند (جدول ۶). از نظر بیوماس بوته، بیشترین مقدار در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ ۲۱ (۸/۰۵ گرم در بوته) و در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ ۴۰ (۵ گرم در بوته) بود. کمترین بیوماس نیز در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به ژنوتیپ ۳ (به ترتیب با ۴/۲۲ و ۲/۶۷ گرم در بوته) تعلق داشت (جدول ۴).

برای صفت شاخص برداشت بیشترین مقدار در شرایط بدون تنش مربوط به ژنوتیپ‌های ۳۴ و ۳۹ (به ترتیب ۴۷/۶ و ۴۷/۳ درصد) و در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ ۴ (۴۷/۳ درصد) بود. کمترین شاخص برداشت نیز در شرایط تنش به ژنوتیپ ۵۳ (۱۹/۹ درصد) و در شرایط بدون تنش به ژنوتیپ ۵۶ (۱۶ درصد) تعلق داشت (جدول ۴). با توجه با شاخص برداشت به نظر می‌رسد که قدرت مخزن به میزان بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر خشکی قرار دارد. میانگین شاخص برداشت در اثر تنش خشکی ۶/۱۳ درصد کاهش نشان داد (جدول ۶). بلوم و همکاران (Blum *et al.*, 1989) و عبدلی و سعیدی (Abdoli and Saeidi, 2013) کاهش شاخص برداشت گندم را در اثر تنش خشکی گزارش کردند.

شاخص برداشت همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله داشت (جدول ۸). این مسئله مشخص می‌کند که این صفات می‌توانند در افزایش عملکرد تحت شرایط تنش سهیم می‌باشند و تحمل به تنش را افزایش می‌دهند. شاخص برداشت بیانگر درصد انتقال مواد آلی ساخته شده از مبدأ به مقصد و یا بعبارت دیگر توان ارقام در اختصاص دادن بیشتر مواد فتوسنتزی در جهت تولید عملکرد دانه می‌باشد. ارقامی که دارای شاخص برداشت بیشتری هستند قادرند کربوهیدرات‌های بیشتری را از اندام‌های سبزگیاه به دانه‌ها منتقل ساخته و باعث افزایش عملکرد دانه گردند (Abdoli and Saeidi, 2012). ریچادرز و همکاران (Richards *et al.*, 2002) گزارش کردند به این دلیل که شاخص برداشت نشان دهنده پتانسیل ژنتیکی در تولید عملکرد اقتصادی است، از اینرو مقادیر بالای آن در یک رقم می‌تواند عملکرد بالا در شرایط تنش را موجب گردد. در همین ارتباط رینولدز و همکاران (Reynolds *et al.*, 2009) بیان کردند ارقامی از گندم که دارای عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بالا هستند، به احتمال زیاد دارای عملکرد دانه بالایی در شرایط کنترل و تنش رطوبتی می‌باشند.

حداکثر وزن میانگره پدانکل پس از گرده‌افشانی: اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای حداکثر وزن خشک پدانکل بعد از گرده‌افشانی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). که بیانگر این مطلب است که ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی واکنش متفاوتی را از نظر صفت فوق، از خود بروز می‌دهند. همچنین نتایج نشان داد که وزن میانگره پدانکل در ژنوتیپ‌ها متفاوت بود که بیانگر تنوع در بین ژنوتیپ‌ها از نظر انباشت مواد در میانگره فوق است. در شرایط بدون تنش از لحاظ حداکثر وزن پدانکل، ژنوتیپ ۱ (نیک نژاد) بیشترین و ژنوتیپ ۱۶ (نوید) کمترین و همچنین در شرایط تنش خشکی آخر فصل ژنوتیپ‌های ۱ و ۱۶ (نیک نژاد و نوید) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان انباشت مواد را دارا بودند (جدول ۵). با توجه به این که در اکثر ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت ولی حداکثر وزن میانگره پدانکل (میانگره اول از بالای ساقه) کاهش نداشت احتمالا این موضوع بخاطر شکل‌گیری و انباشت مواد در میانگره فوق قبل از مرحله پرشدن دانه‌ها می‌باشد.

طول سنبله، میانگره‌های ساقه و ارتفاع گیاه: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای صفات طول سنبله، طول میانگره پدانکل و طول میانگره ماقبل آخر در سطح احتمال یک درصد و برای ارتفاع گیاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). معنی‌دار بودن اثر متقابل نشان داد که ژنوتیپ‌ها واکنش متفاوتی به تنش نشان دادند، به طوری که تحت شرایط بدون تنش، ژنوتیپ ۹ (شیراز) بیشترین (۱۴/۸ سانتی‌متر) و ژنوتیپ ۱۶ (نوید) کمترین (۶/۵ سانتی‌متر) طول سنبله را داشتند. تحت شرایط تنش خشکی نیز ژنوتیپ ۵۵ (۳۴۱) با داشتن ۱۴/۲ سانتی‌متر بیشترین و ژنوتیپ ۴۱ (سیمره) با ۷ سانتی‌متر کمترین طول سنبله را داشتند (جدول ۵). روستایی و همکاران (Roostaei *et al.*, 2003) بیان کردند که در صورت وجود رطوبت و مواد غذایی مناسب و قابل دسترس، ژنوتیپ‌هایی که طول سنبله و تعداد دانه در سنبله بیشتری دارند، عملکرد بالایی خواهند داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مرفولوژیک تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 5. Mean comparison of the morphological traits under non-stress and stress conditions

