

# تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای عملکرد ارقام چغندر قند با استفاده از روش چندمتغیره AMMI

## Genotype - environment interaction pattern analysis for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars yield using AMMI multivariate method

خداداد مصطفوی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا اوراضی زاده<sup>۲</sup>، اباذر رجیبی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۱۰

خ. مصطفوی، م.ر. اوراضی زاده و ا. رجیبی. ۱۳۹۶. تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای عملکرد ارقام چغندر قند با استفاده از روش چندمتغیره AMMI. چغندر قند، ۳۳(۲): ۱۳۵-۱۴۷. DOI: 10.22092/jsb.2018.107335.1126

### چکیده

جهت مطالعه پایداری عملکرد و سازگاری ارقام چغندر قند در شرایط آب و هوایی مختلف، نه رقم چغندر قند در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و در شش منطقه شامل اصفهان، کرج، کرمانشاه، خوی، مشهد و مغان در سال زراعی ۱۳۹۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی به منظور تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب پذیر (امی) استفاده شد. نتایج تجزیه اثرات افزایشی جمع‌پذیر (تجزیه واریانس) و اثرات متقابل ضرب پذیر (تجزیه به مؤلفه‌های اصلی) مؤید آن بود که اثر ژنوتیپ در سطح احتمال پنج درصد، و اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در مجموع بیش از ۷۷ درصد از واریانس اثر متقابل را تبیین نمودند. نمودار بای‌پلات حاصل از اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل و میانگین عملکرد ریشه برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نشان داد که رقم JAAM با عملکرد بیشتر از میانگین کل و کمترین مقدار برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل به عنوان رقم پایدار شناخته شد. براساس نمودار دو بعدی مربوط به دو مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ‌های JAAM و SH-1-HSF.5\*(I13\*A37.1) در محیط‌های اصفهان و مشهد، ژنوتیپ‌های 1571، 302-HSF.20\*(I13\*KWS)، S1.88239\*(I13\*A37.1) و BR1 و ARAS 101 در کرمانشاه و مغان و ژنوتیپ‌های IC و 7233 در کرج دارای سازگاری خصوصی بودند. همچنین ژنوتیپ‌های 7233، S1.88239\*(I13\*A37.1) و JAAM و ARAS 101 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از سازگاری عمومی بیشتری برخوردار بودند. بطور کلی نتایج مشخص نمود که امکان گزینش ارقام مناسب برای هر منطقه وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه پایداری و سازگاری، چغندر قند، عملکرد ریشه

۱ - دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران. \* - نویسنده مسئول. Mostafavi@kiaou.ac.ir.  
۲ - استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.  
۳ - دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

## مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) یکی از مهم‌ترین منابع تولید شکر در جهان و ایران است و در اغلب مناطق کشور قابل کشت است. در این گیاه میزان تولید شکر به عوامل مختلفی بستگی دارد که از میان آن‌ها عوامل سال و محل تولید نقش مهمی در دارند (Rahimiyan and Asadi 1999). به دلیل منافع مالی حاصل از کشت چغندر قند برای صنعت قند، برخی مزایای اجتماعی و همچنین امکان استفاده از آن در تولید سوخت اتانول که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است، کشت آن در بسیاری از کشورها همچنان روند رو به رشدی دارد (Erdal et al. 2007).

در برنامه‌های به‌نژادی، ژنوتیپ‌ها می‌بایست در شرایط محیطی مختلف و به عبارتی در سال‌ها و مکان‌های متفاوتی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند تا اطلاعات حاصل از تخمین سازگاری و ثبات عملکرد ژنوتیپ‌ها معیار مطمئنی در توصیه ژنوتیپ‌ها ارائه داده و کارائی گزینش و معرفی ارقام را فراهم نمایند (Ebdon and Gauch 2002; Lin and Binns 1986). ژنوتیپ‌هایی که دارای اثر متقابل با محیط باشند از ثبات عملکرد کمتری برخوردار می‌باشند اکثر صفات اقتصادی که دارای اهمیت زیادی می‌باشند از لحاظ ژنتیکی به صورت چندژنی کنترل شده و از پایداری پائینی برخوردار هستند (Aghaei 1993). فالکونر (Falconer 1985) معتقد است به جای پایداری عملکرد بهتر است از واژه انعطاف‌پذیری فنوتیپی استفاده شود. پایداری عملکرد به ساختار ژنتیکی یا عکس‌العمل ژنوتیپ‌های فردی یا گروهی وابسته است. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به ساختار ژنتیکی رقم و شدت عوامل محیطی، بخصوص عوامل محدود کننده محیط، وابسته است.

وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط باعث کاهش بازده روش‌های اصلاحی شده و وسعت کشت ژنوتیپ‌های اصلاح شده

را کاهش می‌دهد، به طوری که محققین را وادار می‌سازد تا برای مکان‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی را اصلاح و معرفی نمایند (Becker and Leon 1988; Crossa et al. 1990). آگاهی از ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به به‌نژادگر کمک می‌نماید تا ژنوتیپ‌ها را با دقت بیش‌تری ارزیابی کرده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب نماید (Lin et al. 1986; Gauch 1988; Cornelius and Crossa 1999; Roy 2000). عملکرد از جمله صفات پلی‌ژنیک می‌باشد که توسط چندین ژن کنترل می‌شود. از مشخصات صفات پلی‌ژنیک این است که محیط بر روی فنوتیپ تأثیرگذار بوده و با کم‌ترین تغییر در محیط تغییرات قابل ملاحظه‌ای در فنوتیپ رخ می‌دهد (Ehdaei 1994). اثر متقابل ژنوتیپ و محیط سبب وجود تفاوت‌های قابل ملاحظه بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌شود (Delacy et al. 1990; Annicchisico 2007) و یکی از عوامل محدود کننده برنامه‌های اصلاح و آزادسازی ارقام در مناطق مختلف است (Kang 1998).

