

ارزیابی پایداری عملکرد شکر سفید برخی ارقام چغندر قند آزادسازی شده تجاری در ایران از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹

Evaluation of White Sugar Yield Stability of Some Commercially Released Sugar Beet Cultivars in Iran from 2011-2020

سعید صادق زاده حمایتی^{۱*}، علی صارمی راد^۲، مصطفی حسین پور^۳، علی جلیلیان^۴، مسعود احمدی^۵، حیدر عزیزی^۶، حسن حمیدی^۷، فرحناز حمدی^۸ و فرشید مطلوبی اقدم^۹

- ۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۲، ۸ و ۹- پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۴- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
- ۵- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
- ۶- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
- ۷- پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۴

چکیده

صادق زاده حمایتی، س.، صارمی راد، ع.، حسین پور، م.، جلیلیان، ع.، احمدی، م.، عزیزی، ح.، حمیدی، ح.، حمدی، ف. و مطلوبی اقدم، ف. ۱۴۰۱: ارزیابی پایداری عملکرد شکر سفید برخی ارقام چغندر قند آزادسازی شده تجاری در ایران از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹. مجله نهال و بذر ۳۸: ۳۳۹-۳۶۴.

افزایش عملکرد و پایداری آن در طیفی از شرایط محیطی هدف، یکی از اصلی ترین اهداف برنامه های به نژادی محصولات زراعی است. در این پژوهش، پایداری عملکرد شکر نه رقم چغندر قند آزادسازی شده تجاری در ایران از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۹ به همراه یک شاهد خارجی در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل، کرج، کرمانشاه، مشهد، میاندوآب و مغان در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت چهار سال متوالی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر سال، مکان و ژنوتیپ و برهمکنش های سال × مکان، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد شکر سفید ($p \leq 0.01$) معنی دار بود. تجزیه اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان داد که هفت مؤلفه اول معنی دار ($p \leq 0.01$) بودند. بر اساس بای پلات AMMI ارقام آسیا، شکوفا و آرتا به ترتیب به عنوان پایداری ترین ارقام شناخته شدند. نتایج مدل خطی مخلوط نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی دار ($p \leq 0.01$) بود. بر اساس مدل BLUP ارقام پرفکتا، آسیا و شکوفا به ترتیب دارای بیشترین مقدار میانگین پیش بینی شده عملکرد شکر سفید بودند. بای پلات عملکرد شکر سفید با شاخص WAASB نشان داد که ارقام آسیا، آرتا و شکوفا علاوه بر پایداری عملکرد شکر سفید، ارزش عملکرد شکر سفید بیشتر از میانگین کل داشتند. بر اساس گروه بندی ارقام از نظر شاخص WAASB به عملکرد شکر سفید، ارقام آرتا، آسیا و شکوفا به عنوان ارقام با عملکرد شکر سفید بالا و پایدار شناخته شدند. رتبه بندی و گزینش همزمان ارقام برای شاخص پایداری WAASB و عملکرد شکر سفید نتایج مشابهی به همراه داشت، به طوری که رقم آسیا بیشترین شاخص WAASBY و پس از آن ارقام شکوفا و آرتا در رتبه های بعدی قرار گرفتند. بر این اساس ارقام آسیا، شکوفا و آرتا به عنوان ارقام با عملکرد شکر سفید بالا و پایدار شناخته شدند.

واژه های کلیدی: چغندر قند، آزمون درست نمایی، مدل خطی مخلوط، گزینش همزمان، مؤلفه اصلی.

مقدمه

چغندر قند پس از نیشکر دومین محصولی است که در جهان با هدف تولید شکر سفید برای مصرف انسان کشت می‌شود. ریشه این گیاه حاوی درصد بالایی از ساکارز است که ماده اولیه اصلی برای تولید شکر را تأمین می‌کند. تولید سالانه ریشه چغندر قند حدود ۲۷۸ میلیون تن است (FAO, 2021) که برای استخراج شکر مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشورهای مختلفی در تولید شکر از چغندر قند پیشرو هستند، ولی اتحادیه اروپا یک تولید کننده بزرگ است که حدود ۵۰ درصد از کل شکر در جهان را تولید می‌کند (European Commission, 2021).

پیش‌بینی می‌شود که به دلیل نگرانی‌ها در مورد تغییرات آب و هوایی و لزوم مرحله گذر از مصرف سوخت‌های فسیلی به سمت سوخت‌های تجدیدپذیر، بازار جدیدی برای شکر در حال ظهور است، زیرا هم محققان و هم تولید کنندگان تلاش می‌کنند تا استفاده از ساکارز را به صنایع فراتر از محصولات غذایی گسترش دهند. شکر حاصل از چغندر قند به عنوان ماده خام برای تولید سوخت‌های زیستی به ویژه اتانول است که می‌تواند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود (Salazar-Ordóñez et al., 2013). در یک جامعه عاری از سوخت‌های فسیلی، منابع زیست توده باید به طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد که به معنای استفاده از زباله‌ها و پسماندها برای تولید محصولات زیستی است و در عین حال تأمین مواد غذایی را تضمین می‌کند

(European Commission, 2018; Mohr and Raman, 2013).

صنعت قند چغندری مقادیر قابل توجهی از محصولات جانبی تولید می‌کند که می‌تواند به طرق مختلف ارزش گذاری شوند. ریشه چغندر قند علاوه بر ۱۸ تا ۲۰ درصد قند (Dohm et al., 2014)، حاوی ۷۵ درصد آب و پنج درصد تفاله (Anonymous, 1999) است. به طور معمول، محصولات جانبی مانند تفاله چغندر قند به عنوان مواد تشکیل دهنده بخشی از خوراک دام استفاده می‌شود، در حالی که ملاس عمدتاً برای تولید الکل، خوراک دام یا به عنوان محیطی برای تولید مخمر به کار برده می‌شود (Duraisam et al., 2017). اگرچه این محصولات جانبی هنوز برای این اهداف استفاده می‌شوند، اما در حال حاضر مواد اولیه قابل توجهی برای کاربردهای جدید هستند (Olmos and Hansen, 2012).

نمونه‌هایی از این کاربردها شامل استفاده از خمیر چغندر قند برای تولید سوخت‌های زیستی از طریق روش‌های ترموشیمیایی (Nicodème et al., 2018) یا از طریق تخمیر (Gumienna et al., 2014) و تولید مواد شیمیایی با ارزش افزوده و واسطه‌های دارویی می‌باشد (Cárdenas-Fernández et al., 2017). کاربرد ملاس چغندر قند برای تخمیر لاکتیکی (Tomaszewska et al., 2018) یا تولید اتانول (Arshad et al., 2017) از جمله موارد دیگر است. با توجه به اهمیت چغندر قند، اصلاح این

گیاه برای بهبود عملکرد کمی و کیفیت محصول می‌تواند نقش اساسی در تامین و تضمین امنیت انرژی غذایی و حتی انرژی سوختی داشته باشد. افزایش عملکرد یکی از اصلی‌ترین اهداف به‌نژادگران محصولات زراعی است. مطالعات نشان می‌دهد که ارقام با عملکرد بالا ممکن است همیشه و در همه محیط‌ها عملکرد پایدار نداشته باشند (Rajabi et al., 2022; Saremirad and Taleghani, 2022; Taleghani et al., 2022). زیرا عملکرد تحت تاثیر ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط قرار می‌گیرد و با توجه به ماهیت چندژنی آن، شدیداً تحت تأثیر عوامل محیطی است. برهمکنش ژنوتیپ × محیط پدیده‌ای است که به پاسخ مختلف ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از محیط‌ها اشاره دارد (Kang, 2004; Kang, 1997) و در سطح جهانی توسط همه افرادی که در حوزه به‌نژادی گیاهان زراعی فعالیت دارند، شناخته شده است. این پدیده، فعالیت‌های برنامه‌های به‌نژادی برای افزایش عملکرد را با چالشی جدی مواجه کرده است.

با وجود اینکه تنوع مکانی و زمانی هر دو بیانگر تنوع محیطی هستند، اما ثبات عملکرد در هر یک، مفهوم متفاوتی برخوردار است. پژوهشگران پایداری عملکرد در بعد مکان را سازگاری و در بعد زمان را پایداری توصیف کرده‌اند. در این بین مفهوم پایداری در طول سال‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است

مطالعه جامع برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیاز به روش‌های آماری قدرتمند دارد. در این ارتباط روش‌های تجزیه پایداری عملکرد به‌طور مداوم در حال تکامل هستند تا به ارزیابی ژنوتیپ‌ها و مطالعه مؤلفه‌های برهمکنش محیطی دقت بیشتری بخشند. این روش‌ها به‌طور کلی بر پایه روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره استوار می‌باشند. در میان روش‌های چندمتغیره مدل آثار اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction = AMMI) از اهمیت بالایی برخوردار است. این روش ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. در مدل AMMI ابتدا با استفاده از تجزیه واریانس معمولی اثر اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد می‌شود که آنها را آثار اصلی جمع‌پذیر یا افزایشی می‌نامند. سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برهمکنش بین ژنوتیپ × محیط که به آثار برهمکنش ضرب‌پذیر معروف است، مورد تجزیه و تحلیل

قرار می گیرد (Gauch, 1992).

