

ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط عملکرد و محتوی روغن ژنوتیپ‌های گلرنگ دیم از طریق روش
رگرسیون و GGE بای پلات

مهدی جمشیدمقدم و سید سعید پورداد

اعضای هیأت علمی از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (معاونت سرارود)، سازمان تحقیقات، آموزش و

ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۷)

چکیده

به منظور تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط برای صفات عملکرد و مقدار روغن دانه گلرنگ، آزمایش چندمحیطی با ۱۵ ژنوتیپ (شامل ۸ لاین اصلاحی، ۶ رقم و یک شاهد) برای سه زمان کشت (پایزه، انتظاری و بهاره) در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم شامل کرمانشاه، مراغه، کردستان و زنجان (در مجموع ۲۱ محیط) طی سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۰ انجام شد. از دو مدل رگرسیونی-عملکرد و نمودار دوبعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عامل‌های ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آنها برای دو صفت در سطح ۱٪ معنی دار است. سهم ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آنها برای عملکرد به ترتیب ۵، ۶۲ و ۲۴ و مقدار روغن ۲۵، ۴۵ و ۲۲ درصد از تغییرات کل بود. با تجزیه رگرسیونی اختلاف معنی داری بین اجزای رگرسیون دو صفت مشاهده شد. بیشترین شاخص رگرسیون-عملکرد به ژنوتیپ‌های G5، G1، G6 و رگرسیون-روغن به G5، G3، G11 و G3 تعلق داشت. نمایش چندضلعی نمودار دوبعدی برای دو صفت سه گروه محیطی شناسایی کرد. دو محیط از مراغه برای عملکرد دانه، شش محیط کردستان برای میزان روغن، محیط‌های مطلوب بودند. بر اساس نمودار دوبعدی، ژنوتیپ‌های G10 و G5 برای عملکرد و پایداری و G11، G4 و G5 برای روغن و پایداری، برتر بودند. ضریب همبستگی، با رتبه بالایی بین مدل‌های رگرسیون و نمودار دوبعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) در دو صفت به دست آمد. بر اساس نتایج حاصل از دو مدل تجزیه پایداری، ژنوتیپ G5 (رقم پدیده) از لحاظ عملکرد و میزان روغن، رقم برتر و پایداری شناخته شد که می‌توان آن را برای همه محیط‌های دیم توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، تجزیه رگرسیون، نمودار دوبعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط)، گلرنگ، مناطق سرد

Evaluation of genotype × environment interaction on yield and oil content of rainfed safflower genotypes by regression and GGE Biplot

Mehdi Jamshidmoghaddam, Sayyed Saeid Pourdad

Scientific members of Dry-land Agricultural Research Institute (Sararood Branch), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), P.O. Box 67145-1164, Kermanshah, Iran

(Received: September 27, 2017 - Accepted: September 29, 2018)

ABSTRACT

To analyze genotype × environment interactions (GEI) on yield and seed oil content of 15 safflower genotypes (including 8 breeding lines, 6 cultivars and one landrace), multi-environment trials were conducted in three sowing times (fall, entezari and spring) at four dryland agricultural research stations including Kermanshah, Maragheh, Kurdistan and Zanjan (totally 21 environments) during 2011-2013. The two models combined index (regression analysis + yield) and GGE biplot were used for stability analysis. The combined ANOVA revealed that genotype, environment, and GEI were highly significant for the two traits ($P < 0.01$). The sum of squares of genotype, environment, and GEI were accounted 5, 62 and 24% for yield, and 25, 45 and 22% for oil content. The result of regression analysis indicated that the regression components were significant in both traits. According to combined index, G5, G1, and G6 for yield, and G5, G3 and G4 for oil content were superior genotypes. The polygon view of the GGE biplot showed that all test environments were divided into 3 environmental groups for both traits. Two environments of Maragheh for yield and six environments of Kurdistan for oil content were favorable. Based on GGE biplot, G10 and G5 for yield and G11, G4 and G5 for oil content had a high combination of yield (or oil content) and stability. High rank correlation coefficients were obtained between regression and GGE biplot models in both traits. Based on the results of two models, G5 (Padideh) is superior in terms of yield and oil content and is recommended for all rainfed environments.

Keywords: Cold regions, (G + G × E) biplot, regression analysis, safflower, stability.

مقدمه

میان روش‌های تک‌متغیره روش رگرسیون دو پارامتری متداول‌ترین روش تجزیه اثرات متقابل است (Eberhart & Russell, 1966). این روش بر مبنای محاسبه ضریب رگرسیون و واریانس انحراف از رگرسیون استوار است و بر اساس آن می‌توان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری به شرایط محیطی مختلف را شناسایی نمود. با توجه به اینکه انحراف از خط رگرسیون مربوط به بخش غیرقابل پیش‌بینی تنوع مربوط به هر ژنوتیپ بوده و ضریب رگرسیون نیز پاسخ ویژه ژنوتیپ‌ها به اثرات محیطی را نشان می‌دهد، بنابراین به ترتیب پارامترهای پایداری و پاسخ، در نظر گرفته می‌شود. در روش‌های پایداری تک‌متغیره از جمله روش‌های رگرسیونی، صفات مهم اقتصادی نظیر عملکرد به‌طور توأم مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. لذا برخی از محققین از اصطلاح اعتبار عملکرد (Yield Reliability) برای انتخاب ژنوتیپ بر اساس میانگین عملکرد با پایداری بالا استفاده کردند و چند شاخص برای ارزیابی توأم آماره‌های پایداری تک‌متغیره و عملکرد ارائه نمودند (Eskridge, 1990; Eskridge *et al.*, 1991).

نمودار دوعدی (بای‌پلات) به دلیل نمایش نگاه‌های واکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در پدیده اثر متقابل، ابزار مفیدی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به محیط‌ها می‌باشد. دو الگوی مختلف نمودار دوعدی از تجزیه و تحلیل چندمتغیره پایداری شامل اثر اصلی جمع‌پذیر و متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) و اثر توأم ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ - محیط (GGE) اغلب در منابع برای محصولات مختلف گزارش می‌شود (Ebrahimi *et al.*, 2016; Dia *et al.*, 2016; Yan, 2016; Yan *et al.*, 2013; Laffont *et al.*, 2016). نمودار دوعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) به پژوهشگر اجازه می‌دهد تا روی آن بخش از داده‌های چند محیطی تمرکز کند که بیشتر از همه برای ارزیابی ارقام مفید است (Yan & Kang, 2003). این مدل بر مبنای رسم دو مؤلفه اصلی اول حاصل از تجزیه مقادیر منفرد داده‌ها با مرکزیت محیط استوار است. با توجه به سادگی تفسیر نگاه‌های نتایج حاصل از این مدل، امروزه از آن در تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در کشاورزی به‌صورت گسترده استفاده

دیر زمانی است که گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در اکثر کشورهای جهان به‌عنوان یک گیاه سازگار با کاربردهای متعدد کشت می‌شود. از گل‌های این گیاه در صنعت رنگرزی و به‌عنوان یک محصول شبه زعفران و از دانه آن برای خوراک طیور استفاده می‌شود و در حال حاضر اهمیت اصلی گلرنگ در تولید روغن خوراکی می‌باشد (Pourdad, 2006). منشأ جغرافیایی و مراکز تنوع ژنتیکی گلرنگ نواحی مدیترانه‌ای و منطقه خاورمیانه شامل ایران، معرفی شده است (Knowles, 1989). روغن حاصل از دانه گلرنگ از نظر کیفیت به‌خاطر مقاومت بالا در مقابل اکسیداسیون در رده بهترین روغن‌های خوراکی است (Hamdan *et al.*, 2009). گلرنگ، دارای دو نوع روغن با کیفیت متفاوت بوده که در بعضی از ژنوتیپ‌ها دارای اسید لینولئیک زیاد بوده و به مصرف آشپزی، تهیه مارگارین نرم و یا مصارف صنعتی می‌رسد. روغن برخی از ژنوتیپ‌ها نیز به علت داشتن میزان اولئیک بالا از پایداری بیشتری برخوردار است و برای سرخ کردن مواد غذایی کیفیت مطلوبی دارد (Weiss, 2000). گلرنگ یک محصول کشت بهاره محسوب می‌شود. ولی نتایج اثرات فصلی نشان داده است که کشت‌های پاییزه از عملکرد دانه و روغن بالاتری در شرایط دیم برخوردارند (Johnson & Dajue, 2008; Esendal *et al.*, 2008; Yau, 2007; Koutroubas *et al.*, 2004). موفقیت تولید گلرنگ به‌عنوان یک گیاه اقتصادی و رقابت آن با سایر گیاهان روغنی، وابسته به معرفی و توسعه دادن رقم‌هایی با عملکرد و میزان روغن بالاست. اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط، یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات است که در توسعه و گسترش واریته‌های اصلاح شده حائز اهمیت می‌باشد. روش‌های مختلفی برای افزایش آگاهی از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و رابطه آن با پایداری ژنوتیپ‌ها نسبت به یک صفت، ابداع و آزمون گردیده است. این روش‌ها به سه گروه تک‌متغیره پارامتری (Eberhart & Russell 1966; Shukla, 1972)، ناپارامتری (Huhn, 1990) و چندمتغیره (Gauch & Zobel, 1996) تقسیم‌بندی می‌شوند. از