روش‌های مختلفی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط وجود دارد که به طور کلی به دو گروه اصلی روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند. از روش‌های تک‌متغیره روش لین و بینز (Lin and Binns 1986) و روش ابرهارت و راسل (Eberhart and Russell 1966) عمومیت بیشتری دارند و از روش‌های چند متغیره مدل اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) دارای اعتبار بیشتری بوده و در حال حاضر در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد و روش کارآمدی برای حذف خطا (Noise) و آشکار کردن الگوی مناسب داده‌ها است (Yan and Hunt 2002). دلیل استفاده گسترده از این روش این است که این مدل بخش بزرگی از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه و اثرات اصلی و اثرات متقابل را از یکدیگر تفکیک می‌کند (Ebdon and Gauch 2002). همچنین، این

آلبرت (Albert 2004) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در هیبریدهای ذرت روش‌های مختلف تجزیه پایداری را با هم مقایسه کرد ولی در نهایت مدل امی را مناسب‌ترین روش برای تجزیه پایداری معرفی کرد. رارابتی و همکاران (Rharrabti 2003) در آزمایش دیگری بر روی ۱۰ ژنوتیپ گندم دوروم در دو سال در اسپانیا، از چندین روش آماری برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط استفاده کردند و نشان دادند که روش رگرسیون در مقایسه با روش امی کارایی کمتری در تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط دارد. فرشادفر و سوتکا (Farshadfar and Sutka 2006) با استفاده از روش امی پایداری ۲۲ ژنوتیپ گندم دوروم را در ایران ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که ۹۲/۵ درصد از تنوع داده‌ها توسط مدل AMMI3 توجیه می‌شود که ۴/۵ برابر روش تجزیه رگرسیون خطی بود.

مطالعه ضرایب همبستگی رتبه‌ای بین پارامترهای پایداری محاسبه شده برای عملکرد ریشه و عیار قند در ژنوتیپ‌های چغندر قند حاکی از آن بود که اطلاعات به دست آمده از تجزیه امی در اکثر موارد بیش‌تر از سایر روش‌های تجزیه پایداری است و هم‌چنین در مقایسه با سایر روش‌ها، اطلاعات جدیدی از تجزیه امی حاصل می‌شود (Ranji et al. 2005).

طی آزمایشی که بر روی هشت رقم منوژرم چغندر قند در ۱۱ منطقه مهم کشت چغندر قند انجام شد، رقم یونیورس و هیبرید ۲۷۶ بهتر از سایر ارقام معرفی گردید (Ebrahimian et al. 2001). جهت مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و تجزیه پایداری، آزمایشی بر روی هشت رقم تجاری چغندر قند صورت گرفت و از روش‌های مختلف آماری برای بررسی عملکرد ریشه، عملکرد شکرناخالص، عملکرد شکرخالص و غیره استفاده شد و در نهایت رقم IC در مقایسه با سایر ارقام از لحاظ سه صفت عملکرد ریشه، عملکرد شکرناخالص و عملکرد شکرخالص به عنوان رقم کاملاً پایدار معرفی شد (Keshavarz et al. 2001).

روش در طراحی برنامه‌های اصلاحی بلند مدت در خصوص سازگاری خصوصی و انتخاب محیط مناسب بسیار سودمند است (Gauch and Zobel 1996). محققان مختلف از بین روش‌های مختلف تجزیه پایداری، تجزیه امی را روشی مطمئن برای تجزیه واکنش سازگاری، پایداری ارقام و انتساب ارقام به محیط‌ها یا مکان‌های مختلف گزارش کردند (Gower and Hand 1996; Crossa et al. 2001).

روش امی یک مدل ادغام شده از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌باشد، به طوری که ابتدا تجزیه واریانس معمولی روی داده‌های دو طرفه ژنوتیپ و محیط انجام شده و سپس اثر متقابل از طریق روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تجزیه می‌گردد. امی یک معیار چند متغیره است که در آن اثرات جمع‌پذیر ژنوتیپ و محیط با تجزیه واریانس ساده برآورد می‌شوند، ولی از آنجا که اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط اثرات متقابل ضرب‌پذیر بوده و تجزیه واریانس قادر به تجزیه این اثرها نیست، این موضوع با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت می‌گیرد. در این روش، با رسم بای‌پلات و نقطه‌یابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌توان موقعیت ژنوتیپ‌ها را نسبت به هم و نسبت به محیط‌ها سنجید و پایداری عمومی و سازگاری اختصاصی ژنوتیپ‌ها را برآورد کرد (Crossa et al. 1990).

آزمایش‌های مختلفی در زمینه تجزیه پایداری با استفاده از روش امی در داخل (Moradi et al. 2001; Ebrahimian et al. 2001) و خارج از کشور (Hoffmann et al. 2009; Pidgeon et al. 2006) انجام شده است.

تاراکانواس و رزگاس (Tarakanovas and Ruzgas 2006) روش امی را روشی موثر برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط معرفی کردند و بیان داشتند که نتایج روش گرافیکی حاصل می‌تواند ارقام مناسب را برای کشت در محیط‌های مناسب یا ارقام را برای کشت در شرایط محیطی خاص مشخص کند.

