

استفاده از روش حداکثر درستمایی محدود شده در برآورد همبستگی ژنوتیپی و قابلیت توارث ویژگی‌های گندم نان (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش کم‌آبیاری

سامان والی‌زاده^۱، احمد اسماعیلی^{۲*}، هادی احمدی^۳، امیدعلی اکبرپور^۴، بیژن باجلان^۵ و اشکبوس امینی^۶

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
- ۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
- ۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
- ۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
- ۵- مربی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
- ۶- استادیار، بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰)

چکیده

سطح زیر کشت گندم در کشور ایران بیشتر به صورت دیم می‌باشد و در این شرایط تنش کم‌آبی تأثیر زیادی بر عملکرد این گیاه می‌گذارد. از این رو لازم است فعالیت‌های تحقیقاتی به‌نژادی بیشتری در خصوص تولید ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی صورت گیرد. به‌منظور برآورد وراثت‌پذیری و همبستگی ژنتیکی صفات، ۳۶ رقم و لاین گندم با استفاده از دو آزمایش مجزا (نرمال و تنش کمبود آب) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط نرمال و تنش تفاوت معنی‌داری را برای منبع محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط حداقل در سطح ۵ درصد نشان دادند. نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها نشان داد که برای شرایط نرمال ۶ عامل اول در مجموع ۸۱/۱۳ درصد و برای شرایط تنش ۵ عامل اول در مجموع ۷۴/۹۶ درصد از تغییرات را تبیین کردند. نتایج برآورد همبستگی ژنتیکی بر اساس روش حداکثر درستمایی محدود شده نشان داد که صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و تعداد دانه در سنبله بیشترین ارتباط را با عملکرد دانه دارا بودند و از این رو برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبیاری با اهمیت محسوب می‌شوند. برآورد وراثت‌پذیری بر اساس روش حداکثر درستمایی محدود شده نشان داد که صفت تعداد روز تا به سنبله رفتن در هر دو شرایط نرمال و تنش بیشترین مقادیر وراثت‌پذیری را به خود اختصاص داد.

واژگان کلیدی: تجزیه به عامل‌ها، تجزیه واریانس مرکب، گندم، وراثت‌پذیری، همبستگی ژنتیکی

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: ismaili.a@lu.ac.ir

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی سازمان خواروبار جهانی (FAO, 2010) جمعیت بشر رو به افزایش است، در حالی که منابع ما برای تولید مواد غذایی نه تنها افزایش نمی‌یابد بلکه به واسطه استفاده نادرست بشر، تغییرات اقلیمی و همچنین تغییر کاربری منابع آب و زمین‌های کشاورزی برای صنعت و شهرسازی با کاهش روبرو است. گندم (*Triticum aestivum* L.) اولین غله و مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا محسوب می‌شود و سهم عمده‌ای در تغذیه‌ای انسان دارد (Zargari, 1998). این محصول استراتژیک سالانه بیش از ۳۱ درصد از کل زمین‌های جهان را به کشت خود اختصاص می‌دهد. مطابق گزارش‌های موجود، از مجموع ۱۲/۲ میلیون هکتار اراضی زیر کشت کشور بالغ بر ۷۲ درصد به کشت گندم اختصاص داشته است که ۳۷/۵ درصد آن آبی و ۶۲/۵ درصد آن دیم است. به همین دلیل حال حاضر نیاز ضروری به تحقیقات در زمینه شناسایی، جمع‌آوری و تولید ژنوتیپ‌های متحمل و مقاوم به خشکی در گندم در کشور و به‌ویژه در استان‌هایی که کشت غالب آنها دیم است (مثل استان لرستان) احساس می‌گردد (Darvishian et al., 2016).

برای داشتن عملکرد دانه بالا به رشد سبزینه‌های خوب و گیاهانی با قدرت رویشی و زایشی مناسب نیاز است (Talei and Bahram Nejjad, 2003). استفاده از روش‌های اصلاحی یکی از راه‌کارهای افزایش عملکرد جهت دستیابی به این مهم می‌باشد (Cossa et al., 1990)؛ اما با توجه به این که عملکرد یک صفت کمی است و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود، با استفاده از تجزیه همبستگی می‌توان روابط پیچیده بین صفات و همچنین تأثیر آن‌ها بر عملکرد دانه را مشخص ساخت (Tousi-Mojarad and Bihamta, 2008).

یوسف و همکاران (Yousif et al., 2015) در بررسی برخی ژنوتیپ‌های گندم همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در بوته را گزارش کردند. محسنی و همکاران (Mohseni et al., 2015) اعلام نمودند در شرایط مطلوب

صفات تعداد سنبله در بوته، وزن هزار دانه و طول سنبله و در شرایط تنش صفات تعداد سنبله در بوته، وزن دانه در سنبله و عملکرد کاه بیشترین توجه عملکرد را دارند. سیاح و همکاران (Sayah et al., 2015) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی همبستگی ژنتیکی بالایی بین عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و طول سنبله وجود دارد. گزارش شده است که در شرایط بدون تنش تعداد دانه در سنبله و عملکرد زیست‌توده از اجزای مؤثر در افزایش عملکرد می‌باشند (Taghizadegan et al., 2015). عوامل مؤثر بر اجزای عملکرد بهترین معیار انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌باشند (Sadeh Ghoul, 2011). با توجه به اینکه صفات وزن هزار دانه، ارتفاع، تعداد سنبله در بوته و عملکرد بزرگ‌ترین ضرایب عاملی را دارند، می‌توان برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و لاین‌ها از آن‌ها استفاده کرد (Sadeh Ghoul, 2011). (Moghadam et al., 2011)

در بررسی دیگری تعداد ۴۰ لاین در آزمایش نسل‌های پیشرفته گندم به همراه ۱۱ شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند و ۱۷ صفت مورفولوژیکی در این لاین‌ها اندازه‌گیری شدند. تجزیه به عامل‌ها، ۱۵ صفت مرتبط با عملکرد و کیفیت دانه را به پنج عامل اصلی رسیدگی، خصوصیات سنبله (تعداد سنبله، طول سنبله و وزن سنبله)، خصوصیات دانه (وزن هزار دانه، عملکرد دانه در مترمربع و تعداد دانه در سنبله)، کیفیت پروتئین و پنجه‌زنی کاهش داد (Gupta et al., 1999). اکبرپور و همکاران (Akbarpour et al., 2014) در تحقیقی به منظور ارزیابی خصوصیات گندم نان ایرانی با استفاده از روش حداکثر درستی محدود شده تحت شرایط نرمال و تنش شوری، ۳۳ ژنوتیپ را در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی کشت کردند. آن‌ها با استفاده از برآوردهای مختلف به روش REML (Restricted maximum likelihood) نشان دادند که صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت دارای تنوع ژنتیکی در شرایط نرمال و تنش شوری بودند؛ ولی در بررسی آن‌ها با استفاده از روش

شد و در انتهای فصل رشد (مرحله گلدهی و پر شدن دانه) جهت اطمینان از وضعیت رطوبت خاک یک روز در میان رطوبت خاک بررسی گردید. اسامی صفات مورد مطالعه در (جدول ۲) آورده شده است. با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر، کلروفیل برگ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. پس از کالیبره کردن دستگاه، با انتخاب برگ‌های پرچم بالغ ۵ بوته که به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند، طبق دستورالعمل نقطه حساس دستگاه، بر قسمت میانی برگ قرار داده شد و عدد خوانده شده توسط دستگاه، ثبت گردید.

تجزیه به عامل‌ها، برآورد همبستگی ژنتیکی و وراثت‌پذیری با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.1 انجام شد و گراف مربوط به صفات توسط نرم‌افزار GGE biplot ترسیم گردید. مدل مختلط یک مدل آماری است که حاوی هر دو اثرات ثابت (یعنی پارامترهایی که مرتبط با تمامی جمعیت و یا سطوح تکراردار آزمایش) و تصادفی (یعنی واحدهای آزمایشی که به‌طور تصادفی از یک جمعیت گرفته شده‌اند) می‌باشد. روش‌های مختلط قادر به تحلیل داده‌های مختلف مثل داده‌های نامتعادل، داده‌های مربوط به زمان‌های مختلف و برآورد مؤلفه‌های واریانس (مثل واریانس و کوواریانس) می‌باشند. روش REML جایگزینی برای روش مانوا (MANOVA: Multivariable Analyze of Variance) است و مشکلات آن را ندارد (Mode and Robinson, 1959). این روش آن قسمت از درستنمایی که به اثرات ثابت بستگی ندارد را حداکثر می‌نماید (Akbarpour, 2017). قابل‌ذکر است که در حالت متعادل برآوردهای روش REML شبیه روش‌های آنوا می‌باشد (Lynch and Walsh, 1998) و با استفاده از روش REML آزمون تعداد زیادی فرض امکان‌پذیر است. در این تحقیق نیز برای برآورد ضرایب همبستگی ژنتیکی و وراثت‌پذیری‌ها از این روش استفاده گردید. همبستگی ژنتیکی بین صفات i و j با استفاده از واریانس ژنوتیپی و اجزاء واریانس برآورد شده بر اساس روش REML به شرح زیر محاسبه شد (Wright, 1998):

$$r_{gij} = \frac{\sigma_{Gij}}{\sigma_{Gi} \times \sigma_{Gj}}$$

REML، اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط برای هیچ‌کدام از صفات مشاهده نشد. همچنین همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با زیست‌توده (۰/۹۷) و شاخص برداشت (۰/۹۴) در دو شرایط نرمال و تنش شوری و همبستگی منفی و معنی‌داری بین عملکرد دانه و تعداد روز تا رسیدگی (۰/۳۲-) در شرایط تنش شوری مشاهده شد (Akbarpour et al., 2014).