از شروع بارندگی)، انتظاری (اواخر آبان ماه تا اواسط آذر بدون سبزشدگی پاییزه) و بهاره (اواسط اسفند تا اوایل فروردین) در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم شامل:

- ۱- ایستگاه معتدل سرد سرارود کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴°۲۰' شمالی، طول جغرافیایی ۴۷°۱۹' شرقی، ۱۳۵۱ متر ارتفاع از سطح دریا)، ۲- ایستگاه سردسیر مراغه (عرض جغرافیایی ۲۶°۵۲' شمالی، طول جغرافیایی ۴۵°۳۰' شرقی، ۱۴۰۰ متر ارتفاع)، ۳- ایستگاه سردسیر قاملوکردستان (عرض جغرافیایی ۳۵°۲۳' شمالی، طول جغرافیایی ۴۷°۱۴' شرقی، ۱۸۵۰ متر ارتفاع) و ۴- ایستگاه سردسیر خدابنده زنجان (عرض جغرافیایی ۴۸°۴۹' شمالی، طول جغرافیایی ۳۶°۰۹' شرقی، ۱۸۷۹ متر ارتفاع) طی سال زراعی ۹۱ - ۱۳۹۰ در ۱۲ محیط و سال زراعی ۹۲ - ۱۳۹۱ در ۹ محیط بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بررسی گردید (جدول ۱). در ایستگاه زنجان آزمایش‌ها تنها در سال اول انجام شد. در کلیه محیط‌ها، کشت بعد از آیش در ۵ ردیف به فواصل ۳۰ سانتی‌متر و طول ۴ متر برای هر ژنوتیپ انجام گرفت. میزان کود مورد نیاز با توجه به توصیه کودی هر منطقه اعمال شد. برای ارزیابی اثر متقابل G×E از دو صفت مهم اقتصادی عملکرد دانه و مقدار روغن دانه استفاده گردید. میزان روغن دانه یک نمونه تصادفی (۲۰ گرمی) از محصول هر کرت با دستگاه (NMR Nuclear Magnetic Resonance)، در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی - معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم - سرارود کرمانشاه اندازه‌گیری شد. پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط به کلیه محیط‌های مورد آزمایش (ترکیبی از سه نوع کشت، دو سال و چهار مکان)، تجزیه واریانس مرکب با فرض تصادفی بودن محیط‌ها و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام شد. ضمناً تجزیه واریانس جداگانه مربوط به محیط‌های هر نوع کشت نیز انجام شد. به‌منظور تجزیه اثر متقابل و ارزیابی سازگاری ژنوتیپ‌ها از تجزیه رگرسیون دو پارامتری Eberhart & Russell (1966) شامل ضریب رگرسیون (b_i) و واریانس انحراف از رگرسیون (s_{di}^2) استفاده شد. که مطابق آن، ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون بیشتر (b_i)^۱ به شرایط مطلوب سازگاری بیشتر، ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون کمتر (b_i)^۱ به شرایط نامطلوب سازگارتر و ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون واحد

می‌شود. این مدل قادر به تعیین و شناسایی الگوی چند ضلعی "کدام-برتر-کجا" (Which-wins-where) می‌باشد که در تعیین مگامحیط‌ها (Mega-environments) و توصیه ژنوتیپ‌های ویژه برای هر یک از محیط‌های بزرگ مهم است (Yan & Tinker, 2005). Yan (2006) مگامحیط را به‌عنوان یک گروه از مکان‌های جغرافیایی، نه لزوماً مجاور هم، تعریف کرده‌اند که یک یا مجموعه‌ای از چند ژنوتیپ مشابه را در سرتاسر چندین سال سهیم هستند. از نمودار دوبعدی مختصات محیط متوسط (AEC, Average Environment Coording) برای بررسی پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. برای تعیین ژنوتیپ برتر، نمودار دوبعدی ژنوتیپ ایده‌آل رسم می‌گردد. ژنوتیپ ایده‌آل ژنوتیپی فرضی است که دارای بیشترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مرکز دوائر متحدالمرکز نمودار قرار دارد. میزان مطلوبیت ژنوتیپ‌ها به فاصله آنها از ژنوتیپ ایده‌آل بستگی دارد. قابلیت تمایز، یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده به‌طوری‌که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام را ارائه نمایند. هنگامی که صحبت از محیط‌های مطلوب می‌شود منظور محیط‌هایی هستند که بیشترین توانایی را در شناسایی ژنوتیپ‌های برتر دارند. علاوه بر قابلیت تمایز محیط یکی دیگر از ویژگی‌های مهم، میزان بیانگری یا نمایندگی محیط آزمایشی از محیط بزرگ است. محیط ایده‌آل محیطی است فرضی که دارای حداکثر قابلیت تمایز و بیانگری باشد و از نظر مکانی در مرکز دوائر متحدالمرکز نمودار قرار دارد (Yan et al., 2011).

هدف از این تحقیق، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ - محیط از دو صفت عملکرد و میزان روغن دانه ارقام و لاین‌های امیدبخش گلرنگ برای گروه‌بندی محیطی، تعیین ژنوتیپ‌های سازگار و پرمحصول و شناسایی مکان ایده‌آل در مناطق سردسیر کشور با کاربرد مدل‌های رگرسیونی و نمودار دوبعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ (شامل هشت لاین اصلاحی، شش رقم و شاهد محلی اصفهان) در سه نوع کشت؛ پاییزه (نیمه اول مهرماه تا اوایل آبان ماه قبل

می‌باشند. اعتبار ژنوتیپ‌ها برای روش‌های تک‌متغیره (b_i=1) دارای واکنش متوسط به محیط‌ها بوده و پایدارترند. ژنوتیپ‌های با واریانس انحراف از رگرسیون بیشتر ناپایدارتر و ژنوتیپ‌های با واریانس کمتر پایدارتر

سنجیده شد.

جدول ۱ - نام، کد و برخی از خصوصیات ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد مطالعه

Table 1- Name, code and some characters of genotypes and environments studied

Variety/Line	Genotypic Code	Origin	Plant Type	TKW (g)	Location	Year	Environmental Code			Annual Rainfall (mm)
							Fall	Entezari	Spring	
PI 198990	G1	Unknown	SP, Y	32.4	Sararood,	2010	E1	E2	E3	302.7
PI 401478	G2	Bangladesh	SP, R	32.8	Kermanshah	2011	E13	E14	E15	394.9
PI 304408	G3	Pakistan	SP, O	32.1						
324-S6-697	G4	Iran	SP, O	33.4	Marageh	2010	E4	E5	E6	272.0
Padedeh	G5	Iran	SP, O	33.5		2011	E16	E17	E18	351.8
CW-74	G6	USA	SP, O	33.1						
Zarghan279	G7	Iran	SP, R	32.9	Qamloo, Kurdistan	2010	E7	E8	E9	313.8
Sina	G8	Iran	SP, Y	30.8		2011	E19	E20	E21	256.1
PI 544017	G9	China	SPL, R	37.4						
Faraman	G10	Iran	SPL, R	47.6	Khodabandeh, Zanzan	2010	E10	E11	E12	499.3
Isfahan Local	G11	Iran	SPL, R	28.4						
47	G12	Iran	SPL, R	42.4						
Darab2	G13	Iran	SPL, Y	36.6						
Goldasht	G14	Iran	SPL, R	39.8						
Darab7	G15	Iran	SPL, R	43.7						

Spinning: SP spine, SPL spineless; Flower color: Y yellow, R red, O orange; TKW: thousand kernel weight