ژنوتیپ Genotype	حداکثر وزن پدانکل Peduncle maximum weight (g)		طول سنبله Spike length (cm)		طول پدانکل Peduncle length (cm)		طول میانگره ماقبل آخر Penultimate length (cm)		ارتفاع گیاه Plant height (cm)	
	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	بدون تنش Non-stress	تنش Stress
1	0.873	0.873	9.8	9.7	41.4	41.0	22.7	22.5	94.8	84.8
2	0.474	0.474	12.1	11.4	39.7	41.5	23.6	22.7	95.5	87.1
3	0.534	0.534	8.1	8.4	27.4	29.3	21.2	27.9	85.0	64.4
4	0.507	0.507	8.8	9.3	28.7	29.5	23.7	23.7	83.8	75.7
5	0.513	0.513	9.0	10.0	28.5	34.0	26.4	24.2	96.5	87.0
6	0.480	0.480	8.7	9.4	39.8	37.6	23.3	21.8	95.5	92.2
7	0.465	0.465	9.4	10.4	42.0	41.8	26.4	24.0	102.0	102.1
8	0.543	0.543	11.1	9.9	40.3	39.1	21.3	20.0	88.3	88.9
9	0.519	0.519	14.8	11.1	36.8	35.1	21.5	19.1	84.4	97.5
10	0.729	0.729	10.8	10.8	40.7	38.7	27.8	23.5	90.5	88.7
11	0.621	0.621	12.5	10.6	40.8	35.7	27.6	23.6	85.9	87.4
12	0.543	0.543	10.4	9.8	33.4	35.8	29.3	28.7	89.7	76.9
13	0.624	0.624	10.4	9.6	33.4	32.7	22.4	21.4	96.1	78.7
14	0.522	0.522	7.8	9.0	26.8	26.9	20.6	21.9	76.7	69.9
15	0.592	0.592	9.9	8.8	38.7	38.1	26.0	22.7	97.1	91.7
16	0.408	0.408	9.0	8.4	32.5	42.1	22.9	23.9	106.9	95.5
17	0.510	0.510	10.6	8.8	43.1	37.2	21.0	22.6	100.0	90.5
18	0.678	0.678	9.1	9.0	33.1	36.0	19.5	23.6	90.8	78.5
19	0.582	0.582	11.2	10.5	38.1	40.0	22.6	21.6	93.9	96.8
20	0.762	0.762	11.9	9.9	41.2	38.5	23.8	22.0	88.2	90.4
21	0.750	0.750	12.8	11.1	41.4	39.1	22.0	24.7	91.5	97.7
22	0.574	0.574	11.9	9.9	38.3	33.9	23.0	21.3	77.2	86.4
23	0.624	0.624	9.9	10.2	28.3	34.6	19.8	21.9	84.2	79.2
24	0.819	0.819	10.7	10.0	38.6	36.9	23.2	29.2	99.3	108.3
25	0.556	0.556	9.4	9.9	35.0	36.3	20.3	24.0	97.4	90.1
26	0.538	0.538	10.4	8.8	35.3	34.3	21.5	21.7	79.6	83.3
27	0.556	0.506	12.1	11.9	38.6	38.1	20.7	20.4	106.9	107.9
28	0.600	0.600	9.4	8.7	33.9	34.0	23.4	22.4	80.8	75.4
29	0.567	0.567	10.1	10.2	38.2	36.7	23.4	23.5	97.8	92.5
30	0.627	0.627	9.0	8.8	28.5	30.7	18.4	23.0	98.4	75.4
31	0.600	0.600	11.5	11.3	35.2	41.8	31.8	23.0	98.6	94.4
32	0.606	0.606	9.8	9.8	38.2	38.6	22.2	20.8	91.5	86.6
33	0.852	0.852	12.8	10.2	45.8	43.4	25.8	28.7	114.0	114.0
34	0.675	0.675	9.4	10.2	32.8	40.4	20.4	21.4	100.7	78.3
35	0.699	0.699	9.2	9.5	35.9	31.4	20.6	22.2	84.0	91.9
36	0.438	0.438	9.1	9.3	34.4	36.8	19.7	20.4	99.4	93.5
37	0.624	0.624	9.7	9.8	28.7	33.2	19.7	20.7	87.1	85.3
38	0.597	0.597	9.1	9.6	31.2	32.5	22.6	23.2	98.3	89.5
39	0.585	0.585	8.4	10.0	30.2	30.4	24.0	24.8	95.7	94.2
40	0.444	0.444	8.9	9.8	32.3	35.7	20.3	23.6	93.3	74.2
41	0.531	0.531	7.1	7.0	42.9	37.2	19.3	20.6	87.0	90.1
42	0.642	0.642	7.7	7.6	37.4	36.9	18.4	16.9	80.3	78.2
43	0.585	0.585	10.0	9.0	47.3	48.5	25.0	25.8	107.1	105.6
44	0.789	0.789	9.9	9.7	42.3	44.8	38.0	28.9	109.6	96.2
45	0.804	0.804	6.5	7.1	41.2	46.4	20.3	22.0	92.1	81.5
46	0.585	0.585	9.5	12.1	47.5	47.9	27.7	28.5	115.9	102.7
47	0.636	0.636	11.0	10.0	49.8	45.3	29.0	27.4	129.6	117.1
48	0.717	0.717	6.9	7.9	57.8	53.0	21.9	21.6	116.3	104.6
49	0.537	0.537	10.8	10.4	38.9	36.2	22.7	22.1	88.9	89.4
50	0.520	0.520	10.1	10.5	34.3	40.6	22.6	22.6	95.3	89.6
51	0.513	0.513	11.1	11.8	38.6	45.3	26.6	27.3	104.0	95.4
52	0.534	0.534	10.4	11.6	42.8	45.8	25.8	27.2	111.6	102.1
53	0.561	0.561	9.5	9.0	27.4	30.9	25.2	23.1	78.3	89.3
54	0.537	0.537	10.4	10.6	33.8	33.6	19.0	21.8	87.2	77.5
55	0.634	0.634	10.4	14.2	48.6	46.5	27.1	28.3	121.6	104.4
56	0.612	0.612	9.0	9.5	34.2	34.5	22.6	24.3	97.1	91.0
Mean	0.559	0.598	10.0	9.8	37.3	37.9	23.3	23.4	95.3	89.9
Minimum	0.408	0.408	6.5	7.0	26.8	26.9	18.4	16.9	76.7	64.4
Maximum	0.873	0.873	14.8	14.2	57.8	53.0	38.0	29.2	129.6	117.1
LSD (5%)	0.104	0.105	1.54	1.24	6.34	5.41	3.59	2.71	10.9	11.3

