

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم / شماره اول / بهار ۱۳۹۹ (۶۱-۷۲)

ارزیابی روابط بین صفات و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گندم نان با استفاده از روش بای پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت

مهناز رحمتی^{*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶

چکیده

انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار به‌ویژه برای شرایط دیم از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این تحقیق، استفاده از روش بای پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT) جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گندم نان بر اساس ترکیب عملکرد-صفت تحت شرایط دیم بود. به‌همین منظور، ۱۶ ژنوتیپ گندم نان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۶) ارزیابی شدند. مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در سال‌های اجرای آزمایش نشان داد که ژنوتیپ‌های G1 (رقم آفتاب)، G15 و G8 به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۳۴۳۳، ۳۲۶۹ و ۳۲۳۲ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین عملکرد دانه بودند. بررسی نمودار چندضلعی بای پلات GYT نشان داد که ژنوتیپ G8 در ترکیب وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله با عملکرد دانه، بهترین ژنوتیپ بود. ژنوتیپ G1 نیز در ترکیب تعداد سنبلچه در سنبله، طول ریشک و زودرسی با عملکرد دانه از برتری نسبی برخوردار بود. نمایش مختصات تستر متوسط (ATC) بای پلات GYT، ژنوتیپ‌های G1، G8 و G15 را با کلیه ترکیبات مثبت عملکرد-صفت به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G4، G13، G14 و G7 را به‌عنوان ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شناسایی کرد. ژنوتیپ‌های G15 و G16 نیز برای ترکیبات عملکرد-صفت متعادل بودند. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص GYT نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G8 و G15 بهترین ترکیب عملکرد دانه با صفات مورد ارزیابی را در سال‌های اجرای آزمایش داشتند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، همبستگی بالایی بین وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله در ترکیب با عملکرد دانه مشاهده شد که نشان‌دهنده سودمندی بالای ترکیب این صفات با عملکرد دانه برای بهبود عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط دیم است.

واژه‌های کلیدی: شاخص GYT، شرایط دیم، مختصات تستر متوسط

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
* نویسنده مسئول: avinmahnaz@gmail.com

مقدمه

یکی از اهداف اصلی برنامه به‌نژادی گیاهان زراعی، توسعه ارقام با عملکرد بالا تحت شرایط خشکی است (Cattivelli *et al.*, 2008). انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط خشکی به‌علت وراثت‌پذیری پایین عملکرد و وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط پیچیده و مشکل است (Blum, 2005). از سوی دیگر، یکی از چالش‌های مهم در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در هر برنامه به‌نژادی، همبستگی نامطلوب بین صفات است (Yan and Rajcan, 2002)، به‌طوری‌که بهبود در یک صفت اغلب به کاهش صفت یا صفات دیگر منجر می‌شود. دو راهکار در راستای حل این مشکل پیشنهاد شده است که شامل حذف مستقل و شاخص انتخاب است (Xu *et al.*, 2017; Yan and Fregeau-Reid, 2018). حذف مستقل به‌معنی کنار گذاشتن یک ژنوتیپ در حالتی است که میزان یک صفت در آن کم‌تر از حداقل لازم باشد، بدون اینکه وضعیت آن ژنوتیپ برای دیگر صفات در نظر گرفته شود. شاخص انتخاب، به‌معنی رتبه‌بندی و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس یک شاخص است که ترکیب خطی از صفات هدف می‌باشد، یکی از چالش‌هایی که در این دو راهکار وجود دارد، این است که محقق بایستی وزنی برای هر صفت در شاخص انتخاب و نقطه برش برای هر صفت در حذف مستقل تعیین کند. وزن‌ها و نقاط برش از محقق به محقق دیگر و از زمانی به زمان دیگر و حتی برای یک پایگاه داده مشابه تغییر می‌کنند و از این‌رو، وزن‌ها و یا نقاط برش متفاوت منجر به تصمیمات مختلفی نیز می‌شوند.

روش بای‌پلات GYT مشکل ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس چندین صفت را مرتفع می‌سازد. این روش بر اساس مفاهیمی است که عبارت‌اند از: ۱) عملکرد مهم‌ترین صفت است و دیگر صفات هدف تنها زمانی مهم هستند که با عملکرد بالا همراه باشند، ۲) قضاوت برتری یک ژنوتیپ باید توسط ارزش آن از نظر ترکیب عملکرد با دیگر صفات سنجیده شود. در واقع، عملکرد تنها صفتی است که می‌تواند کارایی یک ژنوتیپ را به‌تنهایی تعیین کند، در حالی‌که دیگر صفات (صفات زراعی، صفات کیفی یا مقاومت به بیماری‌ها) فقط زمانی ارزشمند هستند که با سطوح عملکرد خوب همراه باشند. برای مثال، ژنوتیپی با مقاومت به خوابیدگی خیلی خوب و با عملکرد خیلی پایین، نمی‌تواند در برنامه معرفی رقم قرار گیرد (Yan and Fregeau-Reid, 2018). برای دیگر صفات اصلاحی نیز به‌طور مشابه می‌توان همین تصمیم را اتخاذ کرد. بنابراین، در انتخاب ارقام برتر، ترکیب

عملکرد-صفت مهم‌تر از ارزیابی ارقام بر اساس هر یک از صفات است.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس تجزیه بای‌پلات GYT شامل چند مرحله است: ۱- تبدیل جدول دوطرفه ژنوتیپ × صفت به جدول ژنوتیپ در عملکرد × صفت (GYT)، ۲- استانداردسازی داده‌های جدول GYT، ۳- نمایش جدول GYT به‌صورت بای‌پلات GYT، ۴- محاسبه شاخص GYT که از میانگین ترکیب‌های عملکرد-صفات برای هر ژنوتیپ به‌دست می‌آید (Yan and Fregeau-Reid, 2018; Yan *et al.*, 2019). شاخص GYT برتری کلی را اندازه‌گیری می‌کند و برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. شاخص GYT به‌طور مفهومی و عملی نشان می‌دهد که عملکرد مهم‌ترین صفت است و سطوح بالای صفات دیگر زمانی ارزشمند هستند که با عملکرد بالا همراه باشند. بنابراین، انتخاب بر اساس شاخص GYT، تضمین می‌کند که ژنوتیپ‌های انتخاب شده، حداقل دارای عملکرد دانه بالایی هستند (Yan *et al.*, 2019). در واقع، برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر، انتخاب با استفاده از شاخص GYT لازم است تا از انتخاب ژنوتیپ‌های با نقص‌های جدی ممانعت شود. بنابراین، ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص GYT رتبه‌بندی و سپس ژنوتیپ‌هایی که نقص‌های جدی برای هر صفت کلیدی دارند، حذف می‌شوند.

