

تجزیه و تحلیل گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان به تنش کم‌آبی در شرایط استان لرستان

فاطمه درویش‌نیا^۱، محمدهادی پهلوانی^{۲*}، خلیل زینلی‌نژاد^۳، خسرو عزیزی^۴ و سعید باقرکیا^۵

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه اصلاح‌نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
- ۲- دانشیار، گروه اصلاح‌نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
- ۳- استادیار، گروه اصلاح‌نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
- ۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
- ۵- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶)

چکیده

به‌منظور تعیین مؤثرترین شاخص‌های کمی‌سازی تحمل به تنش کم‌آبی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی در گندم نان، ۵۰ ژنوتیپ گندم نان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط تنش (به‌صورت دیم) و بدون تنش (دو بار آبیاری در مواقع بروز تنش) در شرایط مزرعه‌ای در شهرستان خرم‌آباد ارزیابی گردیدند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط محیطی از لحاظ کلیه صفات به‌جز صفت تعداد سنبله در واحد سطح اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در این بررسی هشت شاخص مقاومت به کم‌آبی شامل: شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین حسابی (MP)، عملکرد (YI)، میانگین هارمونیک (HM)، پایداری عملکرد (YSI)، حساسیت به تنش (SSI) و تحمل (TOL) بر اساس عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش محاسبه شدند. شاخص‌هایی که بر اساس آن‌ها افزایش عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش صورت گیرد، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها بودند. با توجه به این نکته شاخص‌های STI و GMP، به‌عنوان شاخص مناسب معرفی شدند. مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودار سه‌بعدی این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های شیروودی و S-90-5 تعیین گردیدند. بر اساس وجود همبستگی مثبت بین شاخص‌های مقاومت به تنش کم‌آبی و عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش، شاخص‌های STI و GMP به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. با استفاده از روش ترسیمی بای‌پلات ژنوتیپ‌های شیروودی، S-90-5 و اروم، به‌عنوان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش شناسایی گردیدند. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس شاخص‌های مقاومت به کم‌آبی در سه گروه قرار گرفتند. تجزیه و تحلیل گرافیکی ژنوتیپ‌ها نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های شیروودی و S-90-5 تحت هر دو شرایط محیطی برتر از سایرین بودند و مناسب کشت در شرایط دیم می‌باشند. این ژنوتیپ‌ها همچنین می‌توانند به‌عنوان والدین حامل ژن‌های مطلوب واکنش به تنش، در برنامه‌های دورگ‌گیری و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل مورد استفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: تحمل، تنش، شاخص، کم‌آبی، گندم

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: hpahlevani@gau.ac.ir

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین منابع تأمین پروتئین گیاهی برای جمعیت جهان می‌باشد که نقش حیاتی در اقتصاد ملی کشورهای در حال توسعه دارد. مناطق خشک و نیمه‌خشک، سطحی حدود ۴۵ میلیون کیلومتر مربع یا یک‌سوم مجموع زمین‌های دنیا را در بر گرفته‌اند (Biniyaz and Tavili, 2007). قسمت اعظم ایران نیز جز مناطق نیمه‌خشک به حساب می‌آید (Biniyaz and Tavili, 2007). همه تنش‌های زنده و غیرزنده از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند، اما تنش کم‌آبی مهم‌ترین عامل غیرزنده‌ای است که بر عملکرد گیاهان زراعی نظیر گندم تأثیر دارد (Araus et al., 2002). نتیجه نهایی و عمومی این تنش‌ها، چروکیدگی دانه، کاهش وزن هزار دانه و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌باشد (Mohammadi et al., 2010). با این وجود، در دیم‌زارها، انتخاب ارقامی از گندم که علاوه بر تحمل این تنش در مرحله جوانه‌زنی و سبز شدن از عملکرد دانه بالاتری نیز برخوردار باشند اهمیت زیادی دارند (Saeidi et al., 2007). تاکنون شاخص‌های مختلفی برای تشریح رفتار یک ژنوتیپ معین تحت شرایط تنش و غیرتنش پیشنهاد شده است. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل خشکی^۱ را ارائه کرد که قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش از سایر ژنوتیپ‌ها بود. وی در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش و بدون تنش، گیاهان را از نظر عکس‌العمل به این دو شرایط در چهار گروه طبقه‌بندی نمود: گروه اول: ژنوتیپ‌هایی که برتری نسبی یکنواختی در هر دو شرایط دارند (A)، گروه دوم: ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط مطلوب عملکرد خوبی دارند (B)، گروه سوم: ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد آن‌ها در شرایط تنش به‌طور نسبی بیشتر است (C) و گروه چهارم: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط تنش و غیرتنش از نظر عملکرد ضعیف

می‌باشند (D). فرناندز اشاره می‌کند که معیار مناسب گزینش برای تعیین مقاومت یا تحمل به تنش معیاری است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه اول (A) را از گروه‌های دیگر تشخیص دهد. شاخص حساسیت به تنش^۲ توسط فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) پیشنهاد شد. بر اساس این شاخص، مقدار SSI کمتر از یک نشان دهنده مقاومت ژنوتیپ به تنش کم‌آبی است. ژنوتیپ‌هایی که توسط این شاخص انتخاب می‌شوند عملکرد بالقوه کمی دارند، اما در شرایط تنش عملکرد آن‌ها زیاد است. روزیل و هامبلین (Rossielle and Hamblin, 1981) شاخص تحمل^۳ و شاخص میانگین بهره‌وری^۴ را پیشنهاد داده‌اند که مقادیر بالای TOL نشان دهنده حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است. شاخص MP نیز به‌صورت متوسط جمع جبری عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری^۵ نیز توسط فرناندز برای ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی پیشنهاد شد. این شاخص در مقایسه با بهره‌وری متوسط در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است (Fernandez, 1992). همچنین فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص دیگری را به نام میانگین هارمونیک^۶ ارائه داد که برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص پایداری عملکرد^۷ توسط بوسلاما و چاپاق (Bouslama and Schapaugh, 1984) ارائه شد. این شاخص عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش را نسبت به عملکرد غیرتنش آن ارزیابی می‌کند و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش باشد، بنابراین ارقامی با شاخص پایداری عملکرد بالاتر انتظار می‌رود که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالاتری داشته باشند. شاخص عملکرد^۸ که توسط گاوزی و همکاران معرفی شد (Gavuzzi et al., 1997)، ارقام را فقط

1- Stress tolerance index
2- Stress susceptibility index
3- Tolerance
4- Mean productivity
5- Geometric mean productivity
6- Harmonic mean
7- Yield stability index
8- Yield index

کم‌آبی و همچنین آگاهی از روابط بینایی صفات با عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی حائز اهمیت خاصی است. از این‌رو، مهم‌ترین اهداف این پژوهش را می‌توان تعیین اثر تنش کم‌آبی انتهای فصل در شرایط کشت دیم بر عملکرد ژنوتیپ‌های گندم، ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم از نظر تحمل به کم‌آبی، انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی عنوان نمود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد ایستگاه تحقیقات باغ کشاورزی که از لحاظ آب و هوایی جزء مناطق گرم و مرطوب به‌شمار می‌رود، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط نرمال و تنش کم‌آبی به‌طور جداگانه انجام شد. در این مطالعه ۵۰ ژنوتیپ گندم نان (عمدتاً از ژنوتیپ‌های تجاری) از مناطق مختلف ایران برای واکنش به تنش کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفتند. بذور این ژنوتیپ‌ها از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند (جدول ۱).

در آزمایش تحت تنش کم‌آبی، تنش کم‌آبی در انتهای فصل واقع شد و آبیاری تنها یک‌مرتبه در مرحله سبز شدن صورت گرفت. در آزمایش تحت شرایط نرمال در کل فصل رشد، آبیاری با توجه به شرایط معمول منطقه انجام گرفت (بعد از سنبله رفتن و مرحله پر شدن دانه) تا شرایط بدون تنش برقرار باشد. صفات مورد مطالعه شامل مدت‌زمان کاشت تا ظهور سنبله، ارتفاع بوته، طول سنبله اصلی، وزن سنبله اصلی، وزن هزار دانه، طول ریشک، تعداد سنبله، تعداد دانه‌های سنبله اصلی، عملکرد دانه بود. همچنین با کمک شاخص‌های مقاومت به تنش، ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی صورت گرفت که بر اساس مقادیر حاصله، ژنوتیپ‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

این شاخص‌ها از رابطه‌های ۱ تا ۹ به‌دست آمدند؛ در این روابط متغیرهای $\bar{Y}_p$ ، $\bar{Y}_s$ ، $\bar{Y}_p$ ، $\bar{Y}_s$ به ترتیب بیانگر عملکرد هر ژنوتیپ در محیط عدم تنش، عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش، میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش، میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط عدم تنش می‌باشند.