مشخصات جغرافیائی مکان‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱ لیست ارقام و هیبریدهای چغندرقدن مورد مطالعه

ردیف	رقم	کد رقم
۱	1571	G1
۲	(I13*KWS)*302-HSF.20	G2
۳	(I13*A37.1)*SH-1-HSF.5	G3
۴	(I13*A37.1)*S1.88239	G4
۵	7233	G5
۶	IC	G6
۷	BR1	G7
۸	JAAM	G8
۹	ARAS 101	G9

برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها از روش اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (امی) طبق رابطه زیر استفاده گردید:

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ge}$$

در این رابطه  $Y_{ger}$  عملکرد ژنوتیپ  $g$  ام در محیط  $e$  ام در تکرار  $r$  ام،  $\mu$  میانگین کل آزمایش،  $\alpha_g$  و  $\beta_e$  به ترتیب اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط،  $\lambda_n$  مقدار منفرد برای محور مولفه اصلی  $n$  ام،  $\alpha_{gn}$  بردار ویژه ژنوتیپ برای محور  $g$  ام از  $n$  مولفه اصلی اثر متقابل،  $\gamma_{en}$  بردار ویژه محیط برای محور  $e$  ام از  $n$  مولفه اصلی اثر متقابل،  $\rho_{ge}$  مقدار نویز و  $\varepsilon_{ge}$  مربوط به خطا است و  $n$  تعداد مؤلفه اصلی اثر متقابل است که برابر با  $\min((g-1)(e-1))$  می‌باشد (Crossa et al. 1990). ضمن انجام تجزیه امی، مقادیر مولفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط استخراج و با ترسیم بای‌پلات‌های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها ارزیابی شد (Stanley et al. 2005). از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ جهت تجزیه داده‌ها به روش امی و از Minitab جهت ترسیم نمودارها استفاده گردید.

مرادی و همکاران (Moradi et al. 2014) در ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ارقام منوژرم چغندرقدن با استفاده از روش امی نشان دادند که در خصوص عملکرد ریشه دو مؤلفه اثر متقابل اول بیش از ۹۹ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه نمودند. همچنین در این مطالعه رقم زرقان بیشترین سازگاری عمومی و رقم لاتیتیا کمترین سازگاری عمومی را نشان دادند.

هدف از این تحقیق، تجزیه الگوی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای عملکرد چغندرقدن به منظور گروه‌بندی محیط‌ها و شناسایی ارقام و ژنوتیپ‌های سازگار به گروه‌های محیطی و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار بر اساس مدل امی بود.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی سازگاری و پایداری ارقام چغندرقدن به شرایط اقلیمی مختلف، نه رقم و هیبرید چغندرقدن در شش منطقه شامل اصفهان، کرج، کرمانشاه، خوی، مشهد و مغان در سال زراعی ۱۳۹۴ مورد مطالعه قرار گرفت. بسته به منطقه، کاشت در اوایل و اواخر فروردین و برداشت در اوایل آبان انجام شد. اسامی ارقام مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

ژنوتیپ‌های چغندرقدن در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار از لحاظ صفت عملکرد ریشه مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر بلوک شامل نه کرت و هر کرت شامل سه ردیف کاشت به طول هشت متر و به فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق (در پاییز سال قبل)، شخم سطحی، دیسک، عملیات تسطیح و ایجاد ردیف‌های کشت بود. در مرحله برداشت به منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، ابتدا و انتهای هر کرت به اندازه یک متر کنار حذف گردید. مبارزه با علف‌های هرز با وجین دستی و در صورت لزوم با علف‌کش انجام گرفت. مراحل آبیاری و برداشت محصول طبق روش‌های معمول هر منطقه انجام گرفت.

## جدول ۲ مشخصات جغرافیائی و نوع خاک مکان‌های مورد بررسی ارقام

منطقه	طول جغرافیائی	عرض جغرافیائی	ارتفاع از سطح دریا	نوع خاک
اصفهان	۵۱° ۴۰' E	۳۲° ۳۷' N	۱۵۵۰	سیلتی - رسی - لومی
کرج	۵۰° ۵۴' E	۳۵° ۱۲' N	۱۳۱۲	لومی
کرمانشاه	۴۷° ۰۹' E	۳۴° ۲۱' N	۱۳۱۸	سیلتی - رسی
خوی	۴۴° ۵۸' E	۳۸° ۳۳' N	۱۱۰۳	شنی - لومی
مشهد	۵۹° ۳۸' E	۳۶° ۱۶' N	۹۹۹	سیلتی - لومی
معان	۴۷° ۵۵' E	۳۹° ۳۹' N	۳۲	سیلتی

## نتایج و بحث

ژنوتیپ چغندرقد نشان دادند که محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به ترتیب ۳ و ۵، ۸۰ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند.

با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه این عامل به مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط (IPCA) انجام شد. مؤلفه اصلی اثر متقابل اول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA1) ۵۱/۸۷ درصد و دومین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA2) ۲۵/۹۸ درصد از واریانس اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را تبیین نمودند که این دو مؤلفه در مجموع بیش از ۷۷ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند. بنابراین مدل امی با دو مؤلفه اصلی اثر متقابل در نظر گرفته شد. مجموع مربعات باقی‌مانده از مدل امی (نویز) نیز جهت آزمون معنی‌داری مؤلفه‌های اثر متقابل استفاده شد (Anandan and Eswaran 2009).

