تحقیقات غلات
سال سوم/ شماره دوم/ ۱۳۹۲ (۱۳۰-۱۱۹)

کاربرد روش‌های آماری چند متغیره در شناسایی صفات موثر بر عملکرد گندم نان تحت شرایط تنش رطوبتی

سید سعید موسوی[1*]، فرزاد کیان ارثی[2] و محمدرضا عبدالهی[1]

۱ و ۲- به ترتیب استادیاران و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۲۱)

چکیده

به منظور بررسی کارایی روش‌های آماری چند متغیره در شناسایی مهم‌ترین صفات موثر بر عملکرد دانه، تعیین سهم هر صفت در تغییرات عملکرد و گروه بندی ۲۰ لاین امید بخش گندم نان تحت شرایط تنش رطوبتی آخر فصل، به صورت قطع کامل عمل آبیاری از مرحله ظهور سنبله‌ها به بعد، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی سه مؤلفه اول در مجموع ۷۲ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند که طبق این نتایج، صفات شاخص برداشت سنبله، آب حفظ شده برگ‌های جدا شده (ELWR) و شاخص برداشت به عنوان معیارهایی مناسب در انتخاب لاین‌ها، تأثیر قابل توجهی در واریانس دو مؤلفه مهم اول داشتند. تجزیه خوشه‌ای به روش Ward، لاین‌های مورد بررسی را در چهار گروه قرار داد که نتایج حاصله از تجزیه تابع تشخیص نیز این گروه‌بندی را تایید کرد. نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام بیانگر این بود که مهم‌ترین صفات تأثیرگذار بر عملکرد اقتصادی به ترتیب شامل شاخص برداشت، عملکرد زیست توده و RWC بودند که در مجموع ۹۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. بر اساس نتایج تجزیه علیت، صفت شاخص برداشت بیشترین تأثیر مثبت مستقیم و صفت زیست توده بیشترین تأثیر منفی غیر مستقیم را (از طریق کاهش شاخص برداشت) بر عملکرد اقتصادی داشتند که با توجه به ماهیت هر اثر، می‌توان از این صفات در انتخاب ارقام پر محصول گندم در شرایط تنش رطوبتی آخر فصل استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه تابع تشخیص، تجزیه خوشه‌ای، رگرسیون گام به گام، گندم نان

* نویسنده مسئول: s.moosavi@basu.ac.ir

مقدمه

تنش رطوبتی عامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا است. بر اساس پیش بینی‌های انجمن بین‌المللی تغییر اقلیم، کاهش در میزان بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق از جمله مشکلات پیش رو در آینده کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک خواهد بود (Villegas *et al.,* 2010). این در حالی است که موفقیت کشاورزی در این نواحی بیش از هر چیز به میزان دسترسی به آب وابسته است. بر اساس برخی گزارشات، میانگین عملکرد گندم در دنیا ۳۰ تا ۶۰ درصد عملکرد قابل حصول است که دلیل اصلی این کاهش، کمبود آب است (Deng *et al.*, 2003). از آنجایی که گندم مهم‌ترین محصول زراعی دنیا بوده، سالانه نزدیک به نیمی از سطح زیر کشت محصولات زراعی به کشت و کار این گیاه استراتژیک اختصاص می‌یابد، لذا طی چند دهه گذشته اقدامات زیادی در راستای افزایش عملکرد آن صورت گرفته است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به معرفی ارقام جدید و فعالیت‌های به‌نژادی اشاره کرد (Araus *et al.,* 2003).

روش‌های آماری چند متغیره به طور همزمان ژنوتیپ‌ها را از نظر چندین خصوصیت مورد ارزیابی قرار می‌دهند به طور گسترده در ارزیابی تنوع ژنتیکی، صرف نظر از نوع داده-ها (مورفولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی) استفاده می‌شوند. از جمله مهم‌ترین این روش‌ها، می‌توان به تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه تابع تشخیص و تجزیه علیت اشاره کرد (Mohammadi and Prassanna, 2003). گزارش‌های زیادی در زمینه ارزیابی تنوع ژنتیکی در گیاهان زراعی مختلف، از جمله در گندم (Naderi et al., 2000; Golparvar *et al*., 2002; Golabadi and Arzani, 2003; Hailu *et al*, 2006; Gorbani *et al*., 2010; Nour-Khalaj *et al*., 2010; Zakizade *et al*., 2010; Ahmadi et al., 2011; Hakimpour and Mostafavi, 2011; Mohamadi *et al*., 2011; Harb *et al*., 2012; Mazinani *et al*., 2012; Moghadaszade *et al*., 2012) سیب زمینی (Rabiei *et al.,* 2008)، ماش (Zabet and Hossienzadeh, 2011) و عدس (Saman *et al.*, 2012)، با استفاده از روش‌های آمار چند متغیره ارائه شده است. به طور کلی، استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، جهت شناسایی صفات مهم و مؤثر در عملکرد و تعیین میزان سهم نسبی هر یک از آن‌ها بر عملکرد، مفید و کارآمد است. در تحقیق گلپرور و پیربلوطی (Golparvar and Pirbalouti, 2008) ۹۸ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به دو مؤلفه اول بود که ۶۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها توسط اولین مؤلفه توجیه می‌شد و این مؤلفه رابطه مثبت با عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط تنش و عدم تنش داشت و به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد نام‌گذاری شد. دهقان و همکاران (Dehghan *et al*., 2010) اظهار داشتند که بر اساس نتایج رگرسیون چند متغیره خطی، صفات زیست توده، شاخص برداشت و تعداد روز تا ظهور سنبله حدود ۸۴ درصد از تغییرات میانگین عملکرد را در لاین‌ها گندم توجیه می‌کنند. همچنین تحقیق آن‌ها نشان داد که در تجزیه علیت، اثر مستقیم عملکرد زیست توده و شاخص برداشت بر عملکرد دانه مثبت و بالا بود، ولی تعداد روز تا ظهور سنبله فقط اثر غیر مستقیم و منفی از طریق عملکرد زیست توده بر عملکرد دانه داشت. همچنین تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش Ward با استفاده از ضریب مجذور فاصله اقلیدسی، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه آن‌ها را در چهار گروه تقسیم کرد. هاشمی نژاد و همکاران (Hasheminezhad *et al.*, 2010) در بررسی تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مختلف ژنوتیپ‌های مختلف گندم را به سه گروه مجزا تفکیک نمودند و بیان کردند که بین گروه‌های مورد نظر اختلاف معنی‌داری وجود دارد. تجزیه علیت یکی از روش-های بسیار مفید کاربردی برای تجزیه‌های همبستگی ژنتیکی و فنوتیپی و پی بردن به اثرات مستقیم و غیر مستقیم محسوب می‌شود (Chougan, 2007). عزیزپور و شریفی (Azizpour and Sharifi, 2008) در بررسی تجزیه علیت روی صفات کمی و کیفی چغندر قند، با در نظر گرفتن وزن ریشه به عنوان صفت وابسته، نشان دادند که تعداد بوته در کرت دارای اثر مستقیم و مثبت بر روی عملکرد ریشه بود. صبوری و همکاران (Sabouri *et al.,* 2008) ارقام برنج را در شرایط مختلف رطوبتی بر اساس تجزیه خوشه‌ای در چهار گروه دسته‌بندی نمودند و صحت گروه‌بندی ارقام، بر اساس نتایج تابع تشخیص تایید شد. مقصودی و همکاران (Maghsoudi *et al*., 2009) اظهار داشتند که نتایج تجزیه مسیر، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، شاخص برداشت بالاترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد دانه داشت. بعد از شاخص برداشت در شرایط عدم تنش بالاترین اثر مستقیم را تعداد خوشه در متر مربع و در شرایط تنش وزن هزار دانه بر عملکرد داشت. بالاترین اثر غیر مستقیم منفی بر عملکرد را تعداد خوشه در متر مربع از طریق تعداد دانه در خوشه در شرایط عدم تنش داشت.