جدول ۶- میانگین و درصد تغییرات صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط بدون تنش و تنش خشکی
Table 6. Means and changes (%) of the studied traits in wheat genotypes under non-stress and stress conditions

Trait	صفت	بدون تنش Non-stress	تنش خشکی Drought stress	تغییرات (درصد) Changes (%)
Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه	5436	3956	-27.2
No. of grains.spike^{-1}	تعداد دانه در سنبله	44.8	35.1	-21.6
1000-grain weight (g)	وزن هزار دانه	41.1	34.5	-15.9
Spike yield (g)	عملکرد سنبله	1.83	1.20	-34.5
Biomass (g.plant^{-1})	بیوماس	5.67	3.97	-30.0
Harvest index (%)	شاخص برداشت	32.3	30.3	-6.13
Peduncle maximum weight (g)	حداکثر وزن پدانکل	0.599	0.598	-0.15
Spike length (cm)	طول سنبله	10.0	9.83	-1.37
Peduncle length (cm)	طول پدانکل	37.3	37.9	1.47
Penultimate length (cm)	طول پنالتیمیت	23.3	23.4	0.20
Plant height (cm)	ارتفاع گیاه	95.3	89.9	-5.64

از نظر طول پدانکل ژنوتیپ ۴۸ (زردک) تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی به ترتیب با ۵۳ و ۵۷/۸ سانتی‌متر دارای حداکثر مقدار بود و ژنوتیپ ۱۴ (اترک) نیز در هر دو شرایط با ۲۶/۹ و ۲۶/۸ سانتیمتر حداقل مقدار را داشت (جدول ۵).

نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی آخر فصل سبب کاهش ارتفاع بوته‌ها به طور میانگین از ۹۵/۳ به ۸۹/۹ سانتی‌متر شده است (جدول ۶) یعنی در حدود ۵/۶ درصد کاهش ارتفاع بوته در این شرایط رخ داده است. شاید در ارقام مورد بررسی به خاطر کمبود آب، رشد رویشی و در نتیجه ارتفاع ساقه کم شده است. این موضوع را میترا (Mitra, 2001) به عنوان یک راهکار فرار از خشکی برای گیاهان مورد بررسی تعبیر کرد. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی ژنوتیپ ۴۷ (رصد) با ۱۲۹/۶ و ۱۱۷/۱ سانتی‌متر حداکثر ارتفاع را داشت. کمترین ارتفاع در شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ ۳ (شیرودی) با ۶۴/۴ سانتی‌متر و در شرایط بدون تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ ۱۴ (اترک) با ۷۶/۷ سانتی‌متر بود (جدول ۵). نتایج حاصل از صفات مرفولوژیکی بیانگر تنوع در بین ارقام مورد بررسی است. امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2013) در ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم نان تحت تاثیر شرایط مختلف رطوبتی بیان کردند که بین ژنوتیپ‌ها از نظر اکثر صفات اختلاف معنی‌داری وجود دارد که وجود تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها، نشان دهنده وجود تنوع در بین آنهاست. بین طول سنبله و طول پدانکل با ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد، بنابراین ژنوتیپ‌هایی با ارتفاع بیشتر احتمالاً طول پدانکل بیشتری خواهند داشت (جدول ۸).

ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی: برای تعیین تحمل ژنوتیپ‌های مورد بررسی به تنش خشکی، از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی استفاده و شاخص‌های مختلف تحمل به تنش برآورد شد (جدول ۷). بر اساس روش‌های استفاده شده در این تحقیق، هرگاه ژنوتیپی دارای مقدار بیشتری برای شاخص‌های STI، GMP و MP و مقدار کمتری برای شاخص‌های TOL و SSI برخوردار باشد، تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی خواهد داشت. نتایج به دست آمده نشان داد که گندم مغان-۱ از نظر شاخص‌های STI، GMP و MP متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی بود و ژنوتیپ ۱۶ (نوید) در مرتبه بعدی قرار گرفت و ژنوتیپ ۳ (شیرودی) حساس‌ترین ژنوتیپ بود. با ملاحظه جدول ۷ مشخص می‌شود که از نظر شاخص میانگین عملکرد دانه (MP)، ژنوتیپ ۳۶ (مغان-۱) با ۶۲۵۰ و سپس ژنوتیپ ۱۶ (نوید) با ۵۷۹۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند، در حالی که ژنوتیپ ۳ (شیرودی) با ۳۳۴۷ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار را داشت.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص حساسیت به تنش (SSI) مواد آزمایشی را فقط بر اساس تحمل و

جدول ۷- شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش بر اساس عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم

Table 7. Tolerance and susceptibility indices for grain yield in wheat genotypes

ژنوتیپ Genotype	عملکرد در شرایط بدون تنش Yp ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد در شرایط تنش Ys ($kg.ha^{-1}$)	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل به تنش STI	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل TOL	میانگین عملکرد MP	میانگین هارمونیک HMP
1	6320	3977	1.362	0.851	5014	2343	5149	4882
2	6146	3750	1.432	0.780	4801	2396	4948	4658
3	4819	1874	2.244	0.306	3006	2945	3347	2699
4	4681	3462	0.956	0.548	4026	1219	4072	3980
5	5250	4252	0.698	0.755	4724	998	4751	4698
6	5190	4662	0.374	0.819	4919	528	4926	4912
7	5607	4357	0.819	0.827	4943	1250	4982	4904
8	6250	3608	1.553	0.763	4749	2642	4929	4575
9	5328	3037	1.579	0.548	4023	2290	4182	3869
10	6013	4223	1.093	0.859	5039	1790	5118	4961
11	5108	3715	1.002	0.642	4356	1393	4412	4302
12	5954	3621	1.439	0.730	4643	2333	4787	4503
13	5550	4852	0.462	0.911	5189	698	5201	5177
14	6250	4367	1.107	0.924	5224	1883	5309	5141
15	6488	3830	1.505	0.841	4985	2658	5159	4816
16	6902	4696	1.174	1.097	5693	2206	5799	5589
17	5285	4380	0.629	0.783	4811	905	4832	4790
18	5234	3205	1.424	0.568	4096	2029	4219	3975
19	5397	4218	0.802	0.770	4771	1179	4807	4735
20	4545	4206	0.274	0.647	4372	340	4375	4369
21	6386	3635	1.582	0.786	4818	2752	5011	4633
22	7603	3921	1.779	1.009	5460	3682	5762	5174
23	5188	4520	0.473	0.794	4842	668	4854	4831
24	5433	3901	1.036	0.717	4604	1533	4667	4541
25	4799	3989	0.621	0.648	4375	811	4394	4357
26	6149	4034	1.263	0.839	4981	2114	5092	4872
27	4729	3991	0.573	0.639	4345	738	4360	4329
28	5626	4620	0.657	0.880	5098	1006	5123	5074
29	6465	4914	0.881	1.075	5636	1551	5689	5583
30	5171	3470	1.208	0.607	4236	1701	4321	4153
31	4716	3618	0.855	0.577	4131	1098	4167	4095
32	5481	4450	0.691	0.825	4938	1031	4965	4912
33	4924	2925	1.491	0.487	3795	1999	3924	3670
34	4911	2393	1.883	0.398	3428	2519	3652	3218
35	4917	4138	0.582	0.689	4511	779	4528	4494
36	7405	5095	1.146	1.277	6142	2310	6250	6036
37	4893	4249	0.483	0.704	4560	644	4571	4549
38	5165	3795	0.974	0.663	4427	1370	4480	4375
39	5048	4813	0.171	0.822	4929	235	4931	4928
40	5413	4091	0.897	0.749	4706	1322	4752	4660
41	6198	3984	1.312	0.836	4969	2214	5091	4850
42	5408	4770	0.433	0.873	5079	638	5089	5069
43	4845	3684	0.881	0.604	4225	1162	4265	4186
44	4278	3821	0.393	0.553	4043	458	4049	4036
45	5542	3720	1.207	0.698	4540	1822	4631	4452
46	4288	2580	1.463	0.374	3326	1707	3434	3222
47	4191	3506	0.601	0.497	3833	686	3848	3818
48	4322	3647	0.574	0.533	3970	675	3985	3956
49	4204	3308	0.783	0.471	3730	896	3756	3703
50	6619	4352	1.258	0.975	5367	2267	5485	5251
51	5455	4788	0.449	0.884	5111	667	5121	5100
52	4650	2789	1.470	0.439	3601	1861	3719	3487
53	4402	4221	0.151	0.629	4310	180	4311	4310
54	5826	5419	0.257	1.068	5619	407	5622	5615
55	5190	4591	0.424	0.806	4881	599	4890	4872
56	6235	3484	1.621	0.735	4661	2752	4860	4470
Mean	5436	3956	0.972	0.734	4618	1480	4696	4543
Minimum	4191	1874	0.151	0.306	3006	180	3347	2699
Maximum	7603	5419	2.224	1.277	6142	3682	6250	6036

حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند. به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها مشخص کرد. به منظور یافتن ژنوتیپ‌های متحمل این شاخص کارایی خوبی دارد (Naderi *et al.*, 1999). جدول ۷ نشان می‌دهد که ژنوتیپ ۵۳ (۳۱۸) کمترین و ژنوتیپ ۳ (شیرودی) بیشترین مقدار شاخص SSI را به خود اختصاص دادند. از نظر شاخص TOL ژنوتیپ ۵۳ (۳۱۸) دارای کمترین مقدار بود و می‌تواند رقم متحمل به تنش خشکی محسوب شود (جدول ۷).

به اعتقاد بسیاری از محققین بهترین شاخص‌ها برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، شاخص‌هایی هستند که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند (Blum, 1998; Farshadfar *et al.*, 2001). نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل مورد بررسی و عملکرد دانه در جدول ۹ ارایه شده است. نتایج این آزمایش نشان داد که همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش خشکی و شاخص‌های STI، GMP و MP وجود داشت (جدول ۹) و حاکی از آن است که این شاخص‌ها توانایی تشخیص و تعیین ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط (بدون تنش و تنش خشکی) دارای عملکرد دانه بالایی باشند را دارند و از این‌رو می‌توان این شاخص‌ها را به عنوان بهترین شاخص‌ها جهت ارزیابی تحمل به تنش معرفی کرد. بیشتر محققین (Ashkani *et al.*, 2007; Khodarahmpour *et al.*, 2009; Talebi *et al.*, 2009; Gravandi *et al.*, 2011) در مطالعات خود روی گندم و ذرت نتیجه گرفتند که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی عملکرد و میانگین عملکرد همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد ارقام در شرایط تنش و بدون تنش دارند و بنابراین مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ارقام دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی هستند (Valizadeh *et al.*, 2012). این یافته‌ها با نتایج سایر محققین نیز مطابقت داشت (Aghaee-Sarbarzeh and Rostaee, 2008; Talebi *et al.*, 2009; Saeidi *et al.*, 2013). گل‌آبادی و قندی (Golabadi and Ghandi, 2012) نیز شاخص‌های GMP و STI را شاخص‌های مناسبی برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش رطوبتی معرفی کردند. با توجه به این که هرگاه رقمی از نظر شاخص‌های STI، GMP و MP برتر باشد، تحت هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی عملکرد بالاتری دارد و در تمامی شرایط کاشت آنها با ریسک کمتری برای کشاورزان همراه خواهد بود، از این‌رو ژنوتیپ ۳۶ (مغان-۱) از نظر این شاخص‌ها ژنوتیپ پرمحصول در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل است و کاشت آن توسط کشاورزان در منطقه کرمانشاه علاوه بر تولید عملکرد دانه بالاتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی با ریسک کمتری از نظر افت تولید همراه خواهد بود و ژنوتیپ‌های نوید، گلستان، داراب۲ و مرودشت از نظر شاخص‌های فوق در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی آخر فصل اثر چشمگیری بر اغلب صفات مورد بررسی به‌ویژه عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله داشت. بنابراین، در مناطق با اقلیم مشابه که احتمال خشکی آخر فصل وجود دارد، باید از ارقامی استفاده شود که سازگار با شرایط منطقه و متحمل به تنش خشکی باشند. از این‌رو ارقامی که از نظر خصوصیات مرفولوژیک برتری دارند و در عین حال از پتانسیل عملکرد دانه بالاتری نیز برخوردار باشند، در این شرایط موفق‌ترند. همچنین، شاخص‌های تحمل تنش (STI)، میانگین هندسی عملکرد (GMP) و میانگین عملکرد (MP) همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد ارقام در شرایط تنش و بدون تنش خشکی داشتند و به این دلیل مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال ارقام دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی می‌باشند. بر اساس این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌های مغان۱، نوید، گلستان، داراب۲ و مرودشت دارای بیشترین عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش بودند و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی می‌باشند.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه انجام شد. بدین‌وسیله از آن دانشگاه به دلیل فراهم کردن امکانات اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