علی رغم مزایای متعدد مدل AMMI، معایبی نظیر حساسیت به داده های پرت (Rodrigues et al., 2016) و عدم موفقیت در تجزیه ساختار مدل خطی مخلوط (Linear Mixed Effects Model = LMM) (Olivoto et al., 2019b) را می توان برای آن برشمرد. روش بهترین پیش بینی های نااریب خطی (Best Linear Unbiased Prediction = BLUP) میانگین عملکرد ژنوتیپ ها را در مدل های مخلوط با کارایی بالایی برآورد می کند. بنابراین، می تواند ضعف مدل AMMI را در خصوص تجزیه ساختار مدل خطی مخلوط را برطرف کند. از این رو اولیو تو و همکاران (Olivoto et al., 2019b) ویژگی های مدل AMMI و BLUP را ترکیب کردند و شاخصی را با عنوان شاخص پایداری میانگین وزنی قدر مطلق ضرایب بهترین پیش بینی های نااریب خطی (Weighted Average Absolute Scores of BLUPs = WAASB) برای گزینش ژنوتیپ های برتر معرفی کردند.

چنین ترکیبی از قدرت مدل AMMI و دقت پیش بینی مدل BLUP در مطالعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط مفید خواهد بود (Olivoto et al., 2019b). اما از آنجایی که به نژادگران برای شناسایی و معرفی ارقام جدید هر دو ویژگی عملکرد و پایداری عملکرد را به طور همزمان در نظر می گیرند تا علاوه بر کاهش اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ژنوتیپ های با

پتانسیل عملکرد بالا گزینش شوند. بنابراین، اولیو تو و همکاران (Olivoto et al., 2019b) با در نظر گرفتن شاخص WAASB به عنوان معیاری از پایداری فنوتیپی و نیز عملکرد کمی محصول (Y)، شاخص WAASBY را نیز ارائه کردند که در آن هر دو ویژگی عملکرد و پایداری عملکرد به طور همزمان مورد توجه قرار می گیرد.

روش های آماری ذکر شده در بالا در مطالعات مختلفی به منظور گزینش ارقام مناسب گندم (Ahakpaz et al., 2022)، جو (Saremirad et al., 2022)، لویا (Huang et al., 2021)، برنج (Mutari et al., 2022)، کاساوا (Koundinya et al., 2021) و چغندر قند (Rajabi et al., 2022; Saremirad and Taleghani, 2022; Taleghani et al., 2022) استفاده شده است و نتایج سودمندی حاصل شده است.

هدف این پژوهش استفاده از رهیافت های جدید، که به روش های تجزیه پایداری عملکرد اضافه شده است، برای ارزیابی پایداری عملکرد شکر سفید برخی از ارقام چغندر قند آزادسازی شده از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۹ در ایران، بود.

مواد و روش ها

در پژوهش حاضر تعداد نه رقم تجاری چغندر قند به همراه یک رقم شاهد خارجی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). ارقام چغندر قند به مدت چهار سال زراعی شامل ۱۳۹۷-۱۳۹۶، ۱۳۹۸-۱۳۹۷، ۱۳۹۹-۱۳۹۸

جدول ۱- نام و برخی خصوصیات ارقام چغندر قند

Table 1. Name and some characteristics of sugar beet cultivars

شماره					سال آزاد سازی	منشاء		
No.	Cultivar name	نام رقم	Characteristics of cultivar	خصوصیات رقم	Year of release	Origin	Country	کشور
1	Arta	آرتا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2017	SBSI	Iran	ایران
2	Arya	آریا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2015	SBSI	Iran	ایران
3	Asia	آسیا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2020	SBSI	Iran	ایران
4	Ekbatan	اکباتان	Resistant to rhizoctonia	مقاومت به ریزوکتونیا	2013	SBSI	Iran	ایران
5	Motahar	مطهر	Resistant to rhizomania	مقاومت به ریزومانیا	2015	SBSI	Iran	ایران
6	Paya	پایا	Tolerant to drought	تحمل به خشکی	2015	SBSI	Iran	ایران
7	Perfecta (check)	پرفکتا (شاهد)	Resistant to rhizomania	مقاومت به ریزومانیا	2015	LIONSEED	Italy	ایتالیا
8	Sharif	شریف	Resistant to bolting	مقاومت به بولتینگ	2011	SBSI	Iran	ایران
9	Shokofa	شکوفایا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2015	SBSI	Iran	ایران
10	Sina	سینا	Resistant to rhizomania and rhizoctonia	مقاومت به ریزومانیا و ریزوکتونیا	2018	SBSI	Iran	ایران

SBSI: Sugar Beet Seed Institute

SBSI: موسسه تحقیقات اصلاح بذر چغندر قند

و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل، کرج، کرمانشاه، مشهد، میاندوآب و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد کشت و ارزیابی قرار گرفتند. برخی مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی در جدول ۲ ارائه شده است. محیط‌های آزمایشی (ترکیب سال و مکان) درجه قابل توجهی از شرایط متفاوت از لحاظ دما، بارندگی، ساختار خاک و pH خاک را نشان دادند.

جدول ۲- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های تحقیقاتی

Table 2- Geographical coordinates of experimental research stations

کد محیط Environment code	سال Year	ایستگاه تحقیقاتی Research station	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
E1	2018	Ardebil	1377	38°10' N	48°24' E
E2	2019				
E3	2020				
E4	2021				
E5	2018	Karaj	1244	35°50' N	50°52' E
E6	2019				
E7	2020				
E8	2021				
E9	2018	Kermanshah	1362	34°15' N	46°48' E
E10	2019				
E11	2020				
E12	2021				
E13	2018	Mashhad	998	36°12' N	59°39' E
E14	2019				
E15	2020				
E16	2021				
E17	2018	Miandoab	1294	36°57' N	46°06' E
E18	2019				
E19	2020				
E20	2021				
E21	2018	Moghan	67	39°36' N	47°46' E
E22	2019				
E23	2020				
E24	2021				

هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به طول ۱۰ متر با فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها درون ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. آزمایش‌ها در هر یک از شش ایستگاه تحقیقاتی و در هر سال اجرای آن به روش نشتی آبیاری شد. زمان شروع آبیاری بر اساس میزان ۹۰ میلی‌متر تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A محاسبه و به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها توزیع شد. سایر عملیات داشت شامل مدیریت و کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها در حد مطلوب و بر اساس توصیه کارشناسان زیربط انجام شد.

در این پژوهش عملکرد شکر سفید با توجه به اهمیت آن در محصول چغندر قند مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور ابتدا ریشه‌های چغندر قند در هر کرت جمع‌آوری و توزین شدند. پس از شستشوی ریشه‌ها، به‌طور تصادفی با استفاده از دستگاه خودکار ونما (Venema) از ریشه‌های هر کرت آزمایشی نمونه خمیر تهیه شد و در آزمایشگاه کنترل کیفیت در ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند در کرج، از نظر درصد قند ناخالص، نیتروژن مضر و عناصر سدیم و پتاسیم مورد بررسی قرار گرفتند (Kunz et al., 2002). در نهایت عملکرد شکر سفید بر اساس رابطه ۱ برآورد شد (Cook and Scott, 1993).

رابطه ۱)

$$WSY = WSC \times RY$$

در رابطه ۱، WSY عملکرد شکر سفید بر حسب تن در هکتار، WSC درصد قند خالص بر حسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه چغندر قند و RY عملکرد ریشه بر حسب تن در هکتار است. پس از بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت (Bartlett, 1937)، تجزیه واریانس مرکب داده با در نظر گرفتن اثر تصادفی برای سال و اثر ثابت برای مکان و ژنوتیپ انجام شد. تجزیه پایداری برای عملکرد شکر سفید ارقام آزمایشی بر اساس مدل AMMI با استفاده از رابطه ۲ انجام شد.

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \theta_r(\beta_e) + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ge} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲، Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ گام در محیط μ در تکرار r است، میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به ترتیب آثار اصلی ژنوتیپ و محیط، $\theta_r(\beta_e)$ اثر بلوک r در محیط e ، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی n ، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور گام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور گام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، ρ_{ge} مقدار باقی‌مانده و ε_{ge} مربوط به خطا می‌باشد (Gauch, 1992).

ژنوتیپ و محیط به دست آمد و با رسم بای‌پلات‌های آنها، سازگاری عمومی و خصوصی ارقام تعیین شد. برای تجزیه داده‌های آزمایشی، مدل LMM نیز با در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط به‌صورت تصادفی مورد استفاده قرار گرفت. بررسی معنی‌داری آثار تصادفی با آزمون نسبت درست‌نمایی (Likelihood Ratio Test = LRT) انجام شد. برای هر یک از ارقام، BLUP به‌صورت مجموع میانگین کلیه محیط‌ها و اثر ژنوتیپی پیش‌بینی شد.

دو شاخص WAASB و WAASBY

با انجام تجزیه واریانس AMMI با استفاده از نرم‌افزار R، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر

در رابطه ۳، $WAASB_i$ میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات ژنوتیپ i ام، $IPCA_{ik}$ قدر مطلق امتیاز ژنوتیپ i ام در مؤلفه برهمکنش k ام و EP_k مقادیر واریانس توجیه شده توسط مؤلفه برهمکنش k ام می باشد.