ارزش‌های بالایی از پایداری و عملکرد هستند. برای تجزیه نگاره‌ای اثر متقابل از نمودار دو بعدی ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط استفاده شد. با استفاده از این مدل، الگوی چند ضلعی "کدام - برتر - کجا" برای تعیین محیط‌های بزرگ، مختصات محیط متوسط برای ارزیابی همزمان سازگاری و عملکرد و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل، نمایندگی در برابر قدرت تمایز محیط‌ها و رتبه‌بندی محیط‌ها با محیط ایده‌آل برای هر دو صفت ترسیم شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ترسیم نگاره‌ای اثرات ژنوتیپ + ژنوتیپ - محیط از نرم افزارهای آماری EXCEL، MSTAT-C، SPSS19 و GENSTAT نسخه ۱۵ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس جداگانه هر کدام از سه نوع کشت طی دو سال آزمایش برای عملکرد دانه و مقدار روغن دانه

$$SFI(i) = \frac{(\bar{Y}_i - d)}{V_i^{1/2}}$$

در این مدل \bar{Y}_i میانگین عملکرد یا مقدار روغن از هر کدام از ژنوتیپ‌ها، V_i آماره پایداری تک‌متغیره و d کمترین عملکرد قابل قبول می‌باشد. در این تحقیق میانگین کل ژنوتیپ‌ها به عنوان عملکرد قابل قبول استفاده شد. در برخی از منابع از عملکرد ارقام برتر شاهد استفاده شده است (Eskridge & Mumm, 1992). برای روش رگرسیونی بجای V_i از معادله ذیل استفاده شد:

$$(b_i - 1)^2 s_y^2 (1 - 1/q) + s_{di}^2$$

در این معادله q برابر با تعداد محیط و s_y^2 است:

$$\frac{q}{\sum_{j=1}^q (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})^2} / (q - 1)$$

ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بیشتری از $SFI(i)$ دارای

از این واقعیت است که بین عملکرد یا میزان روغن ژنوتیپ‌ها در هر محیط با شاخص محیطی رابطه خطی وجود دارد، به‌ترتیبی که افزایش شاخص محیطی (بهبود شرایط کشت)، افزایش صفات فوق را به دنبال خواهد داشت. معنی‌دار بودن اثر متقابل خطی برای روغن دانه حاکی از این است که بین ژنوتیپ‌ها از نظر شیب خط رگرسیون تفاوت معنی‌دار وجود دارد و ژنوتیپ‌ها پاسخ خطی متفاوتی به شاخص محیطی نشان داده‌اند. معنی‌دار شدن میانگین مربعات انحرافات از خط رگرسیونی (انحراف تجمع‌شده) حاکی از این است که نقاط مربوط به عملکرد یا روغن دانه برخی از ژنوتیپ‌ها کاملاً در اطراف خط رگرسیون قرار ندارند و واکنش یک ژنوتیپ در طول تغییرات خطی با محیط ممکن است دارای نوسان‌های زیادی باشد.

میانگین، پارامترهای رگرسیون و شاخص توأم رگرسیون - عملکرد (یا میزان روغن) برای ژنوتیپ‌های گلرنگ، در جدول ۳ ارائه شده است. از مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های تحت بررسی در کلیه محیط‌های دیم مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه به ارقام G5، G6، G10 و کمترین عملکرد دانه به رقم G7 متعلق بود. بیشترین میزان روغن دانه به ترتیب در ارقام G5، G11، G6 و کمترین میزان آن در ارقام G14، G10 و G9 مشاهده شد. دو رقم پرمحصول G5 (پدیده) و G6 (CW-74) از میزان روغن دانه بالاتری نیز برخوردار بودند، هر چند که دامنه تغییرات محتوی روغن در ژنوتیپ‌های تحت بررسی کم و حدود ۳ درصد بود. میانگین عملکرد دانه کاشت‌های پاییزه و انتظاری (به‌ترتیب ۶۶۶ و ۵۹۱ کیلوگرم در هکتار) نسبت به کاشت بهاره (۴۴۸ کیلوگرم در هکتار)، برتری کاملاً معنی‌داری داشت. البته بین میزان روغن دانه در هر سه نوع کشت، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در یک ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ارقام و لاین‌های گلرنگ برای دو منطقه طی سه سال متوالی افزایش معنی‌داری در متوسط عملکرد کشت پاییزه (۳۱۰ گرم در مترمربع یا ۶۶ درصد) نسبت به کشت بهاره گزارش شده است (Johnson et al., 2012).

تأثیر معنی‌دار عامل‌های ژنوتیپ، زمان کشت و اثر متقابل ژنوتیپ-زمان کشت را در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۲). با توجه به سهم بالای اثر متقابل ژنوتیپ × کشت پاییزه (۵۶ درصد) برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های گلرنگ، عکس‌العمل متفاوتی را در کشت زمستانه دیم برای مناطق سردسیر داشتند. همچنین تجزیه واریانس مرکب داده‌های عملکرد و مقدار روغن دانه برای ۲۱ محیط (ترکیبی از سه نوع کشت، دو سال و چهار مکان) نیز انجام شد. عامل‌های ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل $G \times E$ از دو صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. سهم عامل‌های ژنوتیپ-محیط، اثر متقابل آنها برای عملکرد دانه، به ترتیب ۴/۹، ۶۲/۴ و ۲۳/۸ درصد و میزان روغن ۲۵/۰، ۴۴/۸ و ۲۱/۹ درصد بود. بزرگی اثر محیط به‌ویژه برای عملکرد دانه بیانگر متفاوت بودن شرایط اقلیمی محیط‌ها بوده که باعث ایجاد تنوع در این دو صفت در ژنوتیپ‌ها گردیده است. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های مورد استفاده شامل ارقام معرفی‌شده و لاین‌های امیدبخش گزینش‌شده از آزمایش‌های مقدماتی بودند، اثر ژنوتیپ برای عملکرد دانه، از تنوع کمتری برخوردار بود. بالا بودن اثر متقابل $G \times E$ در هر دو صفت بیانگر آن است که ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مناطق و سال‌های مختلف دارای عکس‌العمل‌های متفاوتی بوده و بایستی برای تعیین میزان سازگاری و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از روش‌های تجزیه پایداری استفاده نمود. نسبت اثر متقابل به ژنوتیپ برای عملکرد، نزدیک به ۵ برابر بود که حاکی از وجود احتمالی چندین گروه محیطی با ژنوتیپ‌های برتر مختلف بود. درصد تغییرات اثرات متقابل $G \times E$ و ژنوتیپ برای محتوی روغن دانه بالا بود. که نشان‌دهنده این بود که هر دو اثر در تعیین گروه‌های محیطی حائز اهمیت هستند.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل رگرسیونی

نتایج تجزیه پایداری به روش Eberhart & Russell (1966) برای صفات عملکرد و مقدار روغن دانه، همچنین در جدول ۲ آورده شده است. اختلاف کاملاً معنی‌داری بین کلیه اجزای رگرسیون در هر دو صفت به جز اثر متقابل خطی برای عملکرد دانه مشاهده شد. معنی‌دار شدن واریانس مربوط به محیط (خطی) حاکی

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و میزان روغن ژنوتیپ‌های گلرنگ برای سه زمان کشت و در کلیه ۲۱ محیط طی دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۰

Table 2 -The combined ANOVA on seed yield and oil content of safflower genotypes for three sowing times and throughout 21 environments during two seasons 2011-2013

S. O. V	df	Seed yield		Seed oil content	
		MS	% of total	MS	% of total
Fall sowing (FS)	6	289799**	10.2	82.8**	36.5
Genotype (G)	14	224641**	18.4	32.3**	33.3
G × FS	84	114671**	56.4	3.4**	21.1
Entezari sowing (ES)	6	1790847**	55.1	126.5**	40.7
G	14	97213**	7.0	30.1**	22.6
G × ES	84	54528**	23.5	6.1**	27.3
Spring sowing (SS)	6	5144708**	82.2	162.5**	51.2
G	14	76126**	2.8	36.9**	27.1
G × SS	84	44296**	9.9	3.3**	14.5
Environment (E)	20	2554256**	62.4	117.6**	44.8
Rep./E	42	28532	1.5	2.1	1.7
G	14	285875**	4.9	93.9**	25.0
G × E	280	69654**	23.8	4.1**	21.9
Regression model					
Environment (Lin.)	1	17058796**		713.8**	
G × E (Lin.)	14	31591		3.20**	
Pooled deviation	285	21327**		1.38**	
Pooled error	588	10330	7.4	0.59	6.6
C.V. (%)			17.87		2.54
Bartlett's test			$\chi^2=26.45^{ns}$		$\chi^2=21.46^{ns}$

* و ** به ترتیب، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** significant at 5 and 1% level of probability, respectively