جدول ۸- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مختلف ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 8. Simple correlation coefficients between different traits in wheat genotypes under non-stress and stress conditions

صفات Traits	شرایط آزمایش Experimental conditions	عملکرد دانه Grain yield	تعداد دانه در سنبله No. of grains.spike^{-1}	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد سنبله Spike yield	بیوماس Biomass	شاخص برداشت Harvest index	حداکثر وزن پدانکل Peduncle maximum weight	طول سنبله Spike length	طول پدانکل Peduncle length	طول میانگره ماقبل آخر Penultimate length
تعداد دانه در سنبله	Non-stress	0.06	1								
No. of grains.spike	Drought stress	-0.21									
وزن هزار دانه	Non-stress	0.33*	-0.09	1							
1000-grain weight	Drought stress	0.44**	-0.32*								
عملکرد سنبله	Non-stress	0.30*	0.64**	0.70**	1						
Spike yield	Drought stress	0.22	0.53**	0.62**							
بیوماس	Non-stress	0.34*	-0.01	0.23	0.19	1					
Biomass	Drought stress	0.23	-0.14	0.41**	0.24						
شاخص برداشت	Non-stress	0.10	0.57**	0.51**	0.79**	-0.44**	1				
Harvest index	Drought stress	0.06	0.61**	0.35**	0.82**	-0.34**					
حداکثر وزن پدانکل	Non-stress	-0.23	0.15	-0.14	0.00	0.30*	-0.19	1			
Peduncle maximum weight	Drought stress	-0.21	0.11	-0.16	-0.05	0.13	-0.13				
طول سنبله	Non-stress	0.03	0.12	0.03	0.12	0.10	0.01	0.07	1		
Spike length	Drought stress	-0.04	0.03	-0.12	-0.05	-0.11	-0.03	-0.06			
طول پدانکل	Non-stress	-0.17	0.22	-0.39**	-0.17	0.22	-0.29*	0.33*	0.18	1	
Peduncle length	Drought stress	-0.16	0.17	-0.38**	-0.22	0.08	-0.27*	0.25	0.24		
طول میانگره ماقبل آخر	Non-stress	-0.27*	0.15	-0.18	-0.01	0.03	-0.06	0.16	0.28*	0.32*	1
Penultimate length	Drought stress	-0.33*	0.17	-0.36**	-0.16	-0.12	-0.09	0.21	0.34**	0.31*	
ارتفاع گیاه	Non-stress	-0.32*	0.12	-0.36**	-0.20	-0.05	-0.18	0.14	0.06	0.62**	0.43**
Plant height	Drought stress	-0.05	0.12	-0.24	-0.13	0.09	-0.20	0.18	0.40**	0.64**	0.35**

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

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

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های حساسیت و تحمل تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 9. Correlation coefficient among grain yield and drought tolerance and susceptibility indices under non-stress and drought stress conditions

شاخص Index	عملکرد تحت شرایط بدون تنش Yp	عملکرد تحت شرایط تنش Ys	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل به تنش STI	میانگین هندسی GMP	شاخص تحمل TOL	میانگین عملکرد MP
عملکرد تحت شرایط تنش Ys	0.38**	1					
شاخص حساسیت به تنش SSI	0.40**	-0.68**	1				
شاخص تحمل به تنش STI	0.81**	0.85**	-0.20	1			
میانگین هندسی GMP	0.79**	0.87**	-0.24	1.00**	1		
شاخص تحمل TOL	0.64**	-0.46**	0.95**	0.07	0.04	1	
میانگین عملکرد MP	0.86**	0.80**	-0.12	0.99**	0.99**	0.16	1
میانگین هارمونیک HMP	0.72**	0.91**	-0.34*	0.98**	0.99**	-0.07	0.97**

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

References

Abdoli, M. and Saeidi, M. 2012. Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. **Annals of Biological Research** 3 (3): 1322-1333.

