

ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ های مختلف گندم

Evaluation of drought tolerance in wheat genotypes

الیاس نیستانی^۱، حسن مکاریان^۲، علی اکبر عامری^۳، مصطفی حیدری^۴

۱. دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه صنعتی شاهرود، (نگارنده مسئول)
۲. دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود
۳. استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی
۴. دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

نیستانی، ا.، مکاریان، ح.، عامری، ع.، حیدری، م.، ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ های مختلف گندم نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۰ - شماره ۴ - پیاپی ۱۱۷ زمستان ۹۶: ۳۲-۵۲

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در دو مکان (ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم شیروان و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سیسب بجنورد) در استان خراسان شمالی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار در دو شرایط دیم (تنش) و آبیاری تکمیلی به اجرا درآمد. بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص های: حساسیت به خشکی فیشر (SSI)، شاخص تحمل به خشکی فرناندز (STI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص میانگین بهره وری (MP)، شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) و شاخص عملکرد (YI) محاسبه شدند. بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثر مکان برای اکثر صفات و عملکرد دانه معنی دار بود و ژنوتیپ ها از نظر عملکرد دانه دارای اختلاف معنی داری بودند. اثر متقابل ژنوتیپ × مکان نیز برای اکثر صفات و صفت عملکرد دانه معنی دار بود. نتایج نشان داد، ژنوتیپ های ۱۷ و ۱۲ به ترتیب با ۲۷۸۰ و ۲۶۰۸ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و با ۲۲۶۳ و ۲۱۱۹ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در شرایط تنش، نسبت به سایر ژنوتیپ ها برتر بودند. بر اساس ضرایب همبستگی محاسبه شده، شاخص های تحمل به خشکی فرناندز، میانگین بهره وری و شاخص میانگین هندسی عملکرد، بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند. ژنوتیپ های ۱۷ و ۱۲ از لحاظ تمام شاخص های محاسبه شده نسبت به سایر ژنوتیپ ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش برتری داشتند و این دو ژنوتیپ با بالاترین عملکرد دانه، متحمل ترین ژنوتیپ به خشکی نسبت به سایر ژنوتیپ ها شناخته شدند.

واژه های کلیدی: تنش کم آبی، غلات، عملکرد دانه، دیم

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Elyas1784@yahoo.com

مقدمه

تنش خشکی در مناطق خشک و نیمه خشک به عنوان مهمترین عامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی می باشد (Rajala *et al.*; Delmer, 2005 Marti *et al.*, 2014) (al., 2009); به طوریکه با توجه به تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین در طی دهه های آینده، در مناطق خشک و نیمه خشک کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در اثر خشکسالی بیش از ۵۰ درصد برآورد شده است (Wang *et al.*, 2014; Jaha *et al.*, 2003). ایران نیز با میانگین نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی متر در سال، طبق تعریف آمبرژه جزو مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می شود (Kardavai, 1999). طبق الگوی فصلی بارندگی مدیترانه ای که شامل بسیاری از مناطق ایران نیز می شود، بیشترین بارندگی ها در زمستان اتفاق می افتد و محصولات زراعی از جمله گندم نان از زمان گلدهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک با خشکی مواجه می شود (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006). گندم نان به عنوان مهمترین محصول دنیا در دامنه وسیعی از شرایط محیطی تولید می شود (Cossani *et al.*, 2012; Tauqueer *et al.*, 2013) و یکی از محصولات استراتژیک است که برای تامین مواد غذایی در دنیا برای آن برنامه ریزی می شود (FAO, 2006). در سال ۲۰۱۱ میزان تولید گندم نان در دنیا ۷۰۴ میلیون تن بود که در این میان ایران با تولید ۱۴ میلیون تن، چهاردهمین رتبه تولید جهان را به خود اختصاص داد (FAO, 2011). برای اینکه بتوانیم غذای جمعیت ۹ میلیاردی را در سال ۲۰۵۰

تامین کنیم باید به دنبال روش هایی برای افزایش تولید در واحد سطح باشیم. بنابراین درک و فهم پاسخ گیاهان به تنش های مختلف محیطی به ویژه تنش خشکی و یا سایر عوامل محدود کننده عملکرد، کاملاً ضروری می باشد. بخش مهمی از توسعه کشاورزی و افزایش تولید مرهون کشت ارقام پر محصول اصلاح شده در بسیاری از محصولات زراعی و باغی از جمله گندم نان است که غالباً ساختار ژنتیکی مشابه دارند (Van de Wouw *et al.*, 2010). تحمل خشکی صفتی کمی است و روش اندازه گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد. این امر باعث دشواری شناسایی ژنوتیپ های متحمل خشکی می شود (Takeda & Matsuoka, 2008). برای تمایز ژنوتیپ های متحمل خشکی در شرایط مزرعه چندین شاخص انتخاب بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش خشکی پیشنهاد شده است، ولی شاخص مناسب، شاخصی است که ژنوتیپ های با عملکرد بالا را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش از سایر ژنوتیپ ها متمایز کند.

یکی از شاخص های تحمل خشکی، شاخص تحمل (Tolerance: TOL) است. بر اساس شاخص تحمل TOL که به صورت اختلاف بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش تعریف شده است، ژنوتیپ هایی متحمل خشکی محسوب می شوند که مقادیر کمتری از شاخص فوق را به خود اختصاص بدهند. بر اساس این شاخص هر ژنوتیپی که مقادیر TOL بیشتری داشته باشد حساس به خشکی خواهد بود. شاخص TOL با تحمل خشکی نسبت عکس دارد (Rossielle &

آن‌ها در شرایط خشکی کمتر از کاهش عملکرد متوسط کل ژنوتیپ‌ها است. شاخص حساسیت به تنش SSI بیشتر برای حذف ژنوتیپ‌های حساس مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر اساس آن هر ژنوتیپی که مقادیر زیادتری از این شاخص را به خود اختصاص دهد در برابر تنش حساس تر خواهد بود. (Fisher & Maurer, 1987) برخی از محققین شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index: YSI) را برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی ارائه دادند (Bousslama & Schapaugh, 1984). این شاخص، عملکرد در شرایط تنش یک ژنوتیپ را نسبت به عملکرد غیر تنش آن ارزیابی می‌کند و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل خشکی باشد. بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می‌رود که در هر دو شرایط، عملکرد بالاتری داشته باشند. در مطالعه (Sio-Se Mardeh *et al* 2006) ارقامی با YSI بالاتر حداقل اختلاف عملکرد را در شرایط غیر تنش و بالاترین عملکرد را در شرایط تنش نشان دادند، به عبارت دیگر ارقامی که از شاخص YSI بالاتری برخوردار بودند هم در شرایط تنش و هم در شرایط غیر تنش دارای عملکرد بالاتری بودند و اختلاف عملکرد این ارقام در شرایط تنش و غیر تنش در حداقل بود. (Gavuzzi *et al* 1997) شاخصی را بنام شاخص عملکرد (Yield Index: YI) معرفی کرد که در آن ارقام فقط بر اساس عملکرد تنش رتبه بندی می‌شود، بنابراین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد. محققین با ارزیابی یازده ژنوتیپ

(Hamblin, 1981).

شاخص میانگین بهره وری (Mean Productivity : MP) نیز از جمله شاخص‌های تحمل به خشکی است که به صورت میانگین جمع جبری عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود (Rossielle & Hamblin, 1981). بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌هایی متحمل خشکی هستند که مقادیر بیشتری از این شاخص را داشته باشند.

(Fernandez 1992) شاخص تحمل تنش (Stress Tolerance Index: STI) را به عنوان معیاری برای گزینش ارقام تحمل‌کننده تنش خشکی پیشنهاد کرد. بر اساس این شاخص هر چه اختلاف بین عملکرد دانه در شرایط نرمال و شرایط تنش بیشتر باشد، مقدار شاخص تحمل به خشکی کوچک تر می‌شود. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده تحمل زیاد تنش و عملکرد بالقوه بالاست. شاخص دیگری که توسط این محقق ارائه شد شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity: GMP) بود. این شاخص در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. بر اساس شاخص GMP، ژنوتیپ‌هایی متحمل محسوب می‌شوند که مقادیر بیشتری از شاخص را کسب کرده باشند. (Fernandez, 1992). یکی دیگر از شاخص‌های انتخاب متحمل به خشکی، شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index: SSI) است (Fisher & Maurer, 1987). این محققین نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از واحد، متحمل خشکی هستند، بنابراین کاهش عملکرد

متحمل به خشکی هستند (Blum, 1989). با توجه به اهمیت تولید گندم در راستای تامین نیاز غذایی جمعیت روزافزون ایران و نیز خشکسالی های پی در پی در بخش های وسیعی از ایران، هدف از این پژوهش، شناسایی ژنوتیپ های متحمل به خشکی با عملکرد بالا از طریق بررسی شاخص های تحمل خشکی می باشد.