بر اساس عملکرد تنش رتبه‌بندی می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد. در بررسی شاخص تحمل به تنش و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری پیشنهاد شده است که هر دو شاخص توانایی شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را دارد (Fischer and Maurer, 1978). فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2013) در آزمایش خود بر روی ۳۰ ژنوتیپ گندم نان، شاخص‌های MP ، GMP ، STI ، YI ، DI و $MSTI$ را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به کم‌آبی معرفی کردند. بر اساس یافته‌های فلاحی و همکاران (Falahi et al., 2011) در ارزیابی تحمل تنش کم‌آبی لاین‌های گندم دوروم مشخص گردید که مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌ها در شرایط تنش و بدون تنش شاخص‌های بهره‌وری متوسط، تحمل به کم‌آبی، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک هستند. در بررسی سی و سه مرده و همکاران (Sio-Se Mardeh et al., 2006) که برای ارزیابی مقاومت به کم‌آبی ۱۱ رقم گندم نان انجام شده بود مشخص شد که انتخاب ارقام بر اساس شاخص تحمل (TOL) موجب کاهش عملکرد در شرایط عادی می‌شود. عزیزی‌نیا و همکاران (Azizinia et al., 2005) ۴۰ ژنوتیپ گندم را از لحاظ تحمل به خشکی بررسی کردند و با استفاده از شاخص‌های فرناندز و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ارقام مقاوم و حساس را معرفی کردند. تعدد و تنوع شاخص‌های کمی‌سازی واکنش گیاهان زراعی به تنش کم‌آبی علاوه بر بیان اهمیت وقوع تنش‌های کم‌آبی و لزوم کاهش میزان خسارتی که به تولید وارد آوردند، در مواردی که نیز به‌واسطه ارائه معیارهای متنوع و متضاد موجب سردرگمی به‌نژادگر در تشخیص تصمیم‌گیری می‌گردد. تجزیه و تحلیل گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌ها از جنبه سادگی و دقت نقش بسیار مهمی در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و همچنین ژنوتیپ‌هایی که از تولید نسبتاً بالاتری نه‌تنها در شرایط تنش کم‌آبی بلکه در شرایط فاقد تنش دارد. با توجه به معضل کاهش بارش‌ها و کمبود منابع آب آبیاری در ایران به‌ویژه پس از خشک‌سالی‌های پیاپی سال‌های اخیر، به‌دست آوردن معیار مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به

$$SSI = \frac{(1 - (Y_s)/(Y_p))}{SI}$$

رابطه (۱) شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978)

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

رابطه (۲) شدت تنش

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$$

رابطه (۳) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992)

$$STI = \frac{(Y_p)(Y_s)}{(\overline{Y_p})^2}$$

رابطه (۴) شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992)

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

رابطه (۵) شاخص میانگین حسابی عملکرد (Rossielle and Hamblin, 1981)

$$TOL = Y_p - Y_s$$

رابطه (۶) شاخص تحمل (Rossielle and Hamblin, 1981)

$$HM = \frac{2(Y_p \times Y_s)}{Y_p + Y_s}$$

رابطه (۷) میانگین هارمونیک (Fernandez, 1992)

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

رابطه (۸) شاخص پایداری عملکرد (Bouslama and Schapaugh, 1984)

$$YI = \frac{Y_s}{\overline{Y_s}}$$

رابطه (۹) شاخص عملکرد (Gavuzzi et al., 1997)

جدول ۱- فهرست ژنوتیپ‌های مورد استفاده در ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی

Table 1. List of the genotypes used in the current study

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	ردیف Row	ژنوتیپ Genotype
1	مهدوی (Mahdavi)	18	کویر (Kavir)	35	هیرمند (Hirmand)
2	سپاهان (Sepahan)	19	قدس (Qods)	36	مهرگان (Mehregan)
3	شیراز (Shiraz)	20	بم (Bam)	37	بک کراس روشن بهاره (Spring BC Roushan)
4	آزادی (Azadi)	21	آرتا (Arta)	38	باژ (Bazh)
5	بهاران (Baharan)	22	ویریناک (Vierynak)	39	شعله (Shole)
6	سیروان (Sirvan)	23	افلاک (Aflak)	40	زاگرس (Zagros)
7	بهار (Bahar)	24	افق (Ofogh)	41	گهر (Gahar)
8	پیش‌تاز (Pishtaz)	25	ارگ (Arg)	42	چمران (Chamran)
9	تجن (Tajan)	26	سیستان (Sistan)	43	چمران ۲ (Chamran 2)
10	پیش‌گام (Pishgam)	27	نیک‌نژاد (Niknejad)	44	کاروان ۱ (Caravan 1)
11	شیروودی (Shiroodi)	28	زرین (Zarin)	45	چناب ۲۶۷ (Chenab 267)
12	اروم (Oroum)	29	الوند (Alvand)	46	Ws-82-9
13	دریا (Darya)	30	پاستور (Pastor)	47	Weebille 264
14	دز (Dez)	31	فلات (Falat)	48	S-90-5
15	روشن (Roushan)	32	داراب ۲ (Darab 2)	49	Irena/babax-pastor
16	مروارید (Morvarid)	33	استار (Star)	50	Dharwar Dry/Nesser 265
17	مغان ۳ (Moghan3)	34	اکبری (Akbari)		

شرایط تنش و بدون تنش کم‌آبی دارای طیف نسبتاً بالایی بود که نشان دهنده تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه می‌باشد که با نتایج نوری‌زاده و همکاران (Nourizadeh et al., 2017) که بر روی صفات مورفولوژیکی طول سنبله و ارتفاع لاین‌های اینبرد نوترکیب گندم صورت گرفته بود، مطابقت داشت. در شرایط بدون تنش صفت عملکرد دانه در بین کلیه صفات، بیشترین ضریب تغییرات (۲۸/۷ درصد) و در شرایط تنش ضریب تغییرات برای صفت وزن سنبله اصلی بیشترین مقدار (۱۳/۸۲ درصد) را به خود اختصاص داد. به‌طور کلی ضریب تغییرات صفات مورد بررسی تحت شرایط تنش کم‌آبی پایین‌تر از ضریب تغییرات صفات در شرایط بدون تنش بود (جدول ۲ و ۳). در مطالعات انجام گرفته توسط امینی و همکاران (Amini et al., 2005) و زارعی و همکاران (Zarei et al., 2011) نیز تنوع بالایی برای صفات عملکرد دانه و اجزای آن گزارش شده است.

در مقایسه جدول تجزیه واریانس هر دو شرایط تنش و بدون تنش مشاهده شد که عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش بیشتر از شرایط تنش بود و در شرایط تنش ۵/۵ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش نشان داد. کم بودن عملکرد دانه در شرایط تنش را می‌توان به کم بودن تعداد سنبله نسبت داد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط تنش، ژنوتیپ شیروودی با متوسط عملکرد دانه ۲۱۰/۳۸ گرم در مترمربع در بین ژنوتیپ‌های آزمایشی دارای بیشترین عملکرد دانه بوده و در رتبه اول قرار داشت (جدول ۴). ژنوتیپ مهدوی، با میانگین عملکرد دانه ۱۰۱/۰۹ گرم در مترمربع کمترین عملکرد را داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها در شرایط بدون تنش نشان داد که ژنوتیپ شیروودی با متوسط عملکرد دانه ۲۴۰/۳۴ گرم در مترمربع دارای بیشترین عملکرد دانه بود. از سوی دیگر ژنوتیپ استار با میانگین عملکرد دانه ۹۴/۲۵ گرم در مترمربع دارای کمترین عملکرد بود (جدول ۴). افزایش عملکرد دانه مهم‌ترین هدف به‌زادگران در برنامه‌های اصلاحی می‌باشد، اما از آنجا که عملکرد صفت پیچیده‌ای است که اجزای کمی متعددی را در برمی‌گیرد و دارای وراثت‌پذیری پایینی می‌باشد، عموماً به‌طور مستقیم مورد مطالعه قرار نگرفته و در عوض صفات مرتبط با آن که از نظر ژنتیکی دارای

همچنین به‌منظور ارزیابی بهتر روابط بین شاخص‌ها با عملکردهای هر دو شرایط تنش و بدون تنش از روش ترسیمی بای‌پلات استفاده شد. از آنجایی که مؤلفه اول تغییراتی را در برمی‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، از این‌رو این دو مؤلفه را می‌توان به‌صورت دو محور عمود بر هم نشان داد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس هر دو مؤلفه در سطح یک نمودار توسط نقاطی مشخص کرد. از سوی دیگر می‌توان وزنی را که هر شاخص در مؤلفه اول و دوم دارد را به ضرایب همبستگی تبدیل کرده و در نهایت برای هر شاخص بر روی نمودار که محور افقی آن را مؤلفه اول و محور عمودی آن را مؤلفه دوم تشکیل می‌دهد خطوطی را رسم نمود به‌طوری که بین خطوط زاویه کمتر از ۹۰ درجه نشان دهنده همبستگی مثبت و بیشتر از ۹۰ درجه نشان دهنده همبستگی منفی است. حال اگر دو نمودار حاصل از مقیاس هم‌ارز شوند و بر یکدیگر منطبق شوند، اطلاعات حاصل از هر یک را بر اساس PC1 و PC2 می‌توان به‌صورت بای‌پلات نمایش داد، به‌طوری که ژنوتیپ‌ها در ۴ ناحیه مشخص قرار گرفته که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل به تنش آن‌هاست. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوطه، تجزیه واریانس و همبستگی ساده صفات، با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.1) انجام شد و همچنین مقایسه میانگین برای همه صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. به‌منظور تجزیه گرافیکی و ترسیم نمودارهای سه‌بعدی و همچنین ترسیم بای‌پلات از نرم‌افزار آنالین iPASTIC استفاده گردید (Pour Aboughadareh et al., 2019).

