"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد علوفه ارقام هیبرید ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.)

Evaluation of adaptability and forage yield stability of the pearl millet (*Pennisetum glaucum*) hybrids

رضا عطائی[۱]، مسعود ترابی[۲]، علی آذری نصرآباد[۳]، احمد قاسمی[۴] و محمدرضا شیری[۵]

چکیده

عطائی، ر.، م. ترابی، ع. آذری نصرآباد، ا. قاسمی و م.ر. شیری. ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد علوفه ارقام هیبرید ارزن مرواریدی. **نشریه علوم زراعی ایران.** ۲۷ (۱): ۱۹۱ -۱۸۰.

محدودیت منابع آبی، نوسانات بارندگی، گرمای شدید هوا در تابستان و پراکنش نامتوازن بارش، از چالش‌های اصلی در بخش کشاورزی ایران هستند. بر این اساس توسعه و ترویج زراعت گیاهانی مانند هیبرید ارزن مرواریدی پر محصول و سازگار، راهبردی کارآمد در ارتقای بهره‌وری منابع و تاب‌آوری سامانه‌های زراعی ایران در برابر تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود. در این تحقیق سازگاری و پایداری عملکرد ۱۱ هیبرید جدید ارزن مرواریدی همراه با رقم مهران (شاهد) در یک آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در چهار مکان (کرج، بیرجند، اصفهان و زابل) طی دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای برای صفات ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک وجود داشت. نتایج نشان داد که چهار هیبرید H543، H353، H333 و H604 به ترتیب با ۹۸/۲، ۹۶/۱، ۹۱/۹ و ۸۰/۹ تن در هکتار از لحاظ تولید علوفه برتری داشتند. تجزیه پایداری عملکرد علوفه به روش رتبه‌بندی و ضریب برتری لین و بینز در هشت محیط نشان داد که این چهار هیبرید در مقایسه با رقم مهران دارای عملکرد علوفه بالا و پایدار بودند و امکان استفاده از آن‌ها برای تولید علوفه، به‌ویژه در مناطق گرم و خشک (زابل) وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزن مرواریدی، ارقام هیبرید، ارتفاع بوته، تجزیه پایداری و هتروزیس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی شماره ۰۱۰۴۶۷-۰۴۴-۰۳-۰۳-۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر با می‌باشد

۱- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (مکاتبه کننده، reza_ataei@ut.ac.ir .✉)
۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران
۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
۵- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

Evaluation of adaptability and forage yield stability of the pearl millet (*Pennisetum glaucum*) hybrids

Ataei, R.[1] Torabi, M.[2], Azari-Nasrabad, A.[3], Ghasemi, A.[4] and Shiri, M.R.[5]

ABSTRACT

Ataei, R., Torabi, M., Azari-Nasrabad, A., Ghasemi, A. and Shiri, M.R. 2025. Evaluation of adaptability and forage yield stability of the pearl millet hybrids. **Iranian Journal of Crop Sciences. 27(1): 180-191. (In Persian).**

Introduction: Iran, with its diverse climatic conditions, is predominantly classified as dry and semi-dry country, where limited water resources, precipitation fluctuations and uneven distribution and summer heat, and are among the main challenges for the agricultural crop production. In such conditions, the development of crop cultivars with low water requirements, short life-cycle, and tolerant to abiotic stresses, particularly drought and heat, and high yield is an unavoidable necessity. The development of high-yielding hybrid pearl millet cultivars with broad adaptation can be an effective strategy to improve resource productivity and the resilience of cropping systems under changing climatic conditions in Iran.

Materials and Methods: To evaluate the adaptability and yield stability of the promising hybrid pearl millet cultivars, 11 promising hybrid pearl millet along with a control (cv. Mehran) were grown in a randomized complete block design with three replications in four field staions; Karaj, Birjand, Isfahan, and Zabol in 2022 and 2023. Days to 50% flowering, plant height, leaf number, panicle length, panicle diameter, tiller number, fresh forage yield, and dry matter yield were measured and recorded.

Results: The results of the combined analysis of variance revealed considerable genetic diversity for the studied traits. Mean comparisons showed that four hybrids; H543, H353, H333, and H604, had higher fresh forage yield with 98.2, 96.1, 91.9 and 80.9 ton.ha^{-1}, respectively. Forage yiled stability analysis (by rank method and Lin & Binns superiority index) indicated that these four hybrids performed a good combination of high forage yield and and yield stability.

Conclusion: The results of this experiment showed that the potential heterosis present in pearl millet hybrids for replacing older cultivars with the newly developed hybrids. All the hybrids evaluated had higher forgae yiled compared to the cv. Mehran. Moreover, considering drought and rising temperatures stresses, due to changing climate conditions, the development of high-yielding hybrid pearl millet cultivars with broad adaptation can be a key strategy for mitigating the adverse effect of climate change on food production and security.