مواد و روش ها

این پژوهش طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در دو مکان، ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم شیروان (با ارتفاع ۱۱۳۱ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، بافت خاک سیلتی لوم، pH خاک ۸ و میانگین بارندگی دراز مدت سالانه ۲۴۰ میلی متر) و ایستگاه تحقیقات کشاورزی سیسب (با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی، بافت خاک سیلتی لوم و pH خاک ۷/۵ و میانگین بارندگی دراز مدت سالانه ۲۷۰ میلی متر) در استان خراسان شمالی با ۲۰ لاین و رقم گندم دیم (جدول ۲) در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی (دو آزمایش (دیم و غیر دیم) در ایستگاه سیسب و دو آزمایش (دیم و غیر دیم) در ایستگاه شیروان) با چهار تکرار اجرا شد. هر کرت شامل هشت ردیف به طول پنج متر و فواصل ردیف ۲۵ سانتی متر و مساحت هر کرت ۱۰ مترمربع بود. تراکم بذر ۳۵۰ عدد برای هر مترمربع در نظر گرفته شد. کاشت در ۱۱ آبان ۱۳۹۴ انجام شد. چهار روز بعد از کاشت

گندم نان گزارش کردند که در شرایط تنش ملایم شاخص های STI، MP و GMP برای شناسایی ژنوتیپ هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش مناسب هستند (Castrillo & Turujillo, 1984. Hanson & Hitz, 1984). برای نشان دادن آسیب های ناشی از تنش خشکی در گیاهان از محتوی آب نسبی برگ (RWC) نیز استفاده می شود. گیاهانی که محتوی نسبی آب برگ بیشتری داشته باشند تحمل خشکی آنها در شرایط تنش بیشتر است (Farooq et al., 2009). خصوصیات محتوی نسبی آب برگ (RWC) و پتانسیل آب برگ شاخص های تعادل جذب، مصرف و تعرق آب گیاه و مدیریت آبی گیاهان هستند و برای ارزیابی میزان تحمل خشکی گیاهان مفید هستند. کاهش RWC تحت تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه ای و جذب CO₂ و در نتیجه کاهش رشد گیاه می شود (Lawlor, 2002). همچنین گزارش شده است که با کاهش محتوی نسبی آب برگ، میزان هدایت روزنه ای، فتوسنتز و جذب و تجزیه CO₂ کاهش می یابد (Lawlor & Conic, 2002). در همین راستا گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی انتهای فصل، محتوی نسبی آب برگ در گیاه جو کاهش می یابد (Vaezi et al., 2010).

هدایت الکتریکی برگ (EC) نیز یکی از شاخص های تحمل به خشکی است. میزان EC نشان دهنده پایداری غشاء سیتوپلاسمی برگ می باشد، بنابراین، با اندازه گیری EC برگ می توان ژنوتیپ های متحمل به خشکی را گزینش کرد. ژنوتیپ هایی که EC کمتری داشته باشند

جدول ۱- مقدار تجمعی بارندگی ماههای طول فصل رشد

ماههای طول فصل رشد Growing season months	ایستگاه سیساب Sisab Station		ایستگاه شیروان Shirvan Station	
	مقدار تجمعی بارندگی (میلیمتر) Cumulative amount of precipitation(mm)	ماکزیمم دمای مطلق Maximum absolute temperature	مقدار تجمعی بارندگی (میلیمتر) Cumulative amount of precipitation(mm)	ماکزیمم دمای مطلق Maximum absolute temperature
آبان -Nov	25	27.22	20	26.3
آذر - Dec	45	22.3	47	21.6
دی - Jan	66	11.2	65	12.4
بهمن - Feb	101	9.2	105	11.7
اسفند - Mar	131	16.5	132	18.2
فروردین - Apr	194	28.4	186	25.3
اردیبهشت - May	244	36.2	231	31.4
خرداد - Jun	265	39.4	243	34.8
تیر - Jul	274	41.6	249	37.6

(۱۵ آبانماه)، در ایستگاه سیساب ۲۵ میلیمتر و در ایستگاه شیروان ۲۰ میلیمتر بارندگی اتفاق افتاد. حدود سه هفته بعد (۵ آذر ماه)، هر دو آزمایش (غیر دیم و دیم) در هر دو مکان (ایستگاه سیساب و ایستگاه شیروان) به طور کامل سبز شدند. وقتی که در اوایل خرداد ماه بارندگی های موثر قطع شد در مرحله حساس زایشی (مرحله گلدهی و در مرحله پر شدن دانه) آبیاری صورت گرفت. میزان بارندگی در طی فصل رشد در ایستگاه سیساب ۲۷۴ میلیمتر و در ایستگاه شیروان ۲۴۹ میلیمتر بود (جدول ۱).
بعد از برداشت گندم، عملکرد لاین ها اندازه گیری شد و سپس شاخص های مختلف به شرح ذیل محاسبه گردید.

۱- شاخص حساسیت به خشکی (Fisher & Maurer, 1978).

$$\text{Stress susceptibility index} = \text{SSI} = \left(1 - \frac{Y_s}{Y_p}\right) / \left(1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p}\right)$$

۲- شاخص تحمل به خشکی (Fernandez, 1997).

$$\text{Stress tolerance index} = \text{STI} = (Y_s \times Y_p) / \bar{Y}_p^2$$

۳- شاخص تحمل (Rosielle & Hamblin, 1981).

$$\text{Tolerance} = Y_p - Y_s$$

۴- میانگین بهره وری (Rosielle & Hamblin, 1981).

$$\text{Mean productivity} = \text{MP} = (Y_s + Y_p) / 2$$

۵- میانگین هندسی عملکرد (Fernandez, 1992).

$$\text{Geometric mean productivity} = \text{GMP} = \sqrt{Y_s \times Y_p}$$

۶- شاخص حساسیت به خشکی (Farshadfar & Javadinia, 2011).

$$\text{Sensitivity drought index} = \text{SDI} = (Y_p - Y_s) / Y_p$$

۷- شاخص نسبی خشکی (Fisher & Maurer, 1978).

$$\text{Relative drought index} = \text{RDI} = (Y_s / Y_p) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$$

۸- شاخص پایداری عملکرد (Bousslama & schapagah, 1984).

$$\text{Yield stability index} = \text{YSI} = (Y_s / Y_p)$$

۹- شاخص عملکرد (Gavuzzi *et al.*, 1997).

$$\text{Yield index} = \text{YI} = (Y_s / \bar{Y}_s)$$

عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش = Y_s

عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش = Y_p

میانگین عملکرد در شرایط تنش = \bar{Y}_s

میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش = \bar{Y}_p

۱۰- محتوی نسبی آب برگ (Ritchie *et al.*, 1990).

$$\text{Relative water content (\%RWC)} = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

۱- هدایت الکتریکی (Hu et al., 2009).
 Electrical conductivity= $EC = EC_0/EC_1 \times 100$
 EC_0 : هدایت الکتریکی محلول قبل از اتوکلاو
 EC_1 : هدایت الکتریکی محلول بعد از اتوکلاو
 برای محاسبه هدایت الکتریکی برگ ها (EC) از نمونه های برگ برداشت شده هر کرت، ۲۰ عدد دیسک دایره ای بوسیله پانچ تهیه و بلافاصله به داخل شیشه های درپوش دار حاوی ۱۰ سی سی آب مقطر منتقل شدند. سپس، به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی قرار گرفتند (در دمای ۲۷ درجه اتاق). سپس هدایت الکتریکی برای اندازه گیری محتوی نسبی آب (RWC) برگ پرچم، سه هفته بعد از حدوث خشکی (در مرحله گل دهی)، تعداد ۱۰ نمونه از هر واحد آزمایشی انتخاب و بلافاصله برگ ها به صورت کامل وزن شدند و وزن تر اولیه برگ ها (FW) ثبت گردید. به منظور تعیین وزن آماس، برگ ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر قرار داده شدند و پس از اندازه گیری وزن آماس (TW)، به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سانتی گراد خشک شدند و وزن خشک (DW) آن ها نیز اندازه گیری گردید و با استفاده از معادله ۱۰ میزان RWC محاسبه شد.