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ژنوتیپ‌های گندم در دو شرایط تنش کم‌آبی و شرایط بدون تنش در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است. این نتایج تفاوت معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه را برای کلیه صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه به‌جز تعداد سنبله در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کم‌آبی نشان داد (جدول ۲ و ۳). ضریب تغییرات برای کلیه صفات در هر دو

شرایط تنش و بدون تنش کم‌آبی سبب تجمع آل‌های مطلوب شده و ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر گزینش می‌شوند (Richards, 1996). در هر حال، تغییر عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به شرایط بدون تنش تا حد زیادی قابل‌انتظار است ولی میزان تغییر (عمدتاً کاهش) عملکرد در هر ژنوتیپ است که میزان تحمل یا نحوه واکنش آن ژنوتیپ تنش آبی را مشخص می‌نماید.

پیچیدگی بسیار کمتری هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحقیقات مختلف اعمال تنش کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را به‌دنبال داشته که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Nazeri, 2016). محققین هم‌چنین کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گندم را در اثر تنش کم‌آبی گزارش کردند که با نتایج آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد (Emam, 2007). ریچارد عقیده داشت که انتخاب ژنوتیپ‌ها در هر دو

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط بدون تنش

Table 2. ANOVA for different traits of bread wheat genotypes in non- stress conditions

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square								
		وزن هزار دانه 1000-grain weight	ارتفاع بوته Plant height	روز تا خوشه‌دهی Days to heading	طول سنبله اصلی Spike length	طول ریشک Awn length	وزن سنبله Spike weight	تعداد دانه در سنبله Grain per spike	عملکرد دانه Grain yield	تعداد سنبله No. of spike
تکرار Replication	2	23.32	422.11	5.04	4.624	6.39	0.99	148.89	4749.11	25175.75
ژنوتیپ Genotype	49	34.66 *	347.52 **	21.27 **	2.89 **	6.18 **	0.29 *	169.60 **	2599.72 *	3520.75 ^{ns}
خطا Error	98	10.97	15.85	0.84	0.92	0.26	0.19	75.46	2089.74	2919.51
ضریب تغییرات % Coefficient of Variation %	-	8.65	4.02	0.63	8.90	8.01	19.53	14.25	28.70	27.45

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مختلف ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش کم‌آبی

Table 3. ANOVA for different traits of bread wheat genotypes in water stress conditions

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square								
		وزن هزار دانه 1000-grain weight	ارتفاع بوته Plant height	روز تا خوشه‌دهی Days to heading	طول سنبله اصلی Spike length	طول ریشک Awn length	وزن سنبله Spike weight	تعداد دانه در سنبله Grain per spike	عملکرد دانه Grain yield	تعداد سنبله No. of spike
تکرار Replication	2	17.89	12.70	0.92	4.98	1.05	2.67	261.94	4700.08	6814.73
ژنوتیپ Genotype	49	55.88 **	403.18 **	21.36 **	3.36 *	6.39 **	0.25 **	19.05 **	2056.18 *	1873.67 ^{ns}
خطا Error	98	12.59	8.37	1.02	0.47	0.23	0.07	48.81	1183.13	1703.91
ضریب تغییرات % Coefficient of Variation %	-	9.85	2.86	0.70	6.31	7.82	13.82	12.77	6.89	9.30

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان از نظر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش

Table 4. Mean comparison of the bread wheat genotypes for yield under the stress and non-stress conditions

عملکرد دانه عملکرد دانه				عملکرد دانه عملکرد دانه			
ردیف	ژنوتیپ	در شرایط	در شرایط	ردیف	ژنوتیپ	در شرایط	در شرایط
Row	Genotype	بدون تنش	تنش	Row	Genotype	بدون تنش	تنش
		Grain yield in Yp [†]	Grain yield in Ys			Grain yield in Yp	Grain yield in Ys
1	مه‌دوی (Mahdavi)	142.04 ^{b-j}	101.09 ^g	26	سیستان (Sistan)	181.03 ^{a-h}	166.80 ^{a-e}
2	سپاهان (Sepahan)	145.19 ^{b-j}	108.65 ^g	27	نیک‌نژاد (Niknejad)	129.74 ^{f-j}	140.20 ^{b-g}
3	شیراز (Shiraz)	159.51 ^{b-j}	137.52 ^{c-g}	28	زرین (Zarin)	180.26 ^{a-h}	182.96 ^{abc}
4	آزادی (Azadi)	131.56 ^{e-j}	134.43 ^{c-g}	29	الوند (Alvand)	192.35 ^{a-g}	153.19 ^{b-g}
5	بهاران (Baharan)	204.57 ^{a-e}	131.82 ^{c-g}	30	پاستور (Pastor)	208.83 ^{abc}	174.09 ^{a-d}
6	سیروان (Sirvan)	169.29 ^{a-i}	113.26 ^{efg}	31	فلات (Falat)	157.90 ^{b-j}	150.79 ^g
7	بهار (Bahar)	146.23 ^{b-j}	109.82 ^{fg}	32	داراب ۲ (Darab 2)	135.89 ^{b-j}	125.98 ^{d-g}
8	پیشتاز (Pishtaz)	148.68 ^{b-j}	123.36 ^{d-g}	33	استار (Star)	94.25 ^j	106.18 ^{efg}
9	تجن (Tajan)	176.97 ^{a-h}	125.15 ^{d-g}	34	اکبری (Akbari)	183.33 ^{a-h}	149.48 ^{b-g}
10	پیشگام (Pishgam)	152.17 ^{b-j}	122.13 ^{d-g}	35	هیرمند (Hirmand)	163.35 ^{b-j}	174.57 ^{a-d}
11	شیروودی (Shiroodi)	240.34 ^a	210.38 ^a	36	مهرگان (Mehregan)	169.78 ^{a-i}	151.75 ^{b-g}
12	اروم (Oroum)	197.93 ^{a-i}	185.36 ^{abc}	37	بک کراس روشن بهاره (Spring BC Roushan)	155.67 ^{b-j}	130.03 ^{c-g}
13	دریا (Darya)	136.10 ^{b-j}	121.51 ^{d-g}	38	باز (Bazh)	158.74 ^{b-j}	154.43 ^{b-g}
14	دز (Dez)	188.01 ^{a-g}	145.01 ^{c-g}	39	شعله (Shole)	158.25 ^{b-j}	110.37 ^{fg}
15	روشن (Roushan)	169.29 ^{a-i}	150.17 ^{b-g}	40	زاگرس (Zagros)	135.68 ^{c-j}	137.04 ^{c-g}
16	مروارید (Morvarid)	142.74 ^{b-j}	102.54 ^g	41	گهر (Gahar)	101.80 ^{ij}	103.57 ^g
17	مغان ۳ (Moghan3)	199.61 ^{a-f}	152.44 ^{b-g}	42	چمران (Chamran)	139.11 ^{b-j}	122.06 ^{d-g}
18	کویر (Kavir)	167.89 ^{a-j}	146.73 ^{b-g}	43	چمران ۲ (Chamran 2)	119.13 ^{g-j}	109.82 ^{fg}
19	قدس (Qods)	205.69 ^{a-d}	132.02 ^{c-g}	44	کاروان ۱ (Caravan 1)	157.13 ^{b-j}	137.04 ^{c-g}
20	بم (Bam)	161.95 ^{b-j}	122.33 ^{d-g}	45	چناب ۲۶۷ (Chenab 267)	135.68 ^{c-j}	146.25 ^{b-g}
21	آرتا (Arta)	120.38 ^{g-j}	112.85 ^{efg}	46	Ws-82-9	159.02 ^{b-j}	170.17 ^{a-d}
22	ویریناک (Vierynak)	133.17 ^{d-j}	123.57 ^{d-g}	47	Weebille 264	164.12 ^{b-j}	162.27 ^{a-f}
23	افلاک (Aflak)	157.62 ^{b-j}	112.02 ^{efg}	48	S-90-5	168.59 ^{a-i}	200.96 ^{ab}
24	افق (Ofogh)	209.81 ^{ab}	153.81 ^{b-g}	49	Irena//babax-pastor	146.09 ^{b-j}	140.82 ^{c-g}
25	ارگ (Arg)	111.30 ^{hij}	101.30 ^g	50	Dharwar Dry/Nesser 265	148.05 ^{b-j}	143.71 ^{c-g}