Abdoli, M. and Saeidi, M. 2013. Evaluation of water deficiency at the post anthesis and source limitation during grain filling on grain yield, yield formation, some morphological and phonological traits and gas exchange of bread wheat cultivars. **Albanian Journal of Agricultural Sciences** 12 (2): 255-265

Aghaee-Sarbarzeh, M. and Rostaee, M. 2008. Evaluation of advanced bread wheat genotypes under drought stress in moderate and cold area. Proceeding of 10th Iranian Congress of Crop Sciences. 18-20 Aug. 2008, Karaj, Iran. (In Persian).

Amiri, R., Bahraminejad, B. and Sasani, S. 2013. Evaluation of genetic diversity of bread wheat genotypes based on physiological traits in non-stress and terminal drought stress conditions. **Cereal Research** 2 (4): 289-305. (In Persian with English Abstract).

Ashkani, J., Pakniyat, H. and Ghotbi, V. 2007. Genetic evaluation of several physiological traits for screening of suitable spring safflower genotypes under stress and non-stress irrigation regimes. **Pakistan Journal of Biology Science** 10 (14): 2320-2326.

Blum, A. 1998. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. **Euphytica** 100: 77-83.

Blum, A., Golan, G., Mayer, J., Sinmena, B., Shpiler, L. and Burra, J. 1989. The drought response of landraces of wheat from the Northern Negev Desert of Israel. **Euphytica** 43: 87-96.

Debaeke, P. and Abdellah, A. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. **European Journal of Agronomy** 21: 433-446.

Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waines, J. G. 2006a. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. I: Post anthesis changes in internode dry matter. **Crop Science** 46: 735-746.

Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waines, J. G. 2006b. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. II: Post anthesis changes in internode water-soluble carbohydrate. **Crop Science** 46: 2093-2103.

Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni A. and Arduini, I. 2007. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. **European Journal of Agronomy** 28: 138-147.

FAO. 2010. Food and Agriculture Organization. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved November, 2010. From http://fao.org/crop/statistics.

Farshadfar, E., Jamshidi, B. and Aghaee, M. 2012. Biplot analysis of drought tolerance indicators in bread wheat lanraces of Iran. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences** 4 (5): 226-233.

Farshadfar, E., Zamani, M., Matlabi, M. and Emam-Jome, E. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. **Iranian Journal of Agriculture and Crop Sciences** 32 (1): 65-77. (In Persian with English Abstract).

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of International Symposium, 13-18 Aug., Taiwan. pp: 257-270.

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

Gallagher, E. J. 1984. Cereal production. Butterworths. 354 Pages.

Golabadi, M. and Ghandi, A. 2012. Effect of extra nitrogen fertilizer on reduction of drought stress. **Cereal Research** 1 (1): 25-37. (In Persian with English Abstract).

Gravandi, M., Farshadfar, A. and Kahrizi, D. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. **Seed and Plant** 26: 252-233. (In Persian with English Abstract).

Heidari Sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector. Proceeding of 10th Iranian Congress of Crop Sciences. 18-20 Aug. 2008, Karaj, Iran. (In Persian).

Izaddoost, H., Samizadeh, H., Rabiei, B. and Abdollahi, S. 2013. Evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and lines with emphasis on stress tolerance indices. **Cereal Research** 3 (3): 167-180. (In Persian with English Abstract).

Johnson, R. C., Witters, R. E. and Ciha, A. J. 1981. Daily patterns of apparent photosynthesis and evapotranspiration in developing winter wheat crop. **Agronomy Journal** 73: 414-418.

Khodarahmpour, Z., Choukan, R., Bihamta, M. R. and Majidi Hervan, E. 2009. Evaluation of response of maize (*Zea mays* L.) inbred lines to heat stress under Khuzestan conditions using stress tolerance indices. **Iranian Journal of Crop Sciences** 11 (1): 40-54. (In Persian with English Abstract).

Martinez, D. E., Luquez, V. M., Bartoli, C. G. and Guiamét, J. J. 2003. Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). **Plant Physiology** 119: 1-7.

Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. **Current Science** 80: 758-763.

Naderi, A., Majidi-Harvan, I., Hashemi-Dezfoli, A., Rezaee, A. and Normohamadi, G. 1999. Analysis of efficiency of drought tolerance indices in crop plants and introduction of new criteria. **Seed and Plant** 15: 390-402. (In Persian with English Abstract).

Pandy, R. K., Maronville, J. W. and Admou, A. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I: Grain yield, yield components and water use efficiency. **European Journal of Agronomy** 15: 93-105.

Pantuwan, G., Fukai, S., Cooper, M., Rajatasereeku, S. and Toole, J. C. O. 2002. Yield response of rice (*Oriza sativa* L.) genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. I: Grain yield and yield components. **Fied Crops Research** 73: 153-168.

Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., Berry, P., Parry, M. A. J., Snape, J. W. and Angus, W. J. 2009. Raising yield potential in wheat. **Journal of Experimental Botany** 60: 1899-1918.

Richards, R. A., Condon, A. G. and Robetzke, G. J. 2002. Traits to improve yield in dry environments. In: Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. I. and McNab, A. (Eds.). Application of physiology in wheat breeding. Mexico. D. F. CIMMYT. pp: 88-100.