هدف از این تحقیق بررسی همبستگی ژنوتیپی صفات مرتبط با عملکرد دانه و تعیین وراثت‌پذیری آن‌ها بر اساس روش REML و گروه‌بندی این صفات به روش تحلیل عاملی تحت شرایط نرمال و تنش کم‌آبی در گندم نان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد، کیلومتر ۱۲ جاده اندیمشک با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۲۱۰ متر و متوسط بارندگی سالیانه ۴۴۲/۵ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و اقلیم نیمه‌خشک انجام گردید. از دو آزمایش مجزا به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۶ ژنوتیپ مختلف (جدول ۱) در سه تکرار برای هر کدام از دو تیمار آبیاری بدون تنش و تنش رطوبتی استفاده شد. فاصله کرت‌ها از هم ۵۰ سانتی‌متر بود و بذور روی پنج خط دو متری در هر کرت کشت شدند. فاصله بین بلوک‌ها دو متر و فاصله بین مکان عدم تنش و تنش کم‌آبیاری ۱۰ متر در نظر گرفته شد. عملیات زراعی از جمله کاشت، داشت، اضافه نمودن کود مطابق عرف منطقه صورت گرفت. کلیه مراحل آبیاری در دو آزمایش به‌صورت مشابه صورت گرفت و در مرحله بعد از مرحله به سنبله رفتن (مصادف با انتهای فصل رشد)، در محیط تنش آبیاری قطع شد ولی در محیط نرمال آبیاری صورت گرفت. قابل‌ذکر است که طی فصل رشد، آبیاری برحسب درصد رطوبت خاک، نوع بافت خاک، میزان بارندگی و سایر شرایط صورت گرفت. جهت بررسی رطوبت خاک با استفاده از روش وزنی، چند نقطه از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری

$$H_{\text{plot-basis}} = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 G + \sigma^2 GE + \sigma^2 g}$$

$$H_{\text{bulkcd - sample - basis}} = \frac{\sigma^2 G}{\sigma^2 G + \sigma^2 GE}$$

که در آن $\sigma^2 G$ نشان دهنده واریانس ژنوتیپ، σ^2_{GE} نشان دهنده واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و σ^2_g نشان دهنده واریانس خطا است.

در این فرمول، σ^2_{Gij} نشان دهنده واریانس ژنوتیپی بین صفات i و j ؛ σ^2_{Gi} نشان دهنده انحراف معیار ژنوتیپی برای صفت i و σ^2_{Gj} نشان دهنده انحراف معیار ژنوتیپی برای صفت j می باشد. وراثت پذیری و خطای استاندارد آن در یک طرح پایه براساس روش Main plot به ترتیب زیر محاسبه گردید (Lynch and Walsh, 1998):

جدول ۱- اسامی ژنوتیپ های گندم و مشخصات شجره یا منطقه آن ها

Table 1. Name of wheat genotypes with their pedigree or location

ژنوتیپ Genotype	شجره / منطقه Pedigree / Region	ژنوتیپ Genotype	شجره / منطقه Pedigree / Region
BUMI1	یزد Yazd	FALAT	ایران Iran
BUMI3	شاه پسند × آتیلا Atila × Shahpasand	STAR	ایران Iran
BUMI4	شیراز Shiraz	SHIRAZ	ایران Iran
BUMI5	ایران Iran	SALT18	Nad/Ww//Lee/Fn.../3/Attila-50Y
BUMI6	ایران Iran	SALT19	1-66-22//Bow"s"/crow"s"/3Kavir
BUMI7	ایران Iran	SALT20	Daibra/Mam
BUMI8	ایران Iran	SALT21	Emu"s"/Tj84-1543//1-27-7876/Cndr/3/1-66-22
BUMI9	بوشهر Boushehr	SALT22	GF-gy54/Attila
BUMI10	ایران Iran	SALT23	GKzombor/ZM
BUMI12	مشهد Mashhad	SALT24	Ombu/Alamo//Alvd/3/Kauz/stm
BUMI13	مشهد Mashhad	SALT25	Ombu/Alamo//Mahooti/3/1-66-22
BUMI14	ایران Iran	SALT26	Sakha8/Darab#2//1-66-22
BUMI15	ایران Iran	SALT27	Hmd//1-66-22//Inia
BUMI16	اصفهان Isfahan	SALT28	Hmd//1-66-22//Inia
BUMI17	مشهد Mashhad	SALT29	1-66-22/3/Alvd//Aldan/Las
BEZOSTAia	ایران Iran	SALT30	Desprez80/Rsh//1-66-22//Inia
DEZ	ایران Iran	ZARIN	ایران Iran
DN11	ایران Iran	ZAGROS	ایران Iran

جدول ۲- صفات مورد مطالعه و علامت اختصاری آنها

Table 2. Evaluated traits and their symbols

علامت اختصاری Symbol	Traits	صفات
OL	Length of awn (cm)	طول ریشک (cm)
KPS	Kernel per spike	تعداد دانه در سنبله
NSP	Number of spikes per plant	تعداد سنبله در بوته
SNPS	Spikelet number per spike	تعداد سنبلچه در سنبله
FL	Flag leaf length (cm)	طول برگ پرچم (cm)
HKW	Hundred kernel weight (g)	وزن صد دانه (g)
KWS	Kernel weight per spike (g)	وزن دانه در سنبله (g)
SW	Spike weight (g)	وزن سنبله (g)
CPC	Chlorophyll content	محتوای کلروفیل
PLH	Plant height (cm)	ارتفاع گیاه (cm)
DHE	Days to heading	روز تا سنبله رفتن
DMA	Days to maturity	روز تا رسیدگی کامل
FLH	Flag leaf height (cm)	ارتفاع تا برگ پرچم (cm)
HWS	Height without spike (cm)	ارتفاع بدون سنبله (cm)
GY	Grain yield (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)
BM	Biomass (kg/ha)	عملکرد زیست‌توده (kg/ha)
LS	Length of spike (cm)	طول سنبله (cm)
LP	Length of peduncle (cm)	طول پدانکل (cm)
LXT	Length of extrusion (cm)	طول اکستروژن (قسمت بیرون آمده پدانکل) (cm)
HI	Harvest index (%)	شاخص برداشت (%)

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب: نتایج تجزیه مرکب برای صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط عدم تنش و تنش نشان داد که بیشتر صفات تفاوت معنی‌داری را برای محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط حداقل در سطح ۵ درصد نشان دادند (جدول ۳). به‌عبارتی بین شرایط مختلف محیطی (آبیاری و تنش) از نظر صفات به‌غیر از تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در

سنبله، میزان کلروفیل برگ و طول اکستروژن اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نشان می‌دهد تنش کمبود آب سبب کاهش ارزش صفات مذکور شده است. بین ژنوتیپ‌ها نیز از نظر کلیه صفات به‌جز طول برگ پرچم و تعداد سنبله در بوته تفاوت معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای کلیه صفات به‌جز وزن صد دانه، تعداد سنبله در بوته و طول برگ پرچم معنی‌دار بود که نشان دهنده عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در مورد صفات مذکور است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش و عدم تنش

Table 3. Combined analysis of variance of traits in wheat genotypes under stress and non-stress conditions