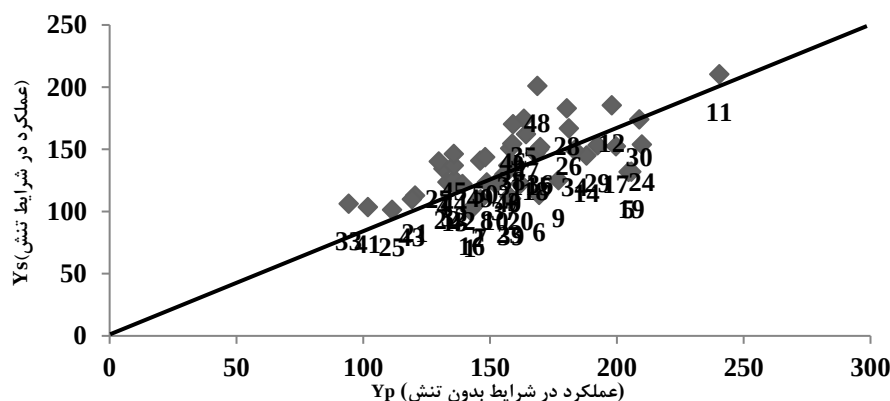
†: حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در هر یک از شرایط مورد بررسی (تنش و بدون تنش کم‌آبی) می‌باشد.

‡: Common letters in each column indicate no significant in each of conditions (stress and non- stress).

باز، گهر، چمران ۲، کاروان ۱، Ws-82-9، Weebille 264، Dharwar Dry/ Nesser و Irena// babax- pastor، S-90-5 265 بودند (شکل ۱).

مقادیر شاخص‌های مقاومت به کم‌آبی طبق فرمول‌های ارائه شده برای ژنوتیپ‌های گندم در جدول (۵) تنظیم گردیده‌اند. در این آزمایش، شدت تنش (SI) برابر ۰/۱۳ برآورد شد. جهت شناسایی متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش کم‌آبی با استفاده از مناسب‌ترین شاخص یا شاخص‌ها، از هشت شاخص تحمل و حساسیت به خشکی استفاده گردید (جدول ۵).

به‌منظور تجزیه و تحلیل گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌ها، از نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها برای عملکرد در دو شرایط تنش و بدون تنش کم‌آبی به همراه خط ۱:۱ استفاده گردید (شکل ۱). همان‌گونه که عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط آبی و تنش کم‌آبی نشان داد ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالاتری در هر دو شرایط بودند بالای خط ۱:۱ قرار گرفتند (شکل ۱). در کل ۲۰ ژنوتیپ بالاتر از خط ۱:۱ قرار گرفتند که نشان داد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش وضعیت بهتری داشته که شامل ژنوتیپ‌های شیروودی، اروم، آزادی، آرتا، ارگ، سیستان، نیک‌نژاد، زرین، فلات، استار، هیرمند،



شکل ۱- تجزیه گرافیکی عملکرد همراه با خط ۱:۱ ژنوتیپ‌های گندم نان در دو شرایط تنش و بدون تنش آبی

Figure 1. Graphical analysis with 1:1 line of yield of bread wheat genotypes under both stress and non-stress conditions

جدول ۵- برآورد میزان حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌ها توسط شاخص‌های مختلف تحمل به تنش کم‌آبی

Table 5. Estimation of susceptibility or tolerance of genotypes by different drought tolerance indices

Table 3. Estimation of susceptibility or tolerance of genotypes by different drought tolerance indices										
ژنوتیپ ردیف	شاخص عملکرد	شاخص پایداری	شاخص تحمل	میانگین میانگین هندسی	شاخص عملکرد بدون تنش	شاخص عملکرد تحت تنش	میانگین حساسی	میانگین تحمل	شاخص حساسیت به تنش	شاخص عملکرد
Row Genotype	Yp	Ys	TOL	GMP	MP	HM	STI	SSI	YSI	YI
1 مهدوی Mahdavi	142.04	101.09	40.94	119.83	121.56	118.11	0.56	2.21	0.71	0.73
2 سپاهان Sepahan	145.18	108.65	36.53	125.59	126.91	124.91	0.62	1.92	0.74	0.78
3 شیراز Shiraz	159.50	137.52	21.98	148.10	148.51	147.71	0.86	1.05	0.86	0.99
4 آزادی Azadi	131.56	134.42	-2.86	132.98	132.99	132.97	0.69	-0.16	1.02	0.97
5 بهاران Baharan	204.57	131.81	72.75	164.21	168.19	160.32	1.06	2.72	0.64	0.95
6 سیروان Sirvan	169.28	113.25	56.03	138.46	141.27	135.71	0.75	2.53	0.66	0.81
7 بهار Bahar	146.23	109.8	36.41	126.72	128.02	125.43	0.63	1.90	0.75	0.79
8 پیشتاز Pishtaz	148.67	123.36	25.31	135.43	136.02	134.84	0.72	1.30	0.82	0.89
9 تاجن Tajan	176.97	125.15	51.82	148.82	151.06	146.61	0.87	2.24	0.70	0.90
10 پیشگام Pishgam	152.17	122.12	30.04	136.32	137.14	135.50	0.73	1.51	0.80	0.88
11 شیروودی Shiroodi	240.34	210.37	29.96	224.86	225.36	224.36	1.99	0.95	0.87	1.51
12 اروم Oroum	197.93	185.36	12.57	191.54	191.64	191.44	1.44	0.48	0.93	1.33
13 دریا Darya	136.1	121.50	14.59	128.59	128.80	128.39	0.65	0.82	0.89	0.87
14 دز Dez	188.01	145.01	42.99	165.12	166.51	163.73	1.07	1.75	0.77	1.04
15 روشن Roushan	169.28	150.16	19.12	159.44	159.72	159.15	1.002	0.86	0.88	1.08
16 مروارید Morvarid	142.74	102.53	40.20	120.97	122.63	119.34	0.57	2.16	0.71	0.74
17 مغان ۳ Moghan3	199.61	152.43	47.17	174.43	176.02	172.86	1.20	1.81	0.76	1.10
18 کویر Kavir	167.89	146.73	21.15	156.95	157.31	156.60	0.97	0.96	0.87	1.05
19 قدس Qods	205.69	132.02	73.66	164.79	168.85	160.82	1.07	2.74	0.64	0.95