Rivero, R. M., Shulaev, V. and Blumwald, E. 2009. Cytokinin-dependent photorespiration and the protection of photosynthesis during water deficit. **Plant Physiology** 150: 1530-1540.

Roostaei, M., Sadeghzadeh, D., Esmailzadeh, H. and Arshad, Y. 2003. Assessment to relationships of yield related traits in dry conditions using factor analysis method. **Electronic Journal of Agricultural Science** 13: 1-10. (In Persian with English Abstract).

Rosielle, A. T. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. **Crop Science** 21: 493-498.

Royo, C., Miloudi, M. M., Fonze, N. D., Arraus, J. L., Pfeiffer, W. H. and Slafer, G. A. 2005. Durum wheat breeding current approaches and future strategies. Vol 1. Food Product Press.

Saeidi, M., Abdoli, M., Azhand, M. and Khas-Amiri, M. 2013. Evaluation of drought resistance of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using agronomic characteristics and drought tolerance indices. **Albanian Journal of Agricultural Sciences** 12 (4): 545-554.

Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Sepehri, R., Najafian, G. and Shabani, A. 2010. The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink-source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **Iranian Journal of Crop Sciences** 12 (4): 392-408. (In Persian with English Abstract).

Siose-Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought tolerance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research** 98: 222-229. (In Persian with English Abstract).

Talebi, R., Fayaz, F. and Naji, A. M. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). **General and Applied Plant Physiology** 35: 64-74.

Trethowan, R. M. and Reynolds, M. 2007. Drought resistance: Genetic approaches for improving productivity under stress. In: Buck H. T., Nisi, J. E. and Salomon, N. (Eds.). Wheat production in stressed environments. Springer, Netherlands. pp: 289-299.

Valizadeh, M., Mahmoodian, Z., Mohammadzadeh Jalaly, H., Ghafari A. and Roostaei, M. 2012. Response of advanced winter wheat genotypes to drought stress using agronomic traits and protein patterns. **Cereal Research** 1 (1): 11-24. (In Persian with English Abstract).

Van Ginkel, M., Calhoun, D. S., Gebeyehu, G., Miranda, A., Tianyou, C., Pargas Lara, R., Trethwan, R. M., Sayre, K., Crossa, J. and Rajaram, S. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late and continuos drought conditions. In Braun, H. J., Altay, F., Koronstad, W. E., Beniwal, S. P. S. and McNab, A. (Eds.). Wheat: Prospects for global improvement. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. pp: 167-179.

Yang, J. and Zang, J. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. **New Phytologist** 169: 223-236.

Zarei, L. 2007. Evaluation of physiological index related to drought and adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). M. Sc Dissertation, University of Razi, Kermanshah, Iran. (In Persian).

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 5, No. 4, Winter 2016 (353-369)

Evaluation of genetic diversity of bread and durum wheat genotypes based on agronomy traits and some morphological traits in non-stress and terminal drought stress conditions

Mohsen Saeidi[1*], Majid Abdoli[2], Mehdi Shafiei-Abnavi[3], Mahrokh Mohammadi[4] and Zahra Eskandari-Ghaleh[4]

Received: July 19, 2014 Accepted: December 14, 2015

Abstract

To evaluate the genetic diversity and the effect of terminal drought stress on grain yield and some morphological traits of wheat, an experiment was conducted using 56 wheat genotypes in a latis (7×8) with three replications under normal and terminal drought stress conditions in research farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, in 2010-2011 cropping season. The result of combined analysis of variance indicated high significant differences among genotypes for all studied traits including grain yield, number of grain per spike, 1000-grain weight, spike yield, biomass, harvest index and plant height. Terminal drought stress reduced 34.5% of spike yield, 30% of biomass, 27.2% of grain yield, 21.6% of number of grains per spike, 15.9% of 1000-grain weight, 6.13% of harvest index, 5.64% of plant height and 0.15% of peduncle weight, but it increased 1.47% and 0.20% of peduncle and penultimate internode length, respectively. There were high negative significant correlation between grain yield and penultimate internode length and also between biomass and harvest index under both non-stress and drougth stress conditions, whereas correlation between number of grain per spike and harvest index and between plant height and spike length was highly positive significant. The correlation analysis among grain yield under non-stress and terminal drought stress conditions with different drought tolerance indices showed that stress tolerance index (STI), mean productivity (MP) and geometric mean productivity (GMP) indices were appropriate indicators to identify the high grain yield genotypes. On the basis of these indicators, Moghan-1, Navid, Golestan, Darab-2 and Marvdasht genotypes had the highest grain yield under both experimental conditions.

Keywords: Drought tolerance indices, Genetic diversity, Grain yield

1. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran
3. M. Sc. Graduate, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
4. B. Sc. Graduate, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran
* Corresponding author: saeidi_mohsen@yahoo.com