University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

The Assessment of General Combining Ability and Heterosis in Iranian Ecotypes of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) to Produce Synthetic Varieties

Ali Moghaddam [1] ✉ | Seyed Mohammad Ali Mofidiam [2]

1. Corresponding author, Maize and Forage Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: a.moghaddam@areeo.ac.ir
2. Maize and Forage Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: amofidian@spii.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 22 February, 2025
Revised: 03 December, 2025
Accepted: 04 December, 2025

Keywords:
Ecotype,
general combining ability,
hetrosis,
polycross progenies,
yield comparison.

Extended Abstract

Introduction. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the most important forage crop in Iran. Iran is recognized as one of the primary centers of origin of alfalfa worldwide and possesses extensive genetic diversity associated with this species. In general, from both genetic and breeding perspectives, cultivars grown domestically and globally are predominantly open-pollinated populations with varying levels of genetic diversity or genetic base. Local and indigenous populations (ecotypes) account for the largest cultivated area in the country. Most alfalfa cultivars used in recent decades worldwide are synthetic or composite populations with diverse genetic backgrounds, developed through the intercrossing of selected clones or superior populations. A key step in the development of synthetic varieties in alfalfa is the estimation of parental combining ability, typically assessed through forage yield performance of progenies derived from polycrosses.

Materials and Methods. With the objective of selecting superior parents with favorable general combining ability for the development of a synthetic population, the present study was conducted using 20 genotypes. These included 10 polycross progenies (half-sib families) along with 10 domestic parental alfalfa genotypes, comprising two cultivars ('Ahang' and 'Mandegar'), two ecotypes from Bam and Yazd, and six ecotypes from cold and temperate regions identified by the codes KFA3, KFA4, KFA11, KFA13, KFA15, and KFA16. The experiment was carried out in a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the research farm of the Seed and Plant Improvement Institute in Karaj over the years 2020 to 2022. Each genotype was planted in four double-row plots, each five meters in length, with 50 cm spacing between rows. The seeding rate was calculated at 25 kg per hectare. Irrigation was applied using the furrow method at intervals of 7-10 days. The first year (2020) was considered the establishment phase, and data collection was conducted over two years starting from spring 2021. The traits evaluated included plant height, stem density per square meter, regrowth rate, fall dormancy score, and dry and fresh forage yield. Mean comparisons over the two-year period were performed using the SNK test at the 5% probability level.

Results and Discussion. Statistical analysis indicated significant differences among genotype means for all traits except fresh forage yield. Among the polycross progenies, Poly-KFA3 exhibited the highest dry forage yield with 22.91 tons per hectare, while Poly-KFA15 showed the lowest yield with 19.48 tons per hectare. The mean fresh and dry forage yields of the polycross progenies were 3.7 and 0.7 tons per hectare higher, respectively, than those of the parental genotypes. Among the evaluated materials, the polycross progenies Poly-KFA3 and Poly-Yazdi exhibited the greatest plant heights, with mean values of 78.6 and 77.4 cm, respectively, whereas the parental genotype KFA11 showed the lowest height at 66.1 cm. Overall, the polycross progenies showed an average increase of approximately 4 cm in plant height compared to the parental genotypes. Regarding regrowth rate, measured 14 days after harvest, the genotypes Poly-Yazdi, Yazdi, and Poly-KFA3 showed the highest regrowth rates, with mean values of 44.2, 43.6, and 42.4 cm, respectively. In contrast, KFA11, KFA3, and Ahang exhibited the lowest regrowth, with averages of 24.8, 27.0, and 27.4 cm, respectively. The polycross progenies displayed an average increase of 3.7 cm in regrowth rate relative to the parental genotypes over the 14-day period following harvest. For fall dormancy score, the polycross progenies Poly-Yazdi and Poly-KFA3 recorded the highest values, with means of 8.7 and 8.6, respectively, while the parental genotypes KFA11, KFA3, and Ahang showed the lowest scores, averaging 3.1, 3.4, and 3.4, respectively. The mean fall dormancy score of the polycross progenies (6.4) represented a 20% increase compared to that of the parental genotypes (5.1). A distinguishing characteristic of tropical or, more precisely, semi-dormant and non-dormant alfalfa types—such as the Bami—is their high regrowth rate and fall dormancy score. The polycrossing of Bami and Yazdi alfalfa with cold-region genotypes (dormant type), and the transfer of these traits into cold-adapted germplasm, resulted in substantial heterosis for these characteristics in the derived half-sib families. The highest heterosis percentages observed among the polycross progenies for plant height, stem number per square meter, regrowth rate, fall dormancy score, fresh forage yield, and dry forage yield were 13.25%, 7.94%, 57.03%, 150.49%, 10.92%, and 14.25%, respectively. With respect to forage yield traits, the highest general combining ability (GCA) was associated with the parent KFA3, with values of 6.33 and 1.99 tons per hectare for fresh and dry forage yield, respectively. In contrast, the lowest GCA was observed for KFA15, with values of −6.2 and −1.45 tons per hectare for fresh and dry forage yield, respectively.