Key words: Heterosis, Hybrid cultivars, Pearl millet, Plant height and Stability analysis

Received: April, 2025 **Accepted**: **September, 2025**

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding author, ✉ reza_ataei@ut.ac.ir)

2. Associate Prof., Field and Horticulture-Crops Science Research Department, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

3. Assistant Prof., Field and Horticulture-Crops Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran

4. Assistant Prof., Field and Horticulture-Crops Science Research Department, Sistan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran

5. Associate Prof., Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

مقدمه

کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی و اجتماعی در کشورهای در حال توسعه، به‌ویژه ایران، به شمار می‌رود. در ایران، به‌عنوان کشوری با اقلیم‌های متنوع و غالباً خشک و نیمه‌خشک، کشاورزی با چالش‌های متعدد ناشی از تغییرات اقلیمی، محدودیت منابع آبی، نوسانات بارندگی و گرمای شدید روبه‌رو است. این شرایط باعث بروز دشواری‌های فراوانی در بسیاری از مناطق کشور شده و نیاز به روش‌های نوین مقابله با این چالش‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. تغییر الگوی کشت و انتخاب گیاهان متحمل به خشکی و سایر تنش‌های محیطی در مناطق مستعد کم‌آبی با شرایط نامساعد اقلیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی غالب در ایران، ارزن‌ها به عنوان یکی از مناسب‌ترین گیاهان زراعی برای کشت در شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شوند. ارزن‌ها به‌دلیل تحمل نسبی در برابر گرمای هوا و شوری خاک، گزینه‌های مناسبی برای توسعه زراعت در مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی کشور که با محدودیت منابع آب و تغییرات شدید دمایی مواجه هستند، محسوب می‌شوند. ارزن‌ها گروهی از غلات دانه‌ریز و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی هستند که در سراسر دنیا به‌منظور تولید دانه و علوفه کشت می‌شوند (Radhouane, 2013). ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) بیش از نیمی از سطح زیر کشت ارزن‌ها را به خود اختصاص داده و از لحاظ اهمیت اقتصادی در بین غلات در رتبه ششم بعد از گندم، برنج، ذرت، جو و سورگوم قرار دارد (Boncompagni *et al.*, 2018; Manning *et al.*, 2011). ارزن‌ها و به‌ویژه ارزن مرواریدی نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی در مناطق گرم و خشک دارد و تخمین زده می‌شود تأمین غذای بیش از ۹۰ میلیون نفر در این مناطق به تولید ارزن وابسته است (Taylor, 2016). طی پنج دهه اخیر تلاش‌های زیادی در سطح دنیا برای اصلاح ارزن مرواریدی صورت گرفته و هند به عنوان کشور پیشرو در اصلاح ارزن‌ها محسوب می‌شود. اصلاح ارزن مرواریدی در هند در اوایل دهه ۱۹۳۰ میلادی شروع شد و تمرکز اصلی روی افزایش عملکرد به روش انتخاب توده‌ای و آزمون نتاج بود که باعث اصلاح ارقام آزادگرده‌افشان شد. تمرکز اصلی برنامه‌های اصلاحی در هند از سال ۱۹۶۰ به بعد، اصلاح ارقام هیبرید با استفاده از روش نر عقیمی سیتوپلاسمی بود. تولید ارقام هیبرید همراه با برنامه‌های به‌زراعی باعث افزایش عملکرد دانه ارزن در هند از ۳۰۵ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۹۵۵ به ۹۹۸ کیلوگرم در هکتار در سال ۲۰۱۲ شد (Yadav and Rai, 2013).

در ارقام هیبرید از پدیده هتروزیس (برتری عملکرد نتاج در مقایسه با والدین) استفاده می‌شود. در بین گیاهان زراعی، اصلاح ارقام هیبرید ذرت به طور قابل ملاحظه‌ای گسترش داشته است، به‌طوری که امروزه بیش از ۹۰ درصد از سطح زیر کشت ذرت مربوط به ارقام هیبرید است. علاوه بر این، توسعه ارقام هیبرید برنج علی‌رغم هتروزیس کمتر (نسبت به گیاهان دگرگشن) تا حدود زیادی موفق بوده است، به‌طوری که زراعت ارقام هیبرید برنج در ۵۵ درصد از شالیزارهای شرق آسیا باعث افزایش ۲۰ میلیون تن تولید برنج شده است (Beyene and Abate, 2016). در بین غلات، ارزن مرواریدی یکی از گیاهانی است که در اوایل دهه ۱۹۶۰ با استفاده از روش نر عقیمی و ایجاد هیبریدهای سینگل کراس افزایش عملکرد چشمگیری داشت. رقم HHB67 یکی از موفق‌ترین ارقام هیبرید ارزن مرواریدی در دهه ۱۹۶۰ است که برای عملکرد دانه در حدود ۸۰ درصد هتروزیس داشت (Srivastava *et al.*, 2020). علی‌رغم گزارش‌های ضد و نقیض درباره میزان هتروزیس ارزن مرواریدی، در باره استفاده از ارقام هیبرید به جای ارقام آزادگرده‌افشان در ارزن مرواریدی، توافق زیادی وجود دارد (Gupta *et al.*, 2018). در ایران تلاش‌های بسیاری

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

برای اصلاح ارقام ارزن مرواریدی از دهه ۱۳۸۰ صورت شروع شده است، با این حال تولید ارزن مرواریدی در ایران، چه از لحاظ عملکرد دانه و چه از لحاظ عملکرد علوفه، غالبا متکی به استفاده از ارقام آزادگرده‌افشان با عملکرد پایین بوده و به دلیل مشکلات فنی، تحقیقات روی این گیاه با مشکلات فراوانی مواجه بوده و ارقام اصلاح شده کشور غالبا از طریق گزینش معرفی شده‌اند. بر این اساس تولید ارقام اصلاح شده هیبرید با عملکرد بالا و پایدار که بتوان از آنها در تامین علوفه در کشور استفاده کرد، همواره از اولویت‌های تحقیقاتی بوده است.