جدول ۲- شجره ژنوتیپ های پیشرفته گندم های مورد بررسی

Table 1: Pedigree of advanced wheat genotypes used in the study

No. Lines	Cross Name (Pedigree)
1	Azar-2
2	Rijav
3	SABALAN/4/VRZ/3/OR F1.148/TDL//BLO
4	PANDION//FILIN/2*PASTOR/3/BERKUT
5	F6 146P5-5/SABALAN F4(Mah: sel at karaj)
6	SABALAN/1-27- 5614/4/NWT/3/TAST/SPRW//TAW12399.75 f4
7	Anaz/3/pi/Hys/4/sefid/5/GK OTHALON F4(Mah:sel at karaj)-OSN
8	Tx90V6313//TX94V3724(TAM-2000BC41254-1-8-1)TX66V1405
9	WGRC10/3/KS93U69 sib/TA2455//KS93U69/4/JAGGER
10	SABALAN/DANICA//E136-91K2 TCI03-000810-0AP-0ZA-1ZA-0ZA
11	VARDZIA/BEZOSTAIA
12	MOB/NE94406(=NE86582//84MC29/NE82583)//KS91H184/3*RIO BALANCO
13	SEAFALLH/BEZOSTAYA1 TCI03-000609-0AP-0AP-0ZA-3ZA-0ZA
14	Iranwinter#22/MINA TCI03-000601-0AP-0AP-0ZA-3ZA-0ZA
15	SABALAN/DANICA//E136-91K2 TCI03-000810-0AP-0ZA-2ZA-0ZA
16	AZAMAH-3
17	SISABAN-4
18	MISKEET-12
19	USHER-16
20	SOKOLL//SUNCO/2*PASTOR

در هر دو مکان (ایستگاه سیساب و شیروان) در زمان های حساس (زمان گلدهی و پر شدن دانه)، آبیاری شد و آزمایش غیر دیم (بدون تنش) در هر دو مکان با کمبود رطوبت مواجه نشد. لذا عملکرد ژنوتیپ ها در آزمایش غیر دیم (بدون تنش) در دو مکان اختلاف معنی داری نداشتند. ولی عملکرد ژنوتیپ ها در شرایط تنش (Ys) متفاوت بود (جدول ۳). یا به عبارت دیگر عملکرد دیم یک مکان با عملکرد دیم مکان دیگر متفاوت بود. عملکرد ژنوتیپ ها در ایستگاه تحقیقات سیساب از ایستگاه تحقیقات دیم شیروان بیشتر بود. دلیل این امر به خاطر بارش های بیشتر و هوای خنک ایستگاه سیساب نسبت به ایستگاه شیروان بود. ماکزیمم دمای مطلق ایستگاه سیساب نسبت به ایستگاه شیروان در اکثر ماههای فصل رشد کمتر بود (جدول ۱). اختلاف عملکرد شرایط دیم در دو ایستگاه به خاطر عوامل محیطی می باشد. با توجه به اینکه عملکرد یک صفت کمی است این نتایج بیانگر اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است. نتایج نشان داد که ژنوتیپ های مورد آزمایش از لحاظ عملکرد دانه و شاخص های اندازه گیری شده دارای اختلاف معنی داری بودند (جدول ۳). این بدین معناست که ژنوتیپ های مورد آزمایش از تنوع ژنتیکی کافی جهت گزینش برخوردار بودند (Mohammadi *et al.*, 2015).

ژنوتیپ های ۱۷ و ۱۲ به ترتیب با ۲۷۸۰ و ۲۶۰۸ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و با ۲۲۶۳ و ۲۱۱۹ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در شرایط تنش، نسبت به سایر ژنوتیپ ها برتر بودند (جدول ۴). اختلاف

(EC) با استفاده از دستگاه اندازه گیری هدایت الکتریکی (الکتروکانداکتیویمتر) اندازه گیری گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو ۱۲۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند و پس از سرد شدن، میزان هدایت الکتریکی آنها دوباره اندازه گیری شد. نشت الکتریکی با استفاده از معادله فوق محاسبه گردید.

داده های حاصل با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS, PATH و MSTATC تجزیه شدند. مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن صورت گرفت و شکل ها با Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثر مکان برای کلیه شاخص ها، معنی دار بود. این امر نشان دهنده این است که تاثیر مکان ها بر عملکرد ژنوتیپ ها متفاوت بوده است. اثر متقابل ژنوتیپ × مکان برای عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) غیر معنی دار بود ولی برای عملکرد دانه در شرایط دارای تنش (Ys) معنی دار بود (جدول ۳). این نتیجه بیانگر این است که تحت شرایط تنش بین ژنوتیپ ها و محیط اثر متقابل تشدید می شود. ۱۱ آبانماه کاشت انجام شد، چهار روز بعد از کاشت (۱۵ آبانماه)، در ایستگاه سیساب ۲۵ میلیمتر و در ایستگاه شیروان ۲۰ میلیمتر بارندگی اتفاق افتاد. حدود سه هفته بعد (۵ آذر ماه)، هر دو آزمایش (غیر دیم و دیم) در هر دو مکان (ایستگاه سیساب و ایستگاه شیروان) به طور کامل سبز شدند. دلیل غیر معنی دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × مکان در آزمایش غیر دیم (بدون تنش)، به خاطر این است که این آزمایش

رابطه مثبت و در شرایط بدون تنش با عملکرد رابطه معکوس دارد (Bousslama & schapaugh, 1984). شاخص YSI، عملکرد یک رقم در شرایط تنش را نسبت به عملکرد آن در شرایط بدون تنش بررسی می کند، بنابراین ارقامی با YSI بالاتر انتظار می رود که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی داشته باشند. در مطالعه (Sio-Se Marde *et al* 2006)، ارقامی که YSI بالاتری داشتند حداقل عملکرد را در شرایط غیر تنش و بیشترین عملکرد را در شرایط تنش نشان دادند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، ژنوتیپ ۱۷ و ۱۲ کمترین مقدار شاخص حساسیت به خشکی (SSI) و ژنوتیپ های ۲، ۲۰، ۷ بیشترین مقادیر SSI را داشتند و حساس به خشکی بودند (جدول ۳). بر اساس این شاخص، ژنوتیپ های ۱۷ و ۱۲ نسبت به سایر ژنوتیپ ها از تحمل به خشکی بالاتری برخوردار بودند.

بر اساس شاخص حساسیت به خشکی محاسبه شده، ژنوتیپ های مورد بررسی در سه دسته گروه بندی شدند. ژنوتیپ ۲۰ در گروه A (SSI بیشتر - عملکرد کمتر در هر دو محیط تنش و بدون تنش)، ژنوتیپ ۱۷ و ۱۲ در گروه D (SSI کمتر - عملکرد بیشتر در هر دو محیط تنش و بدون تنش) و سایر ژنوتیپ ها در گروه B (SSI بیشتر - عملکرد بیشتر) قرار گرفتند و هیچ ژنوتیپی در گروه C (SSI کمتر - عملکرد کمتر) قرار نگرفت (شکل ۱). فیشر و مورر بر اساس واکنش ژنوتیپ ها به شرایط محیطی با تنش و بدون تنش، آنها را به چهار گروه C, B, A و D دسته بندی کردند. گروه A (عملکرد

عملکرد این دو ژنوتیپ در شرایط بدون تنش و در شرایط تنش در حداقل بود، این نتایج نشان دهنده این است که عملکرد این ژنوتیپ ها (با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و ژنتیکی خاص، مانند زودرسی، پایداری غشاء سیتوپلاسمی یا EC کمتر، محتوای آب نسبی برگ بالا که در آزمایش بدست آمد)، کمتر تحت تاثیر محیط قرار گرفت و اگر هم تحت شرایط تنش قرار گرفته باشند چون متحمل خشکی هستند افت عملکرد در آنها اندک است. ژنوتیپ ۲۰ با ۱۵۴۱ کیلوگرم عملکرد دانه در هکتار در شرایط بدون تنش و با ۸۳۹ کیلوگرم عملکرد دانه در هکتار در شرایط تنش کمترین عملکرد دانه را نسبت به سایر ژنوتیپ ها داشت (جدول ۴).

در همین راستا، پژوهشگران گزارش کرده اند که عملکرد در شرایط تنش بدلیل وجود اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط نمی تواند ملاک مناسب و دقیقی جهت انتخاب ژنوتیپ های متحمل خشکی باشد و همواره هدف از تهیه ارقام متحمل به خشکی ارقامی بوده است که بطور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ ها، تنش را بهتر تحمل کرده و در شرایط محیطی یکسان افت عملکرد کمتری نشان دهند (Ehdaie *et al.*, 2008).