ادامه جدول ۵
Table 5. Continued

ردیف Row	ژنوتیپ Genotype	عملکرد بدون تنش Yp	عملکرد تنش Ys	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی بهره‌وری GMP	میانگین حسابی MP	میانگین هارمونیک HM	شاخص تحمل به تنش STI	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص پایداری عملکرد YSI	شاخص عملکرد YI
20	Bam	161.95	122.33	39.62	140.75	142.14	139.38	0.78	1.87	0.75	0.88
21	آرتا Arta	120.38	112.84	7.5	116.55	116.61	116.49	0.53	0.48	0.93	0.81
22	ویریناک Vierynak	133.16	123.56	9.59	128.27	128.36	128.18	0.64	0.55	0.92	0.89
23	افلاک Aflak	157.62	112.02	45.59	132.88	134.82	130.96	0.69	2.21	0.71	0.80
24	افق Ofogh	209.81	153.81	56.00	179.64	181.81	177.49	1.27	2.04	0.73	1.11
25	ارگ Arg	111.30	101.29	10.00	106.18	106.29	106.06	0.44	0.68	0.91	0.73
26	سیستان Sistan	181.02	166.80	14.22	173.76	173.91	173.62	1.19	0.60	0.92	1.20
27	نیک‌نژاد Niknejad	129.74	140.20	-10.45	134.87	134.97	134.77	0.71	-0.61	1.08	1.01
28	زرین Zarin	180.25	182.95	-2.69	181.61	181.60	181.59	1.30	-0.11	1.01	1.32
29	الوند Alvand	192.34	153.19	39.152	171.65	172.76	170.55	1.16	1.56	0.79	1.10
30	پاستور Pastor	208.83	174.08	34.74	190.67	191.46	189.88	1.43	1.27	0.83	1.25
31	فلات Falat	157.90	150.78	7.11	154.30	154.34	154.26	0.93	0.34	0.95	1.08
32	داراب ۲ Darab 2	135.89	125.97	9.91	130.84	130.93	130.74	0.67	0.55	0.92	0.90
33	استار Star	94.25	106.17	-11.92	100.03	100.21	99.86	0.39	-0.97	1.12	0.76
34	اکبری Akbari	183.33	149.48	33.85	165.54	166.40	164.68	1.08	1.41	0.81	1.079
35	هیرمند Hirmand	163.35	174.56	-11.21	168.86	168.96	168.77	1.12	-0.52	1.06	1.26
36	مهرگان Mehregan	169.77	151.75	18.02	160.51	160.76	160.25	1.01	0.81	0.89	1.09
37	بک‌کراس روشن بهاره Spring BC Roushan	155.66	130.03	25.63	142.27	142.84	141.69	0.79	1.26	0.83	0.93
38	باز Bazh	158.73	154.43	4.30	156.57	156.58	156.55	0.96	0.20	0.97	1.11
39	شعله Shole	158.25	110.37	47.87	132.16	134.31	130.04	0.68	2.32	0.69	0.79
40	زاگرس Zagros	135.68	137.04	-1.35	136.36	136.36	136.35	0.73	-0.07	1.01	0.98
41	گهر Gahar	101.79	103.56	-1.76	102.67	102.68	102.67	0.41	-0.13	1.01	0.74
42	چمران Chamran	139.10	122.05	17.04	130.30	130.58	130.02	0.66	0.94	0.87	0.88
43	چمران ۲ Chamran 2	119.12	109.82	9.30	114.37	114.47	114.28	0.51	0.59	0.92	0.79
44	کاروان ۱ Caravan 1	157.13	137.04	20.09	146.74	147.08	146.40	0.84	0.98	0.87	0.98
45	چناب ۲۶۷ Chenab 267	135.68	146.25	-10.56	140.86	140.96	140.76	0.78	-0.59	1.07	1.05
46	Ws-82-9	159.01	170.17	-11.15	164.50	164.59	164.40	1.06	-0.53	1.07	1.22
47	Weebille 264	164.11	162.26	1.85	163.19	163.19	163.18	1.05	0.08	0.98	1.17
48	S-90-5	168.59	200.96	-32.37	184.06	184.77	183.35	1.33	-1.47	1.19	1.45
49	Irena/babax-pastor	146.09	140.82	5.27	143.43	143.45	143.40	0.81	0.27	0.96	1.01
50	Dharwar Dry/Nesser 265	148.05	143.70	4.34	145.86	145.87	145.84	0.83	0.22	0.97	1.03

SI= 0.13

SI: شدت تنش؛ Yp: عملکرد بدون تنش؛ Ys: عملکرد تنش؛ TOL: شاخص تحمل؛ GMP: میانگین هندسی بهره‌وری؛ MP: میانگین حسابی؛ HM: میانگین هارمونیک؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ YSI: شاخص پایداری عملکرد؛ YI: شاخص عملکرد
SI: Stress Intensity; Yp: Yield under non-stress conditions; Ys: Yield under stress conditions; TOL: Tolerance Index; GMP: Geometric Mean Productivity; MP: Mean Productivity; HM: Harmonic Mean; STI: Stress Tolerance Index; SSI: Stress Susceptibility Index; YSI: Yield Stability Index; YI: Yield Index.

بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) که مقادیر پائین عددی آن نشان دهنده تحمل بالاتر ژنوتیپ نسبت به تنش می‌باشد (Choukan et al., 2006)، ژنوتیپ‌های S-90-5 و استار به ترتیب با عملکردهای ۲۰۰/۹۶ و ۱۰۶/۱۷ گرم در مترمربع به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و ژنوتیپ‌های بهاران و قدس با عملکردهای ۱۳۱/۸۱ و ۱۳۲/۰۲ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. در شاخص تحمل (TOL) نیز مقادیر عددی پائین، نشان دهنده تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها می‌باشد، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص نیز مشخص کرد که ژنوتیپ‌های S-90-5 و استار متحمل می‌باشند. برتری این دو ژنوتیپ از نظر شاخص‌های SSI و TOL نه به دلیل تولید عملکرد مناسب در شرایط تنش، بلکه صرفاً به دلیل پائین بودن درصد تغییرات عملکرد، توسط این شاخص‌ها به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش معرفی شدند و از آنجایی که پائین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور مقاومت به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیکی دارد تا زراعی، می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و تحمل (TOL) باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد نسبتاً پائین در محیط عادی و عملکرد پائین در محیط دارای تنش می‌گردد که چنین ژنوتیپ‌هایی مطابق با گزارش‌های شنایدر و همکاران (۱۹۹۷) به علت عملکرد پائین، از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند.

از نظر شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) که مقادیر بالای شاخص، نشان دهنده متحمل‌تر بودن ژنوتیپ‌ها می‌باشد، ژنوتیپ‌های شیروودی، اروم و پاستور به ترتیب با عملکردهای ۲۱۰/۳۷، ۱۸۵/۳۸ و ۱۷۴/۰۸ به‌عنوان لاین‌های متحمل به تنش تعیین شدند.

استفاده از شاخص بهره‌وری متوسط (MP) که مقادیر بالای عددی آن نشان دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، اغلب منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط عادی ولی کم‌تحمل به شرایط تنش می‌گردد. در این بررسی، شاخص بهره‌وری متوسط ژنوتیپ‌های شیروودی، اروم و پاستور را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی کرد؛ بنابراین شاخص MP گزینش را به‌سوی ژنوتیپ‌های پربازده در هر دو شرایط دارای تنش و بدون تنش سوق می‌دهد. نتایج بررسی با

نتایج صابری و همکاران که اعلام نمود شاخص MP در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش نسبت به شاخص‌های SSI و TOL بهتر عمل می‌کند کاملاً مطابقت دارد (Saber et al., 2013). با استفاده از شاخص میانگین هارمونیک (HM) که مقادیر بالای عددی آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد، ژنوتیپ‌های شیروودی، اروم و پاستور به‌عنوان لاین‌های متحمل به تنش معرفی گردیدند.

نتایج حاصل از بررسی میزان همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی در جدول ۶ آمده است. به‌طور کلی، شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می‌شوند. زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند. با توجه به وضعیت همبستگی عملکردهای محیط تنش (Ys) و غیرتنش (Yp) (**۰/۶۵) مشخص گردید که به‌طور کلی انتخاب بر اساس عملکرد در هر دو شرایط می‌تواند ژنوتیپ‌های پرمحصول و با پایداری عملکرد خوب را حاصل نماید. در همین راستا و با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف و عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط بدون تنش و تنش، ملاحظه می‌شود که شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین حساسی (MP)، شاخص عملکرد (YI) و میانگین هارمونیک (HM) دارای ویژگی ذکر شده می‌باشند. این شاخص‌ها با عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش همبستگی بالا و مثبتی دارند که بیانگر ارتباط نزدیک بین عملکرد در دو شرایط می‌باشد؛ بر این اساس امکان اصلاح هم‌زمان (در دو شرایط نرمال و تنش) وجود دارد (جدول ۶). ژنوتیپ‌هایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند، میزان بالایی از این شاخص‌ها را دارا می‌باشند به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند (جدول ۶). به‌عنوان مثال، ژنوتیپ‌های شیروودی، اروم، پاستور، S-90-5، افق و زرین که مقادیر بالایی از این شاخص‌ها را دارند دارای عملکرد بالایی در شرایط بدون تنش و در شرایط تنش می‌باشند.

جدول ۶- همبستگی بین شاخص‌های تحمل و یا حساسیت به کم‌آبی و عملکرد دانه در دو شرایط

Table 6. Correlation coefficient between drought tolerance/or susceptibility indices and grain yield in two conditions