Conclusion. Based on the estimates of general combining ability of the parental genotypes, along with their origin and cultivation area, and with the aim of maximizing genetic diversity while minimizing inbreeding effects in subsequent seed production generations, five parents—Bami, Yazdi, KFA3, KFA13, and KFA16—were selected for intercrossing to develop a new synthetic variety.

Cite this article: Moghaddam, A., & Mofidiam, M.A. (2026). The assessment of general combining ability and heterosis in Iranian ecotypes of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to produce synthetic varieties. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *57*(1), 85-95. DOI: 10.22059/ijfcs.2025.390755.655128.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: 10.22059/ijfcs.2025.390755.655128

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و هتروزیس در اکوتیپ‌های یونجه ایرانی با هدف تولید ارقام ساختگی (Synthetics)

علی مقدم [۱] ✉ | سید محمدعلی مفیدیان [۲]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج ایران.
رایانامه: a.moghaddam@areeo.ac.ir

۲. بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: amofidian@spii.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۳

کلیدواژه‌ها:
اکوتیپ،
ترکیب‌پذیری عمومی،
مقایسه عملکرد،
نتاج پلی‌کراس،
هتروزیس.

چکیده

یکی از مراحل کلیدی در تولید ارقام ترکیبی یا سنتتیک در یونجه (*Medicago sativa*)، برآورد قابلیت ترکیب والدین از طریق ارزیابی عملکرد علوفه نتاج پلی‌کراس تولیدی می‌باشد. در این راستا، آزمایش حاضر با ۲۰ ژنوتیپ شامل ۱۰ نتاج پلی‌کراس به همراه ۱۰ ژنوتیپ والدی یونجه داخلی شامل دو رقم آهنگ و ماندگار، دو اکوتیپ از یونجه بمی و یزدی و شش اکوتیپ یونجه مناطق سرد و معتدل با کدهای KFA15، KFA11، KFA13، KFA3، KFA4، KFA16 در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج طی سال‌های ۱۳۹۹ الی ۱۴۰۱ به اجرا درآمد. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد ساقه در مترمربع، سرعت رشد مجدد، نمره خواب پاییزی و عملکرد علوفه خشک و تر بودند. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین میانگین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات بجز عملکرد علوفه تر وجود دارد. خانواده ناتنی Poly-KFA3 با عملکرد ۲۲/۹۱ تن در هکتار بیشترین و Poly-KFA15 با میانگین ۱۹/۴۸ تن در هکتار کمترین میزان عملکرد علوفه خشک را داشتند. بیشترین درصد هتروزیس در صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه در مترمربع، سرعت رشد مجدد، نمره خواب پاییزی، عملکرد علوفه تر و خشک به‌ترتیب برابر با ۱۳/۲۵، ۷/۹۴، ۵۷/۰۳، ۱۵۰/۴۹، ۱۰/۹۲ و ۱۴/۲۵ درصد به‌دست آمد. بر اساس برآوردهای ترکیب‌پذیری عمومی در صفات مورد بررسی، پنج والد Bami، Yazdi، KFA3، KFA13 و KFA16 جهت تلاقی و ایجاد جمعیت ترکیبی جدید انتخاب شدند.