نتایج ارزیابی ۱۵۰ هیبرید ارزن مرواریدی همراه با والدین آنها نشان داد که هتروزیس قابل ملاحظه‌ای برای صفات تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول خوشه، وزن صد دانه و عملکرد دانه وجود داشت. دامنه تغییرات هتروزیس برای عملکرد دانه نسبت به رقم شاهد بین ۶۵/۵۱- تا ۴۸/۹۹ بود (Vetriventhan *et al.*, 2008). در ارزیابی ۶۰ هیبرید، ۱۶ والد و دو رقم شاهد با هدف بررسی میزان هتروزیس هیبریدهای تجاری ارزن مرواریدی در هند گزارش شد که دو هیبرید ICMA 98444 × J 2526 و ICMA 96222 AIB-2 × به ترتیب دارای بیشترین هتروزیس نسبت به والد برتر و هتروزیس استاندارد برای عملکرد دانه بودند (Bc *et al.*, 2016). در یک آزمایش به‌منظور تعیین رابطه بین فاصله ژنتیکی والدین هیبرید و میزان هتروزیس، ۵۱ هیبرید ارزن مرواریدی همراه با ۱۰۱ والد (لاین B و R) مورد ارزیابی فنوتیپی و مولکولی با نشانگرهای SSR قرار گرفتند. نتایج نشان داد که همبستگی بین فاصله اقلیدسی (فاصله محاسبه شده با استفاده از صفات فنوتیپی) و فاصله جور شدن ساده (simple matching distance) برای والدین هیبریدها کم ولی معنی‌دار بود. همبستگی فاصله جور شدن ساده با هتروزیس برای عملکرد دانه معنی‌دار نبود. نتایج این آزمایش نشان داد که فاصله فنوتیپی (فاصله محاسبه‌شده بر اساس ارزیابی صفات فنوتیپی) نسبت به فاصله مولکولی (فاصله محاسبه شده با نشانگرها) برای پیش‌بینی هتروزیس بهتر و دقیق‌تر بود (Gupta *et al.*, 2018).

این آزمایش به‌منظور ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد ۱۱ هیبرید ارزن مرواریدی در چهار ایستگاه اقلیمی کشور با هدف توسعه زراعت گیاهان کم آب‌بر انجام شد و انتظار می‌رود نتایج این تحقیق بتواند در اصلاح ارقام هیبرید ارزن مرواریدی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش ۱۱ هیبرید جدید ارزن مرواریدی تولید شده با روش نر عقیمی سیتوپلاسمی با استفاده از ژرم‌پلاسم موجود در مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (جدول ۱) همراه با رقم مهران (شاهد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در چهار مکان کرج، بیرجند، اصفهان و زابل در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ کشت و مورد ارزیابی قرار گرفتند. مختصات جغرافیایی و وضعیت آب و هوایی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول پنج متر با فاصله ردیف ۶۰ سانتیمتر بود. تراکم بوته برای تولید علوفه ارزن مرواریدی در حدود ۲۵۰ هزار بوته در هکتار در نظر گرفته شد و کلیه عملیات زراعی بر اساس عرف منطقه انجام شد. میزان کود مصرفی در هر مکان بر اساس نتایج آزمون خاک بود. یادداشت‌برداری از صفات گیاهی شامل تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد برگ، قطر ساقه، طول خوشه، قطر خوشه و تعداد پنجه در کلیه مکان‌ها به‌صورت یکسان و بر اساس دستورالعمل موسسه بین‌المللی تحقیقات گیاهان نواحی نیمه خشک حاره‌ای (ICRISAT) انجام شد.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

جدول ۱- هیبریدهای ارزن مرواریدی مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Pear millet hybrids used in the experiment

No.	هیبریدهای ارزن مرواریدی Pearl millet hybrids	No.	هیبریدهای ارزن مرواریدی Pearl millet hybrids
1	H294	7	H543
2	H314	8	H563
3	H333	9	H604
4	H353	10	H794
5	H444	11	H824
6	H504	12	Mehran (Control)

اندازه‌گیری عملکرد علوفه در چین‌های مختلف، با برداشت محصول علوفه از دو ردیف وسط از هر تکرار در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و توزین آنها انجام شد. عملکرد علوفه خشک با خشکاندن محصول علوفه در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، از آزمون بارتلت جهت بررسی همگنی واریانس‌های خطای آزمایشی در هشت محیط (چهار مکان در دو سال) استفاده شد. بر اساس نتایج آزمون، آزمایش‌های انجام شده در چهار مکان از دقت یکسانی برخوردار بوده و شرط بررسی هم‌زمان داده‌ها با استفاده از تجزیه مرکب برقرار بود. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS V9 تجزیه شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام شد. پایداری عملکرد هیبریدهای ارزن با استفاده از روش‌های لین و بینز (Lin and Binns, 1988) و رتبه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار GenStat 12 انجام شد و سپس هیبرید(های) برتر مورد آزمایش برای نام‌گذاری و معرفی رقم/ارقام انتخاب شدند.