به منظور بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد. نتیجه این آزمون نشان دهنده یکنواختی واریانس خطا در آزمایش‌های مختلف بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها براساس مدل امی در جدول شماره ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تنوع بین محیط‌های مورد مطالعه می‌باشد. بین ژنوتیپ‌ها نیز تنوع معنی‌داری وجود داشت. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این موضوع نشان‌دهنده واکنش متفاوت ارقام در محیط‌های مختلف می‌باشد. وجود اثر متقابل نشان دهنده مشکلات پیش‌روی به‌نژادگران در گزینش ژنوتیپ‌های جدید جهت آزادسازی می‌باشد. محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به ترتیب ۸۰، ۱/۳ و ۵/۵ درصد از واریانس کل را توجیه نمودند. هافمن و همکاران (Hoffmann et al. 2009) در مطالعه نه

## جدول ۳ تجزیه واریانس امی عملکرد ریشه ارقام چغندرقد در شش محیط

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درصد مجموع مربعات
بلوک	۳	۶۱/۹۸	۲۰/۶۶ <sup>NS</sup>	
محیط	۵	۱۳۵۴۱۵/۱۴	۲۷۰۸۳/۰۲ <sup>**</sup>	۸۰
ژنوتیپ	۸	۲۲۰۸/۱۳	۲۷۶/۰۲ <sup>*</sup>	۱/۳
ژنوتیپ×محیط	۴۰	۹۲۵۰/۶۹	۲۳۱/۲۷ <sup>**</sup>	۵/۵
IPCA1	۱۲	۴۷۹۸/۴۳	۳۹۹/۸۶ <sup>**</sup>	۵۱/۸۷
IPCA2	۱۰	۲۴۰۳/۶۴	۲۴۰/۳۶ <sup>NS</sup>	۲۵/۹۸
باقیمانده (نویز)	۱۸	۲۹۴۸/۶۲	۱۱۳/۸۱	۳۱/۸۷
خطا	۱۵۹	۲۲۳۲۶/۵۴	۱۴۰/۴۲	
ضریب تغییرات (%)		۱۶/۱۶		

NS، \* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

متقابل نیز کمترین مقدار را داشت، بنابراین نسبت به سایر محیطها از پایداری خوبی برخوردار بود. اصفهان نیز از نظر مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل اول و دوم مقادیری نزدیک به صفر داشت یعنی پایداری خوبی نشان داد اما کمترین عملکرد را در بین محیطها به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج آماره پایداری امی (ASV) که در جدول ۴ ارائه شده است ژنوتیپ‌هایی که از لحاظ این آماره از مقدار کمتری برخوردار باشند پایداری بیشتری دارند و بالعکس ژنوتیپ‌هایی که مقدار زیادی دارند از پایداری کمتری برخوردار هستند یا به اصطلاح ناپایدار هستند. طبق تعریف یاد شده از پارامتر ASV به ترتیب ژنوتیپ‌های JAAM، ARAS 101 و S1.88239\*(I13\*A37).1 با میزان ۰/۵۹، ۰/۷۱ و ۰/۷۶ پایدارترین ژنوتیپ‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند و ژنوتیپ 7233 به عنوان ناپایدارترین ژنوتیپ شناخته شد.

در جدول ۴ میانگین عملکرد ریشه و مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل ارائه شده است. میانگین عملکرد ریشه ارقام در تمامی محیطها برابر ۷۳/۳۳ تن در هکتار بود. بیشترین عملکرد ریشه مربوط به رقم IC با ۸۰/۵۱ تن در هکتار و کمترین عملکرد ریشه مربوط به هیبریدهای I13\*A37.1)\*SH-1-HSF.5 و 1571 به ترتیب با ۶۸/۵۷ و ۷۰/۹۳ تن در هکتار بود. عملکرد ریشه هیبرید I13\*KWS)\*302-HSF.20 با ۷۳/۳۳ تن در هکتار برابر میانگین کل عملکرد ریشه بود. در بین محیطهای مورد بررسی، مغان دارای بیشترین عملکرد (برابر با ۱۲۲/۰۱ تن در هکتار) بود اما از نظر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPCA1) فاصله زیادی از مبدأ یعنی نقطه صفر داشت که نشان دهنده عدم پایداری از نظر این مؤلفه می‌باشد. مشهد از عملکردی در حدود میانگین برخوردار بود و از نظر اولین مؤلفه اثر

جدول ۴ میانگین عملکرد ریشه و مقادیر مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل برای ارقام و هیبریدهای چغندر قند

ژنوتیپ / محیط	کد	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	اولین مؤلفه اثر متقابل	دومین مؤلفه اثر متقابل	آماره پایداری امی (ASV)
1571	G1	۷۰/۹۳	-۰/۳۲	-۲/۳۹	۲/۴۷
(I13*KWS)*302-HSF.20	G2	۷۳/۳۳	-۰/۴۲	-۱/۳۱	۱/۵۵
(I13*A37.1)*SH-1-HSF.5	G3	۶۸/۵۷	-۰/۹۸	۰/۲۲	۱/۹۷
(I13*A37.1)*S1.88239	G4	۷۱/۸۲	-۰/۳۳	-۰/۳۹	۰/۷۶
7233	G5	۷۴/۳۵	۵/۲۷	۰/۱۱	۱۰/۵۴
IC	G6	۸۰/۵۱	-۰/۶۸	۴/۰۱	۴/۲۳
BR1	G7	۷۱/۷۹	-۲/۲۳	-۰/۳۵	۴/۴۷
JAAM	G8	۷۵/۸۰	-۰/۰۴	۰/۵۹	۰/۵۹
ARAS 101	G9	۷۲/۸۷	-۰/۲۶	-۰/۴۹	۰/۷۱
اصفهان	ISFN	۴۹/۳۰	-۰/۹۸	۰/۰۱	۱/۹۶
کرج	KARJ	۸۴/۸۳	۲/۷۹	۳/۴۱	۶/۵۳
کرمانشاه	KERH	۵۰/۵۵	-۱/۱۲	-۰/۲۵	۲/۲۵
خوی	KHOY	۶۰/۵۹	۳/۵۱	-۳/۳۴	۷/۷۷
مشهد	MESH	۷۲/۷۰	-۰/۷۹	۰/۹۹	۱/۸۶
مغان	MOGH	۱۲۲/۰۱	-۳/۴۰	-۰/۸۱	۶/۸۴