استناد: مقدم، ع.، و مفیدیان، م.ع. (۱۴۰۵). برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و هتروزیس در اکوتیپ‌های یونجه ایرانی با هدف تولید ارقام ساختگی (Synthetics). *علوم گیاهان زراعی ایران*، *۵۷*(۱)، ۸۵-۹۵. DOI: 10.22059/ijfcs.2025.390755.655128

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

ایران به‌عنوان یکی از مناطق پیدایش یونجه در جهان شناخته شده و دارای تنوع وسیع ژنتیکی در ارتباط با این محصول است. به‌طور کلی، از نظر ژنتیکی و به‌نژادی ارقام مورد کشت‌وکار در کشور و دنیا، توده یا جمعیت‌های[1] آزاد گرده‌افشان با میزان تنوع یا پایه ژنتیکی متفاوت می‌باشند. روش‌های اصلاحی مورد استفاده در گیاهان دگرگشن در اصلاح یونجه هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال، به‌علت اتوتتراپلوئید بودن، یونجه اثرات سوء درون‌زادآوری[2] شدیدتری نسبت به گیاهان دیپلوئید از خود نشان می‌دهد. گزینش توده‌ای و دوره‌های متوالی آن (گزینش دوره‌ای فنوتیپی) و همچنین روش تولید ارقام ساختگی یا سنتتیک از پرکاربردترین روش‌های اصلاحی مورد استفاده در یونجه می‌باشند(Hill *et al*., 1971; Fehr, 1987; Rumbaugh *et al*., 1988; Rotili *et al.*, 2001). هدف اصلی از به‌نژادی یونجه، به‌دست‌آوردن رقمی است که عملکرد و کیفیت بالایی داشته و همچنین از پایداری مطلوبی در مناطق هدف برخوردار باشد (Brummer *et al.,* 2000).

امروزه درک خوبی از ژنتیک اتوتتراپلوئیدها و پیامد آن در اصلاح یونجه و تولید ارقام ترکیبی یا سنتتیک وجود دارد (Rotili *et al*., 2001). بیشتر ارقام معرفی‌شده یونجه در دهه‌های گذشته سنتتیک بوده و دارای پایه ژنتیکی گسترده‌ای هستند، به‌طوری‌که می‌توانند به عنوان جمعیتی هتروژن از افراد هتروزیگوت در نظر گرفته شوند. این ناهمگنی موجب بهبود عملکرد و پایداری این جمعیت‌ها می‌شود (Fehr, 1987). به‌طور مثال واریته‌های سنتتیک تاهو و پاراد که به‌عنوان ارقام سنتتیک معرفی شده‌اند به‌ترتیب از ۷۸۲ و ۶۳۴ والد گیاهی به‌دست آمده‌اند (جمعیت‌های طبیعی) که هر یک به بیماری‌ها و آفات مختلفی نظیر پژمردگی ورتیسلیومی، پوسیدگی فیتوفترای ریشه، انتراکنوز و شته آبی یونجه مقاوم بودند (Cash *et al.,* 1998). مفهوم ارزیابی پلی کراس به‌وسیله فرندسن (Frandsen, 1940) که در مورد اصلاح گونه‌های علوفه‌ای در دانمارک تحقیق می‌نمود و همچنین تیسدال و همکاران (Tysdal *et al.,* 1942) بر اساس تحقیقات روی یونجه، ارائه شد.

آزمون نتاج پلی‌کراس برای برآورد قابلیت ترکیب عمومی[3] و انتخاب اجزای یک رقم ترکیبی یا سنتتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. برترین ژنوتیپ‌ها از نظر قابلیت ترکیب عمومی برای تولید علوفه و دانه انتخاب و به‌عنوان ژرم‌پلاسم مناسب برای کارهای‌اصلاحی آتی، تعیین می‌شوند. در آزمون نتاج پلی‌کراس جهت گزینش برای قابلیت ترکیب عمومی، استفاده از یک جمعیت هتروزیگوت با پایه ژنتیکی وسیع به عنوان تستر پیشنهاد می‌شود. تستر می‌تواند جمعیت‌های والدی یا هر جمعیت غیرخویشاوند (ارقام سنتتیک یا آزاد گرده‌افشان) با پایه ژنتیکی وسیع باشد (Hallauer *et al.,* 2010). گزارش‌های متعددی مبنی بر استفاده از آزمون پلی‌کراس در اصلاح گیاهان مختلف وجود دارد (Maalouf, 1997; Casler *et al.,* 1997; Amato *et al.,* 1997; Hapkins & Taliaferro, 1997). در یک بررسی مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های یونجه از نظر ۳۴ صفت کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفتند و ۲۱ ژنوتیپ برای پلی‌کراس انتخاب شدند (Smolikova *et al.,* 1991). در بررسی دیگری، دو مجموعه نتاج پلی‌کراس متشکل از ۳۰ و ۹ کلون یونجه از نظر صفات عملکرد علوفه‌تر و دانه در چندین منطقه و به مدت چند سال مورد ارزیابی قرار گرفتند و بهترین خانواده‌ها نسبت به واریته شاهد پالاوا مشخص شدند. همچنین گزارش شدکه در آزمون پلی‌کراس با اجزای بیشتر، نتیجه بهتری حاصل شد (Vachunkova *et al.,* 1992).