جدول ۲- اطلاعات جغرافیایی و هواشناسی مکان‌های محل اجرای آزمایش

Table 2. Geographic coordinates and meteorological information of the experiment locations

Locations	مکان	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	میانگین دمای هوا Mean temp. (˚C)	بارندگی Rainfall (mm)
Karaj	کرج	35˚ 48′N	51˚ 00′E	1312	14.2	256
Birjand	بیرجند	32˚53′N	59˚ 13′E	1462	17.0	129
Isfahan	اصفهان	32˚ 31′N	51˚ 51′E	1545	16.5	110
Zabol	زابل	30˚ 55′N	61˚ 41′E	483	21.7	55

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات گیاهی هیبریدهای ارزن در چهار مکان در دو سال نشان داد که اثر اصلی مکان‌های اجرای آزمایش برای کلیه صفات مورد ارزیابی به‌جز عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ و مکان برای کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش ژنوتیپ و سال برای صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد پنجه، طول خوشه، عملکرد علوفه خشک و وزن هزار دانه معنی‌دار نبود و برای سایر صفات معنی‌دار بود. برهمکنش سه‌گانه نیز اثر مشابهی داشت و برای صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد پنجه، قطر ساقه، طول خوشه و وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. با توجه به معنی‌دار بودن واریانس برهمکنش، برای آزمون اثر اصلی و مقایسه میانگین هیبریدها از واریانس

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

برهمکنش به عنوان واریانس خطا استفاده شد، به عبارت دیگر اثرات هیبریدها و مکان‌ها به صورت ثابت و اثرات سال‌های آزمایش به صورت تصادفی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد اثر اصلی هیبرید برای کلیه صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. درصد تنوع ایجاد شده توسط محیط از ۳۷/۷ درصد برای صفت تعداد برگ تا ۸۷ درصد برای صفت قطر خوشه متغیر بود و واریانس ایجاد شده توسط محیط بخش بزرگی از تنوع موجود را توجیه کرد. این نتایج نشان داد که هیبریدهای ارزن مورد ارزیابی از تنوع خوبی برای صفات مورد بررسی (به‌ویژه عملکرد علوفه) برخوردار بودند و پاسخ آنها برای این صفات در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و تحت تأثیر شرایط خاص آن محیط بوداین موضوع توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Bavandpori *et al.*, 2015). معنی‌دار بودن اثر اصلی مکان‌ها و بزرگی واریانس ایجاد شده توسط محیط‌های آزمایش، نشان دهنده تفاوت بین مکان‌ها از لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی از جمله ارتفاع از سطح دریا و شرایط آب و هوایی (دمای هوا، میزان و پراکنش بارندگی) است (Kang, 1997). نتایج سایر آزمایش‌ها نیز نشان داده است که بخش بزرگی از واریانس ایجاد شده توسط محیط توجیه می‌شود. در آزمایش‌های انجام‌شده روی ژنوتیپ‌های ارزن معمولی و باقلا گزارش شد که به‌ترتیب بیش از ۸۶ درصد و ۸۹ درصد از واریانس کل توسط محیط ایجاد می‌شود (Temesgen *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016).

با توجه به معنی‌داری واریانس برهمکنش برای صفات مورد ارزیابی از جمله عملکرد علوفه، وجود برهمکنش ژنوتیپ‌های ارزن مرواریدی با مکان باعث بروز تفاوت پاسخ‌های ژنوتیپی در محیط‌های مختلف شده و نشان دهنده تفاوت عملکرد و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است. این موضوع در باره ژنوتیپ‌های باقلا نیز گزارش شده است (Fikere *et al.*, 2008). بزرگی واریانس برهمکنش در مقایسه با واریانس ژنوتیپ با نتایج بدست آمده در برنج (Lakew *et al.*, 2014) و ذرت (Shiri, 2013) مطابقت داشت. نوسان عملکرد در محیط‌های مختلف و وجود برهمکنش ژنوتیپ و محیط روی انتخاب و توصیه ارقام برای مجموعه محیط‌ها تأثیر دارد (Dawson *et al.*, 2011; Mikó *et al.*, 2014).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که هیبریدهای ارزن مرواریدی از لحاظ تعداد برگ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر افزایش کیفیت علوفه، تعداد برگ‌ها و نسبت برگ به ساقه است. در برنامه‌های به‌نژادی، اگرچه عملکرد معیار اصلی برای انتخاب لاین‌ها و ارقام است، اما حفظ و بهبود کیفیت علوفه همواره یکی از اولویت‌های مورد توجه به‌نژادگران به شمار می‌رود. یکی از عوامل تعیین‌کننده کیفیت علوفه گونه (رقم و یا ژنوتیپ‌ها) گیاهی است. کیفیت علوفه گونه‌ها و یا ارقام مختلف یک گونه گیاهی تا حد زیادی ممکن است با یکدیگر تفاوت داشته باشند. تعداد برگ یکی از اجزای ارقام گیاهی است که در تعیین کیفیت علوفه نقش دارد و یکی از دلایل کاهش کیفیت علوفه در برداشت‌های دیرهنگام، کاهش نسبت برگ به ساقه است (Van Man and Wiktorsson, 2003). ارقام پربرگ با برگ‌های ظریف و کوچک، قابلیت هضم بیشتری دارند(Reddy *et al.*, 2003). ارقام با برگ‌های بزرگ‌تر به دلیل اینکه کارایی فتوسنتز بالایی دارند و انرژی خورشیدی بیشتری را به ماده خشک تبدیل می‌کنند، عملکرد علوفه بیشتری دارند. این ارقام به دلیل تجمع ماده خشک زیاد و لیگنینی شدن زیاد بافت‌ها، قابلیت هضم کمتری دارند (Fahey and Fahey Jr, 1994). هرچند این صفت نقش مهمی در کیفیت علوفه دارد با این حال از دیدگاه به‌نژادگر، عملکرد علوفه نیز یک صفت مهم است و با توجه به اینکه تجمیع عملکرد بالا و کیفیت بالا کاری دشوار و پیچیده است، به‌نژادگران بیشتر به دنبال ایجاد تعادل منطقی بین این دو شاخص هستند. در آزمایش حاضر هیبریدهای ارزن از لحاظ تعداد برگ