در این پژوهش ۲۰ لاین امیدبخش گندم نان از نظر صفات مهم زراعی تحت شرایط تنش رطوبتی آخر فصل مورد ارزیابی قرار گرفتند و هدف از آن: (۱) شناسایی مطلوب‌ترین لاین‌ها از نظر عملکرد و سایر صفات تأثیر گذار بر آن، (۲) شناسایی مهم‌ترین صفات زراعی و کمی مؤثر بر عملکرد اقتصادی و تعیین سهم و آثار مستقیم و غیر مستقیم هر صفت و (۳) مطالعه کارایی نسبی روش‌های مختلف آماری در گروه بندی و شناسایی لاین‌ها و صفات مطلوب تحت شرایط این آزمایش بود.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد نسبی و شناسایی مهم‌ترین خصوصیات زراعی ۲۰ لاین گندم، شامل ۱۸ لاین امیدبخش و ۲ لاین شاهد (جدول ۱)، این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار تحت شرایط تنش رطوبتی آخر فصل در مزرعه پژوهشی ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان اجرا شد. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم عمیق، دو مرحله دیسک عمود برهم و توزیع کودهای پایه نیتروژن، پتاس و فسفر بر اساس آزمایش خاک و توصیه کودی مربوطه انجام گرفت. هر کرت آزمایشی از شش ردیف ۵/۵ متری تشکیل شد که فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و تراکم نهایی کشت نیز ۴۰۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. تنش رطوبتی آخر فصل به صورت قطع کامل عمل آبیاری از مرحله ظهور سنبله‌ها به بعد، اعمال شد. لازم به ذکر است که چون لاین‌ها از نظر زمان ظهور سنبله در حدود ۵ روز تفاوت داشتند (جدول ۳) از این رو اعمال تنش قطع آبیاری بدون هیچ گونه مشکلی به طور هم‌زمان برای کلیه لاین‌ها اعمال شد. سپس در پایان، مطلوبیت و تحمل نسبی لاین‌ها، بر اساس میزان عملکرد نسبی آن‌ها پس از پر شدن دانه‌ها و رسیدگی کامل، بررسی و ارزیابی شد. صفات روز تا ۵۰ درصد سنبله‌دهی، روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی، طول برگ پرچم، سطح برگ پرچم، محتوای آب نسبی (RWC) و آب حفظ شده برگ‌های جدا شده (ELWR) قبل از برداشت بوته‌ها اندازه‌گیری شدند و با رعایت اثر حاشیه بر اساس انتخاب تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت، سایر صفات شامل تعداد پنجه در متر مربع، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد سنبلچه در سنبله، وزن پدانکل، وزن سنبله، وزن دانه در سنبله، وزن کاه و کلش سنبله و شاخص برداشت سنبله اندازه‌گیری شدند و در نهایت عملکرد دانه،

جدول ۱- نام و شجره‌نامه لاین‌های مورد استفاده

Table 1. The name and pedigree of the used lines

شماره تیمار Entry no.	نام و شجره Name and pedigre
1	Ws-82- 9 (control 1)
2	SIRVAN(WS-85-10) (control 2)
3	Azd/HD2172//V83035/3/Tjn
4	Shuha-5/Byt
5	Bocro-4/Marv
6	FRET2/TUKURU//FRET2
7	KAUZ/PASTOR//PBW343
8	BOW/PRL//BUC/3/LUANA/4PASTOR/3/KAUZ*2/OPATA//KAUZ
9	BABAX/LR42//BABAX*2/3/VIVITSI
10	WAXWING*2/KUKUNA
11	SUNSU//RDWG/MILAN
12	ND643//2*SERI/RAYON
13	PASTOR/TILHI
14	CROC1/AESQUARRPSA9224)//OPATA/3/BJY/COC//PRL/BOW/4/BYJ/COC/PRL
15	CRO1/AE.SQUARROSA(205)//KAUZ/3/BJY/COC//PRL/BOW/4/BJY/COC//PRL/BOW
16	D67.2/P66/270//AE/SQUARROSA(320)/3/CUNNINGGHAM
17	OK82282/Bow/NKT/3/Sardari-HD75
18	TAM200/Kauz
19	E-88-2
20	E-88-3

جدول ۲- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه سه مؤلفه اول برای صفات مختلف در شرایط تنش رطوبتی آخر فصل

Table 2. Eigen value and eigen vectors of three first components for different traits under terminal moisture stress condition