شاخص $WAASBY$ نیز بر اساس میانگین عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Olivoto *et al.*, 2019b).

$$WAASBY_i = \frac{\left\{ W_Y \times \left[\frac{GY_i}{GY_{max}} \right] \times 100 \right\} + \left[W_S \times \left(100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{min}} \right) \right]}{W_Y + W_S} \quad \text{رابطه ۴}$$

مکان، ژنوتیپ $\times$ سال، ژنوتیپ $\times$ مکان و ژنوتیپ $\times$ سال $\times$ مکان تفاوت در سطح احتمال یک درصد معنی داری بود (جدول ۳). تغییرات قابل توجه شرایط سالها، مکانها و ارقام آزمایشی ممکن است به تغییرات در شرایط محیطی و ساختار ژنتیکی گیاه نسبت داده شود که از یک محیط به محیط دیگر متفاوت بود. این امر سبب شد تا عملکرد شکر سفید ژنوتیپهای چغندر قند از محیطی به محیط دیگر متفاوت باشد.

همین موضوع نشان می دهد که برهمکنشهای عوامل مختلف در تحقیقات کشاورزی غیر قابل اجتناب است (Sabaghnia *et al.*, 2010; Yan and Kang, 2002). معنی دار شدن اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط در درجه اول این واقعیت را نمایان کرد که ژنوتیپها به مکانهای مختلف واکنش متفاوت

حاصل از ترکیب دو مدل AMMI و BLUP نیز برای تعیین درجه پایداری عملکرد شکر سفید ارقام چغندر مورد استفاده قرار گرفتند. شاخص $WAASB$ بر اساس تجزیه ارزش فردی اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط با استفاده از ماتریس BLUP و از رابطه ۳ برآورد شد (Olivoto *et al.*, 2019b).

$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^p |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^p EP_k} \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه ۴، $WAASBY_i$ شاخص گزینش همزمانی میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ i ام، W_Y وزن داده شده به عملکرد، GY_i میانگین عملکرد ژنوتیپ i ام، GY_{max} بیشترین میانگین عملکرد، W_S وزن داده شده به شاخص $WAASB$ ، $WAASB_i$ شاخص $WAASB$ ژنوتیپ i ام و $WAASB_{min}$ کمترین مقدار شاخص $WAASB$ محاسبه شده در میان ژنوتیپها می باشد.

نتایج و بحث

آزمون بارتلت، همگنی واریانس خطاهای آزمایشی را در آزمایش مناطق و سالهای مختلف تأیید کرد. بنابراین، تجزیه واریانس مرکب داده ها برای بررسی اثر اصلی و اثر برهمکنشهای بین و درون منابع تغییرات انجام شد. اثر سال، مکان، ژنوتیپ و برهمکنش سال $\times$

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد شکر سفید ارقام چغندر قند

Table 3. Combined analysis of variance for white sugar yield of experimental sugar beet cultivars

Source of variation	منتم تغییر	درجه آزادی d.f.	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares
Year (Y)	سال	3	413.63	137.88**
Location (L)	مکان	5	5278.83	1055.77**
Y × L	سال × مکان	15	1974.83	131.66**
Error 1	خطای ۱	72	189.00	2.62
Genotype (G)	ژنوتیپ	9	980.33	108.92**
G × Y	ژنوتیپ × سال	27	299.08	11.08**
G × L	ژنوتیپ × مکان	45	583.13	12.96**
G × Y × L	ژنوتیپ × سال × مکان	135	957.12	7.09**
Error 2	خطای ۲	648	1221.05	1.88

**: Significant at the 1% probability level.

**: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

چند متغیره می تواند در آشکارسازی، تفسیر و درک بهتر اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط مفیدتر باشند.

با توجه به معنی دار شدن اثر برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان، تجزیه آثار اصلی برهمکنش ضرب پذیر انجام شد تا ژنوتیپ های دارای پایداری عملکرد شکر سفید بر اساس مدل AMMI شناسایی شوند. بر اساس نتایج به دست آمده، هفت مؤلفه اول در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند و مجموعاً ۹۵/۵۰ درصد از تغییرات مربوط به اثر برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان را توضیح داد (جدول ۴). مجموع مربعات باقی مانده از مدل AMMI با پایین ترین میانگین مربعات غیر معنی دار بود که نشان دهنده دقت قابل ملاحظه این مدل است.

عمرانی و همکاران (Omrani et al., 2019) نشان دادند که چهار مؤلفه اول مجموعاً

نشان دادند. بنابراین، بر ضرورت ارزیابی ژنوتیپ ها در محیط های متنوع تأکید می کند. صارمی راد و طالقانی (Saremirad and Taleghani, 2022)

نشان دادند که اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر ویژگی های کمی و کیفیت هیبریدهای چغندر قند را تحت تاثیر قرار داد.

بنابراین، هنگام اصلاح و تولید هیبریدهای جدید چغندر قند باید این موضوع مد نظر قرار گیرد؛ زیرا برآورد اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط این امکان را فراهم میکند تا در خصوص راهبردهای به نژادی برای سازگاری عمومی یا خصوصی که بستگی به عملکرد و پایداری عملکرد ژنوتیپ ها در یک دامنه محدود یا گسترده ای از شرایط محیطی دارد، تصمیم گیری شود. در این راستا تجزیه به مؤلفه های واریانس برای شفاف سازی جزئیات برهمکنش ژنوتیپ × محیط کافی نیست. از این رو روش های آماری

۸۳ درصد از تغییرات اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد. فتحی و همکاران (Fathi Sadabadi et al., 2018) سهم مؤلفه اصلی اول و دوم اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را به ترتیب ۴۹/۱۰ و ۲۲/۵۰ درصد برآورد کردند که این دو مؤلفه توانستند در مجموع ۷۱/۶۰ درصد تغییرات اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کنند. رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2022) نشان دادند که شش مؤلفه اول اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط در مجموع ۹۸/۸۰ درصد تغییرات کل برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند.

جدول ۴- تجزیه واریانس برهمکنش ژنوتیپ-محیط برای عملکرد شکر سفید ارقام چغندر قند بر اساس مدل AMMI

Table 4- Analysis of variance of genotype- environment interaction for white sugar yield of sugar beet cultivars based on AMMI model

منبع Source	درجه آزادی d.f.	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	واریانس نسبی Relative variance	واریانس تجمعی Accumulative variance
PC1	31	672.07	21.68**	36.50	36.50
PC2	29	454.12	15.66**	24.70	61.20
PC3	27	218.76	8.10**	11.90	73.10
PC4	25	140.65	5.63**	7.60	80.80
PC5	23	117.16	5.09**	6.40	87.10
PC6	21	86.52	4.12**	4.70	91.80
PC7	19	67.56	3.56**	3.70	95.50
Residual	32	82.49	2.57	4.50	100.00

**: Significant at the 1% probability level.

**: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

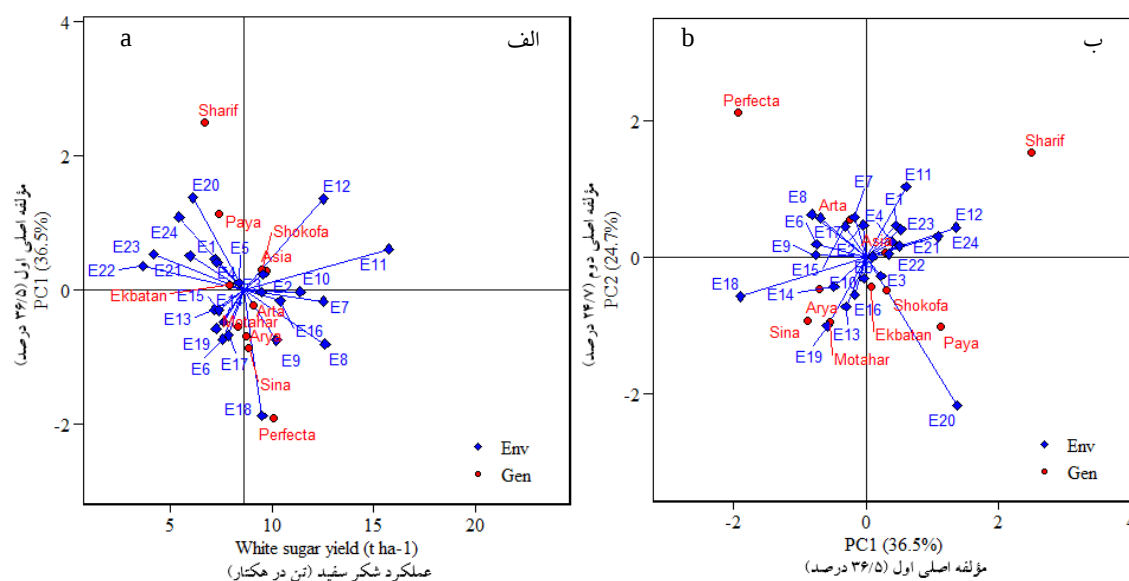
برحسب تن در هکتار و محور عمودی نشانگر اثر برهمکنش ضرب پذیر یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط یعنی ضرایب عاملی برای ژنوتیپ ها و محیط ها می باشد (Abamu and Alluri, 1998).