جدول ۳- میانگین، پارامترهای رگرسیون و شاخص رگرسیون-عملکرد (یا میزان روغن) از ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ در ۲۱ محیط دیم

Table 3-The mean, regression parameters (b and S²d) and regression index - yield (or oil content (SFI) of 15 safflower genotypes grown in 21 rainfed environments

Genotype	Code	Yield (kg/ha)	b	S ² d	SFI	Oil (%)	b	S ² d	SFI
PI 198990	G1	612.47 ^{abc}	0.99	8196**	0.48	30.80 ^c	1.10	1.0**	0.59
PI 401478	G2	571.12 ^{a-d}	0.77	19424**	0.01	31.04 ^{bc}	0.81	3.6**	0.22
PI 304408	G3	513.90 ^{c-f}	0.96	10354**	-0.54	31.21 ^{bc}	0.96	0.2 ^{ns}	2.21
324-S6-697	G4	560.80 ^{a-e}	1.04	8866**	-0.09	31.20 ^{bc}	0.87	0.4**	1.43
Padedeh	G5	653.11 ^a	1.12	14480**	0.68	31.65 ^{ab}	0.98	0.1 ^{ns}	4.44
CW-74	G6	664.24 ^a	1.33*	38375**	0.45	31.40 ^{abc}	0.87	1.9**	0.85
Zarghan279	G7	447.22 ^f	0.89	12416**	-1.07	29.02 ^{de}	0.29**	0.5**	-0.87
Sina	G8	611.59 ^{abc}	1.04	19792**	0.30	30.89 ^{bc}	1.11	0.3 ^{ns}	1.19
PI 544017	G9	460.40 ^{ef}	0.70*	6619*	-1.01	28.80 ^e	0.59*	2.1**	-0.86
Faraman	G10	630.66 ^{ab}	1.18	21308**	0.41	28.78 ^e	0.98	1.6**	-1.12
Isfahan Local	G11	523.70 ^{b-f}	1.14	32312**	-0.25	32.04 ^a	1.01	0.9**	1.99
47	G12	605.42 ^{a-d}	1.07	7866**	0.40	28.95 ^{de}	0.77	0.8**	-1.32
Darab2	G13	615.44 ^{abc}	1.06	28664**	0.27	29.72 ^d	1.17	1.3**	-0.41
Goldasht	G14	501.92 ^{def}	0.80	18960**	-0.46	28.75 ^e	1.27	2.2**	-0.94
Darab7	G15	565.68 ^{a-d}	0.93	20621**	-0.02	29.12 ^{de}	1.30	0.7**	-1.11
Fall Sowing		666.50 ^A				30.34 ^A			
Entezari Sowing		591.52 ^{AB}				29.74 ^A			
Spring Sowing		448.43 ^B				30.59 ^A			

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, and ** indicate significance at the 5% and 1% levels, respectively

بررسی پایداری ژنوتیپ‌های گلرنگ پاییزه در چهار ایستگاه تحقیقاتی بر اساس شیب رگرسیون، انحراف از خط رگرسیون و میانگین عملکرد دانه لاین جدید K.W.2 که حاصل تلاقی بین ارقام زرقان ۲۷۹ و گلدشت بود، در گروه سازگاری عمومی به تمامی محیط‌ها و پرمحصول قرار گرفت (Omidi *et al.*, 2011). همچنین در تحقیق دیگری با بررسی عملکرد و میزان روغن دانه گلرنگ به روش رگرسیون در ۴ مکان طی دو سال، ارقام GW9023 و Finch برای عملکرد دانه و PI 572421 برای میزان روغن، به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول شناسایی شدند (Esendal *et al.*, 2008). مطالعات متعدد دیگری نیز در زمینه بررسی پایداری عملکرد گیاهان نظیر گندم (Mohammadi & Amri, 2013)، جو (Akbarpour *et al.*, 2012)، نخود (Dehghani *et al.*, 2010)، کلزا (Jafari *et al.*, 2015) و گلرنگ (Jamshidmoghaddam & Pourdad, 2013) با استفاده از روش رگرسیونی انجام گرفته است.

شاخص توأم مدل رگرسیونی و عملکرد

با توجه به اینکه آماره‌های پایداری تک‌متغیره مستقل از عملکرد هستند، Eskridge (1990) شاخص‌هایی را برای ارزیابی توأم هر کدام از این آماره‌های تک‌متغیره و عملکرد ارائه نمود که در شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار بسیار مفید بودند. بر این اساس در این تحقیق نیز از شاخص رگرسیون دو پارامتری (Eberhart & Russell 1966) و عملکرد دانه (یا میزان روغن دانه) برای انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب استفاده شد. با کاربرد این آماره، نیازی به ترسیم نمودارهای جداگانه پراکنش ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس عملکرد یا میزان روغن دانه و ضرائب رگرسیون و واریانس انحراف از رگرسیون نیست. بیشترین شاخص رگرسیون-عملکرد (SFI) مربوط به ژنوتیپ‌های G5 (پدیده)، G1 (PI 198990) و G6 (CW-74) و کمترین به ژنوتیپ‌های G9 و G7 تعلق داشت. از نظر شاخص رگرسیون-روغن نیز به ترتیب ژنوتیپ‌های G5، G3 (PI 304408) و G11 (محلی اصفهان) انتخاب شدند. کمترین مقدار شاخص نیز مربوط به ژنوتیپ‌های G12، G10 و G15 بود. کاربرد آماره رگرسیون-عملکرد در گزینش ارقام مناسب در گیاهان مختلف نظیر گندم

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل رگرسیونی، نشان داد که ضرایب رگرسیون عملکرد از ۰/۷۰ برای لاین G9 (PI 544017) تا ۱/۳۳ برای رقم G6 (CW-74) متغیر بود. ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون پایین شامل G9، G2 و G14، دارای بیشترین واکنش مثبت به محیط‌های نامطلوب و ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیونی بالا شامل G6، G10، G11 و G5، دارای واکنش مثبت بیشتری به محیط‌های مطلوب بودند. ژنوتیپ‌های G1، G4، G3 و G8 با ضرایب رگرسیون نزدیک به واحد، دارای واکنش متوسط به محیط‌ها بودند. بر اساس مدل، ژنوتیپ‌هایی با حداقل واریانس انحراف از رگرسیون (S^2di) پایدارتر می‌باشند. کمترین واریانس انحراف از رگرسیون عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌های G9، G12، G1 و G4 وجود داشت. هر چند کلیه ژنوتیپ‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار بودند که حاکی از عدم کارایی این آماره در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار بود. در یک بررسی، سازگاری عملکرد دانه ارقام گلرنگ اثرات متقابل ژنوتیپ-محیط معنی‌دار و ضرایب و انحرافات از خط رگرسیون غیرمعنی‌دار گزارش گردید (Elfadi *et al.*, 2005).

دامنه ضرایب رگرسیونی میزان روغن بین ۰/۲۹ برای G7 (زرقان ۲۷۹) تا ۱/۳۰ برای G15 (داراب ۷) قرار داشت. ژنوتیپ‌های G7، G9، G12 و G2 با ضرایب رگرسیون بسیار پایین بیشترین واکنش مثبت به محیط‌های کم بازده را داشتند و بهبود شرایط کشت از لحاظ زمان کاشت و نوع مکان، افزایش معنی‌داری در میزان روغن نداشت. بالاترین ضرایب نیز در ژنوتیپ‌های G15، G14 و G13 مشاهده شد، که پاسخ‌های بهتری به محیط‌های مطلوب نشان دادند. ژنوتیپ‌های G11، G10 و G5 با ضرایب رگرسیون نزدیک به واحد دارای واکنش متوسط به محیط‌ها بودند. کمترین واریانس انحراف از رگرسیون میزان روغن برای ژنوتیپ‌های G5، G3 و G8 مشاهده شد که از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار گردید. با توجه به معیارهایی که Eberhart & Russell (1966) برای پایداری ژنوتیپ‌ها قائل‌اند (دارا بودن عملکرد بیشتر از میانگین کل، ضریب رگرسیون معادل یک و کمترین انحراف از خط رگرسیون) ژنوتیپ‌های G5، G3 و G8، جزو ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول بودند. در تحقیقی با

گروه محیطی نماینده داشتند که حاکی از شرایط اقلیمی متغیر طی سال‌ها و زمان‌های کشت مختلف بود. با توجه به شکل B-1 برای میزان روغن دانه، سه گروه محیطی (شامل یک گروه محیطی بزرگ و دو گروه محیطی کوچک) و ۵ گروه ژنوتیپی شناسایی شد. گروه محیطی اول شامل ۱۵ محیط از ۴ مکان مورد مطالعه بود که ژنوتیپ G11 (محلی اصفهان) بالاترین محتوی روغن را داشت. گروه محیطی دوم شامل E6، E16 و E17 (مراغه) و E11 (زنجان) بود که ژنوتیپ G2 (PI 401478) در رأس قرار گرفت. دو محیط E3 (سرارود) و E10 (زنجان) با ژنوتیپ برتر G6 (CW-74) یک گروه مستقل تشکیل دادند. بنابراین اکثر محیط‌های ایستگاه‌های مناطق معتدل سرد و سردسیر پاسخ‌های یکسانی نسبت به میزان روغن داشتند و ژنوتیپ دانه ریز محلی اصفهان را شناسایی نمودند. دو گروه ژنوتیپی شامل گروه G9، G13، G14 و G15 و گروه G7، G10 و G12 در هیچ کدام از ۲۱ محیط برتر نبودند.