منبع تغییرات S.O.V	DF	میانگین مربعات Mean squares																			
		OL	KPS	NSP	SNPS	FL	HKW	KWS	SW	CPC	PLH	DHE	DMA	FLH	HWS	GY	BM	LS	LP	LXT	HI
محیط Environment	1	8.87**	81.51 ^{ns}	6464.2**	7.55 ^{ns}	22.8*	6.86**	44.62**	77.19**	2.33 ^{ns}	7473.2**	442.04**	737**	6082**	6566.8**	50590430**	574799876**	29.28**	302.7**	31.8 ^{ns}	0.012*
محیط/تکرار R/E	4	0.56	30.6	235.9	0.63	17.05	1.46	4.44	8.02	155.01	762.4	10.06	16.05	313.6	753.8	5393426	44733408	1.16	193.5	114.3	0.009
ژنوتیپ Genotype	35	14.68**	170.6**	65.52 ^{ns}	5**	4.03 ^{ns}	1.03**	3.43*	6.36**	34.87*	179.7**	121.8**	71.8**	176.8**	163.8**	3002003**	14885441**	2.58**	41.8**	25.7**	0.01**
ژنوتیپ×محیط G×E	35	7.46**	110.2**	55.74 ^{ns}	8.46**	3.3 ^{ns}	0.32 ^{ns}	3.05*	5.03*	34*	137.2**	114.05**	42.1**	63.2**	131.9**	159684*	7690686*	1.33*	40.5**	41.1**	0.0065**
خطا Error	140	0.54	39.7	59.74	1.96	3.95	0.28	1.98	2.97	20.15	58.3	3.85	8.4	30.9	54.9	979087	4869635	0.88	12.2	11.9	0.003

ns: * و **: بدترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد

ns, * and **: Non significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

طول خوشک: OL; تعداد دانه در سنبله: NSP; تعداد سنبله در بوته: SNPS; تعداد سنبله در سنبله: NSP; طول برگ: FL; طول برگ: FL; وزن صد دانه: KWS; وزن صد دانه: HKW; محتوای کلروفیل: CPC; طول: LP; ارتفاع گیاه: PLH; روز تا سنبله رفتن (خوشه رفتن): DMA; روز تا رسیدگی کامل: FLH; ارتفاع تا برگ پرچم: HWS; ارتفاع بدون سنبله: GY; عملکرد دانه: BM; عملکرد زیست توده: LS; طول سنبله: LP; پدانکل: LXT; طول اکسترون (قسمت بیرون آمده پدانکل): HI; شاخص برداشت

OL: Length of awn; KPS: Kernel per spike; NSP: Number of spikes per plant; SNPS: Spikelet number per spike; FL: Flag leaf length; HKW: Hundred kernel weight; KWS: Kernel weight per spike; SW: Spike weight; CPC: Chlorophyll content; PLH: Plant height; DHE: Days to heading; DMA: Days to maturity; FLH: Flag leaf height; HWS: Height without spike; GY: Grain yield; BM: Biomass; LS: Length of spike; LP: Length of peduncle; LXT: Length of extrusion; HI: Harvest index

در شرایط بدون تنش به ترتیب صفات وزن دانه در سنبله، وزن سنبله، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت دارای ضرایب مثبت و بزرگ بودند؛ بنابراین این عامل، عامل اجزای مؤثر بر عملکرد دانه نام‌گذاری شد. عامل دوم به ترتیب برای صفات ارتفاع بدون سنبله، طول پدانکل و طول اکستروژن دارای ضرایب مثبت و بزرگ بود و برای صفت ارتفاع گیاه دارای ضریب بزرگ و منفی بود؛ بنابراین عامل دوم، عامل مؤثر بر ارتفاع گیاه نام‌گذاری شد. عامل سوم به دلیل داشتن ضرایب مثبت و بزرگ به ترتیب برای صفات تعداد روز تا رسیدگی کامل، تعداد روز تا سنبله رفتن و ارتفاع گیاه عامل مؤثر بر رسیدگی نام‌گذاری شد (جدول ۵). صادق قول مقدم و همکاران (Sadegh Ghouli, 2011) نیز تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله را به عنوان عامل مؤثر بر اجزای عملکرد معرفی کردند. در جدول ۶ مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس در شرایط تنش مشاهده می‌شود. در شرایط تنش پنج عامل اول دارای مقادیر ریشه‌ای بزرگ‌تر از یک بودند و معنی دار شدند. پنج عامل اول در مجموع ۷۴/۹۶ درصد از تغییرات را توجیه نمودند. عامل‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۷/۱۲، ۱۷/۰۳ و ۹/۵ درصد از تغییرات را در بر گرفتند. از عامل‌های ۴ و ۵ به دلیل تأثیرگذاری کم چشم‌پوشی شد.

اکبرپور و همکاران (Akbarpour *et al.*, 2014) گزارش کردند که برآوردهای مختلف به روش REML نشان داد که صفات عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت دارای تنوع ژنتیکی در شرایط نرمال و تنش شوری بودند که از این تنوع می‌توان در برنامه‌های اصلاحی گندم برای تحمل به شوری استفاده کرد. همچنین با استفاده از روش REML اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای هیچ کدام از صفات به‌ویژه عملکرد که یکی از مهم‌ترین صفات برای ارزیابی تحمل به تنش شوری در گندم است، مشاهده نشد. **تجزیه به عامل‌ها:** نتایج حاصل از تجزیه به عامل برای شرایط بدون تنش و تنش در جداول ۴، ۵، ۶ و ۷ آورده شده است. در جدول ۴ مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس در شرایط بدون تنش مشاهده می‌شود. در شرایط بدون تنش بر اساس ریشه‌های بزرگ‌تر از یک، شش عامل اول معنی‌دار شدند که در مجموع ۸۱/۱۳ درصد از تغییرات را توجیه کردند. سه عامل اول بیشترین تغییرات را شامل شدند و به ترتیب ۳۵/۱۷، ۱۴/۹۸ و ۱۳/۵۷ درصد از تغییرات را توجیه نمودند. از عامل‌های ۴، ۵ و ۶ به دلیل میزان تأثیرگذاری کم چشم‌پوشی شد. حیدری و همکاران (Heydari *et al.*, 2008) در آزمایشی ۱۵۷ لاین دابل‌هاپلوئید گندم را بررسی نمودند و گزارش کردند که با استفاده در تجزیه به عامل‌ها، پنج عامل وارد مدل شدند که ۹۳/۷۳ درصد از تنوع کل داده‌ها را توجیه نمودند. برای عامل اول

جدول ۴- مقادیر ویژه، واریانس نسبی و درصد واریانس تجمعی در تجزیه به عامل‌ها در شرایط نرمال

Table 4. Eigen values, relative variance and cumulative variance in factor analysis under normal condition

عامل‌ها Factors	مقادیر ویژه Eigenvalue	واریانس نسبی Proportion	درصد واریانس تجمعی Cumulative%
1	7.0345	0.3517	35.17
2	2.9966	0.1498	50.16
3	2.7145	0.1357	63.73
4	1.2535	0.0627	70.00
5	1.2216	0.0611	76.10
6	1.0041	0.0502	81.13

جدول ۵- ضرایب عامل‌های مشترک در صفات مختلف برای ژنوتیپ‌های گندم در شرایط نرمال

Table 5. Coefficients of common factor for different traits of wheat genotypes under normal condition

صفات	Traits	عامل اول Factor 1	عامل دوم Factor 2	عامل سوم Factor 3
طول ریشک (cm)	Length of awn (cm)	0.0815	-0.0427	-0.1616
تعداد دانه در سنبله	Kernel per spike	<u>0.7491</u>	-0.2424	-0.0728
تعداد سنبله در بوته	Number of spikes per plant	0.2228	0.0163	0.0634
تعداد سنبلچه در سنبله	Spikelet number per spike	0.5939	-0.1090	0.4433
طول برگ پرچم (cm)	Flag leaf length (cm)	0.0540	0.1901	0.2251
وزن صد دانه (g)	Hundred kernel weight (g)	0.5348	0.5235	0.1733
وزن دانه در سنبله (g)	Kernel weight per spike (g)	<u>0.9165</u>	0.2194	0.1206
وزن سنبله (g)	Spike weight (g)	<u>0.9163</u>	0.1474	0.0641
محتوای کلروفیل	Chlorophyll content	-0.2091	-0.3442	0.0961
ارتفاع گیاه (cm)	Plant height (cm)	0.1304	<u>-0.9431</u>	0.2309
روز تا سنبله رفتن	Days to heading	-0.1360	0.0075	<u>0.8860</u>
روز تا رسیدگی کامل	Days to maturity	0.4320	0.2496	<u>0.7236</u>
ارتفاع تا برگ پرچم (cm)	Flag leaf height (cm)	0.0101	0.6905	<u>0.6532</u>
ارتفاع بدون سنبله (cm)	Height without spike (cm)	0.1254	<u>0.9431</u>	0.2304
عملکرد دانه (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	<u>0.7704</u>	0.3882	-0.0708
عملکرد زیست توده (kg/ha)	Biomass (kg/ha)	0.5957	0.3875	0.1148
طول سنبله (cm)	Length of spike (cm)	0.0728	0.1714	0.0469
طول پدانکل (cm)	Length of peduncle (cm)	0.2340	<u>0.9042</u>	-0.0957
طول اکستروژن (قسمت بیرون آمده پدانکل) (cm)	Length of extrusion (cm)	0.3318	<u>0.7847</u>	-0.4560
شاخص برداشت (%)	Harvest index (%)	0.7425	0.2446	-0.2894