خطی که بر محور عملکرد عمود شده است، میانگین کل ژنوتیپ ها را نشان می دهد. این خط ژنوتیپ ها را به دو گروه ژنوتیپ های با عملکرد شکر سفید بیشتر از میانگین و کمتر از میانگین کل تقسیم می کند. طبق این تقسیم بندی ارقام

برای ارزیابی روابط ژنوتیپ ها و محیط ها از نمایش گرافیکی بای پلات استفاده شد. بای پلات مدل AMMI نموداری است که ژنوتیپ ها و محیط ها باهم بر روی آن رسم می شوند. مزیت این بای پلات ها این است که روابط بین ژنوتیپ ها و محیط ها را قابل مشاهده می کند و بر این اساس می توان ژنوتیپ های مختلف را برای مناطق خاصی معرفی کرد. در شکل ۱ الف محور افقی نمایانگر اثر اصلی جمع پذیر یا میانگین عملکرد شکر سفید

محیط (محور عمودی) مقدار پایینی (نزدیک به صفر) داشته باشد، ژنوتیپ مطلوب‌تری خواهد بود. بر این اساس در میان ارقام آزمایشی، آسیا، شکوفا و آرتا به دلیل داشتن عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل و مقدار پایین مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط، تحت عنوان ارقام با عملکرد و پایداری بالا شناخته شدند (شکل ۱ الف). (توحیدی و همکاران، 2015) AMMI به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم در محیط‌های مختلف استفاده کردند و ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه و پایداری عملکرد مطلوب را معرفی نمودند.

پرفکتا، آسیا، شکوفا، آرتا، سینا و آریا عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین کل و ارقام شریف، پایا، اکباتان و مطهر عملکرد شکر سفید پایین‌تر از میانگین کل داشتند (شکل ۱). خطی که بر محور اولین مؤلفه برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط عمود شده است، نشان‌دهنده مقدار صفر برای اولین مؤلفه یا به بیان بهتر ناحیه عدم وجود برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط است. در مجموع بر طبق بای‌پلات میانگین عملکرد شکر سفید در مقابل اولین مؤلفه اصلی برهمکنش، ژنوتیپی که از لحاظ عملکرد شکر سفید (محور افقی) میزان بیشتر و از نظر مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ $\times$



شکل ۱- الف): بای‌پلات عملکرد شکر سفید ارقام چغندر قند با مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط (AMMI1) و ب): بای‌پلات مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط با یکدیگر (AMMI2)

Fig. 1. a): Biplot white sugar yield of sugar beet cultivars with first principal component of genotype $\times$ environment interaction (AMMI1) and b): biplot of first and second principal components of genotype $\times$ environment interaction (AMMI2)

برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. صارمی راد و مصطفوی (Saremirad and Mostafavi, 2021) در بررسی اثر برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر ژنوتیپ‌های پنبه از روش AMMI استفاده کردند و ارقام با عملکرد بالا و پایداری عملکرد مناسب را شناسایی کردند.

بر اساس تجزیه داده‌های آزمایشی به روش خطی مخلوط، واریانس فنوتیپی عملکرد شکر سفید به سه جزء واریانس ژنوتیپی، برهمکنش ژنوتیپ × محیط و باقیمانده تفکیک شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که بر اساس آزمون نسبت درستی، اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بیانگر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود. از این رو، در چنین شرایطی استفاده از تجزیه BLUP می‌تواند نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را به همراه داشته باشد (Olivoto et al., 2019b).

در شکل ۱ ب موقعیت محیط‌ها و ارقام چغندر قند با استفاده از مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان داده شده است. مجموعاً ۶۱/۲۰ درصد تغییرات مربوط به اثر برهمکنش ضرب‌پذیر توسط این بای‌پلات توضیح داده شد. بر اساس این بای‌پلات، محیط‌ها و ژنوتیپ‌های نزدیک به مبدأ بای‌پلات کمترین تأثیر را بر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان دادند، در حالی که محیط‌ها و ژنوتیپ‌های با فاصله زیاد از مبدأ بای‌پلات بیشترین تأثیر را در ایجاد برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند.

ارقام شریف، پایا، سینا و پرفکتا سازگاری خصوصی نشان دادند، در حالی که رقم‌های آسیا، آرتا، شکوفا و اکباتان سازگاری عمومی در همه محیط‌ها داشتند. در بین محیط‌های آزمایشی، محیط‌های E11، E12، E20، E19، E18 و E8 با طولانی‌ترین بردارها در مقایسه با محیط‌های دیگر، توانایی تشخیص بالایی را نشان دادند و از این رو بیشترین سهم را در ایجاد

جدول ۵- برآورد مقادیر مؤلفه‌های واریانس فنوتیپی عملکرد شکر سفید حاصل از مدل خطی مخلوط ارقام چغندر قند

Table 5. Estimation of phenotypic variance components of white sugar yield obtained from linear mixed model for sugar beet cultivars

Component	مؤلفه	واریانس Variance	واریانس توجیه شده Explained variance
Genotype	ژنوتیپ	1.04**	22.28
Genotype× Environment	ژنوتیپ × محیط	1.75**	37.42
Residual	باقیمانده	1.88	40.29
Heritability (%)	وراثت‌پذیری (%)	91.80	-
Accuracy	دقت‌گزینش	0.96	-
r_{ge}	همبستگی ژنوتیپی در کلیه محیط‌ها	0.48	-

** : Significant at the 1% probability level.

** : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

بیشترین میزان واریانس فنوتیپی (۴۰/۲۹ درصد) به واریانس باقیمانده اختصاص یافت. واریانس اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط و ژنوتیپ به ترتیب با توجیه ۳۷/۴۲ و ۲۲/۲۸ درصد از تغییرات فنوتیپی در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۵). همان‌طور که ملاحظه می‌شود واریانس ژنوتیپی پایین‌ترین سهم را از واریانس فنوتیپی داشت. این موضوع حاکی از تأثیر پایین ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد شکر سفید، تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفتند. از آنجایی که نسبت تنوع ژنتیکی به محیطی کمتر است، کارایی گزینش کاهش خواهد یافت و شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب از نامطلوب به شکل صحیح‌تری انجام نخواهد شد (Saremirad et al., 2021). واریانس پایین برهمکنش ژنوتیپ × محیط نسبت به واریانس محیطی مبین تأثیرگذاری کم این اثر بر بیان فنوتیپی عملکرد شکر سفید در ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند بود که سبب ایجاد نوسان کمتر عملکرد شکر سفید از محیطی به محیط دیگر شد.

طالقانی و همکاران (Taleghani et al., 2022) در بررسی کشت زمستانه چغندر قند در محیط‌های مختلف نشان دادند که محیط با توضیح ۷۱/۵۰ درصد از تغییرات مشاهده شده، بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد شکر سفید داشت. پس از آن، ژنوتیپ (۹/۸۰ درصد)

بیشترین واریانس توجیه‌شده را دارا بود. سهم برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۷/۲۰ درصد از تغییرات مشاهده شده بود. باصفا و طاهریان (Basafa and Taherian, 2016) واریانس توجیه‌شده به وسیله برهمکنش ژنوتیپ-محیط برابر با ۷/۸۴ درصد به دست آمد.

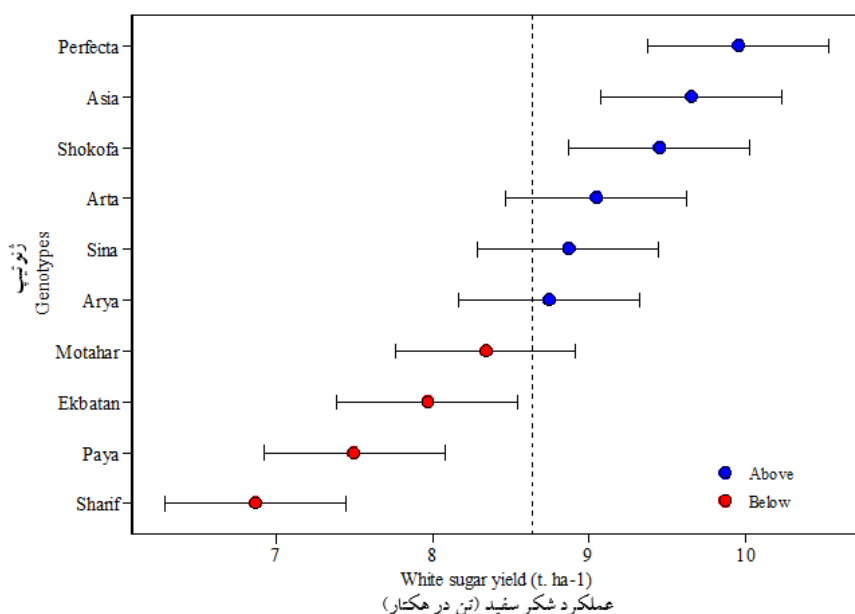
نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که عملکرد شکر سفید از وراثت پذیری بالایی برخوردار بود (جدول ۵). به عبارت دیگر، بخش اعظمی از تغییرات عملکرد شکر سفید ناشی از تأثیر عامل ژنتیکی یعنی رقم بود. دقت گزینش در محدوده بالا (۰/۹۶) قرار داشت (جدول ۵). این آماره همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد (Olivoto et al., 2019b). دقت گزینش بالای صفات نشان‌دهنده پایایی مدل در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود. همبستگی ژنوتیپی بین محیط‌ها پایین بود. همبستگی پایین نشان‌دهنده مشکلاتی در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد شکر سفید پایدار برتر بود. در این راستا نیاز به اطلاعات و جزئیات دقیق‌تری برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌باشد (Koundinya et al., 2021).