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، بنابراین گزینش از لحاظ این صفت و ترکیب آن با عملکرد نهایی در تصمیم‌گیری‌های به‌نژادگر منطقی به نظر می‌رسد. عملکرد علوفه تر صفتی پیچیده و در تعامل با سایر صفات است، بنابراین درک ارتباطات بین عملکرد علوفه و سایر صفات مؤثر و تأکید بر گزینش این صفات در برنامه‌های به‌نژادی از اهمیت خاصی برخوردار است (Kumar *et al.*, 2017). بررسی روابط بین صفات مورفولوژیک هیبریدهای ارزن نشان داد که عملکرد ارزن همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد پنجه، تعداد روز تا گلدهی و قطر ساقه دارد در حالی که ارقام با طول خوشه بلندتر از عملکرد دانه پایین‌تری برخوردار بودند. نتایج تجزیه مسیر نیز نشان داد که عملکرد علوفه خشک تا حد زیادی با صفات تعداد برگ‌ها، تعداد پنجه و تعداد روز تا گلدهی به صورت همسو و در یک جهت تغییر می‌کنند (Dezfouli and Mehrani, 2010). نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داده است که صفات تعداد پنجه، تعداد برگ، تعداد روز تا گلدهی و ارتفاع بوته همبستگی بالایی با عملکرد علوفه دارند (Kumar *et al.*, 2017; Shinde *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010). بنابراین مد نظر قرار دادن این صفات در فرآیند انتخاب برای افزایش عملکرد علوفه از اهمیت زیادی برخوردار است.

با توجه به اینکه رقم مهران به عنوان شاهد در آزمایش در نظر گرفته شده بود و با توجه به برتری کلیه هیبریدهای ارزن مورد ارزیابی نسبت به رقم مهران، مقایسه میانگین‌ها به روش توکی جایگزین روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) شد. مقایسه میانگین‌ها به روش توکی برای تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته و عملکرد علوفه تر و خشک در مجموع چین‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات گیاهی هیبریدهای ارزن مرواریدی

Table 3. Mean comparisons of plant traits of pearl millet hybrids

هیبریدهای ارزن Pearl millet hybrids	ارتفاع بوته Plant height (cm)	روز تا گلدهی Days to flowering	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (ton.ha^{-1})	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (ton.ha^{-1})
H794	148.7$_j$	56.3h	65.0f	15.2b
H824	158.3h	62.4d	62.0fg	15.4b
H604	164.4g	58.9f	80.9c	18.6c
H504	152.8i	58.1g	60.9g	14.6b
H444	174.6d	62.1d	71.6e	17.1c
H294	170.7e	60.0e	74.6de	17.3c
H563	176.6c	64.0c	76.6d	17.4c
H353	209.1a	73.3a	96.1a	24.6d
H314	168.6f	59.2f	62.0fg	15.3b
H333	209.2a	71.5b	91.9b	23.9d
H543	203.4b	71.0b	98.2a	23.5d
Mehran (Control)	118.8k	64.7c	52.4h	12.1a
Mean	-	63.4	74.3	18.0

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میانگین عملکرد علوفه تر هیبریدهای ارزن ۷۴/۳ تن در هکتار بود که با رقم مهران (شاهد) با عملکرد ۵۲/۴ تن در هکتار اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای داشت و عملکرد علوفه تر پنج هیبرید H543، H333، H353، H563 و H604 بالاتر از میانگین کل بود (جدول ۳). هیبرید H543 با عملکرد ۹۸/۲ تن در هکتار دارای بیشترین عملکرد علوفه تر بود، هر چند تفاوت معنی‌داری با هیبرید H353

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

(۹۶/۱ تن در هکتار) نداشت (جدول ۳).