دو رقم ترکیبی یا سنتتیک میرنا و پوساوینا با جمع‌آوری جمعیت‌ها و اکوتیپ‌های متعدد یونجه از مناطق مختلف و با استفاده از روش اصلاحی پلی‌کراس و تعیین قابلیت ترکیب عمومی معرفی شدند (Halgic *et al.,* 1992). ارقام بلغاری پریستا ۳ و ۴ یونجه که با استفاده از روش آزمون نتاج پلی‌کراس اصلاح شده‌اند، هر یک به‌ترتیب دارای ۹ و ۶ والد هستند. پریستا ۳ نسبت به شاهد از نظر عملکرد ماده خشک ۷/ ۱۸ درصد و از نظر عملکرد بذر ۱۵/۴ درصد برتر است و این برتری در مورد پریستا ۴ به‌ترتیب ۱۳/۷ درصد و ۱۹/۲ درصد است. این دو واریته از نظر عملکرد تر و پروتئین خام نیز نسبت به واریته شاهد برتر هستند (Petkova & Mirchev, 1994). در بررسی واریته‌های مختلف یونجه برای بهبود ارقام محلی، رقم مگنا بهترین ترکیب‌پذیری عمومی را با تمام ارقام داخلی برای عملکرد علوفه داشت و یک اهداکننده مناسب برای بهبود این صفت بود. رقم‌های انتگریتی و

1. Population
2. Inbreeding
3. General Combining Ability

مگنا بهترین ترکیب‌پذیری عمومی را برای افزایش تعداد ساقه‌ها در بوته داشتند (Radović *et al.*, 2009). در یک مطالعه، فاصله ژنتیکی بین ۴۸ ژرم‌پلاسم یونجه بررسی و هیبریدهایی با ترکیب‌های مختلف ایجاد شد. نتایج نشان داد که تلاقی‌پذیری در ترکیب هیبریدی که هر دو والد تترالوئید هستند بیشتر از آن است که هر دو والد دیپلوئید بوده یا ترکیب هیبریدی با سطح پلوئیدی مختلف داشته باشند. همچنین میزان هتروزیس در ترکیب هیبریدی یونجه به‌صورت دیپلوئید به عنوان والد مادری با تترالوئید به عنوان والد پدری بیشتر از ترکیب هیبریدی دیپلوئید به عنوان والد پدری بود (Ruru *et al.*, 2022). ولی‌زاده و همکاران (Valizadeh *et al.*, 2002)، ۳۰ اکوتیپ یونجه را متشکل از ۲۸ رقم بومی به همراه دو رقم اصلاح‌شده جمع‌آوری و در دو ایستگاه تحقیقاتی کشت کردند. پس از ارزیابی والدها در دو خزانه اولیه و آزمون نتاج پلی‌کراس در دو ایستگاه، ۱۲ ژنوتیپ را برتر از بقیه تشخیص داده و در پایان با تشکیل یک خزانه پلی‌کراس اصلی در قالب طرح آزمایشی مربع لاتین نسبت به تولید بذر سنتتیک یک اقدام نمودند. آوجی و همکاران (Avci *et al.*, 2011) آزمایشی را جهت تولید ارقام سنتتیک پرمحصول در شرایط مدیترانه‌ای ترکیه طی ۷ سال از سال ۲۰۰۲ آغاز نمودند. آنها جهت اطمینان از وجود تنوع ژنتیکی لازم و مناسب از منابع ژنتیکی متفاوتی همانند ارقام اصلاح‌شده داخلی و خارجی و توده‌های بالک‌شده استفاده کردند .از ۳۲ بوته انتخابی، کلون تهیه شده و به خزانه تولید نتاج پلی‌کراس انتقال داده شد و ۳۲ نتاج پلی‌کراس تولیدی طی دو سال از لحاظ صفات کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت ۱۶ ژنوتیپ به عنوان والدین رقم سنتتیک انتخاب شدند. در پژوهش حاضر، با هدف انتخاب برترین اکوتیپ‌ها با قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی مناسب جهت تولید جمعیت سنتتیک، ده نتاج پلی‌کراس یا خانواده‌های ناتنی تولید شده از تلاقی بین ۱۰ اکوتیپ برتر داخلی یونجه، به همراه اکوتیپ‌های والدی، از لحاظ عملکرد و سایر صفات مهم مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