در بای‌پلات GYT ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر ترکیبات عملکرد-صفت رتبه‌بندی و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌ها و حتی شباهت و عدم شباهت آن‌ها از نظر صفات مختلف مشخص می‌شود. یکی دیگر از مزایای روش بای‌پلات GYT، نمایش مختصات تستر متوسط (ATC) بای‌پلات GYT می‌باشد. نمایش ATC بای‌پلات GYT یک روش موثر برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد-صفت است و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که ATC زمانی معتبر است که دو شرط لازم زیر صادق باشند: ۱- داده‌ها در همه محیط‌ها دارای واحد یکسان باشند (یا فاقد واحد که در مورد داده‌های استاندارد شده صادق است)، ۲- همبستگی منفی قوی بین صفات وجود نداشته باشد. شرط اول در بای‌پلات GYT با استانداردسازی داده‌ها و شرط دوم با همبستگی مثبت ترکیب عملکرد دانه با صفات ایجاد می‌شود. بای‌پلات GYT برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها در یولاف (Yan and Fregeau-Reid, 2018)، کنجد (Seyni and Abdoua, 2019)، گندم دوروم (Kendal, 2019; Mohammadi, 2019)

عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۶۴ متر است. اطلاعات هواشناسی منطقه طی دو سال اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شرایط دیم کشت شدند. هر ژنوتیپ در هشت خط به طول شش متر و فاصله خطوط ۱۵ سانتی‌متر کاشت شد. میزان بذر مصرفی با توجه به وزن هزار دانه بر پایه تراکم ۳۵۰ دانه در مترمربع و عمق کاشت ۴-۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت، از سموم سیستمیک برای ضدعفونی بذر علیه بیماری‌های قارچی استفاده شد. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش گرانستار و تاپیک به‌صورت توام در مرحله انتهایی پنجه‌دهی و ابتدای ساقه‌دهی استفاده شد. صفات مورد ارزیابی شامل تعداد روز تا سنبله‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، طول سنبله، طول ریشک، تعداد سنبله‌چه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه بودند.

گندم نان (Abd-ElHamid *et al.*, 2019) و گاودانه (Cruz *et al.*, 2020) استفاده شده است. از این روش برای ارزیابی مدیریت زراعی و ترکیب ژنوتیپ-مدیریت زراعی در یولاف نیز استفاده شده است (Yan *et al.*, 2019). با توجه به مزیت‌هایی که در روش بای‌پلات GYT وجود دارد، این تحقیق اجرا شد که هدف از آن، استفاده از روش بای‌پلات GYT جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گندم نان بر اساس ترکیب صفات زراعی با عملکرد دانه و بررسی روابط بین ترکیبات عملکرد-صفت تحت شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

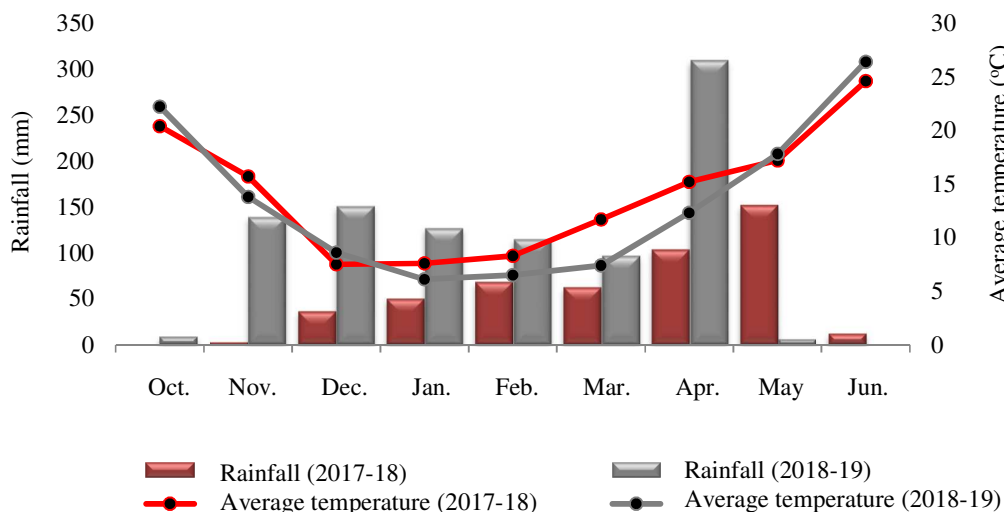
مواد گیاهی و مشخصات آزمایش

مواد گیاهی این پژوهش، ۱۶ ژنوتیپ گندم نان بودند که در ایستگاه تحقیقات سراب چنگایی شهرستان خرم‌آباد طی دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۶) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نام و شجره ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. ایستگاه سراب چنگایی در ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه

جدول ۱- نام و شجره ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این آزمایش

Table 1. Name and pedigree of the studied genotypes in this experiment

Code	Name / Pedigree
G1	AFTAB
G2	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KUKUNA/4/BACEU #1/5/BECARDCMSS07Y00885T-099TOPM-099Y-099M-099Y-10M-0RGY
G3	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KUKUNA/4/CROSBILL #1/5/BECARDCMSS 07Y01006 T-099TOPM-099Y-099M-099NJ-099NJ-7RGY-0B
G4	BABAX/LR42//BABAX*2/3/KUKUNA/4/CROSBILL #1/5/BECARD
G5	BLOUK #1/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/ KAUZ*2/ TRAP//KAUZCMSS06B01047T-099TOPY-099Y-11M-0Y-5B-0Y
G6	KIRITATI//PRL/2*PASTOR/5/OASIS/KAUZ//4*BCN/3/PASTOR/4/KAUZ*2/YACO//KAUZ/6/ KIRITATI//PRL/2*PASTORCMSS07Y00718T-099TOPM-099Y-099M-099Y-22M-0RGY
G7	BAJ #1/3/KIRITATI//ATTILA*2/PASTOR CMSS07Y 00288S-0B-099Y-099M-099NJ-099NJ-10WGY-0B
G8	WBLL1*2/VIVITSI//MESIA/3/KIRITATI/WBLL1CMSS07Y00841T-099TOPM-099Y-099M-099Y-12M-0WGY
G9	SUP152/BAJ #1CMSS08Y00185S-099Y-099M-099NJ-099NJ-28WGY-0B
G10	MUNAL*2/WESTONIAMSS08Y00871T-099TOPM-099Y-099M-099NJ-099NJ-66WGY-0B
G11	CHEWINK #1/MUTUSCMSS08Y00485S-099Y-099M-099Y-5M-0WGY
G12	MUNAL*2/WESTONIAMSS08Y00833T-099TOPM-099Y-099M-099NJ-099NJ-8WGY-0B
G13	BABAX/LR42//BABAX*2/3/PAVON 7S3, +LR47/4/ND643/2*WBLL1 /5/BABAX /LR42// BABAX*2/3/PAVON 7S3, +LR47CMSS08B00634T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-24WGY-0B
G14	QUAIU #1/5/KIRITATI/4/2*SERI.1B*2/3/ KAUZ*2/ BOW//KAUZ/6/ BECARD CMSS08B00645T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-6WGY-0B
G15	KACHU/BECARD//WBLL1*2/BRAMBLINGCMSS07B00580T-099TOPY-099M-099NJ-099NJ-10WGY-0B
G16	KIRITATI//2*PRL/2*PASTOR/3/CHONTE/5/PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79 //2*SERICMSS08B00732T-099TOPY-099M-099Y-6M-0WGY



شکل ۱- متوسط دما و بارش ماهیانه طی دو سال اجرای آزمایش (سال زراعی ۹۸-۱۳۹۶)
Figure 1. Average temperature and rainfall in two cropping seasons (2017-2019)