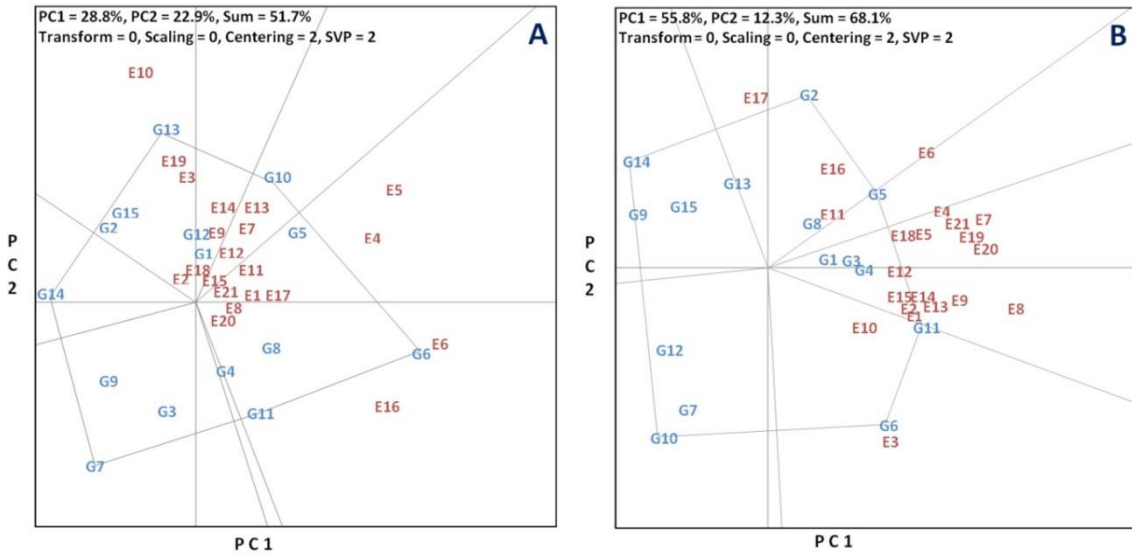
ارزیابی محیط‌ها بر اساس محیط مطلوب

بر اساس شکل ۲، محیط‌های ایده‌آل فرضی نیز برای دو صفت بر پایه مفاهیم قابلیت تفکیک بین ژنوتیپ‌ها و نمایندگی سایر محیط‌ها ترسیم شد. خطی که از مرکز و دایره کوچک (نماینده میانگین صفات) نشان داده شده بر روی هر کدام از نمودارها می‌گذرد مختصات محیط متوسط (Average environment coordinate, AEC) نامیده می‌شود (Yan & Kang, 2003). در شکل، نقاط مرکزی نشان داده شده بر روی محورهای AEC از هر دو صفت جایی است که بایستی محیط مطلوب قرار گیرد. این نقاط به‌عنوان محیط‌های مطلوب مجازی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین هر چه طول بردار محیطی بیشتر و فاصله آن به محور AEC کمتر باشد محیط مورد نظر به محیط مطلوب نزدیک‌تر می‌باشد (Yan et al., 2011). اگر طول بردار محیطی بیشتر باشد، آن محیط توانایی بیشتری در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها برخوردار است، بنابراین در شکل A-2 برای عملکرد دانه، محیط‌های E10 (کشت پاییزه زنجان)، E4، E5، E6 و E16 (سه نوع کشت سال اول و پاییزه سال دوم مراغه) دارای بیشترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند.

(Eskridge, 1997)، ذرت (Grausgruber et al., 2000)، و جو (Mgonja et al., 1994) نیز گزارش شده است.

تجزیه الگوهای چندضلعی نمودار دوبعدی

به‌منظور بررسی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، از نمایش نگاره‌ای نمودار دوبعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) استفاده شد. دو مؤلفه اول برای عملکرد دانه ۵۱/۷ درصد و محتوی روغن دانه ۶۸/۱ درصد از مجموع اثرات ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط را توجیه نمودند که بیانگر معتبر بودن نسبی بای‌پلات در توجیه تغییرات است. یک جنبه مهم نمایش چندضلعی نمودار دوبعدی گروه‌بندی محیط‌هاست. به‌طوریکه امکان پیشنهاد گروه‌های محیطی معنی‌دار در یک ناحیه را فراهم می‌نماید. در این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله را از مبدأ مختصات دارند به یکدیگر وصل شده و یک چندضلعی حاصل می‌شود. این ژنوتیپ‌ها از لحاظ صفت مورد مطالعه بهترین یا ضعیف‌ترین پاسخ را در بعضی از محیط‌ها یا همه محیط‌ها دارند. زیرا آنها دارای بیشترین فاصله از مرکز نمودار دوبعدی می‌باشند (Yan & Kang, 2003). بر اساس شکل A-1 برای عملکرد دانه، محیط‌ها به سه گروه و ژنوتیپ‌ها به پنج گروه تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل پنج محیط از سه نوع کشت مختلف ایستگاه مراغه طی دو سال یعنی E4، E5، E6، E16، E17 و سه محیط E8، E20 و E21 از ایستگاه قاملو کردستان و محیط E1 از ایستگاه سرارود کرمانشاه بود. که ژنوتیپ G6 (CW-74)، دارای بیشترین عملکرد در این گروه محیطی بود. گروه دوم شامل دو محیط از ایستگاه خدابنده زنجان یعنی E11، E12 و دو محیط از سرارود E13 و E15 و محیط E7 (قاملو) بود که ژنوتیپ برتر شماره G10 (رقم فرمان) در رأس این گروه قرار گرفت. مابقی محیط‌ها شامل E2، E3 و E14 (ایستگاه سرارود)، محیط‌های E9 و E19 (قاملو)، محیط E18 (مراغه) و E10 (زنجان) در یک گروه با ژنوتیپ برتر شماره G13 (داراب ۲) جا گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره G3، G7، G9 و G14 در هیچ کدام از محیط‌ها برتر نبودند. محیط‌های مربوط به مراغه در طی دو سال و زمان‌های کشت مختلف پاسخ‌های مشابه‌تری داشتند و یک ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ برتر معرفی کردند. سایر ایستگاه‌ها در هر سه

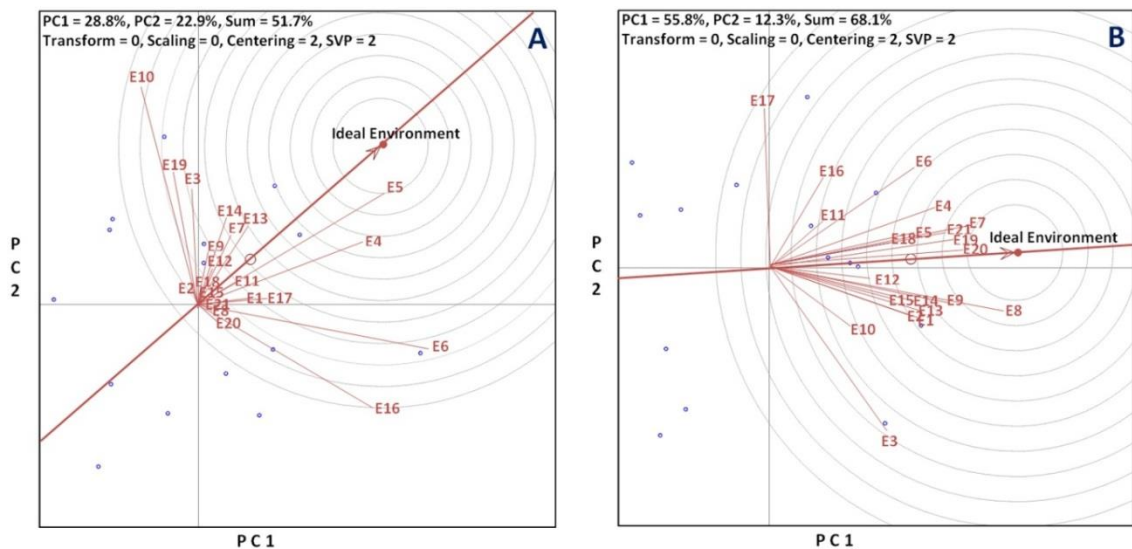


شکل ۱- الگو چندضلعی GGE بای پلات "کدام - برتر - کجا" برای عملکرد دانه (A) و میزان روغن دانه (B) بر اساس ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ (G1-G15) ارزیابی شده در ۲۱ محیط دیم (E1-E21)