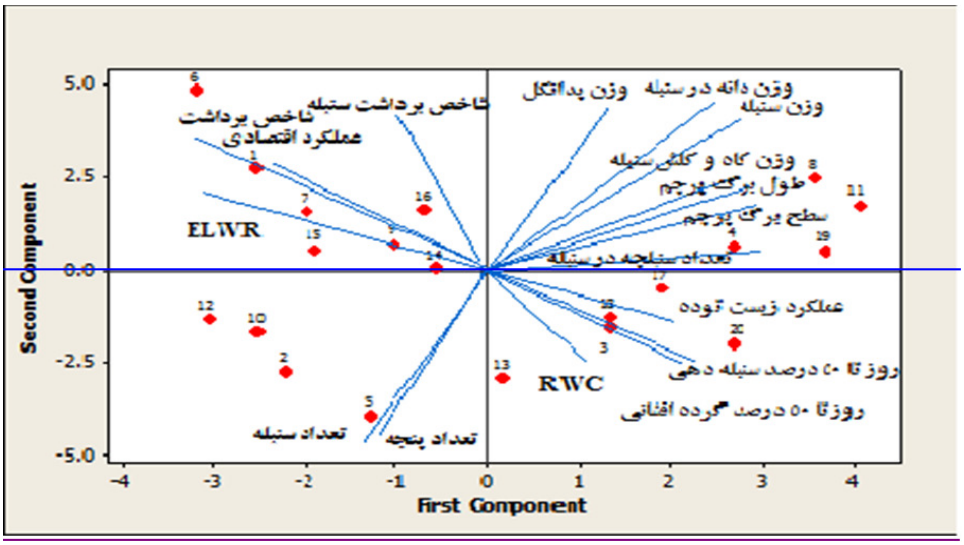
مؤلفه Component	درصد از واریانس Present of variance	روز تا ۵۰ درصد سنبله‌دهی Days to 50% heading	روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی Days to 50% anthesis	محتوای آب نسبی RWC	آب حفظ شده برگ‌های جداشده ELWR	تعداد پنجه در متر مربع No. of tiller per m^2	تعداد سنبله در متر مربع No. of Spikes per m^2
1	34	0.28	0.25	0.21	-0.31	-0.11	-0.11
2	28	-0.24	-0.21	-0.23	0.13	-0.39	-0.39
3	9	0.12	0.13	-0.12	0.27	0.11	0.13

ادامه جدول ۲ Tables 2. Continued

مؤلفه Component	درصد واریانس Present of variance	تعداد سنبلچه در سنبله No. of spikelets per spike	وزن پدانکل Peduncle weight	وزن سنبله Spike weight	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	وزن کاه و کلش سنبله Weight of spike straw	طول برگ پرچم Flag leaf length
1	34	0.32	0.13	0.29	0.26	0.30	0.23
2	28	0.004	0.31	0.27	0.30	0.11	0.09
3	9	0.009	0.38	0.18	0.21	0.07	-0.49

ادامه جدول ۲ Tables 2. Continued

مؤلفه Component	درصد از واریانس Present of variance	سطح برگ پرچم Flag leaf area	شاخص برداشت سنبله HI of spike	عملکرد اقتصادی Grain yield	عملکرد زیست توده Biological yield	شاخص برداشت HI
1	34	0.29	-0.03	-0.22	0.20	-0.28
2	28	0.09	0.23	0.22	-0.15	0.27
3	9	-0.43	0.17	-0.008	0.20	-0.22



شکل ۱- نمودار بای پلات ۲۰ لاین گندم نان با ۱۷ صفت مورد بررسی.

Figure 1. Biplot graph of 20 bread wheat lines with 17 traits.

زیست توده و شاخص برداشت، برای کل سطح کشت شده تعیین و بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند. در پایان، به منظور کاهش حجم داده‌ها و برای داشتن یک ارزیابی دقیق از وضعیت لاین‌ها و نهایتاً گروه‌بندی آن‌ها، از روش‌های آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه تابع تشخیص، تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت، به کمک نرم افزارهای SAS، SPSS، MINITABو PATH 2 استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (جدول ۲) نشان داد که بیش از ۷۲ درصد از واریانس کل داده‌ها به واسطه سه مؤلفه اول توجیه می‌شود. مؤلفه اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۴، ۲۸ و ۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. نتایج (جدول ۲) بیانگر این بود که مؤلفه اول با صفات تعداد سنبلچه در سنبله، وزن کاه و کلش سنبله، سطح برگ پرچم، طول برگ پرچم، روز تا ۵۰ درصد سنبله‌دهی، روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی، محتوای آب نسبی (RWC)، و زیست توده، که افزایش زیاد آنها مطلوب شرایط تنش رطوبتی نیست، رابطه مثبت و معنی‌داری داشتند. بنابراین با توجه عدم مطلوبیت نسبی افزایش این صفات تحت شرایط محدود رطوبتی و با توجه به رابطه منفی این مؤلفه با عملکرد اقتصادی، مؤلفه اول «مؤلفه کاهش عملکرد در شرایط تنش رطوبتی» نامیده شد که تحت این شرایط، مقدار کمتر این مؤلفه مورد نظر بود. نتیجه فوق نشان داد لاین هایی که طول دوره سنبله‌دهی بیشتر، تعداد پنجه بیشتر و تعداد دانه در سنبله بیشتری را تحت شرایط محدود رطوبتی داشته‌اند، دارای وزن هزار دانه کمتر و نهایتاً عملکرد اقتصادی کمتری بودند. مؤلفه دوم با صفات مطلوب وزن پدانکل، وزن دانه در سنبله، وزن سنبله، ELWR، شاخص برداشت سنبله، شاخص برداشت و عملکرد اقتصادی رابطه مثبت و قابل توجهی داشت. از طرفی دیگر، این مؤلفه با صفات تعداد سنبله در متر مربع، تعداد پنجه در متر مربع، روز تا ۵۰ درصد سنبله دهی و روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی رابطه منفی و قابل توجهی داشتند و از این‌رو این مؤلفه «مؤلفه افزایش عملکرد» نامیده شد که هر چقدر مقدار این مؤلفه بیشتر باشد مطلوب‌تر است. نتیجه حاصله بیانگر این مطلب است لاین-های دارای وزن بیشتر ساقه و پدانکل، دارای مقدار مواد فتوسنتزی قابل دسترس بیشتری برای دانه بوده‌اند که این عامل باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود. از طرف دیگر افزایش وزن هزار دانه خود منجر به افزایش وزن سنبله و نهایتاً افزایش عملکرد اقتصادی می‌شود.