که در آن، ζ_{i1} و ζ_{i2} به ترتیب مقادیر ویژه مولفه‌های اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) برای ژنوتیپ i ، τ_{1j} و τ_{2j} به ترتیب مقادیر ویژه PC1 و PC2 برای ترکیب عملکرد-صفت j ، λ_1 و λ_2 به ترتیب مقادیر منفرد مولفه‌های اصلی اول و دوم، ε_{ij} آثار باقیمانده مدل، α فاکتور تقسیم‌بندی مقادیر منفرد، در صورتی که $\alpha=1$ (برای مثال $SVD=1$ در $GGE\text{-}Biplot$)، بای پلات بر ژنوتیپ‌ها متمرکز شده و برای مقایسه ژنوتیپ‌ها سودمند است، در صورتی که $\alpha=0$ (SVD=2)، بای پلات بر ترکیب عملکرد-صفت متمرکز شده و برای نمایش همبستگی بین ترکیبات عملکرد-صفت سودمند است. روابط ژنوتیپ \times ترکیب عملکرد-صفت از انتخاب α تاثیر نگرفته است. مقیاس d به گونه‌ای انتخاب شده است که طول بلندترین بردار در بین ژنوتیپ‌ها با طول آن در بین ترکیب عملکرد-صفت برابر باشد.

بای پلات GYT، با پلات $d\lambda_1^\alpha \zeta_{i1}$ در مقابل $d\lambda_2^\alpha \zeta_{i2}$ برای ژنوتیپ‌ها و $\frac{\lambda_1^{1-\alpha} \tau_{1j}}{d}$ در مقابل $\frac{\lambda_2^{1-\alpha} \tau_{2j}}{d}$ برای ترکیب عملکرد-صفت به دست آمد. تجزیه بای پلات GYT با استفاده از نرم‌افزار GGEBiplot انجام شد.

با توجه به این که صفات مورد مطالعه دارای واحد و مقیاس متفاوتی بودند، بنابراین ابتدا استانداردسازی داده‌ها برای از بین بردن واحدها صورت گرفت. استانداردسازی داده‌ها با استفاده از رابطه (۱) انجام شد:

$$P_{ij} = \frac{T_{ij} - \bar{T}_j}{S_j} \quad (1)$$

که در آن، P_{ij} عدد استاندارد شده ژنوتیپ i برای ترکیب عملکرد-صفت j ، T_{ij} داده اولیه ژنوتیپ i برای ترکیب عملکرد-صفت j ، \bar{T}_j میانگین همه ژنوتیپ‌ها برای ترکیب عملکرد-صفت j و انحراف معیار ترکیب عملکرد-صفت j در همه ژنوتیپ‌ها است.

بای پلات GYT بر مبنای دو مولفه اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) حاصل از تجزیه به مقادیر منفرد (SVD) داده‌های استاندارد شده انجام شد. تجزیه به مقادیر منفرد، داده‌های GYT را به مقادیر ویژه ژنوتیپ، مقادیر ویژه ترکیب عملکرد-صفت و مقادیر منفرد تجزیه می‌کند. مدل آماری این روش به صورت رابطه (۲) است (Yan and Fregeau-Reid, 2018):

$$P_{ij} = (d\lambda_1^\alpha \zeta_{i1}) \left(\frac{\lambda_1^{1-\alpha} \tau_{1j}}{d} \right) + (d\lambda_2^\alpha \zeta_{i2}) \left(\frac{\lambda_2^{1-\alpha} \tau_{2j}}{d} \right) + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

نتایج و بحث

عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و شرایط آب و هوایی سال‌های

اجرای آزمایش

بررسی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه طی دو سال اجرای آزمایش نشان داد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها از ۱۹۳۹ کیلوگرم در هکتار برای ژنوتیپ G3 در سال دوم تا ۴۲۶۱ کیلوگرم در هکتار برای ژنوتیپ G1 در سال اول اجرای آزمایش متغیر بود (جدول ۲). تفاوت در مقدار و توزیع بارندگی در سال‌های اجرای آزمایش می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار بر تغییرات بالای دامنه عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها باشد. تفاوت آمار بارندگی در دو سال اجرای آزمایش، الگوی متفاوت توزیع بارندگی را نشان داد (شکل ۱)، به‌طوری که سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، با وجود پاییزی کم‌باران (۳۹ میلی‌متر بارندگی)، فروردین و اردیبهشت پربرانی داشت و تقریباً ۵۵ درصد از کل بارش‌های سال را شامل شد، در حالی که در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، با وجود ۳۰۹ میلی‌متر بارندگی در نیمه اول فروردین‌ماه، بارندگی بسیار اندکی (۶ میلی‌متر) در اردیبهشت به‌وقوع پیوست و این امر به کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در این سال زراعی منجر شد. البته کاهش متوسط دما و نیز شستشوی مواد غذایی خاک به‌علت بارندگی‌های شدید در فروردین‌ماه سال

دوم اجرای آزمایش نسبت به سال اول آزمایش نیز می‌تواند از عوامل موثر بر کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها باشد. در دو سال اجرای آزمایش، متوسط عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها بین ۳۴۳۳-۲۷۳۱ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد دانه از ژنوتیپ‌های G1 (رقم آفتاب)، G15 و G8 به‌ترتیب با میانگین ۳۴۳۳، ۳۲۶۹ و ۳۲۳۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. ژنوتیپ‌های G4 و G13 نیز به‌ترتیب با میانگین عملکرد ۲۷۳۲ و ۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار، کم‌ترین عملکرد دانه را تولید کردند.

جدول GYT بر اساس ترکیب هر صفت و عملکرد دانه طبق روش یان و فرگیورد (Yan and Fregeau-Reid, 2018) به‌دست آمد (جدول ۳). برای این منظور، مقادیر صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، طول ریشک، تعداد سنبله در سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و وزن هزار دانه در عملکرد دانه ضرب شد و ترکیب صفت-عملکرد دانه به‌دست آمد. همچنین برای صفات تعداد روز تا سنبله‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی که مقادیر بالای آن‌ها نامطلوب است، مقدار هر صفت بر عملکرد دانه تقسیم شد. شاخص GYT هر ژنوتیپ نیز از محاسبه میانگین ترکیبات صفت-عملکرد دانه آن بر اساس جدول GYT استاندارد شده به‌دست آمد (Yan et al., 2019).

جدول ۲- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ۱۶ ژنوتیپ گندم نان طی دو سال اجرای آزمایش

Table 2. Average of measured traits in 16 bread wheat genotypes in two experimental years