Fig 1- GGE biplot for the "which-won-where" pattern of 15 safflower genotypes (G1-G15) in 21 rainfed environments (E1-E21) for seed yield (A) and oil content (B)

بردار محیطی کوچکتر دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپها بودند. همچنین برای صفت میزان روغن دانه در شکل B-۲ محیط ایده آل شناسایی شد. از لحاظ طول بردار محیطی اکثر محیطها از چهار مکان مورد مطالعه از قابلیت تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپی نسبتاً مناسبی برای میزان روغن برخوردار بودند.

هر چند با توجه به هر دو مقوله قابلیت نمایندگی و تمایز بین ژنوتیپها به ترتیب دو محیط E5 و E4 از مراغه به محیط ایده آل فرضی نزدیکتر بوده و به عنوان محیطهای مطلوب برای ارزیابی ژنوتیپهای گلرنگ در این آزمایش در نظر گرفته شد. با توجه به شکل A-۲ بیشتر محیطهای سه مکان کردستان، کرمانشاه و زنجان با طول



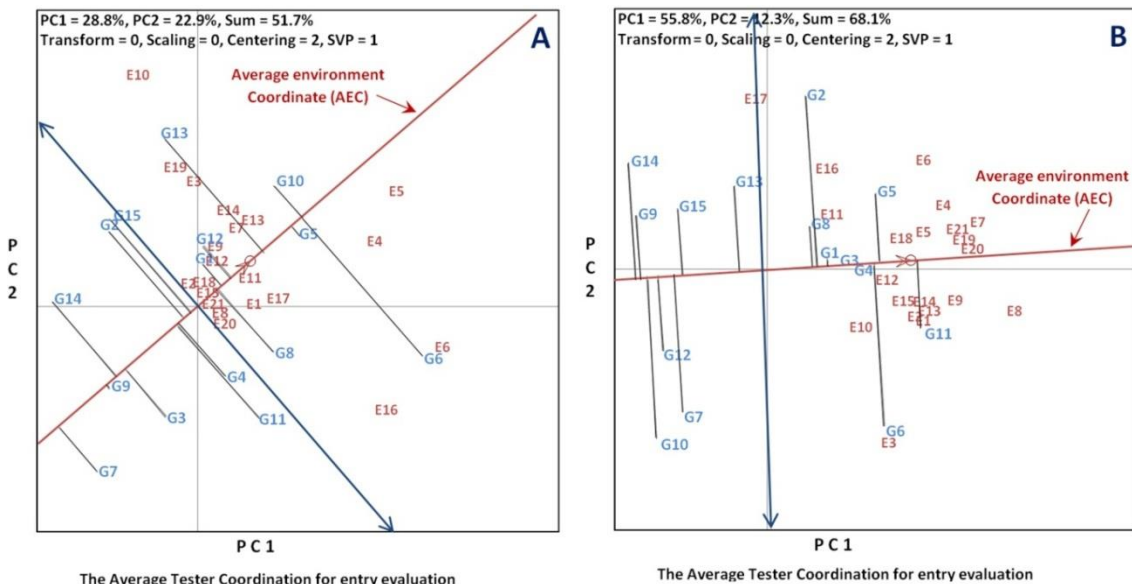
شکل ۲. نمایش نگاره‌ای GGE بای پلات روابط و "توانایی تفکیک بین ژنوتیپها و نمایندگی بودن" محیطها برای عملکرد دانه (A) و میزان روغن دانه (B) بر اساس ۲۱ محیط دیم (E1-E21)

Fig 2- GGE biplot showing relationships and "the discriminative ability and representativeness" of 21 rainfed environments (E1-E21) for seed yield (A) and oil content (B)

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری

شکل ۳، ارزیابی ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس هر کدام از دو صفت عملکرد و میزان روغن دانه و پایداری در ۲۱ محیط را نشان می‌دهد. با توجه به جهت پیکان بر روی محور مختصات محیط متوسط ژنوتیپ‌های مطلوب از لحاظ عملکرد یا میزان روغن قابل شناسایی است. همچنین در نمودارها خطی که بر محور AEC عمود و از مرکز بای‌پلات می‌گذرد (خط دو سر فلش) معیار سنجش پایداری ژنوتیپ‌ها می‌باشد. هر چقدر تصویر ژنوتیپ بر روی این خط کوتاه‌تر باشد (کمترین فاصله از محور AEC داشته باشد)، این ژنوتیپ پایدارتر خواهد بود. با توجه به مدل نمودار دو بعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط)، ژنوتیپ‌های مطلوب بایستی همسو با جهت پیکان بیشترین مقدار برای هر صفت مورد مطالعه و کمترین فاصله را از محور AEC داشته باشند. بر این اساس، با توجه به شکل ۳-A برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های G10 (رقم فرامان) و G5 (رقم پدیده) جزو ژنوتیپ‌های برتر بودند. البته ژنوتیپ پرمحصول G6 دارای بیشترین فاصله از محور AEC بود بنابراین ناپایدارترین ژنوتیپ براساس نتایج ۲۱ محیط بود.

علاوه بر قابلیت تمایز، این محیط‌ها به استثنای چند محیط شامل E17 و E3 دارای ویژگی میزان بیانگری یا نمایندگی محیط آزمایشی نیز بودند. البته با در نظر گرفتن هر دو ویژگی، شش محیط کردستان به ترتیب E7، E20، E19، E8، E21 و E9 در نقاط نزدیک‌تری نسبت به محیط ایده‌آل فرضی جا گرفتند و به‌عنوان مکان مطلوب برای ارزیابی محتوی روغن ژنوتیپ‌های گلرنگ در این آزمایش شناسایی شدند. با توجه به شکل ۲، همبستگی بالایی بین بردارهای محیطی مربوط به هر یک از مکان‌ها وجود داشت که نشان می‌دهد در محیط‌های مربوط به هر مکان در سال‌های مختلف از لحاظ شناسایی ژنوتیپ‌های خاص همبستگی مثبت وجود دارد. زاویه برداری محیط‌های برخی از مکان‌ها مانند E10 (زنجان) با E16 (مراغه) در عملکرد دانه یا محیط E17 (مراغه) با E3 (سرارود) برای میزان روغن بیش از ۹۰ درجه بود که نشان می‌دهد این محیط‌ها همبستگی منفی در شناسایی ژنوتیپ‌ها دارند که نشان‌دهنده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط متفاوت بین محیط‌های مذکور بود.



شکل ۳- ارزیابی توأم GGE بای‌پلات "عملکرد دانه و پایداری" (A) و "میزان روغن دانه و پایداری" (B) بر اساس ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ (G1-G15) ارزیابی شده در ۲۱ محیط دیم (E1-E21)

Fig 3- GGE biplot showing "the mean yield and stability performance" of 15 safflower genotypes (G1-G15) for seed yield (A) and oil content (B) in 21 rainfed environments (E1-E21)

های متداول در کشت گلرنگ محسوب می‌شود، جزو کم محصول‌ترین و ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها از لحاظ هر دو صفت قرار گرفت. در تحقیقی با استفاده از روش نمودار دوبعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط)، ۱۴ ژنوتیپ گلرنگ برای شش ایستگاه تحقیقاتی در شرایط با و بدون تنش رطوبتی ارزیابی شد (Pourdard & Jamshid, 2013). بررسی نمودار چندضلعی، منجر به شناسایی شش ژنوتیپ برتر و چهار محیط بزرگ شده و ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ مشخص گردید. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از نمودار مختصات محیط متوسط نشان داد که ارقام Hartman، Gila و Sina با عملکرد زیاد دارای پایداری عملکرد بیشتری نیز بودند. رقم Hartman نزدیک‌ترین رقم به ژنوتیپ ایده‌آل بود. همچنین محیط‌های زنجان، قاملو، کوه‌دشت و سرارود در شرایط بدون تنش رطوبتی دارای قابلیت تمایز بیشتری بودند.