جدول ۶- مقادیر ویژه، واریانس نسبی و درصد واریانس تجمعی در تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش

Table 6. Eigen values, relative variance and cumulative variance in factor analysis under stress condition

عامل‌ها Factors	مقادیر ویژه Eigenvalue	واریانس نسبی Proportion	درصد واریانس تجمعی Cumulative%
1	7.42444	<u>0.3712</u>	0.3712
2	3.40593	<u>0.1703</u>	0.5415
3	1.90731	<u>0.0954</u>	0.6369
4	1.16365	0.0582	0.6951
5	1.09009	0.0545	<u>0.7496</u>

جدول ۷- ضرایب عامل مشترک در صفات مختلف برای ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش

Table 7. Coefficients of common factor for different traits of wheat genotypes under stress condition

صفات	Traits	عامل اول Factor 1	عامل دوم Factor 2	عامل سوم Factor 3
طول ریشک (cm)	Length of awn (cm)	-0.0598	0.0883	-0.0427
تعداد دانه در سنبله	Kernel per spike	-0.1018	<u>0.8962</u>	-0.1906
تعداد سنبله در بوته	Number of spikes per plant	0.1435	0.0883	0.0503
تعداد سنبلچه در سنبله	Spikelet number per spike	0.0166	<u>0.8242</u>	0.0710
طول برگ پرچم (cm)	Flag leaf length (cm)	0.4277	0.3189	-0.0706
وزن صد دانه (g)	Hundred kernel weight (g)	0.6641	0.0529	-0.0439
وزن دانه در سنبله (g)	Kernel weight per spike (g)	0.4250	<u>0.8042</u>	-0.1723
وزن سنبله (g)	Spike weight (g)	0.3703	<u>0.8115</u>	-0.1733
محتوای کلروفیل	Chlorophyll content	-0.0879	-0.0617	0.2037
ارتفاع گیاه (cm)	Plant height (cm)	<u>0.9708</u>	0.0957	0.0801
روز تا سنبله رفتن	Days to heading	0.0195	-0.1167	<u>0.9138</u>
روز تا رسیدگی کامل	Days to maturity	0.3636	-0.0208	<u>0.7107</u>
ارتفاع تا برگ پرچم (cm)	Flag leaf height (cm)	<u>0.8485</u>	0.0144	0.3939
ارتفاع بدون سنبله (cm)	Height without spike (cm)	<u>0.9714</u>	0.0745	0.0701
عملکرد دانه (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	0.7164	0.3951	-0.2110
عملکرد زیست‌توده (kg/ha)	Biomass (kg/ha)	0.7863	0.2774	-0.0382
طول سنبله (cm)	Length of spike (cm)	0.3108	0.2186	0.1153
طول پدانکل (cm)	Length of peduncle (cm)	<u>0.9114</u>	0.0588	-0.1291
طول اکستروژن (قسمت بیرون آمده پدانکل) (cm)	Length of extrusion (cm)	0.5169	0.1458	-0.5587
شاخص برداشت (%)	Harvest index (%)	0.2043	0.4852	-0.5778

تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. نتایج حاصل از بررسی ضرایب عاملی نشانگر اهمیت صفات طول پدانکل، طول اکستروژن (بیرون آمدگی پدانکل)، ارتفاع و صفات مربوط به زودرسی در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب برای شرایط خشکی بود.

گوپتا و همکاران (Gupta et al., 1999) ۱۷ صفت از ۴۰ لاین پیشرفته گندم را در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی ارزیابی نمودند که تجزیه به عامل‌ها، ۱۵ صفت مرتبط با عملکرد و کیفیت دانه را در ۵ عامل اصلی تعداد روز تا رسیدگی کامل، طول سنبله، وزن دانه، میزان پروتئین و تعداد سنبله در بوته کاهش داد. آن‌ها همچنین بیان کردند که ژنوتیپ‌های برخوردار از مقادیر بالای عامل اول، دارای عملکرد بیشتری بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عامل اول می‌تواند منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در جمعیت مورد مطالعه گردد. خدادادی و همکاران (Khodadadi et al., 2011) در بررسی ۳۶ ژنوتیپ

در شرایط تنش برای عامل اول به ترتیب صفات ارتفاع بدون سنبله، ارتفاع گیاه، طول پدانکل، ارتفاع تا برگ پرچم دارای ضرایب مثبت و بزرگ بودند؛ بنابراین این عامل، عامل مؤثر بر ارتفاع گیاه نام‌گذاری شد. عامل دوم به دلیل داشتن ضرایب مثبت به ترتیب برای صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن سنبله و وزن دانه در سنبله، عامل اجزای عملکرد نام‌گذاری شد. عامل سوم به ترتیب برای صفات تعداد روز تا به سنبله رفتن و تعداد روز تا رسیدگی کامل دارای ضرایب بزرگ و مثبت بود؛ بنابراین این عامل، عامل فنولوژیکی نام‌گذاری شد (جدول ۷).

طوسی مجرد و بی‌همتا (Tousi-Mojarad and Bihamta, 2007) به منظور ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش خشکی، آزمایشی روی ۲۴۵ ژنوتیپ دریافتی از سیمیت (CIMMYT) انجام دادند که از طریق تجزیه به عامل‌ها به‌روش مؤلفه‌های اصلی ۵ عامل در مجموع ۷۰/۶۷ از

همدیگر و با عملکرد گردید. ضرایب همبستگی ژنوتیپی بین صفات مختلف در شرایط بدون تنش و تنش در جداول ۸ و ۹ آورده شده است. در اکثر موارد ضریب همبستگی ژنوتیپی بیشتر یا مساوی فنوتیپی مشاهده شد که علت این امر را می‌توان به اثرات عوامل محیطی که به‌طور متناوب بر روی این صفات عمل کرده و موجب کاهش ارتباط فنوتیپی بین آن‌ها شده است نسبت داد (Iqbal et al., 2007). رینولد و همکاران (Reynolds et al., 2004) بیان داشتند که ضرایب ژنتیکی اهمیت بیشتری از ضرایب فنوتیپی دارند زیرا در همبستگی‌های ژنتیکی اثر عوامل خارجی که در ایجاد ارتباط غیرواقعی بین صفات نقش دارند حذف یا به حداقل مقدار خود می‌رسند.

افزایش وزن دانه در سنبله با تعداد سنبله در بوته رابطه عکس نشان داد چرا که تعداد سنبله‌های زیاد در بوته سبب می‌شود که گیاه در تأمین مواد غذایی مورد نیاز سنبله‌ها ناتوان و ضعیف شود و دانه‌ها به‌طور کامل پر نشوند؛ بنابراین باوجود تولید دانه‌های بیشتر، اندازه آن‌ها کوچک‌تر خواهد بود و سبب نقصان عملکرد وزنی می‌شوند و نهایتاً کاهش عملکرد در سطح زیر کشت را به دنبال خواهند داشت. نتایج تحقیق حاضر نشان داد بین وزن دانه در سنبله با تعداد سنبله در بوته همبستگی ژنتیکی منفی وجود داشت که با یافته مطالعه ریچارد (Richards et al., 1997) مطابقت دارد چرا که تعداد سنبله کم سبب افزایش وزن دانه‌ها می‌شود.

در شرایط نرمال به‌ترتیب صفات عملکرد زیست‌توده (۰/۹۴)، وزن دانه در سنبله (۰/۸۹)، وزن سنبله (۰/۸۵) و شاخص برداشت (۰/۷۴) بیشترین همبستگی ژنتیکی را با عملکرد دانه نشان دادند. در شرایط تنش به‌ترتیب صفات عملکرد بیولوژیک (۰/۸۸)، شاخص برداشت (۰/۷۰) و طول اکستروژن (۰/۵۵) به‌دلیل داشتن ضرایب همبستگی ژنتیکی مثبت و معنی‌دار مؤثرترین متغیرها روی عملکرد دانه بودند. با توجه به تفاسیر فوق در هر دو محیط عدم تنش و تنش باید از ژنوتیپ‌هایی با عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت بالا و در مراتب بعدی از ژنوتیپ‌هایی با وزن دانه در سنبله بالاتر استفاده کرد، چرا که همان‌طور که قبلاً ذکر شد بوته‌های با وزن دانه بالاتر نسبت

مختلف گندم در تحلیل عاملی در مجموع سه عامل را شناسایی کردند که شامل عامل مؤثر بر عملکرد، فتوستتوز و طول دوره رسیدگی بودند.