Genotype [†]	PH (cm)	SL (cm)	AL (cm)	NSPS	NGPS	GWPS (g)	TKW (g)	DH	DM	GY (kg/ha)
G1	74.2	9.0	6.4	15.7	39.9	1.7	39.8	139.8	182.9	3433.3
G2	74.6	9.2	5.6	16.1	42.2	2.0	46.5	139.0	184.6	3069.8
G3	80.3	9.8	6.2	16.0	42.0	1.9	44.5	139.8	185.1	3098.6
G4	73.3	8.7	5.9	15.5	39.2	1.8	43.2	139.9	185.0	2731.6
G5	74.9	8.3	6.1	15.7	40.1	1.8	45.2	140.4	185.4	3059.7
G6	80.9	8.5	5.6	15.5	38.7	1.7	41.4	138.5	183.5	2884.7
G7	79.7	8.4	5.5	16.5	39.9	1.7	40.5	140.1	183.6	2761.8
G8	81.0	9.2	6.0	17.0	47.5	2.1	42.9	143.5	185.3	3231.6
G9	83.7	9.1	6.2	16.5	40.7	1.7	39.5	144.5	185.8	3021.2
G10	80.7	8.5	5.9	15.6	37.7	1.6	41.9	143.3	185.0	3249.7
G11	85.3	8.6	5.8	16.4	39.0	1.6	37.1	144.3	185.8	3105.2
G12	80.1	8.5	5.7	15.8	39.6	1.7	38.0	141.6	185.1	3161.8
G13	73.5	7.4	4.6	14.3	40.5	1.5	33.7	138.9	183.9	2800.3
G14	76.2	8.4	5.6	16.6	43.4	1.7	37.8	142.1	185.5	2760.4
G15	82.1	9.1	6.2	17.0	41.2	2.0	43.4	140.1	185.0	3268.8
G16	80.9	8.9	6.7	15.9	41.4	1.9	42.1	141.0	185.6	3046.5

†:

Trait abbreviations are: PH, plant height; SL, spike length; AL, awn length; NSPS, number of spikelet per spike; NGPS, number of grain per spike; GWPS, grain weight per spike; TKW, 1000-kernel weight; DH, days to heading; DM, days to maturity; Y, grain yield.

جدول ۳- مقدار ژنوتیپ در عملکرد×صفت (GYT) در ۱۶ ژنوتیپ گندم طی دو سال اجرای آزمایش

Table 3. Genotype by yield×trait (GYT) data in 16 wheat genotypes in two experimental years

Genotype	Y×PH	Y×SL	Y×AL	Y×NSPS	Y×NGPS	Y×GWPS	Y×TKW	Y×DH	Y×DM
G1	254691.0	31013.8	22100.2	53930.9	136901.4	5667.7	136519.5	24.6	18.8
G2	229006.5	28165.3	17266.3	49500.4	129442.9	6201.0	142756.8	22.1	16.6
G3	248779.7	30340.6	19069.4	49448.7	130270.8	5948.0	137770.7	22.2	16.7
G4	200180.5	23890.1	16167.6	42453.6	107101.4	4911.2	117912.8	19.5	14.8
G5	229224.2	25281.0	18680.9	48063.1	122771.4	5590.4	138163.8	21.8	16.5
G6	233458.2	24640.3	16206.1	44833.4	111542.6	4887.2	119366.3	20.8	15.7
G7	220208.0	23061.1	15280.8	45569.8	110305.4	4727.3	111916.7	19.7	15.0
G8	261705.5	29824.9	19470.4	54802.5	153366.2	6758.1	138691.7	22.5	17.4
G9	252734.3	27480.2	18693.6	49723.6	122987.2	5069.3	119247.0	20.9	16.3
G10	262179.3	27459.6	19068.7	50775.8	122539.0	5156.1	136030.2	22.7	17.6
G11	264926.0	26717.7	18161.6	50847.8	121103.1	5069.3	115164.9	21.5	16.7
G12	253207.9	26875.3	18121.1	50061.9	125286.5	5525.3	120224.0	22.3	17.1
G13	205767.2	20792.6	12753.2	39904.9	113297.4	4246.0	94339.8	20.2	15.2
G14	210286.2	23107.0	15338.7	45891.9	119848.1	4782.4	104385.6	19.4	14.9
G15	268337.1	29745.6	20172.3	55568.8	134699.7	6387.7	141729.5	23.3	17.7
G16	246553.0	27037.9	20449.8	48490.6	126050.1	5648.8	128333.8	21.6	16.4

کردند (شکل ۲- b). بالاترین میزان $Y \times TKW$ و $Y \times GWPS$ در ژنوتیپ‌های G8 و G2 مشاهده شد. این ژنوتیپ‌ها در ترکیب عملکرد دانه با وزن هزار دانه و وزن دانه در سنبله بهترین بودند. از سوی دیگر، ژنوتیپ G16 نیز در ترکیب عملکرد دانه با طول سنبله، زودرسی، ارتفاع بوته، طول ریشک و تعداد دانه در سنبله بهترین بود.

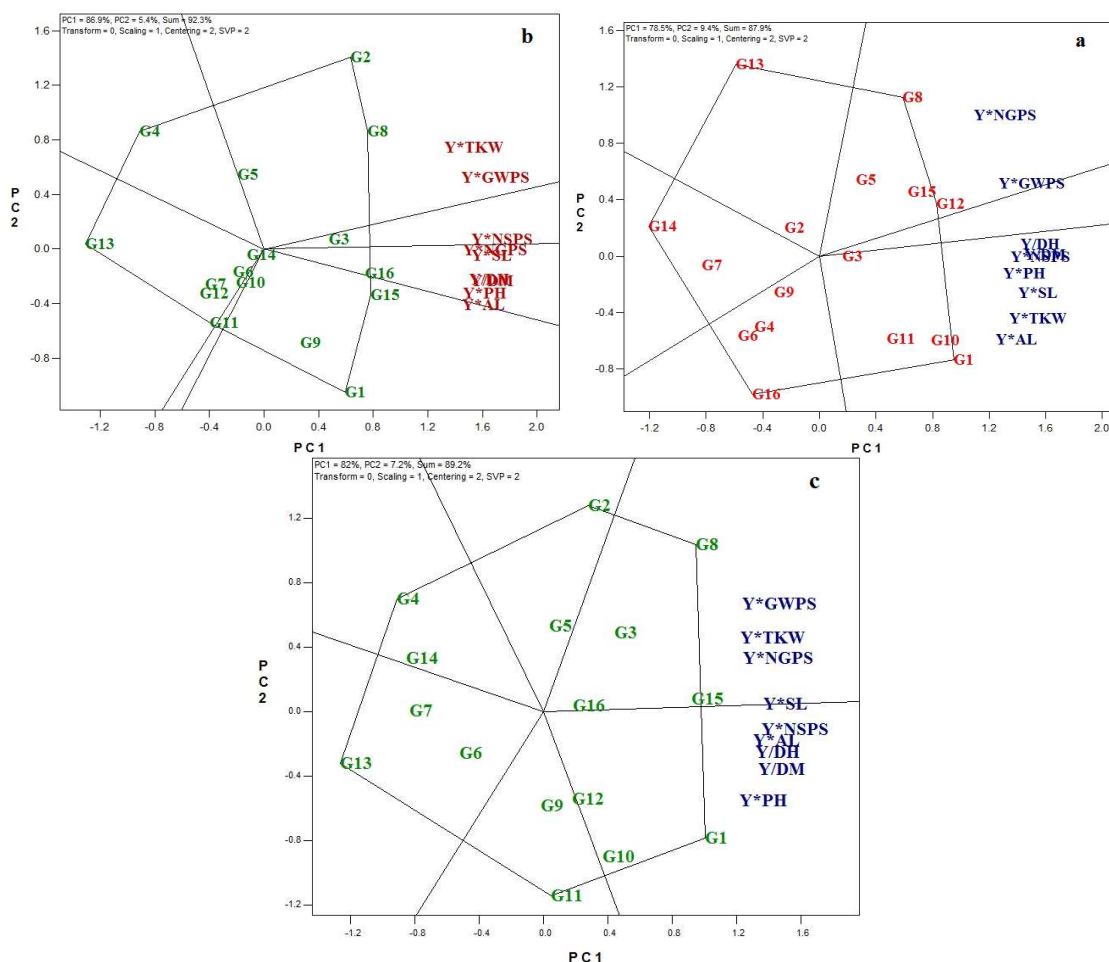
نتایج دو ساله بای‌پلات GYT (شکل ۲- c) نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های G8 و G15 با بیش‌ترین میزان $Y \times TKW$ ، $Y \times NGPS$ ، $Y \times GWPS$ و $Y \times SL$ در ترکیب عملکرد دانه با وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و طول سنبله بهترین ژنوتیپ‌ها بودند. این امر نشان داد که این پتانسیل وجود دارد که به‌طور هم‌زمان چند صفت وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله در گندم نان بهبود یابد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در روند برنامه‌های به‌زادگی گندم نان به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم انتخاب برای افزایش عملکرد دانه از طریق تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه انجام شده است. در مطالعه انجام شده توسط علی‌پور و همکاران (Alipour et al., 2019) روی ۳۱۳ ژنوتیپ گندم نان، افزایش صفات تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در ارقام زراعی گزارش شد و مشخص شد که این صفات بیش‌ترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد داشتند. در مطالعه دیگری در گندم گزارش شد که انتخاب غیرمستقیم بر اساس تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در افزایش عملکرد موثر است (McNeal et al., 1978). همچنین نتایج دو ساله بای‌پلات GYT نشان داد