ارزیابی ارقام بر اساس شاخص پایداری عملکرد (YSI) نشان داد که ژنوتیپ های ۱۲ و ۱۷ در گروه ژنوتیپ های متحمل خشکی و ژنوتیپ های ۲، ۲۰، ۷ در گروه ژنوتیپ های حساس به خشکی قرار گرفتند (جدول ۴). شاخص YSI در شرایط تنش با عملکرد

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه و شاخص های تحمل به خشکی در دو مکان

Table 2: Combined variance analysis for grain yield and drought tolerance indices in two locations

منابع تغییر		میانگین مربعات (MS)										
S. O. V	درجه آزادی	میانگین هندسی (GMP)	میانگین بهروری (MP)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص تحمل به خشکی (STI)	شاخص حساسیت به خشکی (SSI)	عملکرد در شرایط تنش (Ys)	عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)	شاخص حساسیت به خشکی (SDI)	شاخص پایداری عملکرد (YSD)	شاخص نسبت ی خشکی (RDI)	شاخص حساسیت به خشکی (SD)
DF	DF	(GMP)	(MP)	(TOL)	(STI)	(SSI)	(Ys)	(Yp)	(SDI)	(YSD)	(RDI)	(SD)
Location مکان	1	1572518**	1531548**	11810**	1.64**	3.98**	1987376**	1136532**				
Error خطا	6	4053	4063	989	0.04	0.02	3987	4617				
Genotype ژنوتیپ	19	683096**	680020**	21654**	0.82**	0.52**	734413**	636316**				
Location × Genotype مکان × ژنوتیپ	19	3578 ^{ns}	3013 ^{ns}	12899**	0.01**	0.22**	12338**	146 ^{ns}				
Error خطای آزمایش	114	2533	2559	1783	0.02	0.03	2429	3575				
CV (%)		7.87	9.88	18.68	6.26	16.93	15.12	13.21				

* ** و * به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪ و ns: غیر معنی دار
 **, * : significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns: not significant

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه و شاخص های تحمل به خشکی در دو مکان

Continued Table 2: Combined variance analysis for grain yield and drought tolerance indices in two locations

منابع تغییر		میانگین مربعات (MS)									
S. O. V	درجه آزادی	هدایت الکتریکی برگ (EC)	محتوی نسی آب برگ (RWC)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSD)	شاخص نسبت ی خشکی (RDI)	شاخص حساسیت به خشکی (SDI)				
DF	DF	(EC)	(RWC)	(YI)	(YSD)	(RDI)	(SDI)				
Location مکان	1	1932**	1742**	0.74**	0.006**	0.07**	0.06**				
Error خطا	6	5.65	35.28	0.01	0.0001	0.0001	0.001				
Genotype ژنوتیپ	19	1464**	70.86**	0.27**	0.008**	0.01**	0.08**				
Location × Genotype مکان × ژنوتیپ	19	4.27**	0.66**	0.005**	0.003**	0.004**	0.001**				
Error خطای آزمایش	114	8.36	4.12	0.001	0.001	0.001	0.001				
CV (%)		13.83	9.79	13.12	9.41	12.41	16.94				

* ** و * به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪ و ns: غیر معنی دار
 **, * : significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns: not significant

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص های تحمل ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم

Table 3: Mean comparison for grain yield and drought tolerance index of 20 advanced wheat genotypes

شماره ژنوتیپ Genotype No.	هلاکت الکریگی برگ (EC)	محتوی نسی آب برگ (RWC)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)	شاخص نسی خشکی (RDI)	شاخص حساسیت به خشکی (SDI)	میانگین هندسی عملکرد (GMP)	میانگین به دوری (MP)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص تحمل به خشکی (STD)	شاخص حساسیت به خشکی (SSI)	عملکرد در شرایط تنش (Ys) (kg/ha)	عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) (kg/ha)
1	117.4 ^{bc}	49.75 ^e	0.8390 ⁱ	0.8601 ^{kl}	0.9774 ^{bc}	0.1399 ^{cd}	1486 ^k	1491 ^j	223 ^{de}	0.6350 ^k	1.1620 ^{bc}	1379 ⁱ	1603 ^j
2	93.38 ^{fg}	50.11 ^e	0.9919 ^f	0.8349 ^m	0.9488 ^c	0.1651 ^a	1780 ^{fg}	1789 ^e	316 ^a	0.9140 ^{ef}	1.3710 ^g	1631 ^f	1948 ^e
3	95.75 ^{fg}	54.63 ^{bc}	0.9926 ^f	0.8837 ^c	1.004 ^b	0.1163 ^l	1736 ^g	1739 ^f	214 ^{de}	0.8649 ^{fg}	0.9663 ^c	1632 ^f	1846 ^f
4	117.6 ^{bc}	56.38 ^b	1.036d ^e	0.8678 ^{hi}	0.9861 ^b	0.1322 ^{fg}	1826d ^{ef}	1831 ^{de}	256 ^{bcd}	0.9591 ^{de}	1.0980 ^{bc}	1703 ^{de}	1959 ^e
5	118.6 ^b	52.51 ^{cd}	0.9109 ^h	0.8632 ^{jk}	0.9809 ^{bc}	0.1368 ^{d^e}	1611 ^{ij}	1616 ^{hi}	236 ^{de}	0.7460 ^{ij}	1.1370 ^{bc}	1498 ^h	1736 ^{hi}
6	97.38 ^{fg}	53.13 ^{cd}	1.039d ^e	0.8792 ^d	0.9991 ^b	0.1208 ^k	1821 ^{ef}	1825 ^e	232 ^{de}	0.9528 ^c	1.0030 ^c	1708 ^{de}	1941 ^c
7	96.75 ^{fg}	53.25 ^{cd}	1.076 ^c	0.8528 ^m	0.9691 ^{bc}	0.1472 ^b	1912 ^e	1919 ^e	299 ^{ab}	1.0530 ^c	1.2230 ^{ab}	1769 ^e	2069 ^e
8	87.51 ^{hi}	52.13 ^d	1.018 ^{ef}	0.8722 ^{fg}	0.9911 ^b	0.1278 ^{hi}	1792 ^{ef}	1796 ^e	245 ^{cde}	0.9221 ^e	1.0620 ^{bc}	1674 ^{ef}	1919 ^e
9	85.88 ^{ijk}	53.75 ^{cd}	0.8185 ⁱ	0.8605 ^{kl}	0.9778 ^{bc}	0.1395 ^{cd}	1451 ^k	1455 ^j	218 ^{de}	0.6049 ^k	1.1549 ^k	1346 ⁱ	1564 ^d
10	100.6 ^f	48.51 ^e	1.049 ^{cde}	0.8766 ^{de}	0.9962 ^b	0.1234 ^{jk}	1840 ^{de}	1845 ^{de}	240 ^{cde}	0.9734 ^{de}	1.0250 ^{bc}	1724 ^{cde}	1965 ^{de}

میانگین های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد تفاوت معنی دار می باشند.

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at %5 probability level using Duncan's test

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته گندم

Continued Table 3: Mean comparison for grain yield and drought tolerance index of 20 advanced wheat genotypes