برآورد وراثت‌پذیری نقش مهمی را در پیشرفت برنامه‌های به‌نژادی در جهت شناسایی و توصیه ژنوتیپ‌ها ایفا می‌کند (Benakanahalli et al., 2021; Olivoto et al., 2019b). واقع وراثت‌پذیری یک مفهوم آماری است که درجه تنوع در یک صفت فنوتیپی را که ناشی از

شش رقم دارای میانگین ارزش پیش‌بینی شده بالاتر از میانگین بودند که در این میان سه رقم پرفکتا، آسیا و شکوفا دارای بیشترین مقدار میانگین پیش‌بینی شده عملکرد بودند (شکل ۲). این برتری آنها را به عنوان ارقام مناسب تبدیل کرد. رقم آریا دارای عملکرد پیش‌بینی شده بسیار نزدیک به میانگین کل بود. کمترین عملکرد پیش‌بینی شده با فاصله زیاد از میانگین کل مربوط به رقم شریف بود (شکل ۲).

تنوع ژنتیکی بین افراد است را برآورد. اگر وراثت‌پذیری صفتی کمتر از ۰/۲ باشد نشان‌دهنده وراثت‌پذیری پایین، اگر بین ۰/۲ تا ۰/۵ باشد دارای وراثت‌پذیری متوسط و اگر بیش از ۰/۵ باشد از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار است.

میانگین عملکرد شکر سفید پیش‌بینی شده ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل BLUP در شکل ۲ ارائه شده است. از مجموع ۱۰ رقم چغندر قند



شکل ۲- میانگین عملکرد شکر سفید ارقام چغندر قند بر اساس بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (BLUP)
Fig. 2. Average white sugar yield of sugar beet cultivars based on the best linear unbiased predictions (BLUP)

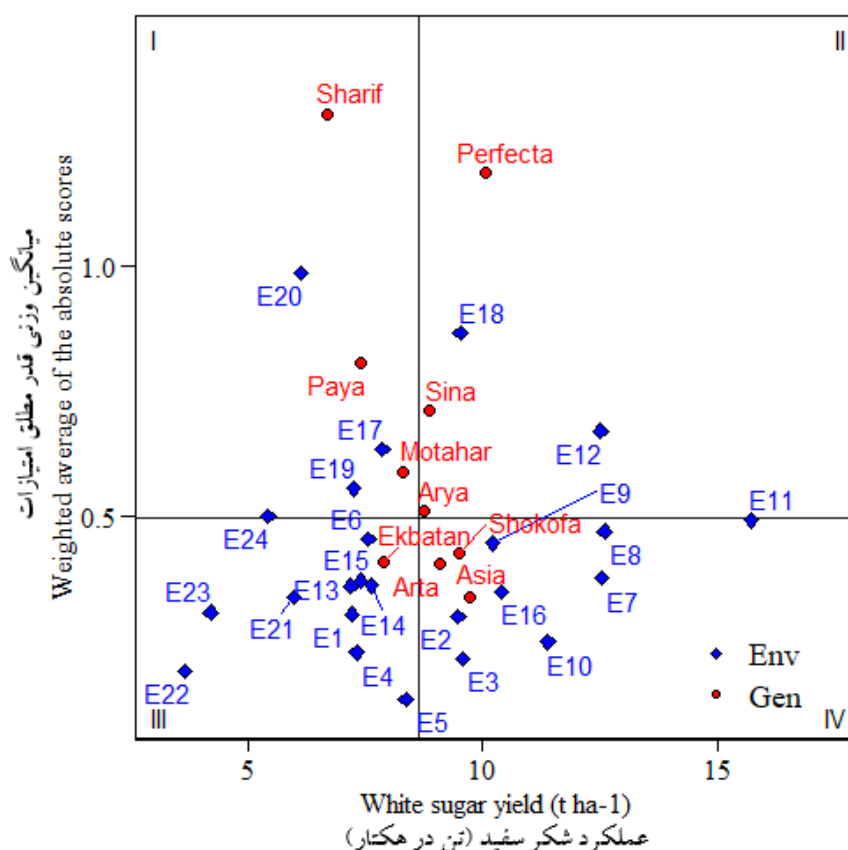
(*al.*, 2014) استفاده و نتایج مفیدی به دست آمده است. از مهمترین مزایای روش BLUP می‌توان به برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در مدل‌های خطی مخلوط اشاره کرد (Nardino

از روش BLUP در ارزیابی پایداری عملکرد گیاهان زراعی مختلفی مانند برنج (*Huang et al.*, 2021)، ذرت (*Baretta et al.*, 2016)، پنبه (*Vineeth et al.*, 2022) و نیل (*Barbosa et al.*

حاصل از مدل AMMI توضیح داد، اما امکان دارد برای برخی از ژنوتیپ‌ها، مؤلفه‌های بیشتری نیاز باشد. بنابراین، شاخص WAASB می‌تواند به عنوان یک معیار کمی برای برآورد پایداری عملکرد استفاده شود، زیرا این تغییرات را لحاظ می‌کند. شکل ۳ یک بای پلات را نشان می‌دهد که در آن عملکرد شکر سفید در محور افقی و مقادیر شاخص WAASB در محور عمودی قرار دارد.

et al., 2016; Olivoto *et al.*, 2019a; Olivoto *et al.*, 2019b). علاوه بر این، زمانی که در نتایج اثر خطی مخلوط وجود داشته باشد، روش BLUP امکان پیش‌بینی بهینه اثرهای تصادفی را فراهم می‌سازد (Smith *et al.*, 2005; Piepho *et al.*, 2008).

اگرچه تغییرات ناشی از اثر ارقام را می‌توان با دو مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط



شکل ۳- بای پلات میانگین عملکرد شکر سفید ارقام چغندر قند با میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (WAASB)

Fig. 3. Biplot of average white sugar yield of sugar beet cultivars with weighted average absolute scores of the best linear unbiased predictions (WAASB)

در این بای پلات خط عمود در میانه بای پلات نشان دهنده میانگین کل عملکرد شکر سفید در محیط های آزمایشی می باشد (شکل ۳). ژنوتیپ ها و محیط های سمت راست این خط دارای ارزش عملکردی بالاتر از میانگین کل و در مقابل ژنوتیپ ها و محیط های سمت چپ این خط دارای ارزش عملکردی پایین تر از میانگین کل می باشند (شکل ۳). محور افقی در میانه بای پلات نشان دهنده ناحیه میانگین شاخص WAASB است. از تقاطع این محور با محور عمودی (میانگین عملکرد شکر سفید)، بای پلات به چهار ناحیه تقسیم می شود. ارقام موجود در ناحیه های مختلف بای پلات را می توان بر اساس تناسب آنها با محیط های مختلف طبقه بندی کرد.

ارقام و محیط های واقع در ناحیه اول بای پلات شامل رقم های شریف، پایا و مطهر و محیط های E20، E17، E19 و E24 دارای مقدار WAASB بالا و عملکرد شکر پایین تر از میانگین کل بودند که نشان دهنده عملکرد بسیار پر نوسان و ناپایدار آنها و ارزش عملکرد کمتر از حد متوسط است. به عبارت دیگر این ارقام و محیط ها بیشترین نقش را در برهمکنش ژنوتیپ × محیط ایفا کردند (شکل ۳). به طور کلی این ارقام برای کشت توصیه نمی شوند.

ارقام پرفکتا، سینا و آریا و محیط های E18 و E12 واقع در ناحیه دوم بای پلات دارای WAASB بالا و ارزش عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل بودند. این ارقام اگرچه به شرایط

محیطی واکنش نشان دادند، اما پتانسیل ژنتیکی خوبی دارند و در صورت مساعد بودن شرایط محیطی، ارزش عملکرد آنها بسیار بالا خواهد بود. این ارقام را می توان برای کشت در مناطق با شرایط ایده آل برای رشد و نمو چغندر قند توصیه کرد. به عبارت دیگر ارقام و محیط های ناحیه دوم نیز مانند ناحیه اول بیشترین نقش را در برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند، اما عملکرد شکر آنها مطلوب بود. بنابراین به محیط های واقع در ناحیه دوم باید توجه ویژه شود، زیرا تولید بالاتر از حد متوسط و پتانسیل ژنتیکی بالای ارقام را ارائه می کنند.

رقم اکباتان و محیط های E5، E22، E4، E1، E23، E21، E13، E14، E15 و E6 در ناحیه سوم بای پلات قرار گرفتند (شکل ۳). این رقم و محیط های مذکور از شاخص WAASB کمتری برخوردار بودند که نشان دهنده پایداری عملکرد یا عدم تأثیرپذیری آنها از شرایط محیطی بود. رقم اکباتان در عین حال ارزش عملکردی پایینی نشان داد. به بیان دیگر، در این بخش، رقم اکباتان عملکرد پایین و پایداری عملکرد بالایی داشت. از طرفی محیط های این بخش در کنار کارایی پایین، به دلیل داشتن کمترین مقادیر WAASB در بین کلیه محیط ها، قابلیت تفکیک کمتری نشان دادند (شکل ۳).