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از نمایش چندضلعی بای‌پلات GYT

نمایش چندضلعی بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد×صفت (GYT) برای ترکیب عملکرد دانه با نه صفت مورد ارزیابی در ۱۶ ژنوتیپ گندم نان در شکل ۲ ارایه شده است. در سال اول اجرای آزمایش، دو مولفه اصلی اول بای‌پلات GYT ($PC1$ و $PC2$) به ترتیب ۷۸/۵ و ۹/۴ درصد و در مجموع ۸۷/۹ درصد از تغییرات کل داده‌های استاندارد شده را توجیه کردند (شکل ۲- a). به‌منظور دستیابی به نیکویی برازش برای مدل بای‌پلات، دو مولفه اصلی اول باید بیش از ۶۰ درصد از تنوع کل موجود در داده‌ها را توجیه کنند (Abd-Elhamid et al., 2019) که با نتیجه به‌دست آمده مطابقت داشت. ژنوتیپ G1 و سپس G10 بیش‌ترین میزان $Y \times TKW$ ، $Y \times SL$ ، $Y \times AL$ ، $Y \times PH$ ، $Y \times NSPS$ ، $Y \times DH$ و $Y \times DM$ را داشتند. این موضوع نشان داد که این دو ژنوتیپ در ترکیب عملکرد دانه با وزن هزار دانه، طول سنبله، طول ریشک، ارتفاع بوته، تعداد سنبلچه در سنبله و زودرسی (تعداد روز تا گلدهی و رسیدگی) بهترین بودند. ژنوتیپ‌های G8، G12 و سپس G15 نیز بیش‌ترین میزان $Y \times NGPS$ و $Y \times GWPS$ را داشتند که بیانگر برتری نسبی این ژنوتیپ‌ها در ترکیب عملکرد دانه با تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بودند. در سال دوم نیز دو مولفه اصلی اول بای‌پلات GYT ($PC1$ و $PC2$) به ترتیب ۸۶/۹ و ۵/۴ درصد و در مجموع ۹۲/۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه

بر اساس چندین صفت به‌منظور دستیابی به پیشرفت ژنتیکی بالا در برنامه‌های اصلاحی معرفی شده است (Yan and Fregeau-Reid, 2018; Yan *et al.*, 2019; Mohammadi, 2019).

که ژنوتیپ G1 در ترکیب عملکرد دانه با ارتفاع بوته، زودرسی، طول ریشک و تعداد سنبلچه در سنبله بهترین بود. در تحقیقات انجام شده طی سال‌های اخیر نیز از روش بای پلات GYT برای ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌ها استفاده و این روش به‌عنوان ابزاری موثر و مفید برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها



شکل ۲- نمایش الگوی "کدام ژنوتیپ، کدام صفت" در بای پلات ژنوتیپ در عملکرد \times صفت: (a) سال اول، (b) سال دوم، (c) میانگین دو سال. Figure 2. Which-won-where view of the genotype by yield \times trait biplot: a. 2017-18, b. 2018-19, c. average two years.

را یکی از ویژگی‌های مهم بای پلات GYT در مقایسه با بای پلات GT عنوان کردند، زیرا وجود این همبستگی، امکان ارزیابی گرافیکی ژنوتیپ‌ها را بر اساس نمایش ATC بای پلات GYT فراهم می‌کند.

در سال اول اجرای آزمایش، $Y \times TKW$ همبستگی بالایی با $Y \times SL$ و $Y \times AL$ نشان داد که بیانگر اهمیت صفات وزن هزار دانه، طول سنبله و طول ریشک در ترکیب عملکرد دانه برای افزایش تولید ژنوتیپ‌ها در شرایط دیم