محیط‌هایی که از لحاظ اولین مؤلفه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط هم علامت باشند، دارای اثر متقابل مثبت، و اگر از نظر این مؤلفه دارای علامت یکسان نباشند، اثر متقابل منفی دارند. محیط مغان عملکردی بیشتر از میانگین داشته و از لحاظ اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل دارای اثر متقابل منفی می‌باشد. این محیط با ژنوتیپ‌های 302\*(I13\*KWS) HSF.20 و JAAM اثر متقابل مثبت، و با ژنوتیپ‌های 7233 و IC اثر متقابل منفی دارد. کرج با عملکرد بیش‌تر از میانگین با ژنوتیپ‌های 7233 و IC اثر متقابل مثبت و با ژنوتیپ‌های 302\*(I13\*KWS) HSF.20 و JAAM اثر متقابل منفی دارد. خوی با ژنوتیپ‌های 1571، 5\*(I13\*A37.1)\*SH-1-HSF.5

اثر 101 ARAS و BR1، 1\*(I13\*A37.1)\*S1.88239، متقابل منفی و عملکردی کم‌تر از میانگین دارد. ژنوتیپ‌های 1571، 5\*(I13\*A37.1)\*SH-1-HSF.5، 101 ARAS و BR1، 1\*(I13\*A37.1)\*S1.88239 با محیط‌های اصفهان، کرمانشاه و مشهد دارای اثر متقابل مثبت و عملکردی کم‌تر از میانگین هستند. در این نمودار ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در امتداد یک خط عمودی هستند عملکرد یکسانی دارند نظیر ژنوتیپ‌های BR1 و 101 ARAS. همچنین، ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که در امتداد یک خط افقی قرار گرفته باشند اثر متقابل مشابهی را نشان می‌دهند؛ برای مثال، ژنوتیپ 5\*(I13\*A37.1)\*SH-1-HSF.5 و محیط‌های اصفهان، کرمانشاه و مشهد دارای اثر متقابل ژنوتیپ در محیط مشابهی هستند (شکل ۱ و جدول ۴).

ژنوتیپ‌هایی که عملکرد کم‌تری داشته باشند اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل باشند، برای کاشت در مناطق و نواحی ضعیف و فقیر مناسب می‌باشند؛ به عبارتی با مناطق فقیر اثر متقابل مثبت دارند

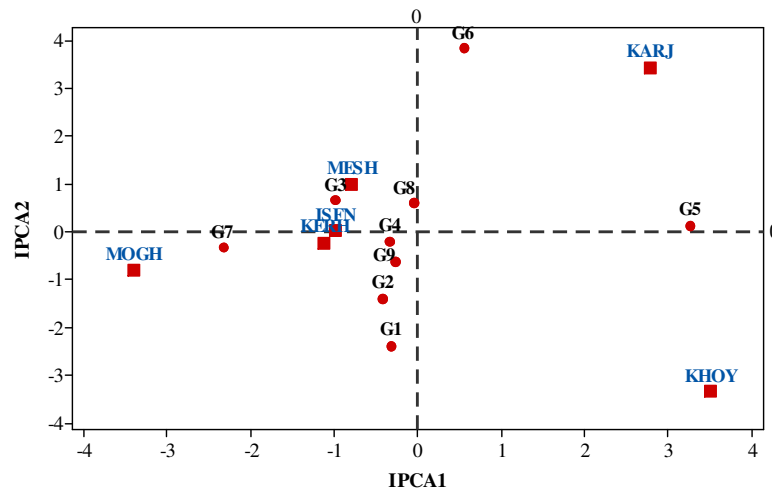
در شکل ۱، میانگین عملکرد ریشه در مقابل اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل نشان داده شده است. در این نمودار ژنوتیپی که از لحاظ عملکرد (محور افقی) مقدار بیش‌تر و از لحاظ اولین مؤلفه اثر متقابل (محور عمودی) مقدار کم‌تری (نزدیک به صفر) داشته باشد، ژنوتیپ مطلوبی خواهد بود، زیرا این ژنوتیپ هم عملکرد بالایی دارد و هم پایدار است (شکل ۱ و جدول ۴). خط عمود میانه نمودار، از میانگین کل آزمایش می‌گذرد. ژنوتیپ‌ها و محیط‌های سمت راست نمودار دارای عملکردی بیش‌تر از میانگین و ارقام سمت چپ این خط دارای عملکردی کم‌تر از میانگین هستند. محور افقی در میانه نمودار، اولین مؤلفه اثر متقابل که از نقطه صفر ( $IPCA1=0$ ) می‌گذرد را نشان می‌دهد که این ناحیه فاقد اثر متقابل می‌باشد. ژنوتیپ‌ها و مکان‌هایی که اثر متقابل بالایی را نشان می‌دهند دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل می‌باشند. هر اندازه که ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به خط افقی نزدیک‌تر باشند دارای اثر متقابل کم‌تری هستند. در این مطالعه ژنوتیپ JAAM بیش‌ترین پایداری را داشت و ژنوتیپ پر محصول محسوب شد به دلیل اینکه دارای عملکرد ریشه بیش‌تر از میانگین بوده و از لحاظ اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل، کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داد. ژنوتیپ‌های IC و 20\*(I13\*KWS) HSF.20 بعد از ژنوتیپ JAAM از پایداری مناسبی برخوردار بودند. از میان این دو ژنوتیپ نیز IC از عملکرد بیشتری برخوردار بود. رقم 7233 دارای عملکردی بیشتر از میانگین اما بسیار ناپایدار بود. ژنوتیپ‌های 1571، 1\*(I13\*A37.1)\*S1.88239 و JAAM و 101 ARAS و محیط‌های اصفهان، کرمانشاه و مشهد تغییرات عملکرد کمتری نشان دادند، به عبارتی میانگین عملکرد ارقام در این محیط‌ها کمتر تغییر کرده است. ژنوتیپ‌ها و