شماره ژنوتیپ‌ها Genotype No.	هدایت الکتریکی برگی (EC)	محتوی نسیج آب برگ (RWC)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)	شاخص نسیج خشکی (RDI)	شاخص حساسیت به خشکی (SDI)	میانگین هتدسی عملکرد (GMP)	میانگین بهروری (MP)	شاخص تحمل (TOL)	شاخص تحمل به خشکی (STI)	شاخص حساسیت به خشکی (SSI)	عملکرد در شرایط تشنه (Ys) (kg/ha)	عملکرد در شرایط بدون تشنه (Yp) (kg/ha)
11	89.25 ^h	53.75 ^{cd}	0.9565 ^e	0.8744 ^{af}	0.9936 ^b	0.1256 ^{ij}	1682 ^h	1685 ^e	225d ^e	0.8183 ^{gh}	1.0380 ^{bc}	1573 ^e	1798 ^{fe}
12	85.13 ^{jk}	58.88 ^a	1.411 ^b	0.9630 ^a	1.094 ^a	0.0369 ⁿ	2363 ^b	2364 ^b	88 ^f	1.6040 ^b	0.3071 ^d	2119 ^b	2608 ^b
13	88.75 ^{hi}	54.13 ^{cd}	0.9474 ^e	0.8785 ^d	0.9983 ^b	0.1215 ^k	1661 ^{hi}	1665 ^{gh}	215 ^{de}	0.7924 ^{hi}	1.0090 ^c	1558 ^e	1773 ^{gh}
14	98.75 ^{fg}	52.63 ^{cd}	1.033d ^e	0.8708 ^{gh}	0.9883 ^b	0.1292 ^{gh}	1818 ^{ef}	1823 ^c	250 ^{cd}	0.9496 ^e	1.070 ^{bc}	1698 ^{de}	1948 ^e
15	113.4 ^d	48.88 ^e	1.058 ^{cd}	0.8582 ⁱ	0.9751 ^b	0.1418 ^c	1875 ^{cd}	1882 ^{cd}	284 ^{abc}	1.0120 ^{cd}	1.1780 ^{bc}	1739 ^{cd}	2024 ^{cd}
16	107.3 ^e	53.25 ^{cd}	0.9097 ^h	0.8738 ^{fg}	0.9930 ^b	0.1262 ^{hij}	1596 ⁱ	1600 ⁱ	215 ^{de}	0.7315 ^j	1.0480 ^{bc}	1493 ^h	1708 ⁱ
17	83.88 ^k	59.13 ^a	1.498a	0.9544 ^b	1.085 ^a	0.0456 ^m	2521 ^a	2522 ^a	117 ^f	1.8230 ^a	0.3785 ^d	2263 ^a	2780 ^a
18	116.5 ^{bc}	52.63 ^{cd}	0.8349 ⁱ	0.8648 ^{gii}	0.9828 ^{bc}	0.1352 ^{ef}	1476 ^k	1480 ^j	214 ^{de}	0.6262 ^k	1.1220 ^{bc}	1373 ⁱ	1587 ^j
19	127.8 ^a	52.38 ^{cd}	0.8896 ^h	0.8655 ^{gii}	0.9835 ^{bc}	0.1345 ^{ef}	1572 ^j	1577 ⁱ	228d ^e	0.7105 ^j	1.1170 ^{bc}	1463 ^h	1691 ⁱ
20	114.5 ^{cd}	48.38 ^e	0.6949 ⁱ	0.8523 ^m	0.9685 ^{bc}	0.1477 ^h	1238 ^l	1242 ^k	198 ^e	0.4403 ^l	1.2270 ^{ab}	1043 ⁱ	1341 ^k

میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

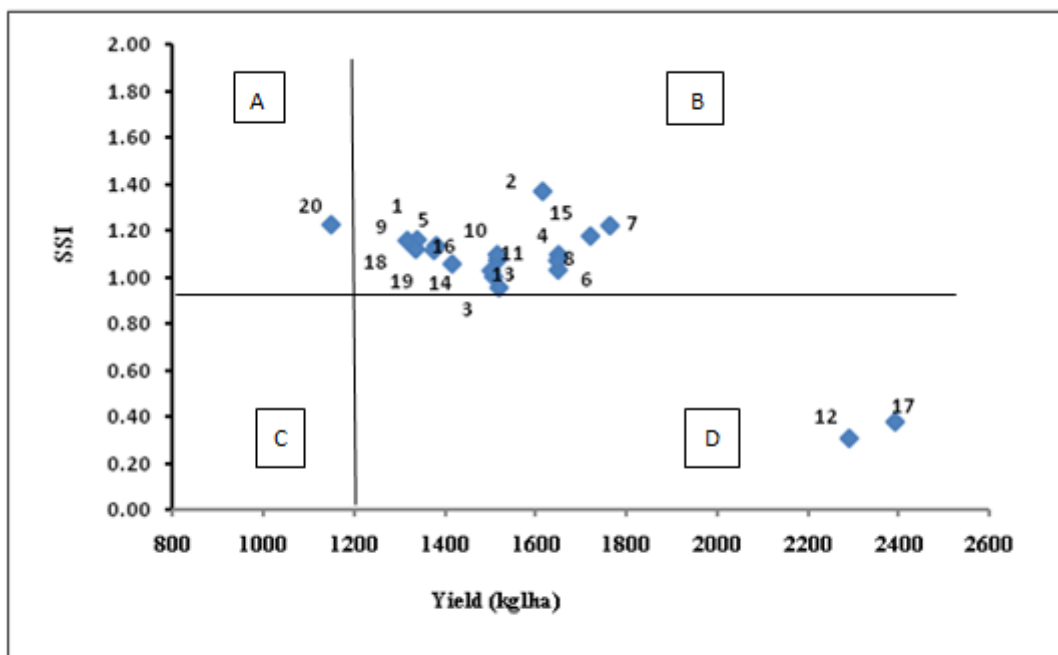
Means followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's test

گزارش کردند. این نتایج بیانگر این است که شاخص SSI همبستگی قوی و منفی با عملکرد دانه دارد.

نتایج نشان داد که ژنوتیپ های ۱۷ و ۱۲ بالاترین مقادیر شاخص تحمل به خشکی (STI) را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). بر اساس این شاخص، ژنوتیپ های ذکر شده نسبت به سایر ژنوتیپ های مورد بررسی از تحمل خشکی بیشتری برخوردار بودند. بر اساس شاخص تحمل خشکی محاسبه شده، ژنوتیپ های مورد بررسی در سه دسته گروه بندی شدند. ژنوتیپ ۲۰ در گروه C (STI کمتر - عملکرد کمتر در هر دو محیط تنش و بدون تنش)، ژنوتیپ ۱۷ و ۱۲ در گروه B (STI بیشتر - عملکرد بیشتر در هر دو محیط تنش و بدون تنش) و سایر ژنوتیپ در گروه D (STI کمتر - عملکرد بیشتر) قرار

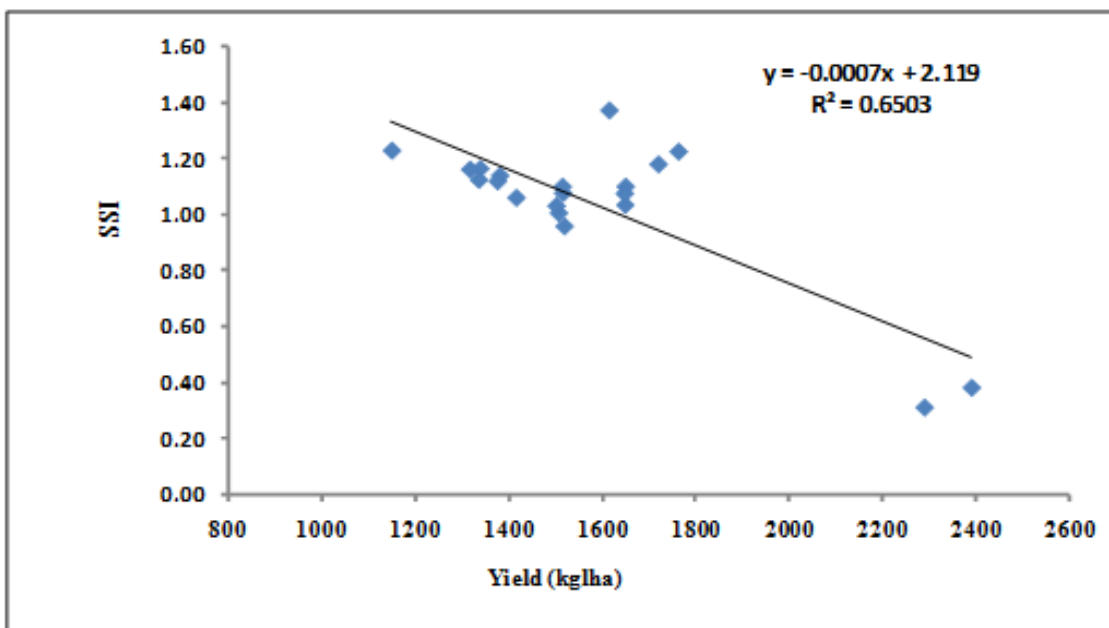
پایین - SSI بالا)، گروه B (عملکرد بالا - SSI بالا)، گروه C (عملکرد پایین - SSI پایین) و گروه D (عملکرد بالا - SSI پایین) (Fisher & Maurer, 1978).