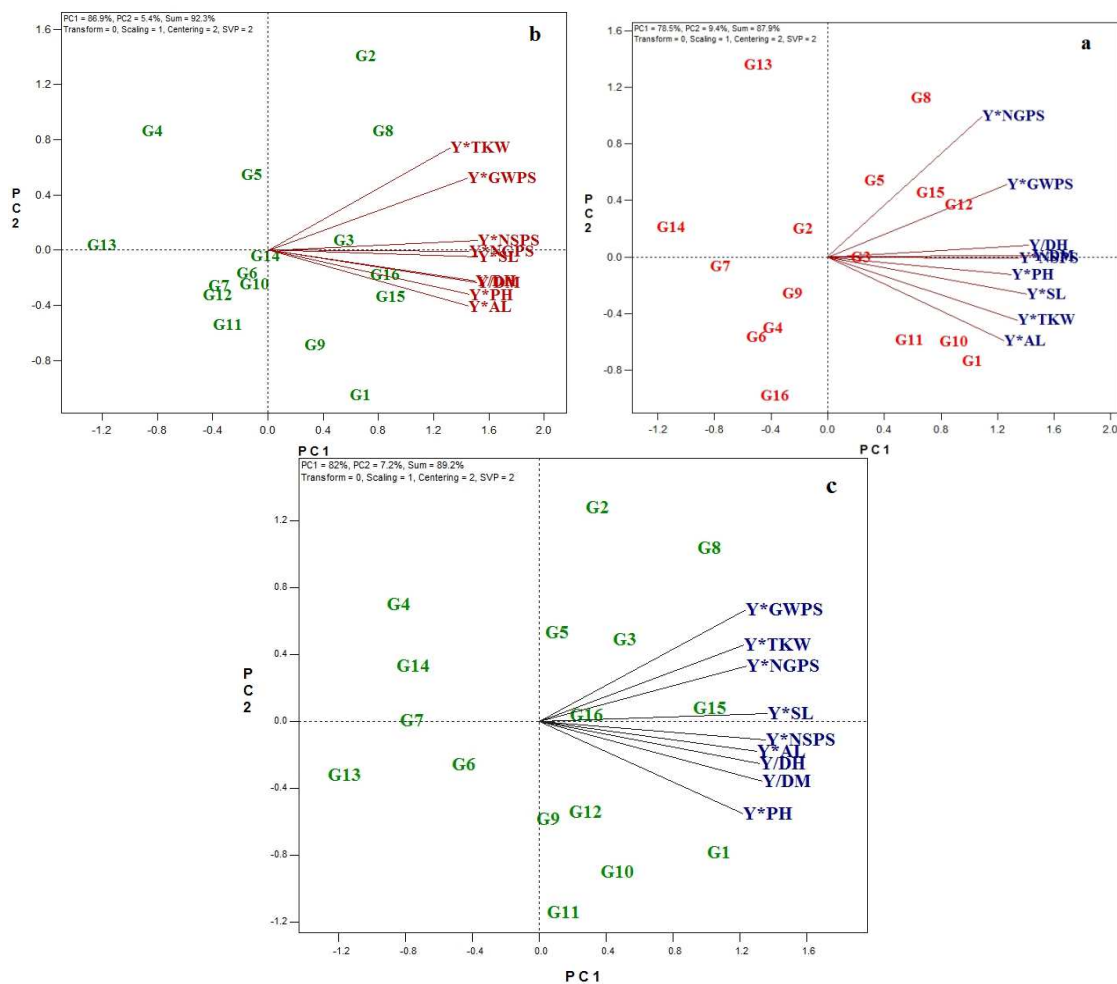
ارزیابی همبستگی بین ترکیبات عملکرد-صفت

در نمایش برداری بای پلات GYT، زاویه حاده بین ترکیبات عملکرد-صفت، همبستگی مثبت بین کلیه ترکیبات عملکرد-صفت را نشان دادند (شکل ۳). از آنجایی که عملکرد به‌عنوان یک مولفه در کلیه ترکیبات عملکرد-صفت وجود دارد، از این‌رو ترکیبات مختلف عملکرد-صفت به همبستگی مثبت تمایل دارند. یان و همکاران (Yan *et al.*, 2019) همبستگی مثبت بین ترکیبات عملکرد-صفت

تعداد سنبلچه در سنبله در ترکیب با عملکرد دانه در این سال مشاهده شد.

بر اساس تجزیه دو ساله بای پلات GYT (شکل ۳-۱c)، همبستگی قوی بین $Y \times GWPS$ ، $Y \times NGPS$ و $Y \times TKW$ مشاهده شد که بیانگر سودمندی ترکیب وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله با عملکرد دانه برای افزایش تولید ژنوتیپها تحت شرایط دیم می باشد. در برخی تحقیقات انجام شده نیز بهبود عملکرد دانه را به افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت دادند (Navabpour and Kazemi, 2013; Alipour *et al.*, 2019). البته این امر با توجه به نقش جبرانی اجزای عملکرد تا زمانی که تعادل بین منبع و مخزن برقرار باشد، امکان پذیر است (Navabpour and Kazemi, 2013).

بود (شکل ۳-۱a). همبستگی بالای بین $Y \times DM$ ، $Y \times DH$ و $Y \times PH$ نیز نشاندهنده سودمندی بالای ترکیب ارتفاع بوته، زودرسی و تعداد سنبلچه در سنبله برای بهبود تولید برخی ژنوتیپها از جمله ژنوتیپ G1 می باشد. در سال دوم اجرای آزمایش، زاویه حاده بین بردارهای $Y \times TKW$ و $Y \times GWPS$ از همبستگی مثبت بین ترکیب وزن هزار دانه و وزن دانه در سنبله با عملکرد دانه بود (شکل ۳-۱b). همبستگی قوی بین $Y \times DM$ ، $Y \times DH$ ، $Y \times AL$ و $Y \times PH$ نیز بیانگر سودمندی بالای ترکیب ارتفاع بوته، طول ریشک، روز تا سنبله دهی و روز تا رسیدگی با عملکرد دانه برای بهبود تولید ژنوتیپها می باشد. همچنین همبستگی بالایی بین تعداد دانه در سنبله، طول سنبله و



شکل ۳- نمایش برداری بای پلات ژنوتیپ در عملکرد \times صفت. (a. سال اول، (b. سال دوم، (c. میانگین دو سال.

Figure 3. The vector view of the genotype by yield x trait biplot. a. 2017-18, b. 2018-19, c. average two years.

صفات طبقه دوم در تجزیه GYT در ترکیب با عملکرد استفاده شود. البته، محدودیتی در تعداد صفات مورد ارزیابی برای تجزیه GYT وجود ندارد، اما برای نمایش بای‌پلات حداقل سه ترکیب صفت-عملکرد لازم است (Yan *et al.*, 2019). به هر حال، شاخص GYT تحت تاثیر تعداد صفات ارزیابی شده قرار می‌گیرد، زیرا عملکرد به‌عنوان یک مولفه در هر ترکیب صفت-عملکرد وجود دارد. بنابراین، هر چه تعداد صفات بیش‌تر باشد، وزن بیش‌تری برای عملکرد نسبت به دیگر صفات داده می‌شود و برعکس، هر چه تعداد صفات کم‌تر باشد، وزن کم‌تری هم به عملکرد داده می‌شود.

رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب عملکرد-صفت و شاخص GYT

در نمایش ATC بای‌پلات GYT، محور نشان داده شده با نوک پیکان مشخص می‌کند که چه ژنوتیپ‌هایی از نظر صفات متعادل هستند و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌ها را از نظر صفات مورد ارزیابی نشان می‌دهد. در این مطالعه، بهترین ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیبات صفت - عملکرد به ترتیب G1، G8 و G15 بودند (شکل ۴). از سوی دیگر، G13، G4، G14 و G7 به ترتیب ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، ژنوتیپ‌های G15 و G16 از نظر صفات مختلف متعادل بودند. ژنوتیپ G8 از نظر وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و طول سنبله در ترکیب با عملکرد دانه مطلوب بود، اما از نظر طول ریشک، ارتفاع بوته و تعداد سنبلچه در سنبله در ترکیب با عملکرد دانه، ژنوتیپ ضعیفی بود. ژنوتیپ G1 نیز از نظر تعداد سنبلچه در سنبله، طول ریشک، زودرسی و ارتفاع بوته در ترکیب با عملکرد دانه، مطلوب و از نظر وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و طول سنبله در ترکیب با عملکرد دانه ضعیفی بود. به‌طور کلی، ژنوتیپ‌های قرار گرفته بالای خط ATC به مقادیر بالای وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و طول سنبله و مقادیر نسبتاً پایین ارتفاع بوته، طول ریشک و تعداد سنبلچه در سنبله تمایل داشتند. عکس این موضوع برای ژنوتیپ‌های قرار گرفته زیر خط ATC صادق است. در واقع، نمایش ATC بای‌پلات GYT، تضاد بین ژنوتیپ‌ها را از نظر ترکیب صفت - عملکرد برای بهبود مواد ژنتیکی در برنامه اصلاحی نمایان می‌سازد. ژنوتیپ‌های G1، G8 و G15 برای هیچ‌یک از صفات مورد ارزیابی مقادیر منفی نداشتند (جدول ۳). این امر بیانگر برتری نسبی این

همبستگی بالای بین $Y \times AL$ ، $Y \times DM$ ، $Y \times DH$ و $Y \times NSPS$ اهمیت طول ریشک، زودرسی و تعداد سنبلچه در سنبله را در ترکیب با عملکرد دانه برای بهبود تولید نشان می‌دهد. قلی‌زاده و همکاران (Gholizadeh *et al.*, 2018) نیز نشان دادند که با کاهش طول دوره گلدهی، عملکرد دانه گندم افزایش یافت. با توجه به کاهش هزینه‌های تولید به‌علت کوتاه شدن طول دوره رشد در اثر زودرسی و با توجه به همبستگی مثبت بین عملکرد و زودرسی در شرایط تنش، می‌توان زودرسی را به‌عنوان یک شاخص انتخاب مستقل به‌منظور اصلاح و ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط تنش مدنظر قرار داد (Gholizadeh *et al.*, 2018).