همبستگی آماره‌های پایداری

ضرایب همبستگی رتبه صفات عملکرد دانه و میزان روغن دانه با آماره‌های پایداری رگرسیون و شاخص GGED از مدل نمودار دوبعدی (رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل)، در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول همبستگی ضریب رگرسیون با عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد که نشان‌دهنده واکنش مناسب‌تر ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در محیط‌های مطلوب بود. هیچ نوع همبستگی معنی‌داری بین پارامتر S^2di و دو صفت عملکرد دانه و میزان روغن دانه وجود نداشت. بنابراین انتخاب مستقل بر اساس S^2di منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های با پایداری ایستا خواهد شد. عدم همبستگی پارامتر S^2di با عملکرد دانه (Mohammadi & Amri, 2013; Flores et al., 1998)، یا همبستگی منفی و معنی‌دار (Yue et al., 1990) در سایر محصولات نیز گزارش شده است. همانند عملکرد دانه شاخص رگرسیون - عملکرد (SFI) و شاخص رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد - پایداری با ژنوتیپ مطلوب (GGED) همبستگی مثبت و معنی‌داری با ضریب رگرسیون نشان دادند. بالاترین ضرایب همبستگی ($r \geq 0.90$) را این دو شاخص پایداری با عملکرد دانه یا میزان روغن داشتند. در نهایت نیز در هر دو صفت ضرایب

سایر ژنوتیپ‌ها که در سمت راست خط دو سر فلش قرار دارند، از لحاظ عملکرد برتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ خط دو سر فلش قرار دارند، عملکرد کمتری از میانگین داشتند. ژنوتیپ G11 (محلی اصفهان) نیز دارای عملکرد کمتر از میانگین و ناپایدار بود. در شکل B-۳ برای محتوی روغن دانه، ژنوتیپ‌های G11 و G5 جزو ژنوتیپ‌های پرروغن و پایداری متوسط قرار داشتند. بیشترین پایداری (کمترین فاصله از محور AEC) در ژنوتیپ‌های G4، G3 و G1 مشاهده شد این ژنوتیپ‌ها عملکرد بالاتر از میانگین داشتند. ژنوتیپ پر روغن G6 جزو ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها قرار گرفت.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ مطلوب

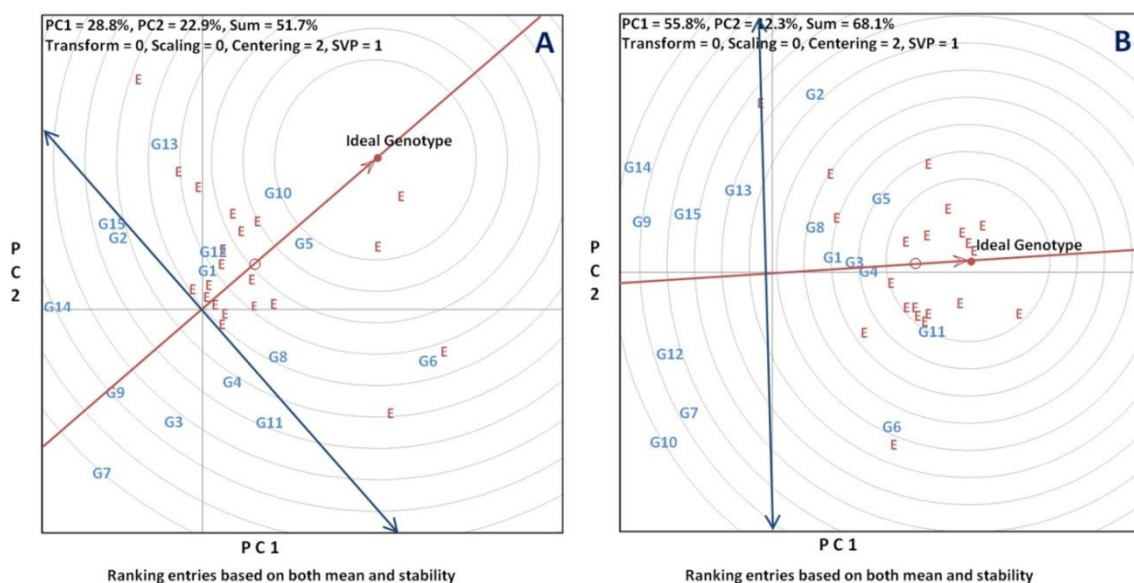
ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بر اساس پایدارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ تعریف می‌شود و هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را به این ژنوتیپ فرضی داشته باشد به‌عنوان یک ژنوتیپ برتر محسوب می‌گردد (Yan & Kang, 2003). با استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل، دایره‌های هم‌مرکزی در نمودار دوبعدی برای ارزیابی نگاره‌ای فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ مطلوب (GGED, GGE distance) ایجاد می‌شود. شاخص GGED معیاری از عملکرد (با میزان روغن) و پایداری است. در شکل A-۴ برای عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های G10 (رقم فرامان) و G5 (رقم پدیده) دارای میانگین عملکرد و پایداری بالایی بودند. رتبه‌بندی کلیه ژنوتیپ‌ها برای شاخص GGED به‌ترتیب عبارت از $G10 > G5 > G12 > G1 > G6 > G13 > G8 > G4 = G2 = G15 > G11 > G3 > G9 = G14 > G7$ بود. همچنین در شکل B-۴ برای میزان روغن دانه، ژنوتیپ‌های G11 (محلی اصفهان) و در رتبه بعدی ژنوتیپ‌های G4 و G5 به ژنوتیپ مطلوب نزدیک‌تر بودند و جزو ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ هر دو میزان روغن دانه و پایداری شناسایی شدند. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص GGED به‌ترتیب عبارت از:

$G11 > G4 = G5 > G3 > G1 > G8 > G6 > G2 > G13 > G15 > G10 = G12 > G7 > G9 > G14$ بود. با توجه به اشکال ۳ و ۴ رقم پرمحصول و پایدار G10 (رقم دانه درشت و بی‌خار) از لحاظ روغن و پایداری در رتبه آخر قرار داشت. همچنین رقم G7 که طی سال‌های گذشته جزو ژنوتیپ

اثرات ژنوتیپ - محیط در اختیار قرار خواهد داد و بسیار مفیدتر از این شاخص تک‌متغیره می‌باشد. در این آزمایش که با هدف بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ‌های گلرنگ در مناطق سرد و معتدل سرد انجام شد، عامل‌های اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای دو صفت مهم عملکرد و مقدار روغن دانه معنی‌دار بودند و محیط بیشترین تغییرات را در این دو صفت ایجاد کرد.

همبستگی بسیار بالایی بین شاخص SFI و GGED (به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۸۹) مشاهده شد.

بنابراین این دو مدل در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار تقریباً شبیه هم عمل نمودند و در صورت عدم امکان دسترسی به نرم‌افزار GGE بای‌پلات امکان استفاده از شاخص توأم مدل رگرسیونی و عملکرد در جهت گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار وجود خواهد داشت هر چند که مدل نمودار دوبعدی (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) اطلاعات جامع‌تری را در مورد جنبه‌های مختلف تجزیه



شکل ۴- نمایش نگاره‌ای GGE بای‌پلات "فاصله ژنوتیپ‌ها از ژنوتیپ مطلوب" برای عملکرد دانه (A) و میزان روغن دانه (B) بر اساس ۱۵ ژنوتیپ گلرنگ (G1-G15) ارزیابی شده در ۲۱ محیط دیم

Fig 4- GGE biplot showing "comparison of 15 safflower genotypes (G1-G15) with an ideal genotype" for seed yield (A) and oil content (B) in 21 rainfed environments

جدول ۴- ضرایب همبستگی رتبه میانگین عملکرد دانه، میزان روغن و آماره‌های پایداری در ژنوتیپ‌های گلرنگ
 Table 4 - Rank correlation coefficients between mean seed yield (or oil content) and stability parameters in safflower genotypes

Trait	Stability parameters	Mean	B	S ² d	SFI
Seed yield	b	0.73**	1		
	S ² d	-0.43	-0.52*	1	
	SFI	0.95**	0.65**	-0.23	1
	GGED	0.91**	0.72**	-0.15	0.94**
Oil content	b	0.02	1		
	S ² d	0.49	0.04	1	
	SFI	0.90**	0.01	0.48	1
	GGED	0.94**	0.08	0.54*	0.89**

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** indicate significance at the 5% and 1% levels, respectively.