بر اساس نمودار رگرسیون ترسیم شده (شکل ۲)، رابطه بین شاخص حساسیت به خشکی (SSI) و عملکرد دانه ژنوتیپ ها، منفی و مستقیم بدست آمد. هر چه مقادیر شاخص حساسیت به خشکی (SSI) برای یک ژنوتیپ کمتر باشد، نشان دهنده تحمل خشکی آن ژنوتیپ است. Nourmand Moayyed *et al.* (2001) طی آزمایشی که به منظور بررسی تنوع صفات کمی و تعیین بهترین شاخص های تحمل خشکی در گندم نان انجام دادند، همبستگی بین شاخص حساسیت به خشکی فیشر (SSI) و عملکرد دانه را منفی و معنی دار ($r = -0.56$)



شکل ۱ - گروه بندی ژنوتیپ های گندم بر اساس شاخص حساسیت به خشکی و عملکرد دانه

Figure 1: Grouping of wheat genotypes based on Drought Sensitivity Index (SSI) and grain yield

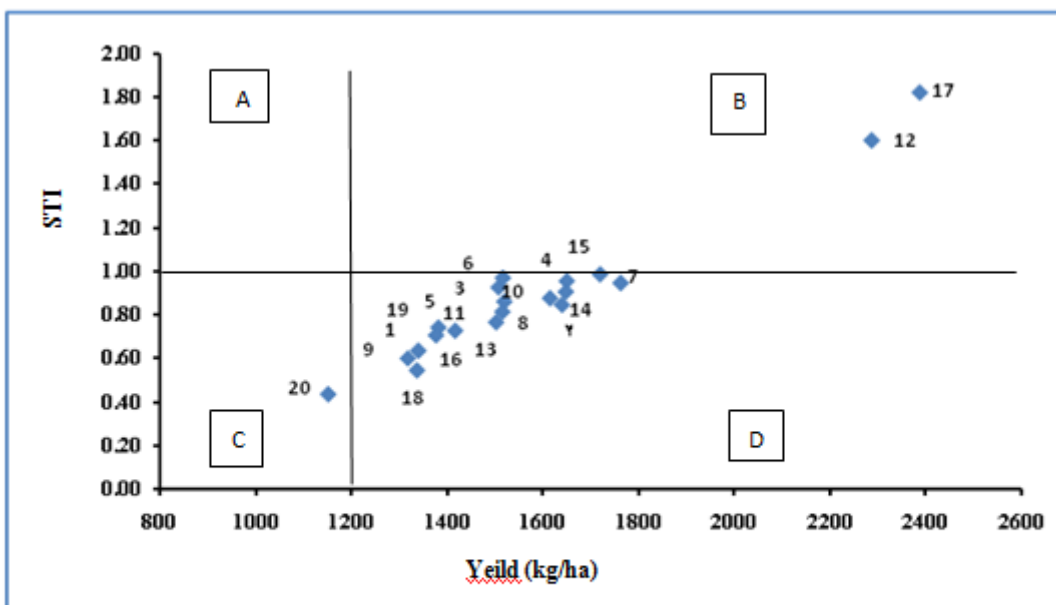


شکل ۲- رابطه بین شاخص حساسیت به خشکی و عملکرد دانه
Figure 2: Relationship between Drought Sensitivity Index (SSI) and grain yield

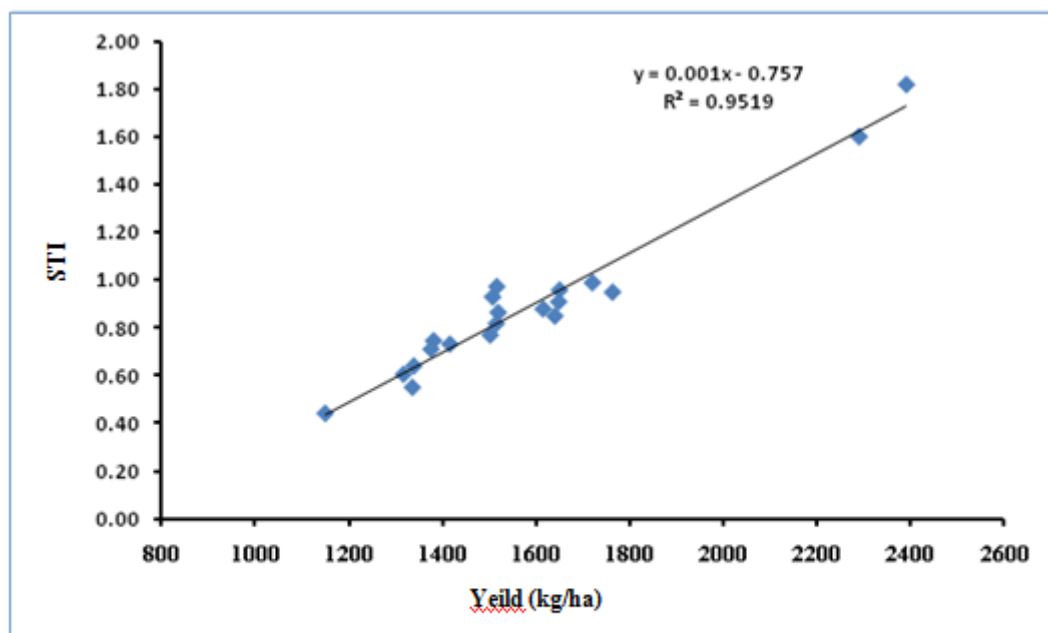
آن ژنوتیپ است. (Moghadam & Hadizadeh, 2001) در آزمایشی که بر روی گیاه ذرت انجام دادند، رابطه بین عملکرد دانه و شاخص STI را مثبت و معنی دار گزارش نمودند. Anwar *et al.* (2011) نیز در طی یک بررسی بر روی ژنوتیپ های مختلف گندم، رابطه بین شاخص STI و عملکرد دانه را مثبت و معنی دار گزارش نمودند و اعلام کردند که ژنوتیپ های محتمل خشکی دارای عملکرد بیشتر و شاخص STI بالایی بودند.

با توجه به مقایسه میانگین صورت گرفته، ژنوتیپ های ۱۲ و ۱۷ کمترین مقادیر شاخص تحمل (TOL) را نسبت به سایر ژنوتیپ های مورد بررسی داشتند. با در نظر گرفتن شاخص تحمل که به صورت اختلاف بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش تعریف شده است، ژنوتیپ هایی متحمل خشکی محسوب می شوند که مقادیر کمتری از شاخص فوق را به

گرفتند و هیچ ژنوتیپی در گروه A (STI بیشتر - عملکرد کمتر) قرار نگرفت (شکل ۳). براساس شاخص STI، هر چه اختلاف عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش بیشتر باشد، مقادیر شاخص STI کوچکتر می شود. شاخص STI بر عکس شاخص SSI می باشد، بطوریکه هر چه مقادیر STI بیشتر باشد نشان دهنده تحمل ژنوتیپ به تنش می باشد (Fernandez, 1992). بر اساس آنچه که بیان شد، نتیجه گرفته می شود که شاخص تحمل به خشکی به لحاظ گزینش ژنوتیپ هایی با عملکرد بیشتر در هر دو شرایط تنش و بدون تنش از کارایی بالایی برخوردار می باشد. همانطوریکه در شکل ۴ مشاهده می شود رابطه بین شاخص تحمل به خشکی STI و عملکرد دانه ژنوتیپ ها، مثبت و مستقیم بدست آمد. هر چه مقادیر شاخص تحمل به خشکی STI برای یک ژنوتیپ بیشتر باشد نشان دهنده تحمل به خشکی



شکل ۳ - گروه بندی ژنوتیپ های گندم بر اساس شاخص تحمل خشکی (STI) و عملکرد دانه
Figur 3: Grouping of wheat genotypes based on Drought Tolerance Index (STI) and grain yield



شکل ۴ - رابطه بین شاخص تحمل خشکی (STI) و عملکرد دانه
Figur 4: Relationship between Drought Tolerance Index (STI) and grain yield

محسوب می شود (Sio-Se Mardeh, 2006). براساس نتایج این پژوهش ژنوتیپ های ۱۲ و ۱۷ بیشترین شاخص میانگین بهره وری (MP) را در بین ژنوتیپ های مورد آزمایش به خود اختصاص دادند (جدول ۴). بر اساس شاخص

خود اختصاص دهند (Rossielle & Hamblin, 1981). در راستای نتایج این پژوهش، سی و سه مرده و همکاران نیز بیان کردند که هرچه مقدار شاخص تحمل برای ژنوتیپی بیشتر باشد نشان دهنده حساسیت بیشتر آن به تنش خشکی

بر اساس همبستگی های محاسبه شده (جدول ۵)، رابطه عملکرد دانه با شاخص پایداری عملکرد (YSI) در شرایط بدون تنش منفی و معنی دار و در شرایط تنش مثبت و معنی دار بدست آمد. (Shafazadeh *et al* 2004) در آزمایشی که روی گندم های زمستانه و بینابین انجام دادند رابطه بین شاخص پایداری عملکرد در شرایط بدون تنش را منفی و در شرایط تنش مثبت بدست آوردند.