هیبریدهای H353،H333 و H543 به ترتیب با میانگین ارتفاع بوته ۲۰۹/۰، ۲۰۹/۲ و ۲۰۳/۳ سانتی‌متر و میانگین ۷۳/۳، ۷۱/۵ و ۷۱/۰ روز تا گلدهی، بیشترین مقدار این صفات را داشتند، در حالی که هیبرید H604 با عملکرد علوفه ۸۰/۹ تن در هکتار از لحاظ تعداد روز تا گلدهی با رقم مهران تفاوت معنی‌داری داشته و با ارتفاع ۱۶۸/۵ سانتی‌متر بلندتر از رقم مهران (۱۱۸/۸ سانتی‌متر) بود. ارقام دیررس به‌دلیل اینکه ماده خشک بیشتری تولید می‌کنند، عملکرد بیشتری نیز دارند. ارتباط معنی‌داری بین ارتفاع بوته و عملکرد علوفه وجود دارد و ارقام پابلند، عملکرد علوفه بیشتری داشته و تجمع ماده خشک در آنها در مدت زمان بیشتری انجام می‌شود. صفات تعداد پنجه، نسبت برگ به ساقه، ارتفاع بوته و پتانسیل عملکرد ارقام، مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده انتخاب رقم برای تولید علوفه بیشتر است (Assaeed, 1994). زودرسی یکی از مهم‌ترین صفات ارزن مرواریدی است. با توجه به اینکه ارزن اغلب به عنوان زراعت دوم بعد از گندم در کشور کشت می‌شود، بنابراین کشت ارقام زودرس ارزن امکان برنامه‌ریزی برای کشت دوم را فراهم می‌آورد. در مقیاس جهانی زراعت ارزن‌ها اغلب در نواحی گرم و خشک که در طول رشد با انواع تنش‌های محیطی، به‌ویژه تنش خشکی روبرو هستند، کشت می‌شود. ارزن مرواریدی تحمل خوبی به تنش خشکی میان فصل داشته و در هنگام مواجهه گیاه با خشکی، امکان جبران کاهش عملکرد با تولید پنجه‌های ثانویه وجود دارد، بنابراین خشکی میان فصل در مقایسه با خشکی انتهای فصل، اهمیت کمتری دارد. ارقام زودرس در مناطقی که با تنش خشکی انتهای فصل روبرو هستند، در اثر سازوکار فرار، تا حد زیادی از خسارت وارده در امان می‌مانند (Vadez *et al.*, 2012). در آزمایش حاضر تعداد روز تا ۵۰ درصد گلدهی هیبریدهای ارزن به جز سه هیبرید H333، H353 و H543 در محدوده ۵۵ تا ۶۵ روز قرار داشت و نسبتا زودرس بودند (جدول ۳).

در هشت محیط مورد آزمایش، عملکرد علوفه تر از ۴۸/۸ تن در هکتار در محیط E4 تا ۹۵/۶ تن در هکتار در محیط E6 متغیر بود. ایستگاه‌های کرج و اصفهان طی دو سال به ترتیب با ۸۸/۴ و ۹۴/۶ تن در هکتار تولید علوفه تر از مطلوب‌ترین محیط‌ها بودند، در حالی‌که محیط‌های E3 و E4 (ایستگاه بیرجند طی دو سال) به ترتیب با ۵۳/۱ و ۴۸/۸ تن در هکتار، از کم‌بازده‌ترین محیط‌ها بودند. عملکرد هیبریدهای ارزن در ایستگاه‌های آزمایشی دارای نوسان بوده و رتبه آنها در محیط‌های مختلف نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ و محیط وجود داشته و اثر آن روی ارقام از نوع برهمکنش متقاطع است (Yan and Hunt, 2001). با این حال هیبرید H543 با میانگین عملکرد ۹۸/۲ تن در هکتار کمترین رتبه و رقم مهران با عملکرد ۵۲/۴ تن در هکتار بیشترین رتبه را داشتند. به‌دلیل معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ با مکان‌ها و ژنوتیپ با سال‌های آزمایش تجزیه پایداری به روش ضریب برتری لین و بینز (Lin and Binns, 1988) به دو روش مجزا برای برهمکنش دوگانه و سه‌گانه انجام شد. نتایج نشان داد که در هر دو روش، چهار هیبرید H543، H353، H333 و H604 به‌ترتیب کمترین مقدار آماره را داشتند و از پایدارترین هیبریدها در آزمایش حاضر شناخته شدند (جدول ۴).

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

جدول ۴- میانگین عملکرد علوفه تر و رتبه‌بندی هیبریدهای ارزن مرواریدی در محیط‌های مختلف

Table 4. Mean fresh forage yield (ton.ha^{-1}) and ranking of pearl millet hybrids across different environments