محیطها بر اساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم مشخص شده‌اند، آن‌هایی که از لحاظ مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر متقابل نزدیک به مبدأ مختصات (نزدیک به صفر) باشند دارای کم‌ترین اثر متقابل هستند. این نمودار (مؤلفه اصلی اول و دوم اثر متقابل) در مجموع بیش از ۷۷ درصد از واریانس اثر متقابل ژنوتیپ و محیط را توجیه می‌کند. در تفکیک ژنوتیپ‌ها و مکان‌ها، سهم مؤلفه اصلی اول اثر متقابل ۵۱/۸۷ درصد و سهم مؤلفه اصلی دوم اثر متقابل ۲۵/۹۸ درصد بود. در این نمودار، ژنوتیپ‌هایی که در مجاورت یک مکان قرار داشته باشند با آن محیط سازگاری خصوصی دارند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک مبدأ مختصات قرار گرفته باشند دارای سازگاری عمومی هستند (Nikkhah *et al.* 2007).

(Hanamaratti *et al.* 2009). در این مطالعه ژنوتیپ 1571 چنین وضعیتی را نشان می‌دهد.

جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپ‌ها، محیط‌هایی که دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل نزدیک به صفر می‌باشند، مناسب نیستند (Stanley *et al.* 2005)؛ اصفهان، کرمانشاه و مشهد در این بای‌پلات چنین حالتی را دارا می‌باشند. برعکس، محیط‌های دارای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل بزرگ جهت تمایز و غربال ژنوتیپ‌ها مناسب می‌باشند، مانند محیط‌های خوی و مغان که به دلیل دارا بودن مقادیر زیاد اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل جهت جدا کردن ژنوتیپ‌ها مناسب می‌باشد.

نمودار بای‌پلات مربوط به مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این نمودار، ژنوتیپ‌ها و

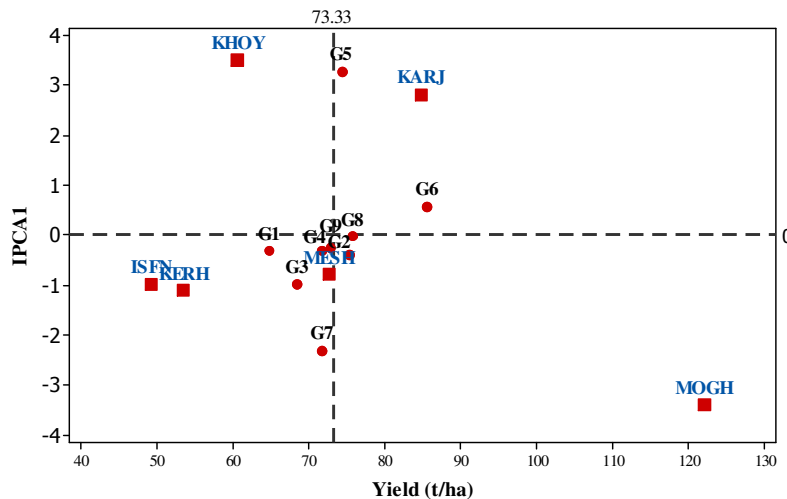


**شکل ۱** بای‌پلات میانگین عملکرد ریشه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در مقابل اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل آن‌ها. در این شکل G1: 1571، G2: (I13\*A37).1)\*S1.88239T، G3: (I13\*A37).5، G4: (I13\*A37).1)\*S1.88239T، G5: (I13\*A37).5، G6: 7233، G7: IC، G8: BRI، G9: JAAM و ARAS 101، و محیط‌ها شامل اصفهان: ISFN، کرج: KARJ، کرمانشاه: KERH، خوی: KHOY، مشهد: MESH و مغان: MOGH می‌باشد.



چهار گروه مناطق به صورت زیر می‌باشد: گروه اول شامل محیط‌های مغان و کرمانشاه، گروه دوم شامل محیط‌های مشهد و اصفهان، گروه سوم محیط کرج و گروه چهارم محیط خوی. بر همین اساس، گروه‌هایی از ژنوتیپ‌ها که واکنش ژنوتیپی یکسانی دارند به صورت زیر گروه‌بندی می‌شوند: گروه اول شامل ژنوتیپ‌های (I13\*A37.1)\*SH-1-، HSF.5 و JAAM، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های 1571، (I13\*KWS)\*302-HSF.20، (I13\*A37.1)\*S1.88239 و BR1 و ARAS 101، و گروه سوم نیز شامل ژنوتیپ‌های 7233 و IC می‌باشد.

بنابراین، ژنوتیپ‌های 1571، (I13\*KWS)\*302-HSF.20 و BR1 با محیط‌های کرمانشاه و مغان، ژنوتیپ (I13\*A37.1)\*SH-1-HSF.5 با محیط‌های مشهد و اصفهان و ژنوتیپ IC با محیط کرج دارای سازگاری خصوصی می‌باشند. هیچ کدام از ژنوتیپ‌ها در خوی سازگاری خصوصی نشان ندادند. ژنوتیپ‌های (I13\*A37.1)\*S1.88239 و JAAM، ARAS 101 و سازگاری عمومی بالایی برخوردار بودند (شکل ۲). می‌توان مناطق را بر اساس چهار ناحیه این نمودار تقسیم‌بندی کرد. مناطق هر ناحیه در یک گروه قرار می‌گیرند (Asenjo *et al.* 2003; Crossa *et al.* 1991). بنابراین،



**شکل ۲** بای‌پلات اولین مولفه اصلی اثر متقابل در مقابل دومین مولفه اصلی اثر متقابل برای عملکرد ریشه ارقام. در این شکل: G2، 1571، G1، (I13\*A37.1)\*SH-1-HSF.5، G3، (I13\*KWS)\*302-HSF.20، G4، (I13\*A37.1)\*S1.88239T، G5، 7233، G6، IC، G7، BRI، G8، MOGH و JAAM، و محیط‌ها شامل اصفهان: ISFN، کرج: KARJ، کرمانشاه: KERH، خوی: KHOY، مشهد: MESH و مغان: MOGH می‌باشد.