بر اساس رابطه مؤلفه‌ها و صفات مورد بررسی، مقادیر کمتر مؤلفه اول و مقدار بیشتر مؤلفه دوم مد نظر است و از این‌رو در نمودار بای پلات مؤلفه‌های اول و دوم (شکل ۱)، ناحیه دوم بای پلات مورد نظر است و لاین‌ها و صفاتی که در این ناحیه قرار می‌گیرند، به عنوان مطلوب‌ترین لاین‌ها و صفات معرفی می‌شوند. بر اساس این نتایج، لاین‌های شماره ۱، ۶، ۷، ۹، ۱۴، ۱۵،۱۶ مطلوب‌ترین و لاین‌های شماره ۲۰، ۳، ۱۳ و ۵ به عنوان نامطلوب‌ترین لاین‌ها تحت شرایط این آزمایش معرفی شدند. همچنین صفات ELWR، شاخص برداشت سنبله، شاخص برداشت و عملکرد اقتصادی به عنوان بهترین صفات مورد بررسی انتخاب شدند که مقدار بیشتر این صفات مطلوب و مورد نظر است. این در حالی است که مقدار نسبتاً کم برخی از صفات واقع در ناحیه چهارم (مثل روز تا ۵۰ درصد سنبله دهی، روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی، RWC و عملکرد زیست توده) مناسب انتخاب لاین‌های خاص شرایط تنش رطوبتی آخر فصل است. متقی و همکاران (Motaghi, *et al.*, 2009) و عسگر و همکاران (Asgar *et al.*, 2010) نیز در آزمایشات خود از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند و اظهار داشتند که بیشترین تغییرات مورد نظر بین داده‌ها با دو مؤلفه اول بیان می‌شوند که نتیجه گرفتند که صفاتی مانند تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، زیست توده، عملکرد کاه و کلش و شاخص برداشت ۹۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌نماید. طی مطالعه ۱۵۵ ژنوتیپ نخود برای ۳۲ صفت مشخص شد که در بررسی تجزیه به مؤلفه‌های اصلی پنج مؤلفه اول ۸۲/۶۰ درصد کل تغییرات موجود را توجیه نموده است، و توجه به مطالعه بیشتر صفات عملکرد دانه و نیتروژن، سرعت رشد و تجمع ماده خشک را در نخود مفید دانستند (Keneni, *et al.*, 2012). در تحقیقی دیگر (Zakizade, *et al.*, 2010) بجای تجزیه مؤلفه‌ها از تجزیه عاملی استفاده شد و اظهار شد که سه عامل اول در مجموع ۹۶ درصد از واریانس کل را توجیه کردند و سه عامل اول به‌ترتیب عامل اجزای عملکرد، عامل کیفیت و عامل عملکرد نامیده شد.

جدول ۳- میانگین صفات مورد بررسی در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط تنش رطوبتی آخر فصل

Table 3. Mean of studied traits in 4 groups derived from cluster analysis under terminal moisture stress condition

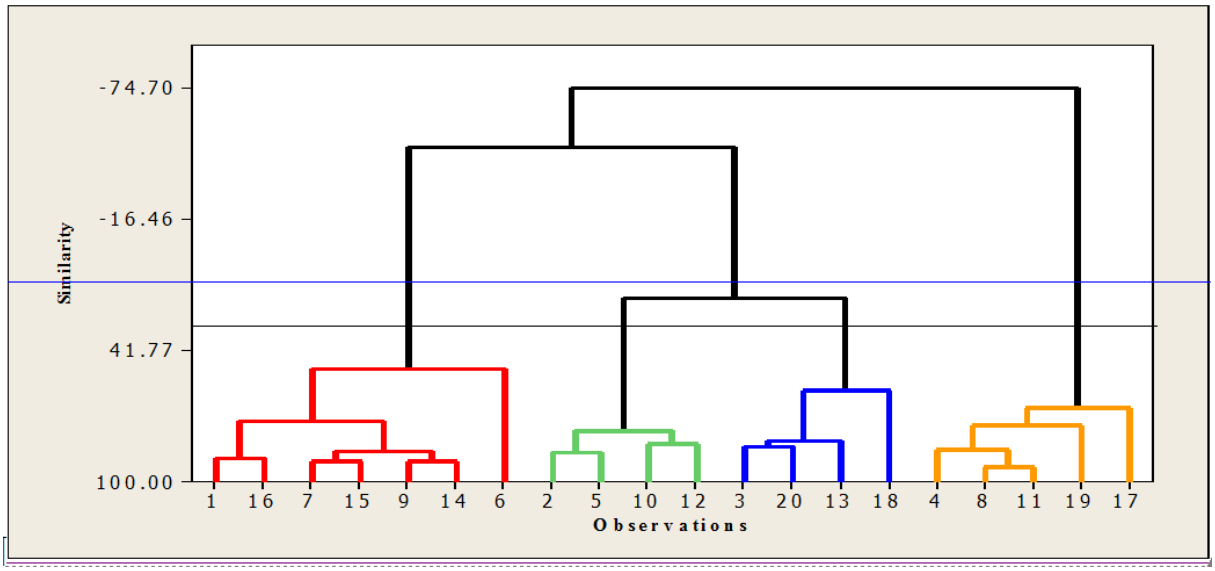
خوشه Cluster	روز تا ۵۰ درصد سنبله‌دهی Days to 50% heading	روز تا ۵۰ درصد گرده‌افشانی Days to 50% anthesis	محتوای آب نسبی RWC	آب حفظ شده در برگ‌های قطع شده ELWR	تعداد پنجه در متر مربع Tiller numbers per m^2	تعداد سنبله در متر مربع Spike numbers per m^2
1	171.1	178.4	72.2	36	720	663.3
2	174.2	183	77.7	31	923.3	866.7
3	174.8	182.4	79.5	24.6	874.2	812.5
4	175.6	185	79.1	24.2	665.2	612.7