در این بررسی رابطه محتوی نسبی آب برگ (RWC) با عملکرد دانه مثبت ولی رابطه هدایت الکتریکی برگ (EC) با عملکرد دانه منفی و معنی دار بدست آمد (جدول ۵). محتوی آب نسبی برگ در واقع به عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب های ناشی از تنش خشکی محسوب می شود. محتوی نسبی آب برگ بیشتر باعث افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می شود (Farooq *et al*, 2009). میزان هدایت الکتریکی برگ EC نیز نشان دهنده پایداری غشاء سیتوپلاسمی می باشد. هر چه گیاه حساس به خشکی باشد در اثر تخریب واکوئل ها، میزان غلظت محلول افزایش می یابد و در نتیجه EC افزایش می یابد. بنابراین ژنوتیپ های متحمل به خشکی از EC کمتری برخوردار می باشند و به عبارت دیگر EC با عملکرد دانه رابطه منفی دارد (Hu *et al*, 2009).

بر اساس ضرایب همبستگی محاسبه شده (جدول ۵)، در شرایط تنش و در شرایط بدون تنش شاخص های STI, GMP, MP بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند. بنابراین

میانگین بهره وری که به صورت میانگین جمع جبری عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش تعریف شده است، ژنوتیپ هایی متحمل خشکی محسوب می شوند که مقادیر بیشتری از این شاخص را داشته باشند (Rossielle & Hamblin, 1981). (Foulkes *et al* 2007) در طی یک آزمایشی که برای تحمل خشکی ارقام مختلف گندم انجام دادند رابطه بین شاخص تحمل (TOL) با عملکرد دانه را منفی و معنی دار و رابطه بین شاخص میانگین بهره وری (MP) را با عملکرد دانه مثبت و معنی دار گزارش کردند. در حالیکه، (Sio-Se Mardeh *et al* 2006) گزارش کردند که شاخص میانگین بهره وری فقط زمانی که تنش خیلی شدید نیست یا تفاوت بین عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش زیاد نیست، رابطه مثبت با عملکرد دارد.

بر اساس شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) نیز ژنوتیپ های ۱۷ و ۱۲ بیشترین مقادیر را داشتند و نسبت به سایر ژنوتیپ های مورد بررسی برتری نشان دادند (جدول ۴). بر اساس شاخص میانگین هندسی عملکرد، ژنوتیپ هایی متحمل تر محسوب می شوند که مقادیر بیشتری از این شاخص را کسب کرده باشند، این شاخص با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش رابطه مثبت دارد (Fernandez, 1992). مطابق نتایج این پژوهش، (Shafazadeh *et al* 2004) طی بررسی که برای تحمل خشکی ارقام مختلف گندم انجام دادند رابطه بین GMP با عملکرد دانه را در شرایط تنش و بدون تنش مثبت و معنی دار گزارش نمودند.

بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند. بنابراین می توان آنها را به عنوان بهترین شاخص های تحمل خشکی در این آزمایش در نظر گرفت، ژنوتیپ هایی که بالاترین مقادیر را در این شاخص ها داشته باشند به عنوان متحمل ترین ژنوتیپ ها شناسایی و انتخاب می شوند. در پژوهش حاضر ژنوتیپ های ۱۷ و ۱۲ از لحاظ تمام شاخص های تحمل خشکی محاسبه شده بخصوص STI, GMP, MP نسبت به سایر ژنوتیپ ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش برتری داشتند و به ترتیب با ۲۷۸۰ و ۲۶۰۸ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و با ۲۲۶۳ و ۲۱۱۹ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه در شرایط تنش، در هر دو مکان نسبت به سایر ژنوتیپ ها برتر بودند، بنابراین این دو ژنوتیپ از بین تمام ژنوتیپ های مورد بررسی به عنوان ژنوتیپ های محتمل خشکی شناخته شدند.

می توان آنها را به عنوان بهترین شاخص های تحمل خشکی در این آزمایش در نظر گرفت و ژنوتیپ هایی که بالاترین مقادیر را در این شاخص ها داشته باشند به عنوان متحمل ترین ژنوتیپ ها شناسایی و انتخاب کرد. به طور کلی، شاخص هایی که در محیط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند به عنوان بهترین شاخص ها معرفی شده و نیاز به شاخص انتخاب مناسب را برآورده می کند، چون که این شاخص ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ هایی با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش می باشند (Ober *et al.*, 2005). (Shafazadeh *et al.*, 2004). نیز بیان داشتند که شاخص های STI, GMP, MP به دلیل داشتن همبستگی مثبت و معنی دار با عملکرد دانه در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی بعد از مرحله گلدهی می توانند برای شناسایی ژنوتیپ های متحمل به خشکی و پر محصول برای هر دو شرایط محیطی استفاده شوند.

در شرایط تنش خشکی که وراثت پذیری صفت عملکرد به دلیل اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط، به میزان زیادی کاهش می یابد، دستیابی به ژنوتیپ هایی که تحت شرایط محدودیت آب (تنش) و کم آبیاری تحمل بیشتری به تنش خشکی آخر فصل داشته باشند و کاهش عملکرد در آنها کمتر باشند، کمک شایانی به افزایش تولید در واحد سطح خواهند کرد (Ehdaie *et al.*, 2008).

نتیجه گیری

در این پژوهش، در شرایط تنش و در شرایط بدون تنش، شاخص های STI, GMP, MP

جدول ۵- ضرایب همبستگی عملکرد دانه و شاخص های تحمل به خشکی

Table 4. Correlation coefficients for grain yield and drought tolerance indexes

عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)	عملکرد در شرایط تنش (Ys)	شاخص حساسیت به خشکی (SSI)	شاخص تحمل به خشکی (STI)	شاخص تحمل (TOL)	میانگین بهروری (MP)	میانگین عملکرد (GMP)	شاخص حساسیت به خشکی (SDI)	شاخص نسبی خشکی (RDI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)	شاخص عملکرد (YI)	محتوی نسبی آب برگ (RWC)	هدایت الکتریکی برگ (EC)	
Yp	1												
Ys	0.88**	1											
SSI	-0.72**	-0.82**	1										
STI	0.93**	0.95**	-0.82**	1									
TOL	-0.33*	-0.48*	0.88**	-0.52**	1								
MP	-0.89**	0.93**	-0.78**	0.93**	-0.41*	1							
GMP	-0.92**	0.91**	-0.73**	0.94**	-0.43*	0.86**	1						
SDI	-0.74**	-0.82**	0.89**	-0.82**	0.88**	-0.74**	-0.74**	1					
RDI	0.76**	0.86**	-0.87**	-0.73**	-0.86**	0.64**	-0.87**	0.68**	1				
YSI	-0.71**	0.79**	-0.92**	0.82**	-0.82**	0.68**	-0.83**	0.78**	0.78**	1			
YI	0.79**	0.82**	-0.83**	0.84**	-0.74**	0.72**	-0.64**	0.81**	0.82**	0.82**	1		
RWC	0.68**	0.72**	-0.85**	0.87**	-0.83**	0.62**	-0.49*	0.88**	0.67**	0.78**	0.88**	1	
EC	-0.62**	-0.76	0.78**	-0.83**	0.76**	-0.58**	0.59**	-0.62**	-0.44*	-0.54**	-0.53**	-0.53**	1

*, ** : significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns: not significant

ns : غیر معنی دار
* و ** به ترتیب معنی دار در سطح ۵% و ۱% و ns : غیر معنی دار

References

- Anwar, J., Sobhani, G. M., Hussain, M., Ahmad, J., Hussain, M. and Munir, M. 2011. Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes. *Pakistan Journal of Botany*. 43: 1527-1530.
- Blum, A. 1983. Genetic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Science*. 29: 230-233.
- Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 223 pages.
- Bousslama, M. and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24: 933- 937.
- Castrillo, M. and Turujillo, I. 1994. Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity and chlorophyll and protein contents in two cultivars of french bean plants under water stress and rewatering. *Photosynthetica*, 30(2): 175-181.
- Cossani, C. M. and Reynolds, M. P. 2012. Physiological traits for improving heat tolerance in wheat. *Plant Physiol*. 160: 1710-1718.
- Delmer, D. P. 2005. Agriculture in the developing world: connecting innovations in plant research to downstream applications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102:15739 –15746.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A. and Waines, J. G.. 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserve to grain yield in wheat. *Field Crops Research*. 106: 34-43.
- FAO, 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Quarterly Bulletin of Statistics. Rome, Italy.
- FAO, 2011. Statistics: FAOSTAT agriculture. From
- Farooq. M. W. A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29: 185-212.
- Farshadfar, E. and Javadinia, J. 2011. Evaluation of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27 (4): 517–537.
- Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Taiwan. 13-16 August.
- Fischer, R.A. and Maurer, R. 1987. Drought resistance in spring wheat cultivar. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agriculture Research*, 29:897-912.
- Foulkes, M.J., Scott, R.K. and Bradley, S. 2007. The ability of wheat cultivars to withstand drought in UK conditions: formation of grain yield. *Journal of Agriculture Science*. 138: 153–169.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G. L. and Borghi, B. 1997. Evaluation of field laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523–531.