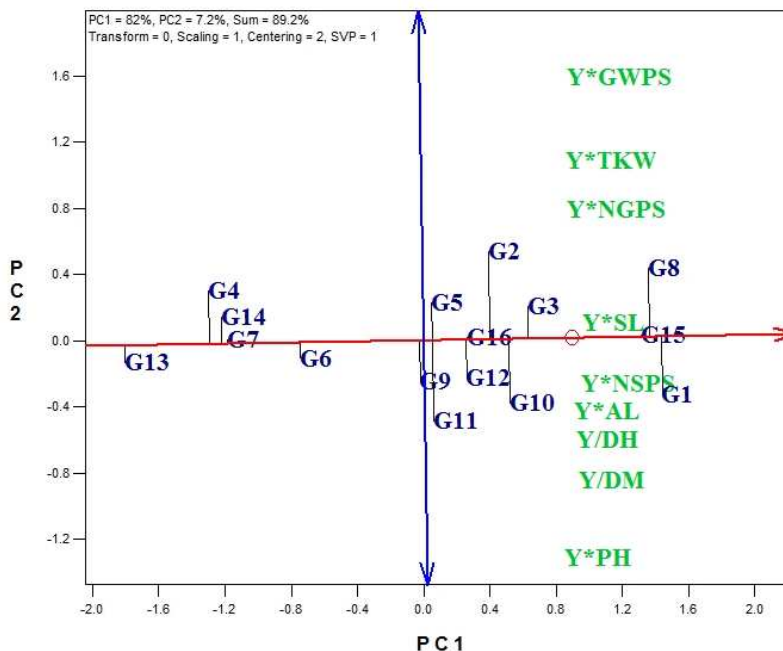
یکی از سودمندی‌های مهم بای‌پلات GYT، شناسایی ترکیبات اضافی جهت کاهش هزینه اندازه‌گیری صفات در آزمایش است (Mohammadi, 2019). در این مطالعه، وجود همبستگی قوی و مثبت بین وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه در سنبله نشان داد که اندازه‌گیری یکی از این صفات (مانند وزن هزار دانه) به‌عنوان معیار انتخاب کفایت می‌کند. همبستگی مثبت و قوی بین تعداد سنبلچه در سنبله، طول ریشک، تعداد روز تا سنبله‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی نیز نشان داد که می‌توان یکی از این صفات (مانند روز تا رسیدگی) را به‌عنوان معیار انتخاب در نظر گرفت و اندازه‌گیری کرد. محمدی (Mohammadi, 2019) نیز اندازه‌گیری صفات وزن هزار دانه و تعداد روز تا سنبله‌دهی را به‌عنوان معیار انتخاب مناسب در میان صفات مورد ارزیابی جهت کاهش هزینه‌های اجرای پروژه در مزرعه، کافی و مناسب دانست.

در تحقیقات به‌نژادی و به‌زرعی تعداد زیادی صفات در نظر گرفته می‌شوند، اما همه صفات از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. از نظر اهمیت، صفات را می‌توان به سه طبقه تقسیم کرد. طبقه اول صفاتی هستند که در انتخاب مثبت به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های برتر استفاده می‌شوند (مانند عملکرد دانه). طبقه دوم صفاتی هستند که نمی‌توان از آن‌ها در انتخاب مثبت استفاده کرد، اما در انتخاب منفی استفاده می‌شوند (مانند مقاومت به خوابیدگی، تحمل به بیماری و زودرسی). در واقع، اگرچه میزان مطلوب این صفات برای معرفی رقم کافی نیست، اما سطح ضعیف این صفات می‌تواند سازگاری رقم به محیط هدف را محدود کند. طبقه سوم صفاتی هستند که می‌توانند به ارزش ژنوتیپ اضافه کنند، اما در انتخاب مثبت یا انتخاب منفی به‌علت اهمیت کم‌تر آنها نقشی ندارند. بنابراین، توصیه می‌شود از

است، زیرا بر اساس این مفهوم است که عملکرد مهم‌ترین صفت است و در صورتی مقادیر بالای صفات دیگر ارزشمند می‌شوند که با عملکرد بالا همراه باشند. بنابراین، انتخاب بر اساس شاخص GYT از انتخاب و معرفی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین جلوگیری می‌کند (Yan *et al.*, 2019). در حالی که، در شاخص انتخاب کلاسیک وزن یک صفت ثابت و از سطوح صفات دیگر مستقل است و در نتیجه ممکن است ژنوتیپ‌هایی با سطوح برتر صفات دیگر، اما با عملکرد کم انتخاب شوند. کاربرد چنین ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان والدین در برنامه اصلاحی می‌تواند سودمند باشد، اما نمی‌توان آن‌ها را در برنامه معرفی رقم مورد توجه قرار داد. در این مطالعه، لاین اصلاحی G6 جزو زودرس‌ترین (۱۳۸ روز تا سنبله‌دهی و ۱۸۳ روز تا رسیدگی) در میان ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بود، اما معرفی آن به‌عنوان رقم به‌علت پتانسیل عملکرد پایین آن با محدودیت مواجه است. در بای‌پلات GYT انجام شده برای ده ژنوتیپ گندم دوروم نیز گزارش شده است که عملکرد دانه تنها صفتی در گندم است که به تنهایی سودمندی یک ژنوتیپ را تعیین می‌کند و صفاتی مانند زودرسی و حتی صفات کیفی، فقط در صورتی برای به‌نژادگر ارزشمند هستند که با مقادیر بالای عملکرد همراه باشند (Kendal, 2019).

ژنوتیپ‌ها برای صفات مورد ارزیابی بود. ژنوتیپ G1 از نظر ترکیب عملکرد دانه با زودرسی ژنوتیپ مطلوبی بود. با توجه به گرما و خشکی آخر فصل در بیش‌تر مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور، می‌توان این ژنوتیپ را برای کاشت در این مناطق توصیه کرد. لاین‌های اصلاحی G8 و G15 در ترکیب عملکرد دانه با برخی صفات زراعی جزء بهترین ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند. این امر بیانگر پیشرفت ژنتیکی برنامه‌های به‌نژادی گندم نان تحت شرایط دیم می‌باشد.