در نهایت ارقام آسیا، آرتا و شکوفا و محیط های E3، E10، E2، E16، E7، E9، E8 و E11 واقع در ناحیه چهارم بای پلات دارای مقادیر شاخص WAASB پایین و ارزش

عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل بودند (شکل ۳). ارقام قرار گرفته در این ناحیه بای پلات به دلیل تأثیر پذیری پایین از شرایط محیطی و عملکرد مناسب، تحت عنوان ارقام با عملکرد با پایداری عملکرد مطلوب شناخته می شوند. محیط هایی که در ناحیه چهارم قرار گرفتند، در بین ۲۴ محیط آزمایشی از ظرفیت تولید شکر سفید بالا و مقادیر WAASB پایین برخوردار بودند (شکل ۳).

به طور کلی می توان میانگین عملکرد شکر سفید در برابر شاخص WAASB را به این شکل ساده تر نیز تفسیر کرد که ارقام با شاخص WAASB صفر یا نزدیک به صفر دارای عملکرد شکر سفید پایدار تر بودند (شکل ۳). بنابراین از نظر عملکرد شکر سفید رقم های آسیا، آرتا، اکباتان و شکوفا دارای اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط پایین و پایداری عملکرد بالایی بودند. اما رقم ایده آل رقمی است که شاخص WAASB آن صفر یا نزدیک به صفر و مقدار ارزش عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل داشته باشند. رقم های آسیا، آرتا و شکوفا علاوه بر پایداری عملکرد شکر سفید، ارزش عملکرد شکر سفید بیشتر از میانگین کل داشتند. بنابراین، به عنوان ارقام عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید مطلوب شناسایی شدند.

مزیت استفاده از شاخص WAASB که بر اساس تجزیه AMMI بر روی ماتریس حاصل از روش BLUP محاسبه می شود، این است که

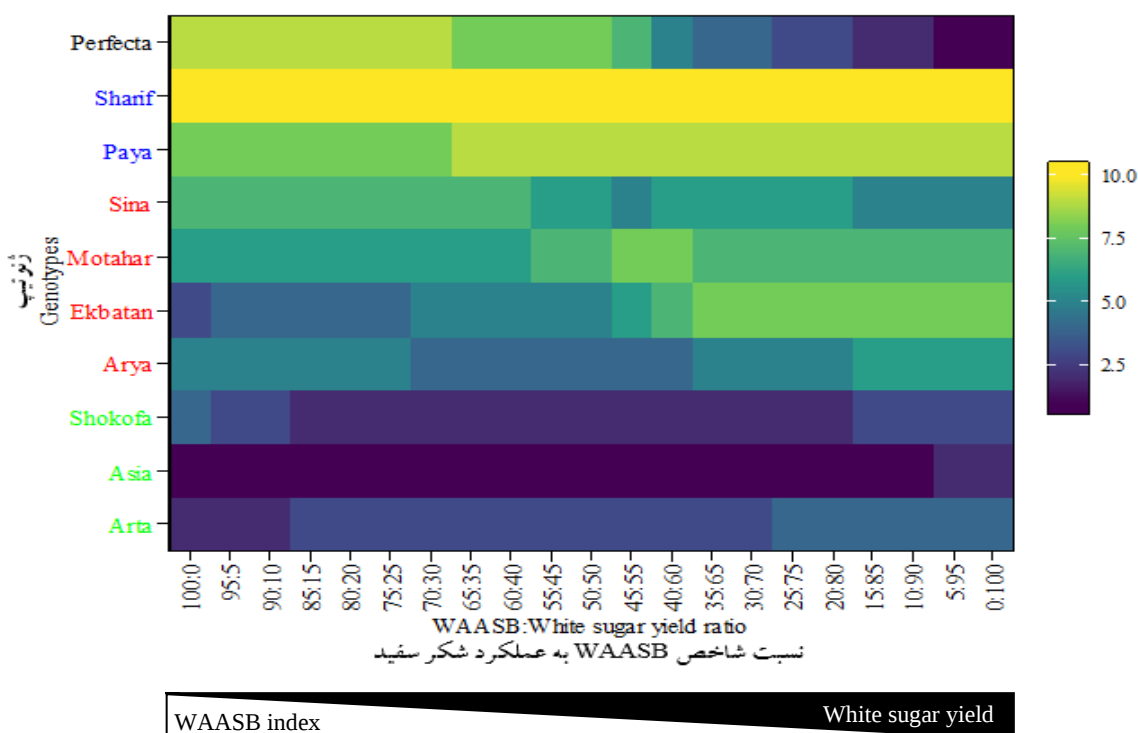
برخلاف مدل AMMI که تنها اولین مؤلفه اصلی اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط را در نظر می گیرد، شاخص WAASB پایداری عملکرد را بر اساس امتیازات مؤلفه های اصلی برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط بیان می کند. بنابراین، شاخص WAASB کل واریانس برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط را در شناسایی ژنوتیپ های دارای پایداری عملکرد لحاظ میکند. از آنجایی که اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط نزدیک به ۳۶ درصد تغییرات اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط را توضیح داد، نقش بیشتری را در مقایسه با سایر مؤلفه ها در برآورد شاخص WAASB ایفا کرد. بنابراین، همین امر سبب شده است تا نتایج بای پلات AMMI1 و WAASB تا حدودی به یکدیگر شباهت داشته باشند.

پیشنهاد می شود، بویژه هنگامی که تعداد مؤلفه اصلی اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط معنی دار زیاد بود و اولین مؤلفه نتوانست بخش عمده ای از این اثر برهمکنش را توضیح دهد، از شاخص WAASB استفاده شود، زیرا این شاخص می تواند واریانس اثر برهمکنش ژنوتیپ $\times$ محیط را به صورت کامل در شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد پایدار اعمال کند. بنابراین، همان طور که پیشتر نیز ثابت شده است (Piepho, 1994) می توان بیان کرد که روش BLUP می تواند در تجزیه و تحلیل داده های محیطی مفید باشد.

به منظور ارزیابی دقیق تر عملکرد شکر سفید و پایداری آن، ارقام چغندقند از نظر امتیازهای

پایداری عملکرد و دومین جزء (سمت راست خط مورب) به عملکرد شکر سفید مربوط می‌شود. بنابراین در رتبه‌بندی ارقام چغندر قند نسبت ۱۰۰:۰ متعلق به پایداری محیط و نسبت ۰:۱۰۰ متعلق به عملکرد شکر سفید است. در واقع در این نمودار به ازای حرکت یک واحد از سمت چپ به سمت راست، پنج درصد از جز پایداری عملکرد کاسته شده و به جزء عملکرد شکر سفید افزوده می‌شود، به طوری که در انتها رتبه‌بندی ارقام تنها بر اساس عملکرد شکر سفید (۱۰۰:۰) رتبه‌بندی شد (شکل ۴).

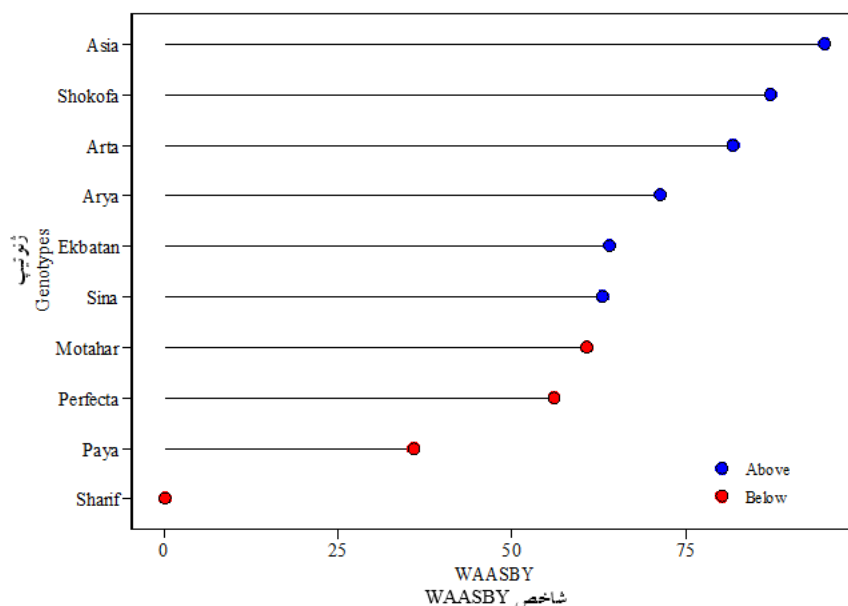
شاخص WAASBY رتبه‌بندی شدند (شکل ۴). امتیازهای شاخص WAASBY با در نظر گرفتن نسبت‌های گوناگونی از شاخص WAASB و عملکرد شکر سفید در قالب نمودار حرارتی ترسیم شد (شکل ۴). رتبه‌بندی ارقام چغندر قند با شاخص WAASBY می‌تواند با توجه به اینکه چه نسبتی از شاخص WAASB و عملکرد شکر سفید در نظر گرفته شود، متغیر باشد. اولین جزء (سمت چپ خط مورب) محور نسبت شاخص WAASB به عملکرد شکر سفید (WAASB/White sugar yield ratio) به



شکل ۴- رتبه‌بندی ارقام چغندر قند بر اساس نسبت‌های مختلف عملکرد شکر سفید و شاخص WAASB
Fig. 4. Ranking of sugar beet cultivars based on different WAASB: white sugar yield ratios

همزمان ارقام بر اساس نسبت ۵۰:۵۰ برای شاخص پایداری WAASB و عملکرد شکر سفید فراهم شد. دایره‌های آبی نشان‌دهنده شاخص WAASBY بالاتر از میانگین عملکرد شکر سفید کل و دایره‌های قرمز نشان‌دهنده شاخص WAASBY پایین‌تر از میانگین کل است (شکل ۵). بر این اساس شش رقم آسیا، شکوفا، آرتا، آریا، اکباتان و سینا شاخص WAASBY بالاتر از میانگین داشتند که در میان آنها رقم آسیا شاخص WAASBY بالا و پس از آن شکوفا و آرتا در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۵). بر این اساس ارقام آسیا، شکوفا و آرتا به عنوان ارقام عملکرد شکر سفید و پایداری عملکرد بالا شناخته شدند.