در این آزمایش بین ژنوتیپ و محیط اثر متقابل مشاهده شد. هافمن و همکاران (Hoffman *et al.* 2009) در ارزیابی ارقام چغندر قند در مناطق مختلف اروپا اثر متقابل شدیدی بین ژنوتیپ و محیط برای عملکرد چغندر قند مشاهده نکردند. دو دلیل برای این موضوع می‌توان بیان نمود. یکی اینکه عملکرد ریشه در

مدل امی اثرات متقابل را به صورت دقیق و صحیح توجیه و ژنوتیپ‌های سازگار به هر منطقه آب‌وهوایی را از طریق نمایش گرافیکی نمایان می‌سازد. مناسب بودن این روش با محاسبه نويز مربوط به مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و نیز محاسبه ریشه میانگین مربعات باقی مانده مشخص می‌شود.

می‌آید، اما زمانی که رتبه ارقام در محیط‌های مختلف تغییر می‌کند (اثر متقابل شدید)، ارقام خاص را می‌توان برای نواحی خاصی نظیر زمین‌های فقیر و یا شرایط تنش به طور کاراتری‌تر گزینش نمود (Annicchiarico 2007). در این پژوهش، مدل امی نشان داد که ژنوتیپ‌های 1571، -302\*(KWS\*113) HSF.20، S1.88239\*(I13\*A37).1، BR1 و ARAS 101 در محیط‌های مغان و کرمانشاه، ژنوتیپ‌های SH-1-HSF.5\*(I13\*A37).1 و JAAM در مشهد و اصفهان و ژنوتیپ‌های 7233 و IC در محیط کرج دارای سازگاری خصوصی بوده و از عملکرد نسبتاً خوبی برخوردار می‌باشند. بر اساس نتایج آماره ASV نیز ژنوتیپ‌های JAAM، ARAS 101 و S1.88239\*(I13\*A37).1 پایدارترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد تشخیص داده شدند. علیرغم وجود تنوع کافی در بین ارقام ارزیابی شده و نتایج امیدوار کننده پیشنهاد می‌شود ارقام مورد نظر از نظر صفات کیفی نیز ارزیابی شوند.

چغندر قند جزء مراحل رویشی بوده و اثر متقابل در مراحل رشد رویشی کمتر ظاهر می‌شود. اگر صفاتی بعد از گلدهی از قبیل عملکرد بذر ارزیابی شوند اثرات متقابل ظهور بیشتری خواهند داشت، چنانکه در گیاهانی از قبیل غلات که اغلب صفات بعد از گلدهی ارزیابی می‌شوند اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نیز شدیدتر مشاهده می‌شود (Ouk *et al.* 2007; Reynolds *et al.* 2002; Mostafavi *et al.* 2014). دوم اینکه اقلیم اروپا نسبت به ایران معتدل‌تر و یکنواخت‌تر بوده و در این شرایط تفاوت بین ارقام کمتر نمایان می‌شود. جهت ظاهر نمودن بهتر تفاوت بین ارقام بهتر است آنها را در شرایط سخت‌تر مثلاً تحت شرایط تنش (خشکی) ارزیابی نمود. نکته بعدی در خصوص چغندر قند استفاده از صفات کیفی از قبیل قند اینورت (Invert sugar) و محتوای بتائین می‌باشد که قابلیت خوبی در تفکیک ژنوتیپ‌ها دارا می‌باشند (Hoffman *et al.* 2009). اگر چه وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط عامل مزاحمی برای به‌نژادگران گیاهی به حساب

## References:

## منابع مورد استفاده:

- Aghaei M. Study of genotypexenvironment interaction in barely cultivars on Tabriz. Journal of Agricultural Science. 1993; 1(2), 28-40. (In Persian, abstract in English).
- Albert MJA. A comparison of statistical methods to describe genotype  $\times$  environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. M. Sc. Thesis. Department of Plant Science, the University of Free State. 2004; Bloemfontein.
- Anandan A, Eswaran R. Genotype by environment interaction of rice (*Oryza sativa* L.) hybrids in the east ciast saline region of Tamil Nadu. Proceeding of 2<sup>nd</sup> international Rice Congress. 2009; 226 pp.
- Annicchiarico P. Wide- versus specific-adaptation strategy for Lucerne breeding in northern Italy. 2007; Theoretical and Applied Genetics. 114, 647–657.
- Asenjo CA, Bezus R, Acciaresi HJ. Genotype by environment interaction of rice (*Oryza sativa* L.) in temperate region using the joint regression analysis and AMMI methods. Cereal Research. Communi. 2003; 31(1-2): 97-104.