ادامه جدول ۳ Tables 3. Continued

خوشه Cluster	طول برگ پرچم Flag leaf length	وزن کاه و کلش سنبله Spike Straw weight	وزن دانه در سنبله Grain weight per spike	وزن سنبله Spike weight	وزن پدانکل Peduncle weight	تعداد سنبلچه در سنبله Spikelet numbers per spike
1	19.6	0.4	0.9	1.3	0.3	13.7
2	18.7	0.4	0.8	1.1	0.3	13.1
3	21.0	0.4	0.8	1.3	0.3	14.7
4	20.3	0.5	1.1	1.5	0.3	14.9

ادامه جدول ۳ Tables 3. Continued

خوشه Cluster	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد زیست توده Biological yield	عملکرد اقتصادی Grain yield	شاخص برداشت سنبله Spike Harvest Index	سطح برگ پرچم Flag leaf area
1	23.2	19951.6	4432.1	70.0	18.7
2	20.9	20159.7	4113.0	67.7	17.0
3	17.7	22045.8	3813.6	66.1	21.5
4	18.0	22183.3	3907.9	69.7	20.9



شکل ۲- خوشه‌بندی ۲۰ لاین گندم به روش Ward براساس میزان شباهت صفات مورد بررسی در شرایط تنش رطوبتی.

Figure 2. The clustering of 20 wheat lines based on Ward's method according to similarity matrix.

همچنین گل آبادی و ارزانی (Golabadi and Arzani, 2003) در ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم شش عامل پنهان را شناسایی کردند که در مجموع ۷۶/۷ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کردند.

تجزیه خوشه‌ای

یکی از روش‌های مهم برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مختلف استفاده از تجزیه خوشه‌ای است. در این پژوهش جهت گروه‌بندی و مجزا سازی لاین‌های متحمل (با عملکرد بالا تحت شرایط تنش رطوبتی) و حساس (با عملکرد پایین تحت شرایط تنش رطوبتی) بر اساس صفات مختلف در شرایط تنش رطوبتی، از روش خوشه‌بندی به روش Ward استفاده شد. نتایج نشان داد که، لاین‌های شماره ۱، ۶، ۷، ۹، ۱۴، ۱۵، ۱۶، که در خوشه اول قرار گرفتند (شکل ۲)، به طور نسبی دارای مقادیر بالاتری از صفات ELWR، وزن پدانکل، وزن سنبله، شاخص برداشت سنبله، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت و مقادیر پایین‌تری از صفات روز تا ۵۰ درصد سنبله‌دهی، روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی، RWC، تعداد پنجه و تعداد سنبله بودند. بنابراین این خوشه به نحو مطلوبی، لاین‌های با عملکرد بالا با صفات مطلوب شرایط تنش رطوبتی را از سایر لاین‌ها مجزا ساخته است. از طرفی لاین‌های شماره ۴، ۸، ۱۱، ۱۹، ۱۷ به طور نسبی مقادیر پایین‌تری از صفات ELWR، وزن پدانکل، وزن سنبله، شاخص برداشت سنبله، عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت و مقادیر بالاتری از صفات روز تا ۵۰ درصد سنبله-دهی، روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی، RWC، تعداد پنجه و تعداد سنبله را داشتند و در خوشه چهارم قرار گرفتند. با توجه به فاصله ژنتیکی ژنوتیپ‌های این دو خوشه، می‌توان از نماینده‌های هر گروه جهت برنامه‌های دورگ‌گیری سود برد و احتمال بدست آوردن تنوع مطلوب جهت فعالیت‌های بهنژادی در برنامه‌های آتی، استفاده نمود، چرا که انتخاب والدین مناسب، مهم‌ترین عامل در برنامه دورگ‌گیری است. تجزیه خوشه‌ای در مطالعات مختلفی برای تعیین تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی جوامع بر اساس صفات مشابه مورد استفاده قرار گرفته است (Mazinani *et al*., 2012; Golabadi and Arzani, 2003; Mallekshahi *et al,* 2009;). هاشمی‌نژاد و همکاران (Hasheminezhad *et al*., 2010) در بررسی تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مختلف ژنوتیپ‌های مختلف گندم را به سه گروه مجزا تفکیک نمودند و بیان کردند که بین گروه‌های مورد نظر اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

تجزیه تابع تشخیص

هدف از تجزیه تابع تشخیص، بررسی میزان تمایز دو یا چند گروه از افراد از لحاظ اندازه‌گیری‌های انجام شده روی چند متغیر و همچنین تایید نتایج تجزیه خوشه‌ای است. تجزیه تابع تشخیص هنگامی استفاده می‌شود که از قبل گروه‌های مشخصی وجود دارند و هدف آزمون اختلاف بین این گروه‌ها است. به عبارت دیگر، هدف آزمون این فرض است که آیا بین این گروه‌ها از نظر صفات مورد بررسی اختلاف واقعی وجود دارد و افراد هر گروه آیا واقعاً به آن گروه تعلق دارند یا ندارد (Farshadfar, 1998). نتایج تجزیه تابع تشخیص (جدول ۴) گروه‌بندی لاین‌ها در ۴ گروه را، تأیید کرد و بر درستی گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس روش تجزیه خوشه‌ای صحه گذاشت. نتیجه جدول ۴ بیانگر این است که ۷ لاینی که دارای عملکرد بالایی بودند با صد در صد تایید به درستی در خوشه اول قرار گرفتند.

تجزیه رگرسیون گام به گام

به منظور تعیین صفات با بیشترین تأثیر بر عملکرد اقتصادی و تعیین سهم هر یک از صفات، از رگرسیون گام به گام استفاده شد. نتایج نشان داد که سه صفت شاخص برداشت، زیست توده و RWC به ترتیب وارد مدل رگرسیونی شدند (جدول ۵) و در مجموع ۹۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. شاخص برداشت اولین صفت مهم وارد شده در مدل رگرسیونی بود که خود به تنهایی ۴۸ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کرد. در واقع لاین‌های دارای وزن دانه در سنبله بالا، دارای شاخص برداشت بالاتر و در نتیجه عملکرد اقتصادی بالاتری بودند. دومین صفت مهم وارد شده در مدل نهایی زیست توده بود که ضریب رگرسیونی آن منفی است. این نتیجه بیانگر اینست که افزایش نسبی این صفت، نقش مؤثر و مستقیمی در کاهش عملکرد اقتصادی در شرایط تنش رطوبتی بازی می‌کند که می‌توان از این صفت جهت انتخاب لاین‌ها تحت شرایط تنش رطوبتی استفاده کرد. در تحقیقی (Zakizade *et al.*, 2010) بر اساس نتایج رگرسیون مرحله ای اظهار شد که عملکرد بیولوژیک، وزن دانه در سنبله و تعداد سنبله در مترمربع، از مهم‌ترین اجزای عملکرد بوده و سهم مؤثرتری در توجیه عملکرد دانه داشتند.