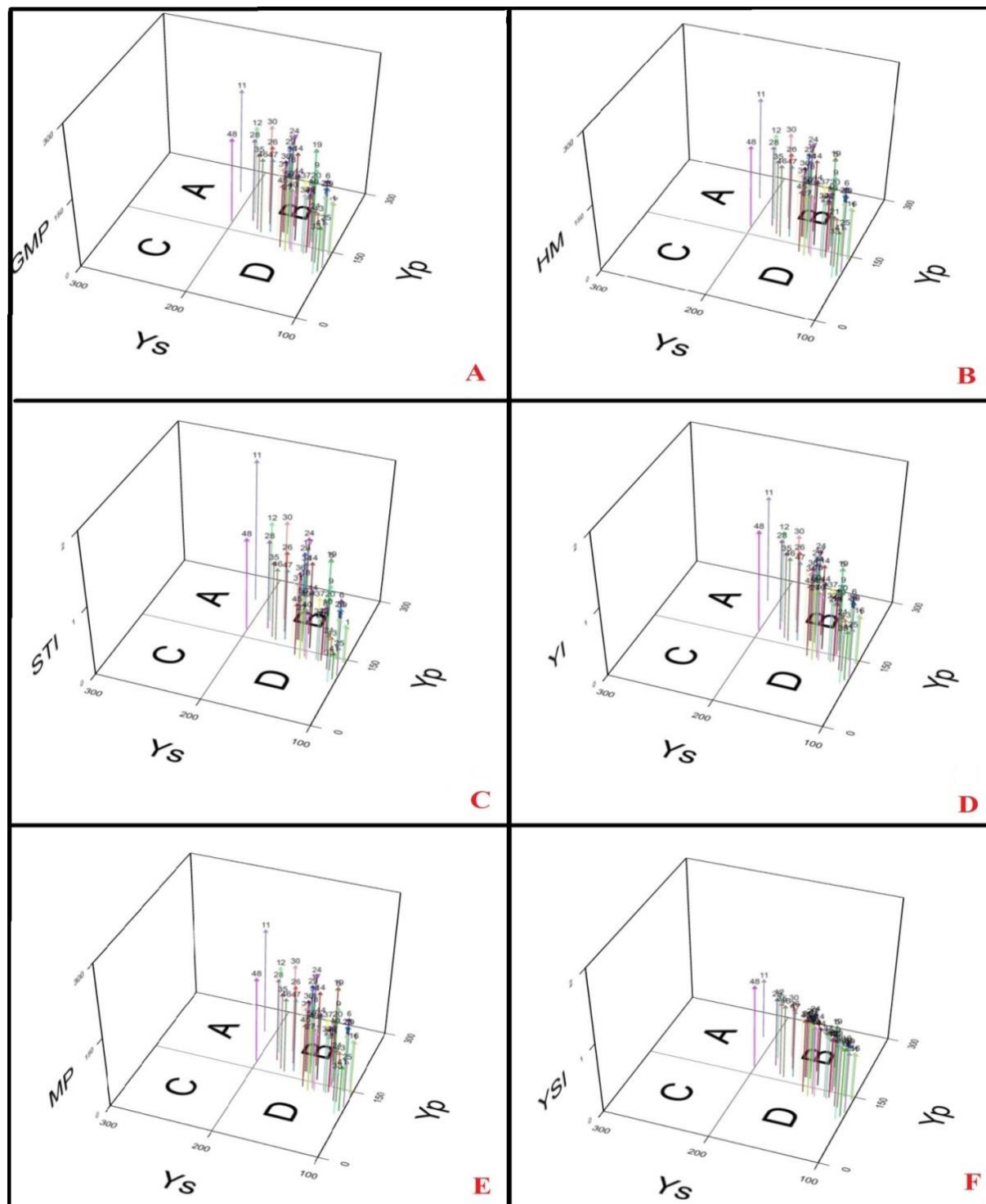
صفات Traits	عملکرد تنش Ys	عملکرد بدون تنش Yp	شاخص عملکرد YI	شاخص پایداری عملکرد YSI	شاخص حساسیت به تنش SSI	شاخص تحمل به تنش STI	میانگین هارمونیک HM	میانگین حسابی MP	میانگین هندسی بهره‌وری GMP	شاخص تحمل TOL
عملکرد تنش Ys	1	0.65**	1**	0.39 ^{ns}	-0.39 ^{ns}	0.91**	0.92**	0.89**	0.91**	-0.29 ^{ns}
عملکرد بدون تنش Yp		1	0.65**	-0.41 ^{ns}	0.41 ^{ns}	0.89**	0.89**	0.92**	0.90**	0.52**
شاخص عملکرد YI			1	0.39 ^{ns}	-0.39 ^{ns}	0.91**	0.92**	0.89**	0.91**	-0.29 ^{ns}
شاخص پایداری عملکرد YSI				1	-1**	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.97**
شاخص حساسیت به تنش SSI					1	-0.01 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.97**
شاخص تحمل به تنش STI						1	0.99**	0.99**	0.99**	0.10 ^{ns}
میانگین هارمونیک HM							1	0.99**	0.99**	0.08 ^{ns}
میانگین حسابی MP								1	0.99**	0.15 ^{ns}
میانگین هندسی بهره‌وری GMP									1	0.12 ^{ns}
شاخص تحمل TOL										1

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

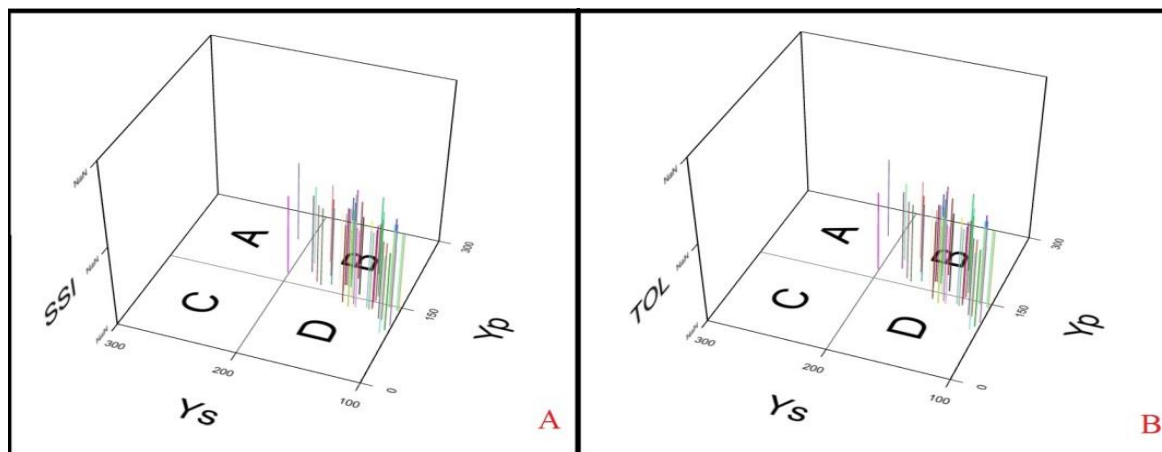
تنش معرفی کردند (Talebi *et al.*, 2009). نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج نورمند موید و همکاران (Nourmand Moayyed *et al.*, 2001) بر روی گندم نان مطابقت داشت. فرناندز اشاره می‌کند که معیار مناسب گزینش برای تعیین مقاومت یا تحمل به تنش معیاری است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه اول (A) را از گروه‌های دیگر تشخیص دهد (Fernandez, 1992). برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی با عملکرد بالا در هر دو محیط از نمودار سه‌بعدی استفاده شد (شکل‌های ۲ و ۳).

شاخص‌های STI, GMP, MP و HM به‌عنوان بهترین شاخص‌ها همبستگی مثبت خیلی بالایی با هم دارند (جدول ۶). شاخص‌های فوق همبستگی مثبت و تقریباً یکسانی در هر دو شرایط با عملکرد دانه دارند. این همبستگی بالا نشان دهنده توانایی این شاخص‌ها در ارزیابی لاین‌ها در شرایط نرمال و تنش می‌باشد، لذا می‌توان شاخص‌های فوق را به‌عنوان شاخص‌های موفق برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی برآورد و بیان نمود (Schnider *et al.*, 1997). طالبی و همکاران سه شاخص STI, GMP و MP را به‌عنوان شاخص‌هایی با بیشترین کارایی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم در شرایط



شکل ۲- نمودار سه بعدی انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم آبی با استفاده از: A- میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، B- میانگین هارمونیک (HM)، C- شاخص تحمل به تنش (STI)، D- شاخص عملکرد (YI)، E- میانگین حسابی (MP) و F- شاخص پایداری عملکرد (YSI). اعداد داخل شکل نشان‌دهنده شماره ژنوتیپ‌ها هستند (به جدول ۱ مراجعه شود).