در این تحقیق، ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بر اساس شاخص GYT نیز رتبه‌بندی شدند، به‌این ترتیب که ژنوتیپ‌های با مقادیر بالا و پایین شاخص GYT به ترتیب به‌عنوان بهترین و ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (Yan *et al.*, 2019). بنابراین، ژنوتیپ‌های G1، G8، G15 (به ترتیب با شاخص GYT برابر با ۱/۲۴، ۱/۲۹ و ۱/۱۹) بهترین ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های G4، G13، G14 و G7 (به ترتیب با مقادیر شاخص GYT برابر با ۱/۶۴، ۱/۱۸، ۱/۱۱ و ۱/۰۸) ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. شاخص GYT نزدیک به صفر (۰/۰۳-) در ژنوتیپ G9 نشان داد که این ژنوتیپ مقادیر متوسطی از صفات را دارد و ژنوتیپی حدواسط در بین بهترین و بدترین ژنوتیپ‌ها بود. شاخص GYT نسبت به شاخص‌های انتخاب کلاسیک برتر



شکل ۴- مختصات تستر متوسط (ATC) بای‌پلات ژنوتیپ در عملکرد × صفت جهت رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس برتری کلی و تعیین نقاط قوت و ضعف آن‌ها

Figure 4. Average tester coordinate (ATC) view of the genotype by yield × trait biplot to rank the genotypes based on overall superiority and their strengths and weaknesses

نتیجه‌گیری کلی

بودند و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی و یا در فرایند معرفی رقم مورد توجه قرار گیرند. بر اساس نتایج نمایش ATC و همبستگی ترکیبات عملکرد-صفت در این تحقیق نیز دو راهکار انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد دانه گندم نان تحت شرایط دیم پیشنهاد می‌شود: راهکار اول، انتخاب ژنوتیپ‌های با تعداد سنبلچه در سنبله بیش‌تر، طول ریشک بزرگ‌تر و زودرسی و راهکار دوم، انتخاب ژنوتیپ‌های با تعداد دانه در سنبله بیش‌تر، وزن هزار دانه بیش‌تر و طول سنبله بزرگ‌تر است.

تحت شرایط دیم، باید ژنوتیپ‌هایی را انتخاب و معرفی کرد که بیش‌ترین بهره‌وری را از آب موجود داشته و ثبات عملکرد بالایی در شرایط متغیر محیطی داشته باشند. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G8 و G15 تحت دو شرایط متفاوت از نظر میزان و توزیع بارندگی در دو سال اجرای آزمایش و حتی وقوع تنش کم‌آبی در اردیبهشت‌ماه سال دوم آزمایش، بهترین ژنوتیپ‌ها در ترکیب عملکرد دانه با برخی صفات زراعی

References

- Alipour, A., Bihamta, M. R., Mohammadi, V. and Peyghambari, S. A. 2019. Trends in main agronomic traits and grain yield of wheat landraces and cultivars during the last decades in Iran. *Iranian Journal of Field Crop Sciences*. 49 (4): 125-136. (In Persian with English Abstract).
- Abd-ElHamid, E. A. M., Aglan, M. A. and Hussein, E. M. A. 2019. Modified method for the analysis of genotype by trait (GT) biplot as a selection criterion in wheat under water stress conditions. *Egyptian Journal of Agronomy* 41 (3): 293-312.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water use efficiency and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1159-1168.
- Cattivelli, L. F., Rizza, F. W., Badeck, E., Mazzucotelli, A. M., Mastrangelo, E., Francia, C., Tondelli Mare, A. and Stanca, A. M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research* 105: 1-4.
- Cruz, O. P., Oliveira, T. R. A., Gomes, A. B. S., Sant'Anna, C. Q. S. S., Gravina, L. M. and Rocha, R. S. 2020. Selection of cowpea lines for multiple traits by GYT biplot analysis. *Journal of Agricultural Studies* 8 (4): 126-137.
- Gholizadeh, A., Dehghani, H., Amini, A. and Akbarpour, O. A. 2018. Study on trait relations of wheat genotypes using the biplot method. *Iranian Journal of Field Crop Science* 49 (3): 121-136. (In Persian with English Abstract).
- Kendal, E. 2019. Comparing durum wheat cultivars by genotype \times yield \times trait and genotype \times trait biplot method. *Chilean Journal of Agricultural Research* 79 (4): 512-522.
- McNeal, F. H., Qualset, C. O., Baldrige, D. E. and Stewart, V. R. 1978. Selection for yield and yield components in wheat. *Crop Science* 18: 795-799.
- Mohammadi, R. 2019. Genotype by yield \times trait biplot for genotype evaluation and trait profiles in durum wheat. *Cereal Research Communications* 47 (3): 541-551.
- Navabpour, S. and Kazemi, G. 2013. Study the relations between grain yield and related traits in wheat by path analysis. *Journal of Crop Production* 6 (1): 191-203. (In Persian with English Abstract).
- Seyni, B. and Abdoua, Y. 2019. Genotype by yield \times trait combination biplot approach to evaluate sesame genotypes on multiple traits basis. *Turkish Journal of Field Crops* 24 (2): 237-244.
- Yan, W. and Fregeau-Reid, J. 2008. Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Science* 48: 417-423.
- Yan, W. and Fregeau-Reid, J. 2018. Genotype by yield \times trait (GYT) Biplot: A novel approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports* 8: 1-10.
- Yan, W., Fregeau-Reid, J., Mountain, N. and Kobler, J. 2019. Genotype and management evaluation based on genotype by yield \times trait (GYT) analysis. *Crop Breeding, Genetics and Genomics* 1: 1-21.
- Yan, W. and Rajcan, I. 2002. Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.
- Xu, N., Fok, M., Li, J., Yang, X. and Yan, W. 2017. Optimization of cotton variety registration criteria aided with a genotype- by-trait biplot analysis. *Scientific Reports* 7: 1-10.



Assessment of relationships among traits and selection of superior bread wheat genotypes using genotype by yield \times trait biplot method

Mahnaz Rahmati^{1*}

Received: December 15, 2019

Accepted: May 5, 2020

Abstract

Selection of high yielding and stable genotypes is especially important for rainfed conditions. The objective of this study was to use the genotype by yield \times trait (GYT) biplot method to select superior bread wheat genotypes based on yield-trait combinations under rain-fed conditions. To this end, 16 bread wheat genotypes were assessed in a randomized complete block design with four replications in two cropping seasons, 2017-2019. Comparison of average grain yield of genotypes in the experimental years showed that genotypes G1 (Aftab), G15 and G8 had the highest grain yield with an average yield 3433, 3269 and 3233 kg/ha, respectively. The result of polygon view of GYT biplot showed that G8 was the best genotype in combining grain yield with 1000-kernel weight, number of grain per spike and spike length. Similarly, G1 also had a relative superiority in combining grain yield with number of spikelet per spike, awn length and early maturity. Average tester coordinate (ATC) view of GYT biplot identified genotypes G8, G1 and G15 with all positive yield-trait combinations as the best genotypes and genotypes G14, G4, G13 and G7 as the weakest genotypes. Genotypes G15 and G16 were also balanced for yield- trait combinations. Ranking of the genotypes based on GYT index showed that genotypes G8, G1 and G15 had the best genotypes in combining grain yield with the evaluated traits in the experimental years. Based on the results of this study, high correlations were observed between 1000-kernel weight, number of grain per spike and grain weight per spike in combination with grain yield, indicating high efficiency of combining these traits with grain yield to improve productivity of bread wheat genotypes under rainfed conditions.

Keywords: Average tester coordinate (ATC), GYT index, Rainfed conditions

1. Research Assist. Prof., Dept. of Seed and Plant Improvement Research, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran

* Corresponding author: avinmahnaz@gmail.com