با توجه به (2008; Esendal *et al.*, 2008; Yau, 2007). هر دو مقوله قابلیت نمایندگی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها دو محیط E4 و E5 (کشت‌های پاییزه و انتظاری سال اول آزمایش) از ایستگاه مراغه برای عملکرد دانه و کلیه محیط‌های ایستگاه کردستان برای میزان روغن دانه مکان مطلوب شناسایی شدند. بر اساس دو مدل تجزیه پایداری، ژنوتیپ G5 (رقم پدیده) از لحاظ عملکرد دانه و همچنین میزان روغن رقم برتر و با سازگاری عمومی شناخته شد و برای همه مکان‌های انجام آزمایش در مناطق معتدل سرد و معتدل سرد و هر سه نوع کشت قابل پیشنهاد بود.

با توجه به نتایج این تحقیق بسته به مکان و نوع زمان کاشت در ایستگاه‌های سرارود کرمانشاه، قاملو کردستان و خدابنده زنجان ژنوتیپ‌های متفاوتی جهت کسب بالاترین پتانسیل عملکرد در شرایط دیم گزینش شد. ایستگاه مراغه برای عملکرد دانه تکرارپذیرتر بود. برای میزان روغن یک محیط بزرگ (۱۵ محیط) با ژنوتیپ برتر G11 (محلی اصفهان) شناسایی شد. هر چند که این ژنوتیپ از عملکرد پایینی در شرایط دیم برخوردار بود. ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و زمان کاشت برای صفات مختلف گلرنگ از جمله عملکرد دانه و اجزای عملکرد همچنین توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (Ada, 2012; Johnson & Dajue,)

REFERENCES

1. Ada, R. (2012). Effects of winter and spring sowing on yield components of safflower genotypes. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 66, 622 - 626.
2. Akbarpour, O. A., Dehghani, H. & Sorkhi-Lalehloo, B. (2012). Study of grain yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in cold regions of Iran using regression methods. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14, 155-170. (In Farsi).
3. Dehghani, H., Sabaghpour, S. H., & Ebadi, A. (2010). Study of genotype \times environment interaction for chickpea yield in Iran. *Agronomy Journal*, 102, 1 - 8 .
4. Dia, M., Wehner, T. C., Hassell, R., Price, D. S., Boyhan, G. E., Olson, S., King, S., Davis, A. R., Tolla, G. E., Bernier, J., & Juarez, B. (2016). Value of locations for representing mega-environments and for discriminating yield of watermelon in the U.S. *Crop Science*, 56, 1726-1735.
5. Eberhart, S. A. & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
6. Ebrahimi, F., Majidi, M. M., & Arzani, A. (2016). Oil and seed yield stability in a worldwide collection of safflower under arid environments of Iran. *Euphytica*, 212, 131 - 144.
7. Elfadi, E., Reinbrecht, C., Frick, C., Von, S., Rudolphi, S. (2005). Genotype by environment interaction in safflower grown under organic farming system. *Proceedings of 6th International Safflower Conference*, June 6-10, Istanbul, Turkey.
8. Esendal, E., Arslan, B., & Paşa, C. (2008). Effect of winter and spring sowing on yield and plant traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Proceedings of 7th International Safflower Conference*, November 3-7, Wagga Wagga, Australia.
9. Eskridge, K. M. (1990). Selection of stable cultivars using a safety-first rule. *Crop Science*, 30, 369 - 374.
10. Eskridge, K. M. (1997). Evaluation of corn hybrids using the probability of outperforming a check based on strip-test data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 2, 245 - 254.
11. Eskridge, K. M., & Mumm, R. F. (1992). Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theoretical and Applied Genetics*, 84, 494-500.
12. Eskridge, K. M., Byrne, P. F., & Crossa, J. (1991). Selection of stable varieties by minimizing the probability of disaster. *Field Crops Research*, 27, 169-181.
13. Flores, F., Moreno, M. T., Cubero, J. I. (1998). A comparison of univariate and multivariate methods to analyze environments. *Field Crop Research*, 56, 271-286.
14. Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1996). AMMI analysis of yield trials. In M. S. Kang & H. G. Gauch (eds.) Genotype by environment interaction. (pp. 85-122) CRC Press, Boca Raton, FL .
15. Grausgruber, H., Oberforster, M., Werteker, M., Ruckenbauer, P., & Vollmann, J. (2000). Stability of quality traits in Austrian-grown winter wheats. *Field Crops Research*, 66, 257-267 .

16. Hamdan, Y. A. S., Perez-Vich, B., Fernandez-Martinez, J. M. & Velasco, L. (2009). Novel safflower germplasm with increased saturated fatty acid content. *Crop Science*, 49, 127-132.
17. Hühn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, 47, 189-194.
18. Jafari, M., Asghari Zakarya, R., Alizadeh, B., Sofalyan, O. & Zare, N. (2015). Study of seed yield stability in winter rapeseed (*Brassica napus*) genotypes using Eberhart and Russell's method. *Iranian Journal of Field Crop Sciences*, 45, 585-592. (In Farsi).
19. Jamshidmoghammad, M. & Pourdard, S. S. (2013). Genotype × environment interactions for seed yield in rainfed winter safflower (*Carthamus tinctorius* L.) multi-environment trials in Iran. *Euphytica*, 190, 357-369.
20. Johnson, R. C., and Dajue, L. (2008). Safflower winter survival and selection response relate to fall growth morphology and acclimation capacity. *Crop Science*, 48, 1872 - 1880 .
21. Johnson, R. C., Petrie, S. E., Franchini, M. C., & Evans, M. (2012). Yield and yield components of winter-type safflower. *Crop Science*, 52, 2358-2364.
22. Knowles, P. F. (1989). Safflower. In G. Robbelen et al. (Eds.), *Oilseed Crops of the World*. (pp. 336-363). Their breeding & utilization. McCrow Hill Pub. Company. New York.
23. Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K., & Doitsinis, A. (2004). Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilate to safflower yield. *Field Crops Research*, 90, 263 - 274.
24. Laffont, G. L., Wright, K., & Hanafi, M. (2013). Genotype plus genotype × block of environments biplots. *Crop Science*, 53, 2332 - 2341.
25. Mgonja, M. A., Mamuya, N. I., & Maeda, E. J. (1994). Use of safety rule in selecting stable barley cultivars. *African Crop Science Journal*, 2, 23 - 27.
26. Mohammadi, R., & Amri, A. (2013). Genotype × environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica*, 192, 227 - 249 .
27. Omid, A. H., Shahsavari, M. R., Alhani, A., & Jahanbin, A. (2011). Selection of new safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes for different climatic conditions using some stability parameters. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27 (3), 287-303. (In Farsi).
28. Pourdard, S. S. (2006). Safflower, *Carthamus tinctorius* L. In L., Dajue & H. H. Mündel (eds.) *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*.7. (pp-83). Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome Italy. (In Farsi).
29. Pourdard, S. S., Jamshid Moghammad, M. (2013). Study on genotype × environment interaction through GGE Biplot in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 2, 99-108. (In Farsi).
30. Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29, 237-245.
31. Yan, W. (2006). Exploring multi-environment trial data using biplots. Retrieved October 11, 2011, from <http://www.ggebiplot.com/workshop.htm>.
32. Yan, W. (2016). Analysis and handling of G × E in a practical breeding program. *Crop Science*, 56, 1-13 .
33. Yan, W., & Kang, M. (2003). *GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press. Boca Raton, F. L., pp. 271.
34. Yan, W., & Tinker, N. A. (2005). An integrated biplot system for displaying, interpreting, and exploring genotype X environment interaction. *Crop Science*, 45, 1004-1016.
35. Yan, W., Frégeau-Reid, J., Pageau, D., & Martin, R. (2016). Genotype-by-environment interaction and trait associations in two genetic populations of oat. *Crop Science*, 56, 11-1145.
36. Yan, W., Pageau, D., Frégeau-Reid, J. & Durand, J. (2011). Assessing the representativeness and repeatability of test locations for genotype evaluation. *Crop Science*, 51, 1603-1610 .
37. Yau, S. K. (2007). Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. *European Journal Agronomy*, 26, 249-256.
38. Yue, G., Perng, S. K., Walter, T. L., Wassom, C. E., & Li, G. H. (1990). Stability analysis of yield in maize, wheat and sorghum and its implications in breeding programs. *Plant Breeding*, 104, 72-80.