Figure 2. 3D diagram of selection of water stress tolerant genotypes using: A-Geometric mean productivity (GMP), B-Harmonic mean (HM), C- Stress tolerance index (STI), D-Yield index (YI), E- Mean productivity (MP) and F- Yield stability index (YSI). Numbers inside the figure represent genotypes number. (see Table 1)



شکل ۳- نمودار سه‌بعدی انتخاب ژنوتیپ‌های تحمل‌کننده تنش کم‌آبی با استفاده از: A- شاخص حساسیت به تنش (SSI)، B- شاخص تحمل (TOL)

Figure 3. 3D diagram of selection of water stress tolerant genotypes using: A- Stress susceptibility index (SSI), B- Tolerance index (TOL)

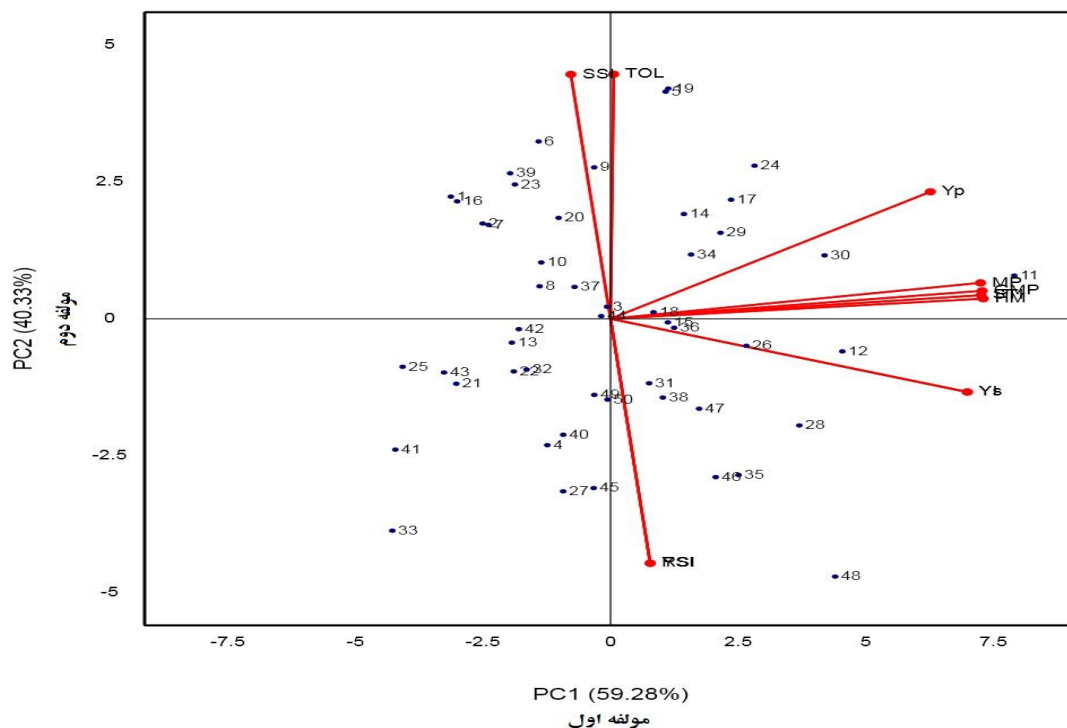
هستند، از این‌رو مؤلفه اول مؤلفه تولید در هر دو محیط و مؤلفه دوم مؤلفه تولید در محیط تنش نام گذاشته شد؛ بنابراین ناحیه با عملکرد بالا و مقاومت به کم‌آبی، در قسمت راست نمودار است که شامل ژنوتیپ‌های شیرودی، اروم، S-90-5، پاستور و زرین است. از طرف دیگر مؤلفه دوم ۴۰/۳۳ درصد از تغییرات موجود را به خود اختصاص داد (شکل ۴) و دارای همبستگی مثبت و بالایی با شاخص‌های SSI و TOL بود. از این‌رو، این مؤلفه حساسیت به تنش نامیده شد. با توجه به آنکه مقادیر پایین این شاخص‌ها مورد نظر است و با توجه به رابطه مثبت مؤلفه دوم با این شاخص‌ها، اگر میزان این مؤلفه پایین گرفته شود ژنوتیپ‌های متحمل به تنش انتخاب خواهد شد. چنین نتایجی توسط ضابط و همکاران در مورد سه رقم ماش نیز گرفته شده است (Zabet et al., 2003). حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2018) با مطالعه بر روی ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت شرایط تنش کم‌آبیاری با استفاده از نمودار پراکنش سه‌بعدی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه بای‌پلات، دو ژنوتیپ ۶ (Syrian) و ۸ (Kino-76) را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها برای شرایط تنش خشکی و عملکردترین ژنوتیپ‌ها برای شرایط بدون تنش معرفی نمودند (Hosseini et al., 2018).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود ژنوتیپ‌های شماره ۱۱ و ۴۸ که به ترتیب ژنوتیپ‌های شیرودی و S-90-5 می‌باشند، در نمودارهای هردو شکل در گروه A که نشان دهنده عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشد، قرار گرفته‌اند و این ژنوتیپ‌ها دارای STI، GMP، MP، HM، YI و YSI متوسط تا بالایی هستند که این مسئله خود سودمندی این شاخص‌ها را در جدا کردن متغیرهای گروه A از گروه‌های دیگر (B، C و D) را نشان می‌دهد.

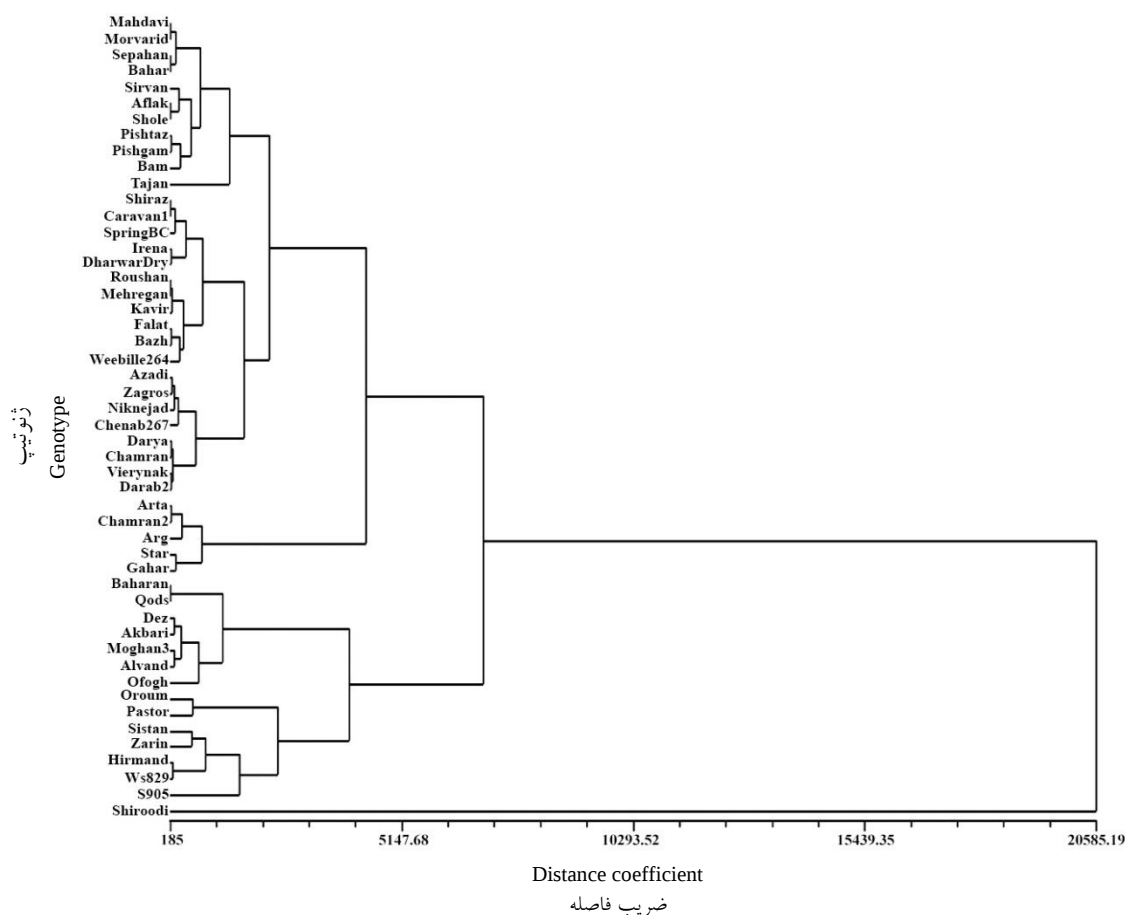
با استفاده از روش ترسیمی بای‌پلات می‌توان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تحمل به تنش کم‌آبی را در یک شکل واحد ترسیم نمود. بای‌پلات ابزار مفیدی برای تجزیه اطلاعات است و ارزیابی نظری ساختار یک ماتریس بزرگ دوطرفه را ممکن می‌سازد. بدین منظور ترسیم بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول صورت گرفت (شکل ۴). با توجه به اینکه مقادیر بالای مؤلفه اول و مقادیر پایین مؤلفه دوم مطلوب است، در این بررسی اولین مؤلفه ۵۹/۲۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود و همبستگی بالایی را با شاخص‌های MP، GMP، STI، YP، YS و HM نشان داد. از آنجا که مقادیر بالای این شاخص‌ها مطلوب است و با توجه به رابطه مثبت مؤلفه اول با این شاخص‌ها اگر میزان بالای آن انتخاب شود ژنوتیپ‌هایی گزینش می‌شوند که دارای عملکرد بالا در هر دو محیط بدون تنش و تنش

آن می‌توان به عملکرد بالای دانه در شرایط تنش کم‌آبی و تحمل بالا (حساسیت کم) به تنش کم‌آبی در آن اشاره نمود. گروه دوم شامل ۱۴ ژنوتیپ بود که عمدتاً دارای عملکرد بالا و تحمل به تنش کم‌آبی هستند که از مهم‌ترین آن‌ها (با تحمل بالا به تنش) به S-90-5، زرین، پاستور و اروم اشاره نمود. بقیه ژنوتیپ‌ها (۳۵ ژنوتیپ) در گروه سوم قرار دارند که ویژگی مهم آن‌ها پایین بودن عملکرد در محیط تنش و فاقد تنش کم‌آبی و همچنین تحمل پایین (حساسیت بالا) نسبت به تنش کم‌آبی است. زبرجدی و همکاران (Zebarjadi *et al.*, 2013) با مطالعه روی گندم‌های دوروم تحت تنش کم‌آبی نشان دادند که گروه‌بندی آن‌ها با روش UPGMA توانست ژنوتیپ‌ها را به گروه‌های حساس و مقاوم متمایز نماید.