طوسی مجرد و بی‌همتا (Tousi-Mojarad and Bihanta, 2007) عملکرد دانه در سنبله، عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت و تعداد سنبله‌چه در سنبله را تحت عنوان عامل مؤثر بر اجزای عملکرد و تولید محصول معرفی کردند. حیدری و همکاران (Heydari et al., 2008) صفات تعداد روز تا گرده‌افشانی، تعداد روز تا ظهور سنبله، طول برگ پرچم و تعداد روز تا رسیدگی را تحت عنوان خصوصیات رسیدگی معرفی کردند. ظهور زودتر ساقه و سنبله فرصت زیادتری را برای پر شدن دانه در اختیار بوته قرار می‌دهد تا از رطوبت موجود قبل از وقوع تنش شدید خشکی و افزایش دما برای پر کردن دانه بهره‌برداری کند.

اصولاً باید بین تعداد روز تا رسیدگی کامل و تعداد روز تا به سنبله رفتن همبستگی بالایی وجود داشته باشد؛ بنابراین زودرسی می‌تواند یک عامل برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد (Heydari et al., 2008). با وجود آن‌که خصوصیات مورفولوژیکی متعددی در مقاومت یا تحمل ژنوتیپ‌های گندم به تنش خشکی تأثیر دارند، اما به‌دلیل ناشناخته بودن بسیاری از آن‌ها هنوز عملکرد دانه و اجزای آن به‌عنوان بهترین معیار در پیشبرد ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش در بسیاری از برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بنابراین عامل مؤثر بر اجزای عملکرد بهترین معیار انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌باشند (Sadegh Ghoul Moghadam et al., 2011). با توجه به اینکه صفات تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله و وزن دانه در سنبله در عامل اول در شرایط بدون تنش و در عامل دوم در شرایط تنش بزرگ‌ترین ضرایب عاملی را داشتند؛ لذا در مجموع می‌توان در هر دو شرایط برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و لاین‌ها از این صفات استفاده کرد.

همبستگی ژنوتیپی: با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی این پژوهش تعیین صفاتی با بالاترین رابطه با عملکرد بود، اقدام به محاسبه ضرایب همبستگی ژنوتیپی صفات مختلف با

یکدیگر، طول پدانکل و عملکرد زیست‌توده با یکدیگر و عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده با هم نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد طول خطوط و یا زاویه بین آن‌ها نمی‌تواند به‌تنهایی معیار دقیقی برای تعیین ارتباط بین صفات با یکدیگر باشد. مثلاً در شکل شماره ۲ طول پدانکل و عملکرد دانه خطوط هم‌اندازه دارند ولیکن چون زاویه بین خطوط زیاد است ارتباط آن‌ها معنی‌دار نشده است. از سوی دیگر رابطه خفیف و منفی بین صفت تعداد روز تا سنبله رفتن با سایر صفات مشاهده شد ولی نسبت به شرایط عدم تنش این فاصله کمتر بود. قابل توجه است که ۲۰ بردار به‌دست آمده به‌خوبی با کل ماتریس همبستگی ژنتیکی در شرایط عدم تنش و تنش (جدول ۸ و ۹) هماهنگ بودند.

نمایش برداری بای‌پلات نشان داد که همبستگی مثبت بالایی بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک وجود دارد. قلی‌زاده و دهقانی (Gholizadeh and Dehghani, 2014) با توجه به نتایج گرفته شده از ترسیم بای‌پلات‌های ژنوتیپ در صفت (Genotyp × trait biplot) اعلام کردند صفات تعداد سنبله در بوته، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک را می‌توان به‌عنوان بهترین صفات مرتبط با عملکرد دانه و به‌عنوان شاخص‌های مطلوب در انتخاب ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط شوری معرفی نمود.

وراثت‌پذیری: مهم‌ترین کاربرد وراثت‌پذیری در دو مورد پیش‌بینی میزان پاسخ به انتخاب و ارزش ارثی می‌باشد. برآوردهای وراثت‌پذیری بیانگر مقدار پیشرفتی هستند که ممکن است در اثر انتخاب برای یک صفت خاص به‌وجود آید و باعث بهبود میانگین جامعه بشوند (Tahmurespur, 2008).

در این تحقیق در شرایط عدم تنش صفات تعداد روز تا سنبله رفتن (۰/۹۷)، طول ریشک (۰/۹۵)، تعداد روز تا رسیدگی کامل (۰/۸۳) و ارتفاع تا برگ پرچم (۰/۸۰) بیشترین وراثت‌پذیری را داشتند که بیشترین مقدار مربوط به تعداد روز تا سنبله رفتن با ۰/۹۷ وراثت‌پذیری بود.

به بوته‌های با تعداد دانه بیشتر عملکرد را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهند. این صفات زراعی برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا تحت شرایط عدم تنش و تنش خشکی مهم محسوب می‌شوند. تأثیر این صفات در دو شرایط شبیه هم نبود و نقش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی بیشتر محسوس بود. از این‌رو در شرایط خشکی افزایش عملکرد را می‌توان بیشتر به عملکرد بیولوژیک بالا نسبت داد. تقی‌زادگان و همکاران (Taghizadegan et al., 2015) گزارش کردند که در شرایط عدم تنش تعداد دانه در سنبله و عملکرد زیست‌توده از اجزای مؤثر در افزایش عملکرد می‌باشند. همچنین توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2014) بیان داشتند که در شرایط عدم تنش صفات عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و وزن دانه در سنبله با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان دادند.

روابط متقابل میان صفات بردارهایی هستند که از مبدأ بای‌پلات سرچشمه می‌گیرند و به علائم صفات وصل می‌شوند. از آنجا که کسینوس زاویه بین بردارها و هم‌زمان طول یکسان بردارها در هر دو صفت ضریب همبستگی بین آن‌ها را برآورد می‌کند، شکل بای‌پلات بهترین راه برای نمایش گرافیکی روابط متقابل میان صفات است (Mostafavi et al., 2013). شکل ۱ روابط متقابل میان صفات در شرایط عدم تنش و شکل ۲ روابط متقابل میان صفات در شرایط تنش را نشان می‌دهد. شکل ۱ همبستگی ژنتیکی بالایی را میان صفات ارتفاع گیاه و ارتفاع بدون سنبله و همچنین بین صفات وزن صد دانه، عملکرد زیست‌توده، وزن دانه در سنبله، وزن سنبله و عملکرد دانه با یکدیگر و بین طول بیرون آمدگی پدانکل و شاخص برداشت نشان می‌دهد. از سوی دیگر رابطه معکوس تعداد روز تا به سنبله رفتن با سایر صفات بخصوص طول ریشک، تعداد دانه در سنبله، شاخص برداشت و طول اکستروژن کاملاً مشهود است (جدول ۸). شکل ۲ ارتباط نزدیکی را میان صفات ارتفاع بدون سنبله و ارتفاع گیاه با یکدیگر، شاخص برداشت، وزن سنبله و وزن دانه در سنبله با