Environment	محیط	H294	H314	H333	H353	H444	H504	H543	H563	H604	H794	H824	Mehran	میانگین Means	رتبه Rank
E1	زابل ۱۴۰۱	71.3	72.1	72.8	86.1	54.8	49.3	82.2	57.0	71.5	52.1	55.5	40.8	63.8	5
E2	زابل ۱۴۰۲	71.0	72.1	71.6	87.3	54.2	47.9	79.7	56.2	72.6	51.9	54.1	38.6	63.1	6
E3	بیرجند ۱۴۰۱	51.5	28.0	57.5	83.0	45.3	37.5	78.6	57.3	63.7	36.6	53.0	35.3	53.1	7
E4	بیرجند ۱۴۰۲	51.5	28.0	58.9	79.6	45.0	35.0	75.5	47.0	63.6	35.8	43.6	31.8	48.8	8
E5	اصفهان ۱۴۰۱	87.7	80.9	119.0	101.1	97.0	81.6	127.4	101.2	92.2	91.2	79.1	64.2	93.5	3
E6	اصفهان ۱۴۰۲	91.1	80.9	119.5	106.2	99.0	82.9	127.2	105.0	92.9	94.2	82.3	65.8	95.6	1
E7	کرج ۱۴۰۱	86.0	67.0	114.4	112.6	88.0	68.0	112.3	93.7	93.2	74.6	64.4	65.1	81.4	4
E8	کرج ۱۴۰۲	86.5	66.8	121.5	112.6	89.7	84.7	102.8	95.6	97.3	83.6	64.4	77.7	95.4	2
Means	میانگین	74.6	62.0	91.9	96.1	71.6	60.9	98.2	76.6	80.9	65.0	62.0	52.4	74.3	
Rank	رتبه	6	10	3	2	7	11	1	5	4	8	9	12		
Mean Ranks	میانگین رتبه	6.7	8.8	2.7	2.0	6.7	9.2	2.2	5.3	4.7	8.8	9.3	11.0		
Pi (GLY)	ژنوتیپ × مکان × سال	342.0	652.5	68.0	50.7	365.5	605.3	19.2	242.0	187.8	511.6	598.0	878.6		
Pi (GL)	ژنوتیپ × مکان	458	988	112	73	531	933	25	382	292	767	917	1351		

E1; Zabol 2022, E2; Zabol 2023, E3; Birjand 2022, E4; Birjand 2023, E5; Isfahan 2022, E6; Isfahan 2023, E7; Karaj 2022, E8; Karaj 2023

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد علوفه هیبریدهای ارزن مرواریدی به طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر محیط و برهمکنش محیط و ژنوتیپ بود. هیبریدهای ارزن مورد ارزیابی هر دو نوع برهمکنش (متقاطع و غیر متقاطع) را داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که گزینش در یک محیط نمی‌تواند پتانسیل واقعی ژنوتیپ‌ها را نشان دهد. چهار هیبرید H543، H353، H333 و H604 به‌ترتیب با ۹۸/۲، ۹۶/۱، ۹۱/۹ و ۸۰/۹ تن در هکتار از لحاظ عملکرد علوفه تر بیشترین مقادیر را داشتند و ترکیب مناسبی از عملکرد بالا و پایداری عملکرد بودند. در حال حاضر رقم مهران تنها رقم تجاری ارزن مرواریدی کشور است که در مناطق مختلف کشور کشت می‌شود. نتایج نشان داد امکان بهره‌گیری از هتروزیس موجود در ارزن مرواریدی برای جایگزینی ارقام قدیمی با فناوری ایجاد ارقام هیبرید وجود دارد، کما اینکه کلیه هیبریدهای ارزن مورد ارزیابی نسبت به رقم مهران از عملکرد بالاتری برخوردار بودند و می‌توان با جایگزینی آنها عملکرد علوفه ارزن را در کشور بهبود بخشید. علاوه بر این با توجه به خشک‌سالی‌ها و افزایش دمای هوا در سال‌های اخیر، توسعه زراعت ارزن و اصلاح ارقام هیبرید ارزن با عملکرد بالا و سازگاری وسیع می‌تواند راهبرد مناسبی برای تأمین امنیت غذایی و افزایش پایداری تولید گیاهان زراعی متحمل به تنش‌های محیطی باشد.

منابع مورد استفاده

References

Assaeed, A., 1994. Evaluation of some forage sorghum varieties under the condition of central region, Saudi Arabia. *Annals of Agricultural Science, 39*(2), pp.649-653.

Bavandpori, F., Ahmadi, J. and Hossaini, S.M., 2015. Yield stability analysis of bread wheat lines using AMMI model. *Agricultural Communications, 3* (1), pp.8-15. https://doi.org/10.2298/GENSR1802449B

Bc, P., Js, D. and Ja, P. 2016., Heterosis for grain yield components in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *Innovare Journal of Agricultural Sciences, 4*(3), pp.1-3. https://journals.innovareacademics.in /index.php/ijags/article/view/11946

Beyene, T.M. and Abate, M., 2016. Heterotic Response in Major Cereals and Vegetable Crops. *International Journal of Plant Breeding and Genetics, 10* (2), pp.69-79. https://doi.org/10.3923/ijpbg.2016.69.78

Boncompagni, E., Orozco-Arroyo, G., Cominelli, E., Gangashetty, P.I., Grando, S., Zu, T.T.K., Daminati, M.G., Nielsen, E. and Sparvoli, F., 2018. Antinutritional factors in pearl millet grains: Phytate and goitrogens content variability and molecular characterization of genes involved in their pathways. *PloS One, 13*(6), pp. e0198394. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198394

Dawson, J.C., Rivière, P., Berthellot, J.F., Mercier, F., Kochko, P.D., Galic, N., Pin, S., Serpolay, E., Thomas, M. and Giuliano, S., 2011. Collaborative plant breeding for organic agricultural systems in developed countries. *Sustainability, 3*(8), pp.1206-1223. https://doi.org/10.3390/su3081206

Dezfouli, A. and Mehrani, A., 2010. A study of the relationships between yield and yield components in promising cultivars of foxtail millet (*Setaria italica*). *Iranian Journal of Field Crop Science, 41*(2), pp.413-421. [In Persian]. dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1389.41.2.20.1

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

Fahey, G.C. and Fahey Jr, G.C., 1994. Forage quality, evaluation, and utilization. National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization. University of Nebraska. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America.