با توجه به زوایای خطوط شاخص‌ها در نمودار با پلات، ملاحظه می‌گردد که شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و بالایی با عملکرد در شرایط تنش (Ys) و همبستگی مثبت با عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) دارند. توزیع ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش کم‌آبی نیز بیانگر وجود تنوع ژنتیکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای این صفت می‌باشد که زمینه‌ای مناسب برای اصلاح آن فراهم می‌کند. نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و فاقد تنش کم‌آبی و همچنین شاخص‌های مقاومت به کم‌آبی (جدول ۵) با روش UPGMA در شکل ۵ به صورت دندروگرام نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد خوشه‌بندی به‌خوبی توانسته است ژنوتیپ‌ها را به سه گروه متمایز نماید (شکل ۵). گروه اول که تنها شامل رقم شیروودی است و از ویژگی‌های



شکل ۴- نمایش بای‌پلات هشت شاخص تحمل به خشکی در ۵۰ ژنوتیپ گندم نان بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم
Figure 4. Biplot display of eight drought tolerance indices in 50 bread wheat genotypes based on first and second principal components



شکل ۵- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم نان بر اساس شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی با استفاده از روش UPGMA

Figure 5. Dendrogram of cluster analysis of genotypes of wheat based on different drought tolerance indices using UPGMA method

سپاسگزاری
بدین‌وسیله از مسئولین محترم بخش غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌ویژه آقای دکتر محسن اسماعیل‌زاده‌مقدم به خاطر همکاری صمیمانه در تهیه بذر تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Amini, A., Esmailzade-Moghadam, M. and Vahabzadeh, M. (2005). Genetic diversity based on agronomic performance among Iranian wheat landraces under moisture stress. *The 7th International Wheat Conference*, Mardel Plata, Argentina.
- Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P. and Royo, C. (2002). Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Annals of Botany*, **89**: 925-940.
- Azizinia, S., Ghanadha, M.R., Zali, A.A., Yazdisamadi, B. and Ahmadi, A. (2005). Evaluation and assess of quantitative traits related to drought tolerance in wheat. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, **36**: 281-292.
- Biniyaz, M. and Tavili, A. (2007). Drought and plants, drought stress, *Journal of Sonbole*, **169**: 70-75.
- Bouslama, 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.
- Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M.R. and Khodarahmi, M. (2006). Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Journal of Agricultural Science*, **8(1)**: 79-89.
- Emam, Y. (2007). *Cereal Crops Agronomy*. University Shiraz Press, Shiraz, IR (In Persian).

- Falahi, H.A., Alat Jafarbai, J. and Sayedi, F.** (2011). Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*, **27(1)**: 15- 22 (In Persian).
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M. and Safavi, S.M.** (2013). Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, **2**: 143-158.
- Fernandez, G.C.** (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Taipei, Taiwan.
- Fischer, R.A. and Maurer, R.** (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, **29**: 897-912.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R.G., Ricciardi, G.L. and Borghi, B.** (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, **77**: 523-531.
- Hosseini, S.Z., Ismaili, A. and Sohrabi, S.S.** (2018). Evaluation of drought tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress conditions. *Plant Genetic Researches*, **5(2)**: 55-72.
- Mohammadi, R., Armion, M., Kahrizi, D. and Amri, A.** (2010). Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production*, **4(1)**: 27-39.
- Nazeri, M.** (2016). Water use efficiency and water deficit tolerance indices in terminal growth stages in promising bread wheat genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, **13(4)**: 715-727 (In Persian).
- Nourizadeh, H., Ehtemam, M.H., Arzani, A. and Esmailzadeh-Moghadam, M.** (2017). Effect of moisture stress on agronomic and morphological characteristics of recombinant inbred lines in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, **14(4)**: 599-617 (In Persian).
- Nourmand Moayyed, F., Rostami, M.A. and Ghannadha, M.R.** (2001). Evaluation of drought resistance indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science*, **32(4)**: 796-805 (In Persian).
- Pour Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P.K. and Siddique, H.M.** (2019). iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences*, **7(7)**: e11278.
- Richards, R.A.** (1996). Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, **20**: 157-166.
- Rossielle, A. and Hamblin, A.J.** (1981). Theoretical aspects of selection for stress and non-stress environment. *Crop Science*, **21**: 1441-1446.
- Saberi, M.H., Nikkhah, H.R., Tajali, H. and Arazmjo, E.** (2013). Effects of terminal drought stress on yield and choosing best tolerance indices in promising lines of Barley. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, **111**: 27-34 (In Persian).
- Saeidi, M., Ahmadi, A., Postini, K. and Jahansooz, M.R.** (2007). Evaluation of germination traits of different genotypes of wheat in osmotic stress situation and their correlations with speed of emergence and drought tolerance in Farm situation. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, **11**: 281-293 (In Persian).
- Schnider, K.A., Rosales Serna, R., Ibarra Perez, F., Cazares Enriques, B., Acosta Gallegos, J.A., Ramirez Allejo, P., Wassimi, N. and Kelly, J.D.** (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, **37**: 43-50.
- 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.
- Talebi, R., Fayazi, F. and Naji, A.M.** (2009). Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat. *General and Applied Plant Physiology*, **35(1-2)**: 64-74.
- Zabet, M., Hosein Zade, A.H., Ahmadi, A. and Khialparas, F.** (2003). Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Agriculture Science*, **34 (4)**: 889-898 (In Persian).
- Zarei, S., Amini, A., Mahfoofi, S., Bihamta, M.R.** (2011). Study of genetic diversity for morpho-physiological and agronomic traits of Iranian local wheat genotypes under drought stress conditions. *International Journal of Clinical Pharmacy*, **4(4)**: 123-138.

Zebarjadi, A.R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A.R. and Mohammadi, R. (2013). Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvment Journal*, **29**: 1-12 (In Persian).

Graphical Analysis of Reaction of Bread Wheat Genotypes to Water Stress in Lorestan Province

Fatemeh Darvishnia¹, Mohammad Hadi Pahlevani^{2,*}, Khalil Zaynali Nezhad³,
Khosro Azizi⁴ and Saied Bagherikia⁵

- 1- Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
- 5- Assistant Professor, Department of Agronomy and Horticulture, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Golestan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

(Received: January 20, 2020 – Accepted: May 5, 2020)

Abstract

In order to determine the most effective indices for quantifying drought tolerance and identify genotypes that are tolerant to water stress in bread wheat, 50 bread wheat genotypes were compared in a randomized complete block design with three replications under both the non-stress dry farming with two complementary irrigation and the water stress dry farming conditions in Khorramabad, Iran. Analysis of variance showed that there was a significant difference among the genotypes in terms of all of the traits except the number of spike per area. In this study, eight indices including: Stress Tolerance Index (STI), Geometric Mean Productivity (GMP), Mean Productivity (MP), Yield Index (YI), Harmonic Mean (HM), Yield Stability Index (YSI), Stress Susceptibility Index (SSI), and Tolerance index (TOL) were calculated by using of seed yield of the genotypes under both conditions. Indices that selection based on them will improve the yield in both conditions, are considered as suitable index. STI, GMP, MP and HM were introduced as suitable index for drought resistance selection. Genotypes Shiroodi and S-90-5 were determined as the most appropriate based on 3D plot. Based on positive correlation between water stress resistance indices and yield under stress and non-stress environments, STI and GMP were the best indices. By using the Biplot method, Shiroodi, S-90-5 and Oroum genotypes were considered as high yielding potential genotypes under the both conditions. According to the results of cluster analysis, genotypes were classified into three groups based on drought tolerance indices. Graphical analysis of genotypes also showed that genotypes Shiroodi and S-90-5 were more profitable than others under both drought stress and non-drought stress conditions. These genotypes could also be used as parents caring desirable genes in the crossing programs and selection of tolerate genotypes.

Keywords: Tolerance, Stress, Index, Drought, Wheat

* Corresponding Author, E-mail: hpahlevani@gau.ac.ir