جدول ۴- نتایج تجزیه تابع تشخیص برای بررسی صحت گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 4. Discrimination function analysis for evaluating the accuracy grouping of cluster analysis

گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای Groups from cluster analysis	گروه‌های حاصل از تجزیه تابع تشخیص Groups from discrimination function analysis									
	1		2		3		4		total	
	تعداد No.	درصد Percent	تعداد No.	درصد Per.	تعداد No.	درصد Per.	تعداد No.	درصد Per.	تعداد No.	درصد Per.
1	7	100	0	0	0	0	0	0	7	100
2	0	0	4	100	0	0	0	0	4	100
3	0	0	0	0	4	100	0	0	4	100
4	0	0	0	0	0	0	5	100	5	100

جدول ۵- نتایج رگرسیون گام به گام عملکرد اقتصادی به عنوان متغییر وابسته و سایر صفات ارزیابی شده به عنوان متغییرهای مستقل

Table 5. Stepwise regression analysis for grain yield as dependent variable and the other studied traits as independent variables

صفت Trait	عرض از مبدا Intercept	ضریب رگرسیونی برای صفات Regression coefficient for traits			ضریب تشخیص تجمعی Cumulative Coefficient of determination
		1	2	3	
1. شاخص برداشت (HI)	2483	80			0.48*
2. زیست توده (Biological yield)	-3547	176	-0.19		0.93*
3. محتوای آب نسبی (RWC)	-4644	186	-0.20	-10.2	0.94*

حرب و همکاران (Harb *et al.*, 2012) با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام در گندم نشان نیز دارند که صفات شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در واحد سطح و وزن دانه در سنبله بیشترین عوامل موثر بر عملکرد اقتصادی هستند. مزینانی و همکاران (Mazinani *et al*., 2012) از رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه به عنوان متغیر تابع و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل استفاده کردند و اظهار داشتند که صفات ارتفاع بوته، طول × عرض دومین برگ زیر سنبله در شرایط تنش کم آبی، و صفات طول × عرض دومین برگ زیر سنبله، ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل برگ در شرایط عدم تنش، به ترتیب وارد مدل رگرسیونی شده، بیشترین تأثیر را بر عملکرد داشتند. در تحقیقی دیگر در گندم (Moghadaszade *et al.*, 2012) بر اساس تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه با سایر صفات، به ترتیب صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و وزن هزار دانه، به عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه، وارد مدل نهایی شدند. در تحقیقات زیادی از این روش استفاده کرده و نتایج مشابهی را به دست آورده‌اند (Zakizade *et al.*, 2010 G; olparvar *et al.*, 2002; Golabadi and Arzani, 2003; Gorbani *et al.*, 2010; Nour-Khalaj *et al.,* 2010; Ahmadi *et al.,* 2011; Hakimpour and Mostafavi, 2011; Mohammadi *et al.*, 2011; Harb *et al.*, 2012; Mazinani *et al.,* 2012; Moghadaszade *et al.,* 2012)

تجزیه علیت (تجزیه مسیر)

چون عملکرد اقتصادی دارای وراثت پذیری کم و از نظر ژنتیکی پیچیده است، لذا برای شناسایی ارقام پر محصول، بهتر است از صفاتی که دارای رابطه قوی با عملکرد هستند و دارای وراثت پذیری بالایی می‌باشند، استفاده کرد. در این راستا تجزیه علیت این امکان را فراهم می‌کند که اثرات مستقیم هر جزء عملکرد بر مقدار نهایی تولید، از اثرهای غیر مستقیمی که از طریق ارتباط‌های دوجانبه میان آن‌ها ایجاد می‌شود تفکیک شود (Emam and Borjan, 2000). به همین منظور متخصصین اصلاح نباتات، روش تجزیه علیت را به عنوان ابزاری برای تعیین اهمیت صفات موثر بر عملکرد مورد استفاده قرار می‌دهند. در تجزیه علیت، عملکرد اقتصادی به عنوان متغیر تابع و سه صفت باقی مانده در مدل رگرسیونی گام به گام (شاخص برداشت، زیست توده و RWC)، به مدل وارد شدند. بر اساس نتایج تجزیه علیت (جدول ۶)، شاخص برداشت بیشترین تأثیر مثبت مستقیم را روی افزایش عملکرد اقتصادی داشت.