- Hanson, A. D. and Hitz, W. D. 1982. Metabolic responses of mezophytes to plant water deficit. *Annu. Review of Plant Physiol.* 33: 163-203.
- Hu. L., Wang, Z., Du, H. and Huang, B. 2009. Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common Bermuda grass genotypes differing in drought tolerance. *Journal of plant physiology.* 167: 103-109.
- Jha, U. C., Bohra, A. and Singh, N. P. 2014. Heat stress in crop plants: its nature, impacts and integrated breeding strategies to improve heat tolerance. *Plant Breeding.* 133: 679-701.
- Kardavani, P., 1999. Arid Areas, University of Tehran Publication, Tehran. [In Persian].
- Lawlor, D. W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany.* 89: 871-885.
- Lawlor, D. W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment,* 25: 275-294.
- Marti, J. and Slafer, G. A. 2014. Bread and Durum wheat yield under a wide rang of environmental conditions. *Field Crop Research.* 156: 258-271.
- Moghadam, A and Hadizadeh, M.H., 2001. Study on density stress in selection of drought tolerant varieties of corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal Crop Science.* 2: 25-38. (In Persian with English summary).
- Mohammadi, F. Mohammadi Nejad, G. h. and Nakhoda, B. 2015. Identification of drought stress tolerant lines in bread wheat. *Environmental Stresses in Crop Sciences.* 8: 249-258.
- Nourmand-Moayyed, F., Roostami, M.A., Ghanadha, M.R., 2001. Evaluation of drought resistance indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal Agriculture. Science.* 32: 795-805. [In Persian with English summary].
- Ober, E.S., Bloa, L., Clark, M., Royal, C.J.A., Jaggard, A., Pidgeon, K.W. 2005. Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. *Field Crops Research.* 91: 231-249.
- Rajala, A, Hakala, K., Makela, P., Muurinen, S. and Peltonen-Sainio, P. 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research.* 114: 263-271.
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Haloday, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science.* 30:105-111.
- Rossielle, A and Hamblin, A. J. 1981. Theoretical aspects of selection for stress and non-stress environment. *Crop Science.* 21, 1441- 1446.
- Shafazadeh, M.K., Yazdan-Sepas, A.A., Amini, A., Ghanadha, M. R. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed Plant Improve Journal.* 20: 57-71.
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crop Research.* 98: 222-

229.

- Takeda, S. and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. *Nature*. 9: 445-457.
- Tauqeer, A. Y., Chen, T.X., Tian, L., Condon, A. G. and Hu, Y. G. 2013. Screening of Chinese bread wheat genotypes under two regimes by various drought tolerance indices. *Australian Journal Crop science*. 7: 2005-2013.
- Vaezi. B., Bavei, V. and Shiran, B. 2010. Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research*. 5: 881-892.
- Van de Wouw, M., Van Hintum, T., Kik, C., Van Treuren, R., Visser, B., 2010. Genetic diversity trends in twentieth century crop cultivars: a meta-analysis. *Theoretical and Applied Genetics*. 120: 1241-1252.
- Wang, W., Vinocur, B. and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Journal of plant physiology*. 218: 1- 14.

Evaluation of drought tolerance in wheat genotypes

E. Neyeštani¹, H.Makarian², A.A. Ameri³, M. hydari²

1. Agriculture PhD Student University of Shahrood. (Corresponding author)
2. Faculty of Agriculture University of Shahrood
3. Faculty of Northern Khorasan Agriculture & Natural Resources Research & Education Center
4. Faculty of Agriculture University of Shahrood

Received: January 2017 Accepted: July 2018

Extended Abstract

Neyeštani, E., Makarian, H., Ameri, A.A., hydari, M., Evaluation of drought tolerance in wheat genotypes
Applied Research in Field Crops Vol 30, No. 4, 2017 7-9: 32-52(in Persian)

Introduction: Drought stress is the most restricting factor for crop production in arid and semiarid regions. Reduction of crop productivity in these regions is estimated to be more than 50%, due to climate change and global warming in recent decades (Jha et al., 2014). According to the Mediterranean precipitation pattern, in most parts of Iran, near all rainfall happens in winter season and therefore drought stress usually occurs in flowering and physiological ripening stages of wheat. Understanding the response of these plants to different environmental stresses such as drought stress and other restricting factors is inevitable. Drought resistance is a quantitative trait, which is not measurable directly. This problem appears during the identification process of resistant genotypes to drought stress. In order to discriminate resistant genotypes, some indices are recommended based on the seed yield in normal and drought conditions. The best index is the one that is able to select genotypes with high yields under water-stressed and non-stressed conditions. Shafazadeh et al., (2004) recommended that MP, GMP and STI indices are suitable for detecting drought resistant and productive genotypes because they had significant and positive correlation with seed yield in the both conditions after flowering stage.

Materials and Methods

This investigation was conducted using 20 improved lines of rain-fed wheat genotypes at two experimental sites including Dry-land Agricultural Research Station of Shirvan and Agricultural Research Station of Sisab, Bojnourd, Iran, during the 2015-2016 growing season. The statistical layout was a completely randomized-block design with 4 replications under water deficit (dryland farming) and complementary irrigation conditions. After harvest and yield measurements of genotypes in each growth condition, the following indices were calculated: stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), tolerance (Tol), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), sensitivity drought index (SDI), relative drought index (RDI), yield stability index (YSI), yield index (YI), relative water content) RWC (and electrical conductivity) EC. (Data analysis was performed using Path, SAS and MSTAT-C software. Means comparisons were done using Duncan's test and graphs were drawn by Excel.

Results and Discussion

Based on the combined analysis of variances, the effect of location was significant for all the indices. This shows that the effect of location on grain yield of genotypes was different. The interaction effect of genotype \times location was not significant for grain yield under normal condition) Y_p (but it was significant under stressed condition) Y_s , (indicating that under water deficit condition, the interaction between genotype and environment is strengthened). The results showed that grain yield of the genotypes in irrigated condition for both sites was not different but grain yield of genotypes in stressed condition was different in each location. In other words, dryland yield of genotypes differed according to different growth locations. The reason why interaction between genotype and location was non-significant in normal growing condition was that at the both experimental locations) Sisab and Shirvan stations, (plants received irrigation water at the critical growth periods) flowering and grain-filling stages (and therefore did not face any moisture shortage in non-dryland growing condition at the both locations). Dryland yield of genotypes at Sisab station) Bojnourd (was higher than that of Shirvan station due to higher precipitation in Sisab. Our results showed that the effect of genotype \times environment is significant and the experimented genotypes possess adequate genetic variation for selection) Mohammadi et al. (2015, Genotypes No 17 and 12 with 2780 and 2608 kg.ha⁻¹ in non-stressed and 2263 and 2119 kg.ha⁻¹ in stressed conditions, were respectively, superior to the other genotypes.

Conclusion

Genotypes No 17 .and 12 based on the all investigated indices ,especially STI, GMP and MP were found to be superior compared to the other genotypes in both stressed and non-stressed conditions .Genotypes No 17 .and 12 produced 2780 and 2608kg .ha 1-grain yield in non-stressed condition and 2263 and 2119 kg .ha1-grain yield under stressed condition ,respectively .Therefore ,these genotypes were selected as tolerant genotypes to drought stress .Heritability of grain yield trait under drought stress is reduced due to genotype and environment interaction .Therefore ,selecting genotypes with the lowest reduction in grain yield in end-season drought stress condition would help improving grain production per unit area.

Keywords: Cereals, Dry land, Drought stress, Grain yield

References

- Jha, U. C., Bohra, A. and Singh, N. P. 2014. Heat stress in crop plants: its nature, impacts and integrated breeding strategies to improve heat tolerance. *Plant Breed.* 133: 679-701.
- .Mohammadi, F. Mohammadi Nejad, G. h. And Nakhoda, B. 2015
Environ- .wheat bread in lines tolerant stress drought of Identification
 .249-258 :8 .*Sciences Crop in Stresses mental*
- Shafazadeh ,M .K ,.Yazdan-Sepas ,.A.A ,.Amini ,A ,.Ghanadha ,M.R.,
 .2004Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices.
*Seed Plant Improve.*57-71 :20 .