به منظور انتخاب برترین ژنوتیپ‌ها با ترکیب‌پذیری عمومی مناسب جهت تولید ارقام ساختگی و همچنین میزان هتروزیس در صفات مختلف در نتاج پلی‌کراس تولیدی، این آزمایش با ۲۰ ژنوتیپ شامل ۱۰ اکوتیپ/ رقم برتر داخلی (جدول ۱) و نتاج پلی‌کراس (خانواده ناتنی) حاصل از آنها در خزانه تولید پلی‌کراس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در شهریور ۱۳۹۹ به اجرا درآمد. هر ژنوتیپ در چهار خط دو ردیفه به طول پنج متر و فاصله خطوط ۵۰ سانتیمتر کاشته شد. آماده‌سازی زمین و مراقبت‌های زراعی پس از کاشت مطابق عرف آزمایش‌های یونجه انجام شد. میزان بذر مصرفی بر مبنای ۲۵ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. آبیاری به صورت جوی و پشته و با فاصله ۷ تا ۱۰ روز یکبار صورت گرفت. سال اول (۱۳۹۹) به‌عنوان سال استقرار در نظر گرفته شده و یادداشت‌برداری‌ها از بهار ۱۴۰۰ به مدت دو سال انجام شد. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته در زمان برداشت (سانتیمتر)، تعداد ساقه در مترمربع، سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت (سانتیمتر)، نمره خواب پاییزی (Moghaddam *et al.*, 2021)، عملکرد علوفه خشک و تر (تن در هکتار) بودند. جهت یادداشت‌برداری صفت خواب پاییزی از یک روش نمره‌دهی از ۱ تا ۱۱ با فواصل هر ۵ سانتی‌متر ارتفاع، ۱ امتیاز استفاده می‌شود. در این روش ارتفاع ارقام در فصل پاییز بعد از برداشت آخرین چین اندازه‌گیری شده و به ازای هر پنج سانتی‌متر یک امتیاز تعلق می‌گیرد. نمره ۱ برای یک رقم با خواب زمستانه و نمره ۱۱ برای ارقام بسیار فعال در زمستان می‌باشد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری‌شده با نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. تجزیه واریانس دوساله داده‌های صفات مورد اندازه‌گیری بر مبنای آزمایش کرت‌های خرد شده در زمان انجام شد. عوامل ژنوتیپ و سال به عنوان عوامل ثابت و عامل تکرار تصادفی در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین با روش استیودنت–نیومن–کویلز (SNK) صورت گرفت. ترکیب‌پذیری عمومی ارقام و اکوتیپ‌ها، از تفاوت میانگین دو ساله صفات مورد مطالعه هر یک از نتاج پلی‌کراس (خانواده ناتنی) از میانگین کل نتاج (خانواده‌های ناتنی) محاسبه شد (Wricke & Weber, 1986). جهت محاسبه میزان هتروزیس در خانواده‌های ناتنی حاصل از تلاقی پلی‌کراس (HMP)، از تفاوت میانگین دو ساله هر یک از نتاج پلی‌کراس (خانواده ناتنی) از والد مادری (MP) مربوطه استفاده شد (Al Lawati *et al.*, 2010).

جدول ۱. اطلاعات مربوط به ۱۰ اکوتیپ/رقم مورد استفاده در آزمایش.
Table 1. Some information from 10 ecotype/ Cultivars in the experiment.