بر اساس امتیازهای شاخص WAASBY ارقام چغندر قند در چهار گروه طبقه‌بندی شدند. گروه اول (سبز رنگ) متشکل از رقم‌های آرتا، آسیا و شکوفا بودند. ارقام این گروه به عنوان ارقام با عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید مطلوب شناخته شدند (شکل ۴). ارقام آریا، اکباتان، مطهر و سینا گروه دوم (قرمز رنگ)، دارای عملکرد نامطلوب و ناپایدار بودند. گروه سوم (آبی رنگ) شامل ارقام پایا و شریف بود که عملکرد شکر سفید مطلوب اما ناپایدار داشتند. در مقابل این گروه، رقم پرفکتا در گروه چهارم (مشکی رنگ) قرار داشت. این رقم عملکرد شکر نامطلوب اما پایدار داشت (شکل ۴). در شکل ۵ امکان رتبه‌بندی و گزینش



شکل ۵- شاخص WAASBY برآورد شده از نسبت ۵۰:۵۰ عملکرد شکر سفید و شاخص WAASB برای ارقام چغندر قند

Fig. 5. WAASBY index estimated from 50: 50 ratio of white sugar yield and WAASB index for sugar beet cultivars

بر اساس نتایج، آثار جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر مدل AMMI در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما از آنجایی که در مدل خطی مخلوط نیز اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، بنابراین مدل AMMI نمی‌تواند به تنهایی در تجزیه ساختار مدل خطی مخلوط موفق عمل کند. در چنین شرایطی استفاده از روش BLUP، با توجه به کارایی بالای آن در برآورد میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در مدل‌های مخلوط، می‌تواند نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را به همراه داشته باشد. با این وجود، ادغام قدرت روش AMMI و دقت پیش‌بینی روش BLUP این امکان را فراهم کرد تا ضمن برطرف شدن محدودیت‌های مدل AMMI، پایداری ژنوتیپی عملکرد شکر سفید و برهمکنش ژنوتیپ × محیط مشتق شده از مدل خطی مخلوط در قالب شاخص WAASB تحت بررسی قرار گیرد و نمایی کاملتر از برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ارقام چغندر قند آشکار کند. از آنجایی که لازم است هر دو ویژگی

عملکرد شکر سفید و پایداری آن در گزینش و شناسایی ارقام برتر مدنظر قرار گیرد تا علاوه بر کاهش اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ارقام با پتانسیل عملکرد و پایداری عملکرد بالا گزینش شوند. بنابراین، استفاده از شاخص WAASBY نتایج سودمندی به همراه داشت. بر اساس نتایج به دست آمده محیط و برهمکنش آن با ساختار ژنتیکی ارقام چغندر قند، نقش بسزایی بر بیان فنوتیپی عملکرد شکر سفید داشت و سبب شد که ارقام با توجه به شرایط محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را از نظر عملکرد شکر سفید و پایداری آن نشان دهند. در مجموع رقم آسیا و پس از آن شکوفا و آرتا به عنوان ارقام با عملکرد شکر سفید بالا و پایدار شناخته شدند.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از مدیریت و کارکنان مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند و ایستگاه‌های تحقیقاتی که در اجرای این پژوهش همکاری کردند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

- Abamu, F., and Alluri. K. 1998. AMMI analysis of rainfed lowland rice (*Oryza sativa*) trials in Nigeria. Plant Breeding 117 (4): 395-397.
- Ahakupaz, F., Abdi, H., Neyestani, E., Hesami, A., Mohammadi, B., Mahmoudi, K. N., Abedi-Asl, G., Noshabadi, M. R. J., Ahakupaz, F., and Alipour, H. 2021. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. Agricultural Water Management 245: 106665. DOI:10.1016/j.agwat.2020.106665.

- Annicchiarico, P., Russi, L. و Piano E., and Veronesi, F. 2006.** Cultivar adaptation across Italian locations in four turfgrass species. *Crop Science* 46 (1): 264-272.
- Anonymous. 1999.** Agribusiness Handbooks. Volume 4. Sugar Beets/ White Sugar.
- Arshad, M., Hussain, T., Iqbal M., and Abbas, M. 2017.** Enhanced ethanol production at commercial scale from molasses using high gravity technology by mutant *S. cerevisiae*. *Brazilian Journal of Microbiology* 48: 403-409. DOI:10.1016/j.bjm.2017.02.003.
- Barbosa, M. H. P., Ferreira, A., Peixoto, L., Resende, M., Nascimento M., and Silva, F. 2014.** Selection of sugar cane families by using BLUP and multi-diverse analyses for planting in the Brazilian savannah. *Genetics and Molecular Research* 13: 1619-1626.
- Baretta, D., Nardino M., Carvalho, I. R., de Oliveira, A. C., de Souza, V., and da Maia, L. C. 2016.** Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. *Científica* 44 (3): 403-411.
- Bartlett, M. S. 1937.** Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences* 160 (901): 268-282.
- Basafa, M., and Taherian, M. 2016.** Analysis of stability and adaptability of forage yield among silage corn hybrids. *Journal of Crop Breeding* 8 (19): 185-191.
- Benakanahalli, N. K., Sridhara, S., Ramesh, N., Olivoto, T., Sreekantappa, G., Tamam, N., Abdelbacki, A. M., Elansary H. O., and Abdelmohsen, S. A. 2021.** A Framework for Identification of stable genotypes based on MTSI and MGDII Indexes: An example in Guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomy* 11 (6): 1221. DOI:10.3390/agronomy11061221.
- Cárdenas-Fernández, M., Bawn, M., Hamley-Bennett, C., Bharat, P. K. V., Subrizi, F., Suhaili, N., Ward, D. P., Bourdin, S., Dalby, P. A., Hailes, H. C., Hewitson, P., Ignatova, S., Kontoravdi, C., Leak, D. J., Shah, N., Sheppard, T. D., Ward J. M., and Lye, G. J. 2017.** An integrated biorefinery concept for conversion of sugar beet pulp into value-added chemicals and pharmaceutical intermediates. *Faraday Discussions* 202: 415-431. <https://doi.org/10.1039/C7FD00094D>.
- Cook, D., and Scott, R. 1993.** The sugar beet crop: science into practice. Chapman and Hall Press. 675 pp.
- Dohm, J. C., Minoche, A. E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F.,**

- Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T. R., Stracke, R., Reinhardt, R., Goesmann, A., Kraft, T., Schulz, B., Stadler, P. F., Schmidt, T., Gabaldón, T., Lehrach, H., Weisshaar B., and Himmelbauer, H.,. 2014.** The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). Nature 505 (7484): 546-549. <https://doi.org/10.1038/nature12817>.
- Duraisam, R., Salelgn K., and Berekete, A. K. 2017.** Production of beet sugar and bio-ethanol from sugar beet and it bagasse: a review. International Journal of Engineering Trends and Technology 43 (4): 222-233. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V43P237.
- European Commission. 2018.** A sustainable bioeconomy for Europe. Strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. Luxembourg. DOI: 10.2777/792130.
- European Commission. 2021.** Sugar. [https:// https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/sugar_en](https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/sugar_en).
- FAO. 2021.** Crops production and area harvested. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Fathi Sadabadi, M., Ranjbar, G. Zangi, M., Tabar S., and Zarini, H. N. 2018.** Analysis of stability and adaptation of cotton genotypes using GGE biplot method. Trakia Journal of Sciences 16 (1): 51-61. DOI: 10.15547/tjs.2018.01.009.
- Gauch, H. 1992.** Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science Publishers. 278 pp.
- Gumienna, M., Szambelan, K., Jeleń H., and Czarnecki, Z. 2014.** Evaluation of ethanol fermentation parameters for bioethanol production from sugar beet pulp and juice. Journal of the Institute of Brewing 120 (4): 543-549. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jib.181](https://doi.org/10.1002/jib.181).
- Huang, X., Jang, S. Kim, B. Piao, Z. Redona E., and Koh, H.-J. 2021.** Evaluating genotype× environment interactions of yield traits and adaptability in rice cultivars grown under temperate, subtropical and tropical environments. Agriculture 11 (6): 558. DOI: 10.3390/agriculture11060558.
- Kang, M. S. 2004.** Breeding: genotype by environment interaction. Pp. 218-221. In: Goodman, R. M. (ed.) Encyclopedia of Plant and Crop Science (Print). CRC Press. New York.
- Kang, M. S. 1997.** Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. Advances in Agronomy 62 (1): 199-252.
- Koundinya, A., Ajeesh, B., Hegde, V., Sheela, M., Mohan C., and Asha, K. 2021.** Genetic parameters, stability and selection of cassava genotypes between rainy and