جدول ۸- ماتریس همبستگی ژنوتیپی در شرایط بدون تنش

Table 8. Matrix of genotypic correlation coefficients in normal condition

صفات Traits	طول ریشک OL	تعداد دانه در سنبله KPS	تعداد سنبله در تعداد سنبله در NSP	طول برگ پرچم FL	وزن صد دانه HKW	وزن دانه در سنبله KWS	وزن سنبله SW	کاروفیل CPC	ارتفاع گیاه PLH
OL	1								
KPS	0.17±0.2	1							
NSP	0.07±0.23	0.19±0.26	1						
SNPS	-0.34±0.2	0.11±0.2	-0.06±0.61	1					
FL	0.55±0.52	-0.64±0.75	0.09±0.26	0.09±0.26	1				
HKW	0.04±0.23	-0.1±0.2	0.36±0.28	0.36±0.28	0.54±0.2	1			
KWS	0.01±0.27	0.74±0.14	0.56±0.29	0.22±0.27	0.54±0.2	0.99±0	1		
SW	0.11±0.22	0.71±0.12	0.48±0.25	0.24±0.23	1±0.77	-0.04±0.35	0.68±0.54	1	
CPC	-0.89±0.35	-0.08±0.39	0.98±0.46	0.08±0.38	0.34±0.2	0.81±0.81	0±0.29	0.88±0.5	1
PLH	-0.14±0.21	-0.31±0.25	0.32±0.27	-0.01±0.24	0.55±0.5	-0.29±0.24	0.11±0.23	0.09±0.31	0.14±0.2
DHE	-1±0.19	-0.28±0.1	0.27±0.21	0.55±0.1	-0.11±0.22	0.12±0.26	-0.12±0.2	0.73±0.44	0.14±0.22
DMA	-0.18±0.19	-0.13±0.22	0.49±0.21	0.72±0.1	0.31±0.21	0.13±0.3	-0.02±0.29	0.80±0.46	0.79±0.08
FLH	-0.23±0.18	-0.35±0.2	0.28±0.24	0.32±0.19	0.34±0.21	-0.08±0.36	0.85±0.1	1±0.62	0.99±0
HWS	-0.14±0.2	-0.34±0.25	0.29±0.28	-0.04±0.25	0.35±0.2	0.89±0	0.89±0.11	0.55±0.25	0.08±0.27
GY	0.06±0.23	0.62±0.17	0.48±0.25	0.12±0.24	0.54±0	0.96±0.13	0.89±0.11	0.46±0.42	0.39±0.21
BM	0±0.21	0.51±0.19	0.57±0.22	0.34±0.21	0.71±0.16	0.14±0.34	0.17±0.29	-0.6±0.5	0.55±0.23
LS	-0.03±0.23	0.12±0.2	0.5±0.2	0.26±0.24	0.07±0.3	0.04±0.36	0.18±0.2	0.68±0.61	0.68±0.13
LP	0.21±0.23	-0.24±0.27	0.28±0.29	-0.4±0.25	0.40±0.24	0.04±0.36	0.16±0.27	0.35±0.5	0.28±0.24
LXT	0.27±0.21	0.02±0.26	0.03±0.29	-0.63±0.2	-0.02±0.31	0.04±0.3	0.53±0.21	0.63±0.56	-0.53±0.3
HI	0.08±0.24	0.63±0.19	0.08±0.29	-0.24±0.25	0.09±0.29	0.59±0.2			

ادامه جدول ۸

Table 8 Continued

صفات Traits	روز تا سنبله زین DHE	روز تا رسیدگی کامل DMA	روز تا برگ پرچم FLH	ارتفاع بدون سنبله HWS	عصاره دانه GY	عصاره زست‌نوده BM	طول سنبله LS	طول پدانکل LP	طول اکستروژن LXT	شاخص برداشت HI
DHE	1									
DMA	0.83±0.07	1								
FLH	0.60±0.12	0.56±0.14	1							
HWS	0.10±0.21	0.10±0.2	0.80±0.08	1						
GY	-0.3±0.1	0.01±0.23	-0.1±0.25	0.06±0.2	1					
BM	-0.08±0.2	0.23±0.2	0.19±0.2	0.38±0.21	0.94±0.03	1				
LS	0.35±0.2	0.38±0.22	0.32±0.23	0.48±0.26	0.22±0.28	0.32±0.25	1			
LP	-0.3±0.21	-0.19±0.25	0.19±0.23	0.66±0.14	0.44±0.22	0.60±0.19	0.52±0.28	1		
LXT	-0.8±0.12	-0.76±0.19	-0.35±0.2	0.26±0.25	0.33±0.24	0.30±0.23	0.32±0.28	0.76±0.1	1	
HI	-0.71±0.14	-0.35±0.24	-0.68±0.21	-0.54±0.19	0.74±0.12	0.46±0.21	-0.22±0.29	-0.12±0.165	0.15±0.149	1

جدول ۹- ماتریس همبستگی ژنوتیپی برای شرایط تنش

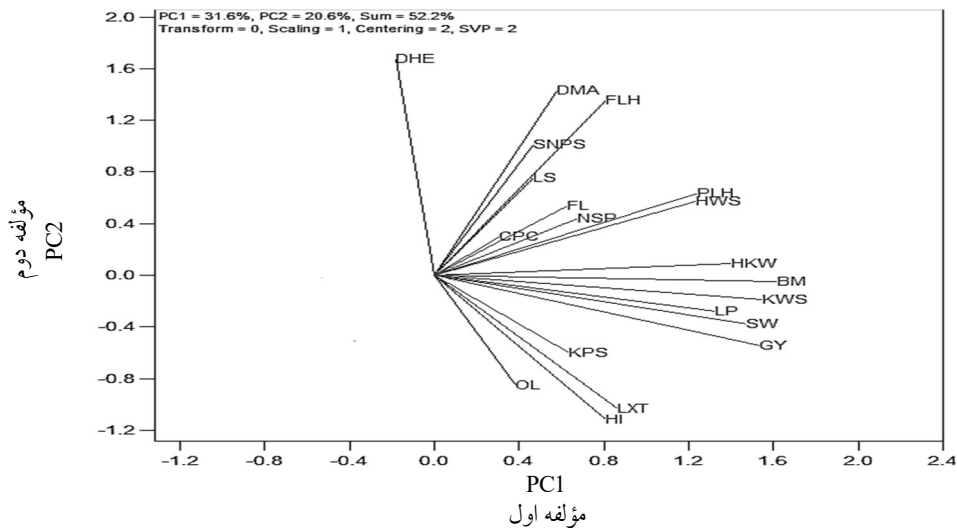
Table 9. Matrix of genotypic correlation coefficients in stress condition

صفات Traits	طول ریشک OL	تعداد دانه در سنبله KPS	تعداد سنبله در بوته NSP	سنبله SNPS	طول برگ برجم FL	وزن صد دانه HKW	وزن دانه در سنبله KWS	وزن سنبله SW	کلروفیل CPC	ارتفاع گیاه PLH
OL	1									
KPS	0.14±0.2	1								
NSP	-0.28±0.61	-0.82±1.1	1							
SNPS	0.05±0.21	0.55±0.16	-0.51±0.95	1						
FL	0.26±0.44	-0.8±0.91	0.02±1.48	-0.13±0.6	1					
HKW	-0.03±0.22	-0.93±0.21	0.27±1.03	-0.62±0.27	0.55±0.55	1				
KWS	0.07±0.4	0.65±0.3	0.1±1.38	0.34±0.4	-1±2.11	-0.42±0.79	1			
SW	0.51±0.46	0.75±0.3	-0.97±2.23	0.41±0.38	-1±2.4	-0.53±0.84	0.80±0.3	1		
CPC	-0.4±0.22	-0.1±0.28	0.5±0.91	0.003±0.29	-0.5±0.66	0.34±0.34	-0.01±0.59	-0.17±0.59	1	
PLH	-0.09±0.22	-0.76±0.25	0.61±0.8	-0.53±0.2	-0.14±0.66	0.42±0.23	-0.5±0.83	-0.76±0.95	0.76±0.3	
DHE	-0.06±0.17	-0.37±0.18	0.30±0.6	-0.05±0.21	-0.27±0.44	-0.1±0.22	-0.82±0.5	-0.78±0.56	0.50±0.2	
DMA	-0.07±0.18	-0.42±0.19	0.89±1	-0.16±0.22	-0.1±0.46	0.15±0.23	-0.48±0.52	-0.68±0.6	0.72±0.2	
FLH	-0.18±0.21	-0.8±0.2	0.58±0.85	-0.54±0.25	-0.4±0.74	0.33±0.2	-0.89±0.87	-1±0.99	0.83±0.27	
HWS	-0.1±0.22	-0.8±0.23	0.61±0.79	-0.56±0.28	-0.13±0.64	0.45±0.22	-0.59±0.83	-0.8±0.96	0.75±0.3	
GY	0.02±0.26	0.002±0.31	1±1.21	-0.44±0.37	-0.34±0.94	0.15±0.33	0.39±0.5	0.39±0.5	0.33±0.08	
BM	-0.05±0.29	-0.42±0.4	1±1.32	-0.5±0.45	-0.5±1.15	0.29±0.35	-0.17±0.9	-0.17±0.92	0.64±0.44	
LS	0.33±0.22	0.29±0.26	0.05±0.75	0.24±0.27	-0.07±0.64	-0.26±0.3	0.15±0.56	0.25±0.57	0.20±0.32	
LP	-0.03±0.21	-0.63±0.23	0.57±0.79	-0.45±0.27	-0.64±0.5	0.57±0.2	-0.34±0.68	-0.43±0.75	0.51±0.29	
LXT	0.02±0.21	-0.07±0.25	0.2±0.63	-0.1±0.26	-0.59±0.53	0.29±0.2	0.43±0.42	0.36±0.44	0.01±0.3	
HI	0.07±0.21	0.50±0.16	0.48±0.81	-0.06±0.27	-0.1±0.61	-0.03±0.29	0.94±0.42	0.86±0.43	-0.32±0.28	