Fikere, M., Tadesse, T. and Letta, T., 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *International Journal of Sustainable Crop Production, 3*(6), pp.80-87

Gupta, S.K., Nepolean, T., Shaikh, C.G., Rai, K., Hash, C.T., Das, R.R. and Rathore, A., 2018. Phenotypic and molecular diversity-based prediction of heterosis in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. (R.) Br.). *The Crop Journal, 6* (3), pp.271-281. https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.09.008

Kang, M.S., 1997. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy, 62*(1), pp.199-252. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60569-6

Kumar, S., Babu, C., Revathi, S. and Iyanar, K., 2017. Estimation of genetic variability, heritability and association of green fodder yield with contributing traits in napier grass [*Pennisetum purpureum* Schum.]. *Vegetos-An International Journal of Plant Research, 30*(1), pp.463-468. https://doi.org/10.5958/2229-4473.2017.00119.7

Lakew, T., Tariku, S., Alem, T. and Bitew, M., 2014. Agronomic performances and stability analysis of upland rice genotypes in North West Ethiopia. *International Journal of Scientific and Research Publications, 4*(4), pp.1-9.

Lin, C.S. and Binns, M.R., 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar× location data. *Canadian Journal of Plant Science, 68*(1), pp.193-198. https://doi.org/10.4141/cjps88-018

Manning, K., Pelling, R., Higham, T., Schwenniger, J.-L. and Fuller, D.Q., 2011. 4500-Year old domesticated pearl millet (*Pennisetum glaucum*) from the Tilemsi Valley, Mali: new insights into an alternative cereal domestication pathway. *Journal of Archaeological Science, 38*(2), pp.312-322. https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.007

Mikó, P., Löschenberger, F., Hiltbrunner, J., Aebi, R., Megyeri, M., Kovács, G., Molnár-Láng, M., Vida, G. and Rakszegi, M., 2014. Comparison of bread wheat varieties with different breeding origin under organic and low input management. *Euphytica, 199*(1), pp.69-80. https://doi.org/10.1007/s10681-014-1171-8

Radhouane, L. 2013. The Evolutionary History of *Pennisetum Glaucum* L. *Nyame Akuma, 80*(1), pp.115-123

Reddy, B., Reddy, P.S., Bidinger, F. and Blümmel, M., 2003. Crop management factors influencing yield and quality of crop residues. *Field Crops Research, 84*(1), pp.57-77. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00141-2

Shinde, S., Sonone, A. and Gaikwad, A., 2010. Association of characters and path coefficient analysis for forage and related traits in bajra× napier grass hybrids. *International Journal of Plant Sciences, 5*(1), pp.188-191.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]

Shiri, M., 2013. Grain yield stability analysis of maize (*Zea mays* L.) hybrids under different drought stress conditions using GGE biplot analysis. *Crop Breeding Journal, 3*(2), pp.107-112. https://doi.org/10.22092/cbj.2012.100456

Srivastava, R., Bollam, S., Pujarula, V., Pusuluri, M., Singh, R.B., Potupureddi, G. and Gupta, R., 2020. Exploitation of heterosis in pearl millet: A review. *Plants, 9*(7), pp.807. https://doi.org/10.3390/plants9070807

Taylor, J.R.N., 2016. Millet: Pearl. pp.1-9. Reference Module in Food Science. Elsevier.

Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T. and Jarso, M., 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal, 3*(3), pp.258-268. https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.03.004

Vadez, V., Hash, T., Bidinger, F. and Kholova, J., 2012. Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology, 3*(1), pp.1-12. https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00386

Van Man, N. and Wiktorsson, H., 2003. Forage yield, nutritive value, feed intake and digestibility of three grass species as affected by harvest frequency. *Tropical Grasslands, 37*(2), pp.101-110

Vetriventhan, M., Nirmalakumari, A. and Ganapathy, S., 2008. Heterosis for grain yield components in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *World Journal of Agricultural Sciences, 4*(5), pp.657-660

Yadav, O. and Rai, K., 2013. Genetic improvement of pearl millet in India. *Agricultural Research, 2*(4), pp.275-292. https://doi.org/10.1007/s40003-013-0089-z

Yan, W. and Hunt, L., 2001. Interpretation of genotype× environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Science, 41*(1), pp.19-25 https://doi.org/10.2135/cropsci2001.41119x

Zhang, P.P., Hui, S., Ke, X.-W., Jin, X.J., Yin, L.-H., Yang, L., Yang, Q., Wang, S., Feng, N.J. and Zheng, D.F., 2016. GGE biplot analysis of yield stability and test location representativeness in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *Journal of Integrative Agriculture, 15*(6), pp.1218-1227. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61157-1

Zhang, X., Gu, H., Ding, C., Zhong, X., Zhang, J. and Xu, N., 2010. Path coefficient and cluster analyses of yield and morphological traits in *Pennisetum purpureum* L. *Tropical Grasslands, 44*(1), pp.95-102.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-05-19]