چون ضریب همبستگی بین عملکرد اقتصادی با صفات شاخص برداشت و زیست توده به طور تقریبی برابر با ضریب علیت (اثر مستقیم) بود، پس در این صورت ضریب همبستگی بیان کننده‌ی میزان رابطه واقعی بین دو متغیر بوده، انتخاب مستقیم از طریق این صفت، می‌تواند در افزایش عملکرد اقتصادی گندم مفید است. این در حالی است که صفت زیست توده بیشترین اثر غیر مستقیم منفی را بر عملکرد اقتصادی تحت شرایط تنش رطوبتی آخر فصل دارد یعنی افزایش بی رویه زیست توده، از طریق کاهش شاخص برداشت، باعث کاهش عملکرد اقتصادی می‌شود. با توجه به ضریب رگرسیون منفی، ضریب همبستگی منفی و بزرگ‌ترین اثر غیرمستقیم منفی این صفت می‌توان اظهار داشت که رشد رویشی بیش از حد که باعث اختصاص ماده پرورده به اندام‌های رویشی و کاهش سهم دانه می‌شود، مناسب شرایط تنش رطوبتی نیست. بنابراین گزینش ارقامی با شاخص برداشت بالا و زیست تودهٔ پایین، موجب افزایش عملکرد اقتصادی گیاه خواهد شد و چون وراثت‌پذیری آن هم بالا است، می‌توان از آن به عنوان شاخصی برای انتخاب در جهت بهبود عملکرد اقتصادی در گندم استفاده کرد. نتایج مشابه با استفاده از ضرایب تجزیه علیت مبنی بر وجود رابطهٔ مثبت، معنی‌دار و اثرات غیر مستقیم بین عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت گزارش شده است. در بررسی گندم بهاره، شاخص برداشت، ارتفاع گیاه، زمان رسیدگی، عملکرد بیولوژیک و زمان گل‌دهی اثر مستقیمی بر عملکرد دانه داشتند (Mohan *et al*, 1993). زیست توده از طریق کاهش شاخص برداشت بیشترین اثر غیر مستقیم و منفی (۱/۲۳-) را بر روی مقدار عملکرد اقتصادی داشت. در تحقیقی (Gorbani *et al.*, 2010) مشخص شد که سرعت تولید دانه و عملکرد بیولوژیک بیشترین تأثیر مستقیم بر عملکرد را داشت. همچنین اظهار شد که صفات تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در سنبله بیشترین تأثیر مستقیم و صفت تعداد دانه در سنبله بیشترین تأثیر غیر مستقیم بر عملکرد را داشت (Golparvar *et al*., 2002). بزرگ‌ترین اثرات مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه مربوط به صفات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بود و بزرگ‌ترین تأثیر مستقیم و منفی مربوط به صفت ارتفاع گیاه بود (Norkhalaj *et al.*, 2010).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بای پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو لاین شماره ۶ و ۷ که دارای صفات مطلوب و عملکرد نسبی مناسبی می‌باشند و بر اساس تجزیه خوشه‌ای هم در یک گروه قرار گرفته‌اند، به عنوان مطلوب‌ترین لاین‌ها تحت شرایط این آزمایش شناسایی شدند که جهت تایید نتایج، تکرار آزمایش لازم و ضروری است. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش، افزایش صفات وزن پدانکل، وزن سنبله، شاخص برداشت و ELWR و کاهش نسبی صفات زیست توده، روز تا ۵۰ درصد سنبله دهی و روز تا ۵۰ درصد گرده افشانی تحت شرایط تنش رطوبتی آخر فصل،مناسب و مورد نظر است. طبق نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت، صفت شاخص برداشت مطلوب‌ترین صفت جهت پیش بینی عملکرد است. در واقع می‌توان از مجموع اطلاعات این صفات به کمک روش‌های آماری چند متغیره، به عنوان معیارهایی برای انتخاب در جهت بهبود عملکرد دانه در گندم استفاده کرد. نتیجه کلی آنکه تنوع ژنوتیپ‌های مذکور بر اساس تجزیه-های گوناگون چند متغیره مورد تأیید است که وجود این تنوع، لازمه انتخاب به‌نژادگران در برنامه‌های آتی است.

جدول ۶- اثر صفات باقیمانده در مدل رگرسیون گام به گام بر عملکرد اقتصادی از طریق تجزیه علیت

Table 6. The effect of remained traits in stepwise regression model on grain yield via path analysis

صفت Trait	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect via			ضریب همبستگی با عملکرد Correlation with grain yield
		1	2	3	
1. شاخص برداشت (HI)	1.58		-0.83	-0.062	0.69
2. زیست توده (Biological yield)	1.06	-1.23		0.03	-0.13
3. محتوای آب نسبی (RWC)	0.11	-0.85	0.35		-0.39

اثر باقیمانده= ۰/۲۹ Residual effect= 0.29

References

Ahmadi, J., Khatibi, M., Amirshekari, H. and Aminidehaghi, M. 2011. Evaluation of the effective morpho-physiological indices on the yield of spring wheat *(Triticum aestivum* L.*)* using multivariate statistical methods. **Agronomy Science** 4: 55-66. (In Persian).

Araus, J. L., Bort, J., Steduto, P., Villegas, D., Royo, C. 2002. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. **Annals of Applied Biology** 142: 129-141.

Asgar, M., Yazdan-Sepas, A. and Amini, A. 2010. Evaluation of genotypes of winter wheat under drought stress and normal irrigation after the flowering stage. **Seed and Plant Improvement Journal** 3: 313-329. (In Persian).

Azizpour, M. and Sharifi, H. **2008**. The path analysis of qualitative and quantitative traits of sugar beet warts scabies diseases. Proceeding of 10th Agronomy and Plant Breeding Congress of Iran, Tehran. (In Persion).

Dehghan, A., Khodarahmi, M., Majidi Harvan, A. and Paknezhad, F. **2010.** Genetic variation of morphological and physiological traits in durum wheat lines. **Seed and Plant Improvment Journal** 26: 103-120. (In Persion).

Deng, X. P., Shan, L., Kang, S. Z., Shinobu, I. 2003. Improvement of wheat water use efficiency in semiarid area of China. **Agricultureal Science of China** 2: 35-44.

Emam, Y. and Borjan, A. R. **2000.** Yield and yield components of two winter wheat cultivars in response to rate and time of foliar application. **Journal of Agriculture Science Techniques** 2: 263-270.

Farshadfar, E. **1998.** Application of quantitative genetics in plant breeding (Vol I). Razi University Press. (In Persian).

Golabadi, M. and Arzani, A. 2003. Study of genetic diversity and factor analysis for agronomic characters in durum wheat. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 7: 115-126. (In Persian).

Golparvar, A. R., and Pirbalouti, A. G. **2008.** Assessment of drought resistance offspring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Isfahan province. **Journal of Research in Agricultural Science** 4: 11-20. (In Persian).

Golparvar, A. R., Ghanadha, M. R., Zali, A. A. and Ahmadi, A. 2002. Determination of the best selection criteria to improvement yield of bread wheat genotypes in drought stress condition. **Seed and Plant** 18: 25-37. (In Persian).

Gorbani, H., Khodarahmi, M., Darvish, F. and Taeb, M. 2010. Study the relationship of important agronomic traits with grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. **Journal of Crops Improvement** 12: 59-67. (In Persian).

Hailu, F., Merker, A., Singh, H., Belay, G., and Johansson, E. 2006. Multivariate analysis of diversity of tetraploid wheat germplasm from Ethiopia. **Journal of Genetic Resource Crop** 53: 1089-1098.

Harb, S., Khodarahmi, M. and Sorkhi, B. 2012. Evaluation of genetic diversity for morphological and phenological traits in Iranian land race wheat. Proceeding of 12th Iranian Genetics Congress. Tehran, Iran. (In Persian).