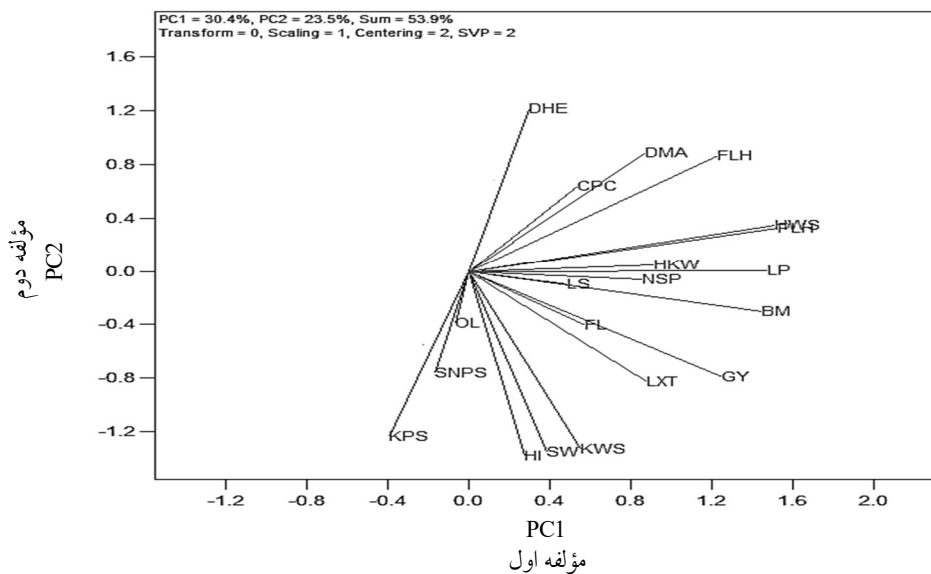
ادامه جدول ۹

Continued Table 9

صفات Traits	روز تا سنبله رفتن DHE	روز تا رسیدگی کامل DMA	ارتفاع تا برگ برجم FLH	ارتفاع سنبله HWS	بدون سنبله	عملکرد دانه GY	عملکرد زیست توده BM	سنبله طول LS	سنبله طول LP	طول اکستروژن LXT	شاخص برداشت HI
DHE	1										
DMA	0.86±0.06	1									
FLH	0.70±0.14	0.72±0.13	1								
HWS	0.31±0.2	0.50±0.18	0.85±0.06	1							
GY	-0.21±0.02	0.18±0.26	-0.09±0	0.20±0.31	1						
BM	0.22±0.29	0.63±0.26	0.40±0.29	0.56±0.23	0.88±0.08	1					
LS	0.27±0.2	0.51±0.21	0.12±0.2	0.07±0.3	-0.08±0.38	-0.05±0.4	1				
LP	0.009±0.21	0.30±0.2	0.58±0.16	0.86±0.06	0.40±0.25	0.60±0.21	0.12±0.29	1			
LXT	-0.61±0.1	-0.27±0.21	-0.1±0.26	0.42±0.21	0.55±0.22	0.36±0.3	0±0.3	0.66±0.15	1		
HI	-0.83±0.1	-0.64±0.19	-0.81±0.2	-0.36±12.0	0.7±0.1	0.27±0.33	-0.24±0.3	-0.03±0.27	0.71±0.28	1	



شکل ۱- شمای بای پلات ژنوتیپ × صفت در شرایط بدون تنش که روابط متقابل میان صفات را نشان می دهد.
Figure 1. Biplot scheme of genotype × trait in non-stress condition, showing interactions between traits



شکل ۲- شمای بای پلات ژنوتیپ × صفت در شرایط تنش که روابط متقابل میان صفات را نشان می دهد.
Figure 2. Biplot scheme of genotype × trait in stress condition, showing interactions between traits.

دارای وراثت پذیری بالایی بودند ولی چهار صفت دارای وراثت پذیری ضعیف بودند و کمترین وراثت پذیری در شرایط تنش مربوط به صفت تعداد سنبله در بوته (۰/۱۰) بود. در مجموع در این تحقیق دیده شد که در شرایط عدم تنش صفات شاخص برداشت، طول اکستروژن، طول پدانکل در شرایط عدم تنش نسبت به شرایط بدون تنش وراثت پذیری بالاتری داشتند که این با نتیجه تحقیق موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2014) مطابقت دارد.

در شرایط تنش صفات تعداد روز تا سنبله رفتن (۰/۹۵)، طول ریشک (۰/۹۳)، تعداد روز تا رسیدگی کامل (۰/۸۶) و تعداد دانه در سنبله (۰/۷۱) بیشترین وراثت پذیری را داشتند که در این میان صفت تعداد روز تا سنبله رفتن با ۰/۹۵ وراثت پذیری بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. در شرایط عدم تنش بیشتر صفات دارای وراثت پذیری بالا بودند و تنها صفت طول برگ پرچم دارای وراثت پذیری پایین (۰/۱۶) بود (جدول ۱۰). در شرایط تنش هم بیشتر صفات

جدول ۱۰- برآورد وراثت‌پذیری برای شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبی

Table 10. Estimation of heritability in non- stress and water stress condition

صفات	Traits	شرایط عدم تنش		شرایط تنش	
		Non-stress condition	Standard error	Heritability	Standard error
طول ریشک (cm)	Length of awn (cm)	0.95838	0.01229	0.93711	0.01837
تعداد دانه در سنبله	Kemel per spike	0.7084	0.08415	0.717	0.08207
تعداد سنبله در بوته	Number of spikes per plant	0.5659	0.1264	0.10989	0.25687
تعداد سنبله در سنبله	Spikelet number per spike	0.73873	0.07547	0.67313	0.09422
طول برگ پرچم (cm)	Flag leaf length (cm)	0.16465	0.23775	0.165	0.2444
وزن صد دانه (g)	Hundred kernel weight (g)	0.57513	0.12263	0.57397	0.12296
وزن دانه در سنبله (g)	Kemel weight per spike (g)	0.45871	0.15743	0.18367	0.23249
وزن سنبله (g)	Spike weight (g)	0.58414	0.11951	0.17529	0.23481
محتوای کلروفیل	Chlorophyll content	0.2812	0.2054	0.50398	0.14282
ارتفاع گیاه (cm)	Plant height (cm)	0.64278	0.10334	0.59966	0.11564
روز تا سنبله رفتن	Days to heading	0.97282	0.00795	0.95601	0.01286
روز تا رسیدگی کامل	Days to maturity	0.83502	0.04804	0.86228	0.03995
ارتفاع تا برگ پرچم (cm)	Flag leaf height (cm)	0.80479	0.05678	0.64977	0.10134
ارتفاع بدون سنبله (cm)	Height without spike (cm)	0.62143	0.10944	0.61895	0.11014
عملکرد دانه (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	0.62764	0.10766	0.44681	0.15897
عملکرد زیست‌توده (kg/ha)	Biomass (kg/ha)	0.67846	0.09313	0.35422	0.18499
طول سنبله (cm)	Length of spike (cm)	0.56201	0.12577	0.51902	0.13856
طول پدانکل (cm)	Length of peduncle (cm)	0.56438	0.12568	0.6493	0.10148
طول اکستروژن (قسمت بیرون آمده پدانکل) (cm)	Length of extrusion (cm)	0.61048	0.11256	0.66284	0.0976
شاخص برداشت (%)	Harvest index (%)	0.60177	0.11504	0.64187	0.1031

که همه صفات به‌جز تعداد پنجه در ردیف وراثت‌پذیری بالایی از خود نشان دادند. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت ژنوتیپ‌ها بسته به محیط و اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط دارای عملکردهای متفاوت بودند. آن‌گونه که از تجزیه به عامل‌ها مشخص شد در شرایط عدم تنش و تنش انتخاب ژنوتیپ‌هایی با تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله و وزن دانه در سنبله بیشتر منجر به افزایش عملکرد دانه خواهند شد. بر اساس نتایج همبستگی ژنتیکی نیز مشخص شد که بهتر است ژنوتیپ‌ها در دو محیط در درجه اول بر اساس عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت بالا و در مرتبه بعد بر اساس وزن دانه در سنبله بیشتر مورد گزینش قرار گیرند.