- Becker HB, Leon J. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*. 1988; 101: 1-23.
- Cornelius PL, Crossa J. Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multi-environment cultivar trials. *Crop Science*. 1999; 39: 998-1009.
- Crossa J, Cornelius PL, Yan W. Biplot of linear-bilinear models for studying crossover genotype  $\times$  environment interaction. *Crop Science*. 2001; 41: 158-163.
- Crossa J, Fox PN, Pfeiffer WH, Rajaram S, Gauch HG. AMMI adjustment for statistical analysis of an interaction wheat yield trial. *Theor. Appl. Genet*. 1991; 81: 27-37.
- Crossa J, Gauch HG, Zobel RW. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*. 1990; 30: 493-500.
- Delacy IH, Eisemann RL, Cooper M. The importance of genotype by environment interaction in regional variety trials. 1990; pp. 287-300.
- Ebdon JS, Gauch HG. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials: Interpretation of genotype  $\times$  environment interaction. *Crop Science*. 2002; 42: 489-496.
- Eberhart, S.A., & Russell, G.N. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36- 40.
- Ebrahimian HR, Sadeghiyan SY, Jahadakbar MR, Abasi Z. Stability of adaptability and stability of sugar beet monogerm cultivars in different locations of Iran. *Journal of Sugar beet*. 2001; 24 (2): 1-13. (In Persian, abstract in English).
- Ehdaei B. *Plant breeding*. 1994. Barsava Press. 256 pp.
- Erdal G, Esengun K, Erdal H, Gunduz O, Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*. 2007; 32: 35-41.
- Falconer DS. *Introduction to quantitative genetics*. Longman. 1985; U.S.A.
- Farshadfar E, Sutka J. Locating QTLs controlling adaptation in wheat using AMMI Model. *Cereal Research Communication*. 2003; 31: 3-4.
- Fernandez GCJ. Analysis of genotype environment interaction by stability estimates. *Horticultural Sciences*. 1991; 27:947-950.
- Gauch HG, Zobel RW. AMMI analysis of yield trials. In: *Genotype-by-Environment interaction*, Kang MS and HG Gauch (Eds.). Boca Raton CRE CRC, New York, USA. 1996; pp: 85- 122.
- Gauch HG. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*. 1988; 44: 705-715.
- Gower JC, Hand DJ. *Biplots*. Chapman and Hall. 1996; UK.

- Hanamaratti NG, Salimth PM, Vijayakumar CHM, Ravikumar RL, Kajjidoni ST, Chetti MB. Genotype stability of superior near isogenic introgression lines for productivity in upland rice. *Karnataka J. Agriculture Science*. 2009; 22(4): 736-740.
- Hoffmann C, M, Huijbregts T, Van Swaaij N, and Jansen R. 2009. Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. *Europ. J. Agronomy*, 30: 17-26.
- Kang MS. Using genotype by environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agronomy*. 1998; 62: 199-252.
- Keshavarz S, Mesbah M, Ranji Z, Amiri R. Study on stability parameters for determining the adaptation of sugar beet commercial varieties in different areas of IRAN. *Journal of sugar beet*. 2001; 17(1): 15-36. (In Persian, abstract in English)
- Lin CS, Binne MR, Lefcovitch LP. Stability analysis: where do we stand? *Crop Science*. 1986; 26: 894-900.
- Moradi F, Safari H, and Jalilian A. Study of genotype × environment interaction for sugar beet monogerm cultivars using AMMI method. *Journal of Sugar beet*. 2014. 28(1): 55-66. (In Persian, abstract in English).
- Mostafavi K, Hosseini Imeni SS, Firoozi M. Stability Analysis of Grain Yield in Lines and Cultivars of Rice (*Oriza sativa* L.) Using AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) Method. *Iranian journal of Field Crop Science*. 2014. 45 (3): 445-452 (In Persian, abstract in English).
- Nikkhah HR, Yousefi A, Mortazavian SM, Arazmjoo M. Analysis of yield stability of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) model. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 2007; 9, 1(33): 1-12. (In Persian, abstract in English).
- Ouk M, Basnayake J, Tsubo M, Fukai S, Fischer KS, Kang S, Men S, Thun V, Cooper M. Genotype-by-environment interactions for grain yield associated with water availability at flowering in rainfed lowland rice. *Field Crops Res*. 2007. 101: 145-154.
- Pidgeon JD, Ober ES, Qi A, Clark CJA. Using multi-environmental sugar beet variety trials to screen for drought tolerance. *Field Crops Res*. 2006. 95: 268-279.
- Rahimiyan MH, Asadi H. Water stress effect on quantitative and qualitative yield of Sugar Beet and determination of production function and its plant coefficient. *Journal of Soil and Water*. 1999; 12, 57-63. (In Persian, abstract in English).
- Ranji Z, Mesbah M, Amiri R, Vahedi S. Study on the efficiency of AMMI method and pattern analysis for determination of stability in sugar beet varieties. *Iranian Journal of crop sciences*. 2005; 7(1): 1-21. (In Persian, abstract in English)
- Reynolds MP, Trethowan R, Crossa J, Vargas M, Sayre KD. Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat. *Field Crops Res*. 2002. 75: 139-160.

- Rharrabti Y, Garcia del moral LF, Villegas D, Royo C. Durum wheat quality in Mediterranean environments III: Stability and Comparative methods in analyzing G×E interaction. *Field Crop Research*. 2003; 80:141-146.
- Roy D. *Plant breeding analysis and exploitation of variation*. Alpha Science International Ltd. 2000; U. K.
- Stanley O, Samante PB, Wilson T, Anna MM, Medley JC. Targeting cultivars onto rice growing environment using AMMI and SREG GGE Biplot analysis. *Crop Science*. 2005; 45: 2414-2424.
- Tarakanovas P, Ruzgas V. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of grain yield of wheat varieties in Lithuania. *Agricultural Research*. 2006; 4: 91-98.
- Yan W, Hunt LA. Biplot analysis of multi-environment trial data, in M. S. Kang, ed. *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*. CAB international, willingford. 2002.