Hasheminezhad, S. E., Shekarpour, M., Soflian, O. and Esfandiari, E. **2010.** Cluster analysis of wheat cultivars based on morphological characteristics under drought stress. Proceeding of the First Natioal Conference on Sustainable Agriculture and Clean Production. Isfahan, Iran.

Keneni, G., Bekele., E., Assefa., F., Imtiaz., M., Debele., T., Dagne, K. and Getu, E. 2012. Phenotypic diversity for symbio-agronomic characters in Ethiopian chickpea (*Cicer aretinum* L.) germplasm accession. **African Journal of Biotechnology** 63: 12634-12651.

Maghsoudi, K., Maghsoudi Moud, A. A. and Taghi Zadeh, M. 2009. Evaluation of relationship between bread wheat genotypes under water stress and non- water stress by using of path analysis. Kerman University Press. (In Persian).

Mallekshahi, F., Dehghani, H. and Alizadeh, B. 2009. Study of drought tolerance Indexes in some varieties of winter oilseed rape. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 48: 77-89. (In Persian).

Mezinani, M. A., Moghadam, M., Alavikya, S. S., Shakiba, M. R., Mehrabi, A. A. and Poraboughadare, A. R. 2012. Study of genetic diversity in T. boeoticum populations under normal and water deficit stress conditions. **Cereal Reaearch** 2: 17-30. (In Persian).

Moghadaszadeah, M., Moghadam, M., Aharizad, S. and Mohammadi, S. A. 2012. Evaluation of recombinant inbred line of spring wheat under drought stress. **Crops Ecophysiology** 21: 37-56. (In Persian).

Mohammadi, H., Ahmadi, A., Moradi, F., Abasi, A., Postini, K., Jodi, M. and Fatehi, F. 2011. Evaluation of important traits for yield improvement of wheat euder drought stress. Iranian Journal of Crop Science 42: 373-385. (In Persian).

Mohamadi, M. A., Nasrolahzade, S. and Mohammadi, S. A. 2011. Evaluation of yield and yield components in bread wheat recombinant inbred lines population derived from a cross between norstar and zagros varieties. **Agricultural Science and Stability Production** 21: 29-39. (In Persian).

Mohammadi, S. A. and Prasanna, B. M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants- Salient statistical tools and considerations. **Crop Science** 43: 1235-1248.

Mohan, D. S. R., Harbir S., Khola, O. P. S. and Singh. H. 1993. Correlation and path analysis in late sowed bread wheat cultivar.. **Field Crop Research** 6: 72-77.

Motaghi, M., Najafian, G. and Bihamta, M., R. 2009. The effect of terminal moisture stress on grain yield and bread-making quality of genotypes hexaploid bread wheat. **Iranian Journal of Crop Science** 3: 290-306. (In Persian).

Naderi, A., Hashemi, A., Majidiehervan, E., Rezai, A. M. and Normohamadi, G. 2000. Study on correlation of traits and componentsaffecting grain weight and determination of effects of some physiological parameters on grain yield in spring wheat genotypes under optimum and drought stress conditions. **Seed and Plant** 16: 374-386. (In Persian).

Norkhalaj, M., Khodarahmi, M., Amini, A., Esmaielzade, M. and Sadegh Moghadam, R. 2010. Study on Correlation and Causation relations of Morphological traits in synthetic wheat liens. **Journal of Agronomy and Plant Breeding** 6: 7-17. (In Persian).

Rabiei, K., Khodambashi, M. and Rezayi, A. 2008. Detection of traits affecting potato yield by using multivariate statistical methods in stress and non-stress conditions. **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 46: 38-49. (In Persian).

Sabouri, H., Nahvi, M., Torabbi, A. and Katouzi, M. 2008. Classification of rice varieties with different levels of sorbitol osmotic potential based on cluster analysis and Fisher discriminat functions. Proceeding of 10th Congress of Agronomy and Plant Breeding. 23-28 June, Karaj, Iran.

Saman, S., Mozafari, J., Vaezi, SH., Abbasi Moghadam, A. and Mostafayi, H. 2012. Evaluation of genetic diversity Pod and seed characteristics in lentil germplasm in Iran. **Iranian Journal of Field Crop Science** 2: 171- 182. (In Persian).

Villegas, D., Casadesus, J., Atienza, S.G., Martos, V., Maalouf, F., Karam, F., Aranjuelo, I. and Nogues, S. 2010. Trihordeum, wheat and triticale yield components under multi-local Mediterranean drought conditions. **Field Crops Research** 116: 68-74.

Zabet, M. and Hosseinzadeh, A. 2011. Determination the most important traits affecting the yield (*Vigna radiate* L.) By using multivariate statistical methods in stress and non-stress conditions. **Iranian Journal of Pulses Research** 1: 87-98. (In Persian).

Zakizade, M., Esmailzad Moghadam, M. and Kahrizi D. 2010. Study on genetic variation and relationship between plant characteristics and grain yield in long spike bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes-using multivariate analysis. **Agronomy Sciences of Iran** 12: 18-30. (In Persian).

Application of multivariate statistical methods in detection of effective traits on bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yield under moisture stress condition

Sayyed Saeed Moosavi[1*], Farzad Kian Ersi[2] and Mohammad Reza Abdollahi[1]

1 and 2. Assist. Profs. and Graduate Student, respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(Received: April 21, 2013- Accepted: August 12, 2013)

Abstract

To evaluate performance of multivariate statistical methods in detection of the most important effective traits on grain yield of 20 promising bread wheat lines and for determination of the role of each trait on yield changes, an experiment was conducted based on randomize complete block design with 3 replications in 2011-2012. Results of principal components analysis showed that three first principal components explained 72 % of the total variance. Accordion to the results, spike harvest index, ELWR and harvest index had highest effects on two first principal components. Cluster analysis by Ward's method grouped the lines in 4 clusters. Discrimination function analysis confirmed the four groups derived from cluster analysis. Stepwise regression analysis indicated that harvest index, biomass and RWC were the most important effective traits on economic yield and explained 94% of its total variance. Results of path analysis showed that harvest index and biomass had maximum positive direct and negative indirect effect on economic yield, respectively, which can be used for selection of wheat varieties under terminal moisture stress condition.

Keywords: Bread wheat, Cluster analysis, Discrimination function analysis, Principle components analysis, Stepwise regression

*Corresponding author: s.moosavi@basu.ac.ir