اگر وراثت‌پذیری در شرایط تنش بیش از نرمال باشد به‌علت تنوع ژنتیکی بالا است؛ اگرچه وراثت‌پذیری عمومی نمی‌تواند به‌خوبی وراثت‌پذیری خصوصی سهم ژنتیکی تنوع ژنتیکی را مشخص کند ولی بالا بودن آن نشان از بالا بودن تنوع ژنتیکی نسبت به تنوع محیطی و همچنین ادغام اثر متقابل ژنوتیپ در محیط مورد نظر است (Mousavi *et al.*, 2014). تریپادی و همکاران (Tripathi *et al.*, 2015) در بررسی تنوع ژنتیکی ۳۰ ژنوتیپ مختلف گندم نشان دادند که صفات ارتفاع بوته، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، عملکرد بوته و تعداد دانه در سنبله بیشترین وراثت‌پذیری را دارا بودند. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2015) در مطالعه ۱۷ ژنوتیپ گندم در منطقه باوال نشان دادند

References

Akbarpour, O.A. (2017). Application of variance components estimators in plant breeding. *Plant Genetic Researches*, 4: 1-24.

- Akbarpour, O.A., Dehghani, H., Roosta, M.J. and Amini, A.** (2014). Evaluation of some properties of Iranian wheat genotypes in normal and salt-stressed conditions using Restricted Maximum Likelihood (REML). *Iranian Journal of Crop Sciences*, **46(1)**: 57-69 (In Persian).
- Crossa, J.H.G., Gauch, J. and Zobel, R.W.** (1990). Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*, **30**: 493-500.
- Darvishian, A., Ismaili, A., Nazarian-Firouzabadi, F., MirDrikvand, R. and Hosseinpour, T.** (2016). Assessment of genetic diversity among wheat genotypes of west Iran, using randomized markers. *Plant Genetic Researches*, **2**: 47-56.
- FAO.** (2010). FAO Statistical Database (FAOSTAT), Web site at URL: <http://www.faostat.fao.org>. Accessed 09 June 2010.
- Gholizadeh, A. and Dehghani, H.** (2014). The relationship between the various traits of bread wheat genotypes with biplot method. *The First National Conference on the Sustainable Development of Agriculture Using Crop Pattern*, Tehran, Iran.
- Gupta, A.K., Mittal, R.K. and Ziauddin, A.Z.** (1999). Association and factor analysis in spring wheat. *Annals of Agriculture Research*, **20**: 481-485.
- Heydari, B., Saeidi, G.H. and Tabatabaei, S.** (2008). Factor analysis for quantitative traits and path analysis for grain yield in wheat. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, **11(42)**: 135-143.
- Iqbal, M., Navabi, A., Salmon, D.F., Yang, R.C. and Spaner, D.** (2007). Simultaneous selection for early maturity, increased grain yield and elevated grain protein content in spring wheat. *Plant Breeding*, **126**: 244-250.
- Khodadadi, M., Dehghani, H. and Fotokian, M.H.** (2011). Evaluation of heritability, path analysis and factor analysis in winter wheat genotypes. *Journal of Agriculture*, **9**: 66-67.
- Kumar, Y., Lamba, R.A.S. and Balbir Singh, V.K.** (2015). Variability parameters correlation and path analysis in wheat varieties for yield and components. *International Journal of Environment and Ecology*, **33(1B)**: 421-425.
- Lynch, M. and Walsh, B.** (1998). *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, UK.
- Mode, C.J. and Robinson, H.F.** (1959). Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics*, **15**: 518-537.
- Mohseni, M., Mortazavian, S.M.M., Ramshini, H.A. and Fvghy, B.** (2015). Evaluation of tolerance to drought in some wheat genotypes (*Triticum aestivum L.*) using selected indicators. *Publication of the Researcher-Crops*, **13**: 542-524 (In Persian).
- Mostafavi, Kh., Mohammadi, A., Khodarahmi, M., Zabet, M. and Zare, M.** (2013). Yield response of commercial canola cultivars to different locations using graphical GGE biplot method. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, **8(4)**: 133-143.
- Mousavi, S.S., Jalalifar, S., Abdullahi, M. and Chaichi, M.** (2014). Evaluation of diversity and heritability of some morphological characters of wheat under drought stress conditions and favorable. *Journal of Agriculture*, **6(9)**: 37-54.
- Reynolds, M., Condon, A.J., Rebetzke, G.J. and Richards, R.A.** (2004). Evidence for Excess photosynthetic capacity and sink-limitation to yield and biomass in elite spring wheat. *4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Australia.
- Richards, R.A.** (1997). Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, **20**: 157-166.
- Sadegh Ghouli Moghadam, R., Khodarahmi, M. and Ahmadi, Gh.H.** (2011). Genetic diversity and factor analysis for performance and other morphological characters of wheat under drought conditions. *Agronomy Journal*, **7(1)**: 147-133 (In Persian).
- Sayah, S.S., Ghobadi, M., Mansoorifar, S. and Zebarjadi, A.R.** (2015). The yield of wheat genotypes associated with yield components under irrigated and drought stress after anthesis. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **12(61)**: 1743-1755 (In Persian).
- Taghizadegan, M., Nouruzi, M., Ahari Zad, S. and Syed Zavar, J.** (2015). Evaluation of recombinant inbred lines of bread wheat in terms of some agricultural and morphological traits. *Journal of Breeding Plants and Garden (Journal of Agriculture)*. (In Persian).
- Tahmurespur, M.** (2008). *Principles of Quantitative Genetics and Its Problems*. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, IR (In Persian).

- Talei, A. and Bahram Nejad, B.** (2003). A Study of relationship between yield and its components in landrace populations of wheat from western parts of Iran using multivariate analysis. *Journal Agriculture Science*, **34(4)**: 959-966 (In Persian).
- Tavakoli, A.R., Mahdavi Moghaddam, M. and Salemi, H.R.** (2014). Effect of supplemental irrigation and nitrogen fertilizer on correlation coefficients and indicators of drought tolerance traits in wheat in dry land. *Journal of Crop Production*, **4**: 159-143 (In Persian).
- Tousi-Mojarad, M. and Bihamta, M.R.** (2007). Evaluation of grain yield and other quantitative attributes in-bread wheat via factor analysis. *Journal of Agriculture Science*, **17**: 97-107 (In Persian).
- Tousi-Mojarad, M. and Bihamta, M.R.** (2008). Grain yield and other quantitative traits in wheat through factor analysis. *Journal of Agricultural Science*, **17(2)**: 97-107 (In Persian).
- Tripathi, G.P., Parde, N.S., Zate, D.K. and Lai, G.M.** (2015). Remove from marked records genetic variability and heritability studies on bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Plant Sciences*, **10(1)**: 57-59.
- Wright, S.P.** (1998). Multivariate analysis using the MIXED procedure. *38th Annual SAS Users Group International Conference*, Nashville, Tennessee, United States of America.
- Yousif, S.A., Jasim, H., Abas, A.R. and Yousef, D.P.** (2015). Some yield parameters of wheat genotypes. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, **19(3)**: 309-312.
- Zargari, A.** (1998). *Plants Medicine*. 6nd Ed. Tehran University Press, Tehran, IR (In Persian).

Use of Restricted Maximum Likelihood Approach for Estimation of Genotypic Correlation and Heritability in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Water Deficit Stress

Saman Valizadeh¹, Ahmad Ismaili^{2,*}, Hadi Ahmadi³, Omid Ali Akbarpour⁴,
Bijan Bajalan⁵ and Ashkboos Amini⁶

- 1- Former M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
- 2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
- 3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
- 4- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
- 5- Instructor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
- 6- Assistant Professor, Department of Cereals Research, Seed and Plant Improvement Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: September 30, 2019 – Accepted: February 9, 2020)

Abstract

Wheat is mostly cultivated at rainfed condition in Iran, so, water deficit stress has much effect on yield reduction. Hence, breeding activities are necessary for introduction of wheat tolerant genotypes to water deficit stress. In order to estimate the heritability and genetic correlation between traits of 36 wheat genotypes, an experiment was conducted in two separate conditions (water stress and non-stress) based on a randomized complete blocks design with three replications. Studied traits in wheat genotypes under water stress and normal condition showed significant differences for environment, genotype and genotype × environment interaction at 1 and 5% level of probability. The results of the factor analysis showed that the 6 first factor in normal condition explained 81.13% of total variance, and the 5 first factor in stress condition explained 74.96% of total variance. Estimation of genetic correlations based on REML approach revealed that biological yield, harvest index and number of grains per spike had the highest correlation with grain yield and these characteristics are of important for selecting the varieties with high yield under non-stress and stress conditions. Estimation of heritability based on REML approach showed that number of days to heading had the highest amount of heritability in both normal and stress conditions.

Keywords: Factor analysis, Combined analysis of variance, Wheat, Heritability, Genetic correlation

* Corresponding Author, E-mail: ismaili.a@lu.ac.ir