- water stress conditions using AMMI, WAAS, BLUP and MTSI. *Scientia Horticulturae* 281: 109949. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109949.
- Kunz, M., Martin D., and Puke, H. 2002.** Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. *Zuckerindustrie* 127 (1): 13-21.
- Lin, C. and Binns, M. 1988.** A method of analyzing cultivar $\times$ location $\times$ year experiments: a new stability parameter. *Theoretical and Applied Genetics* 76 (3): 425-430.
- Lin, C., Binns M., and Janick J. 2010.** Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breeding Review* 12: 271-297.
- Macholdt, J., Piepho H.-P., and Honermeier B. 2019.** Mineral NPK and manure fertilisation affecting the yield stability of winter wheat: Results from a long-term field experiment. *European Journal of Agronomy* 102: 14-22.
- Mohr, A., and Raman, S. 2013.** Lessons from first generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second generation biofuels. *Energy Policy* 63: 114-122.
- Mutari, B., Sibiya, J., Gasura, E., Kondwakwenda, A., Matova, P. M., and Chirwa, R. 2022.** Genotype $\times$ environment interaction and stability analyses of grain yield and micronutrient (Fe and Zn) concentrations in navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under varied production environments. *Field Crops Research* 286: 108607. DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108607.
- Nicodème, T., Berchem, T., Jacquet N., and Richel, A. 2018.** Thermochemical conversion of sugar industry by-products to biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 88: 151-159.
- Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., and Jost, E. 2019a.** Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal* 111 (6): 2949-2960. DOI: 10.2134/agronj2019.03.0220.
- Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Sari, B. G., and Diel, M. I. 2019b.** Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal* 111 (6): 2961-2969. DOI: 10.2134/agronj2019.03.0221.
- Olmos, J. C., and Hansen, M. Z. 2012.** Enzymatic depolymerization of sugar beet pulp: Production and characterization of pectin and pectic-oligosaccharides as a potential source for functional carbohydrates. *Chemical Engineering Journal* 192: 29-36.

- Omrani, S., Omrani, A., Afshari, M., Saremirad, A., Bardehji, S., and Foroozesh, P. 2019.** Application of additive main effects and multiplicative interaction and biplot graphical analysis multivariate methods to study of genotype-environment interaction on safflower genotypes grain yield. *Journal of Crop Breeding* 11 (31): 153-163 (in Persian).
- Piepho, H.-P. 1994.** Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. *Theoretical and Applied Genetics* 89: 647-654.
- Piepho, H.-P., Möhring, J., Melchinger, A., and Büchse, A. 2008.** BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica* 161 (1-2): 209-228. DOI:10.1007/s10681-007-9449-8.
- Rajabi, A., Ahmadi, M., Bazrafshan, M., Hassani, M., and Saremirad, A. 2022.** Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes in rhizomania-infected conditions. *Food Science & Nutrition* 11: 1403-1414. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.3180>.
- Rodrigues, P. C., Monteiro, A., and Lourenço, V. M. 2016.** A robust AMMI model for the analysis of genotype-by-environment data. *Bioinformatics* 32 (1): 58-66.
- Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., and Mohghaddam, M. 2010.** Genetic analysis of oil yield, seed yield, and yield components in rapeseed using additive main effects and multiplicative interaction biplots. *Agronomy Journal* 102 (5): 1361-1368.
- Salazar-Ordóñez, M., Pérez-Hernández, P. P., and M. Martín-Lozano, J. 2013.** Sugar beet for bioethanol production: An approach based on environmental agricultural outputs. *Energy Policy* 55: 662-668.
- Saremirad, A., Bihamta, M. R., Malhipour, A., Mostafavi, K., and Alipour, H. 2022.** Evaluation of seedling stage resistance of commercial bread wheat cultivars to black rust disease using GGE biplot method. *Journal of Crop Breeding* 14 (42): 186-196 (in Persian). <http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-1304-fa.html>
- Saremirad, A., and Mostafavi, K. 2021.** Using AMMI and biplot graphical analysis multivariate methods to evaluate the effect of genotype-environment interaction in cotton genotypes. *Iranian Journal of Cotton Researches* 8 (2): 127-144 (in Persian).. <https://doi.org/10.22092/ijcr.2021.353002.1163>
- Saremirad, A., and Taleghani, D. 2022.** Utilization of univariate parametric and non-parametric methods in the stability analysis of sugar yield in sugar beet (*Beta*

- vulgaris* L.) hybrids. Journal of Crop Breeding 14 (43): 49-63 (in Persian). <http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-1324-en.html>.
- Smith, A., Cullis, B. R., and Thompson, R. 2005.** The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. The Journal of Agricultural Science 143 (6): 449-462.
- Taleghani, D., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Ahmadi, M., Hamidi, H., and Nemati, R. 2022.** Genotype $\times$ environment interaction effect on white Sugar yield of winter-sown short-season sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. Seed and Plant Journal 38 (1): 53-69 (in Persian). <https://doi.org/10.22092/spj.2022.360021.1275>.
- Tohidi, B., Mohammadi-Nejad, G., Nakhoda, B., and Saboori, H. 2015.** Evaluation of grain yield stability of recombinant inbred lines in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) based on AMMI method. Journal of Plant Production 22 (2): 189-202.
- Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berłowska, J., Dziugan, P., Piotrowski, J., Stanishevsky, A., and Witońska, I. A. 2018.** Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. RSC Advances 8 (6): 3161-3177. DOI: 10.1039/C7RA12782K.
- Vineeth, T., Prasad, I., Chinchmalatpure, A. R., Lokeshkumar, B., Kumar, S., Ravikiran, K., and Sharma, P. C. 2022.** Weighted average absolute scores of BLUPs (WAASB) based selection of stable Asiatic cotton genotypes for the salt affected Vertisols of India. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 82 (01): 104-108.
- Yan, W., and Kang, M. S. 2002.** GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press. 288 pp. <https://doi.org/10.1201/9781420040371>.
- Zobel, R. W., Wright, M. J., and Gauch Jr., H. G. 1988.** Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal 80 (3): 388-393.

Evaluation of White Sugar Yield Stability of Some Commercially Released Sugar Beet Cultivars in Iran from 2011-2020

S. Sadeghzadeh Hemayati¹, A. Saremirad², M. Hosseinpour³, A. Jalilian⁴,
M. Ahmadi⁵, H. Azizi⁶, H. Hamidi⁷, F. Hamdi⁸ and F. Matloubi Aghdam⁹

1. Associate Professor, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
- 2, 8 and 9. Researcher, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
4. Associate Professor, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kermanshah, Iran.
5. Associate Professor, Khorasan-e-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.
6. Assistant Professor, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran.
7. Researcher, Khorasan-e-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.

ABSTRACT

Sadeghzadeh Hemayati, S., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Jalilian, A., Ahmadi, M., Azizi, H., Hamidi, H., Hamdi, F., and Matloubi Aghdam, F. 2022. Evaluation of white sugar yield stability of some commercially released sugar beet cultivars in Iran from 2011-2020. *Seed and Plant Journal* 38: 339 -364 (in Persian).

High yield and yield stability across a range of environmental conditions is one of the main objectives of crop breeding programs. In this study, white sugar yield stability of nine sugar beet cultivars commercially released in Iran from 2011 to 2020 with an introduced foreign cultivar as check was evaluated using randomized complete block design with four replications in six research field stations; Karaj, Ardabil, Kermanshah, Mashhad, Moghan, Miandoab, in four cropping seasons 2017-2021. The combined analysis of variance revealed that effects of genotype, year, location, and year $\times$ location, genotype $\times$ year, genotype $\times$ location and genotype $\times$ year $\times$ location were significant ($p \leq 0.01$) on white sugar yield. Analysis of genotype $\times$ environment interaction showed that the first seven components were significant ($p \leq 0.01$). Based on AMMI1 analysis, cv. Asia, cv. Shokoufa and cv. Arta had white sugar yield stability. Linear mixed model analysis showed that the effects of genotype and genotype $\times$ environment interaction were significant ($p \leq 0.01$) on white sugar yield. Based on the BLUP method, cv. Perfecta, cv. Asia and cv. Shokoufa had the highest predicted mean value of white sugar yield. Biplot of white sugar yield with the WAASB index showed that cv. Asia, cv. Arta and cv. Shokoufa had higher sugar yield as well as higher white sugar yield stability. Ranking of sugar beet cultivars based on WAASB/white sugar yield ratio identified cv. Arta, cv. Asia and cv. Shokoufa as high yielding with white sugar yield stability. Simultaneous ranking and selection of cultivars based on 50:50 WAASB/white sugar yield ratio resulted the same. Therefore, cv. Asia followed by cv. Shokoufa and cv. Arta had relatively higher WAASBY indices. Considering the results of this study, cv. Asia, cv. Shokoufa and cv. Arta were identified as high yielding with higher white sugar yield stability.

Keywords: Sugar beet, likelihood test ratio, linear mixed model, simultaneous selection, principle component.

*Corresponding author: s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir

Tel.: +982632702613

Received: 29 July 2022

Accepted: 06 October 2022