NO.	Parents	Characteristic	Planting region
		Half-sib families(polycoss progenies)	
1	Bami	Warm– Warm temperate	Bam-Kerman
2	Yazdi	Temperate	Yazd
3	Ahang	-Cold-Hamedani	Cold and Cold temperate climate
4	KFA16	Cold-Hamedani	Ghahavand-Hamedan
5	KFA4	Cold-Hamedani	Kouzareh-Hamedan
6	Mandegar	Cold-Gharahyunjeh	Cold and Cold temperate climate
7	KFA3	Cold-Gharahyunjeh	Malekan-East Azerbaijan
8	KFA13	Cold-Gharahyunjeh	Salmas-West Azerbaijan
9	KFA11	Cold-Gharahyunjeh	Poldasht-West Azerbaijan
10	KFA15	Cold-Gharahyunjeh	Tikmehdash East Azerbaijan

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج تجزیه واریانس دوساله صفات مورد بررسی بر اساس طرح کرت‌های خرد شده در زمان برای کلیه ژنوتیپ‌های مورد بررسی شامل نتاج پلی‌کراس (خانواده‌های ناتنی) و والدها در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها برای صفات ارتفاع بوته، سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت و نمره خواب پاییزی در سطح احتمال یک درصد، برای تعداد ساقه در مترمربع در سطح احتمال پنج درصد و برای عملکرد علوفه خشک در سطح احتمال ۱۰ درصد معنی‌دار بودند. تفاوت میانگین ژنوتیپ‌ها برای صفات عملکرد علوفه تر و درصد رطوبت معنی‌دار نشد. ارقام و اکوتیپ‌های برتر انتخاب‌شده جهت انجام این بررسی مهمترین دلیل مشاهده‌نشدن تفاوت زیاد بین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی بود. اگرچه وجود اکوتیپ‌هایی از یونجه بمی و یزدی موجب مشاهده تفاوت معنی‌دار به‌ویژه در دو صفت سرعت رشد مجدد و نمره خواب پاییزی شد؛ معنی‌دار نشدن صفت درصد رطوبت در زمان برداشت بیانگر این موضوع است که تقریبا زمان ۱۰ درصد گلدهی جهت برداشت تیمارهای آزمایش رعایت شده است. عامل سال برای صفات سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت و نمره خواب پاییزی در سطح احتمال یک درصد، برای صفت تعداد ساقه در مترمربع در سطح احتمال پنج درصد و برای صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال ۱۰ درصد معنی‌دار بود. عامل سال برای صفات عملکرد علوفه تر و خشک و درصد رطوبت معنی‌دار نشد. اثر متقابل ژنوتیپ در سال تنها برای صفات سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت در سطح احتمال یک درصد و صفت تعداد ساقه در مترمربع در سطح احتمال ۱۰ درصد معنی‌دار بود. عدم تفاوت معنی‌دار اثر متقابل ژنوتیپ در سال در برخی از صفات مورد بررسی به‌ویژه عملکرد علوفه خشک و تر، نشان‌دهنده ثبات رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در دو سال آزمایش بود.

مقایسه میانگین دو ساله ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات با استفاده از روش SNK در سطح احتمال پنج درصد در جدول ۳ آورده شده است. همچنین، نتایج حاصل از محاسبه میزان هتروزیس در نتاج پلی‌کراس (خانواده‌های ناتنی) برای شش صفت مورد بررسی در جدول ۴ درج شده است.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری‌شده در خانواده‌های ناتنی و والدین آنها طی دو سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰.

Table 2. ANOVA (mean of square) of studied traits for half-sib families and their parents during two years (2021-22).

S.O.V	df	Plant height (cm)	۲Stem no. per m	Regrowth rate (cm)	Fall dormancy score	Fresh forage yield (t ha^{-1})	Dry forage yield (t ha^{-1})	Moisture %
Replication(R)	2	600.75	2871.60	42.85	3.92	437.05	13.50	9.64
Genotype(G)	19	45.37**	1830.09*	172.03**	18.93**	88.93^{ns}	6.42^{+}	2.83^{ns}
G*R	38	10.20	951.72	10.01	1.28	74.94	3.66	2.53
Year(Y)	1	993.60^{+}	100931.60*	596.97**	159.62**	1639.92^{ns}	199.25^{ns}	13.57^{ns}
Y*G	19	10.49^{ns}	1788.78^{+}	9.02**	1.22^{ns}	34.43^{ns}	1.87^{ns}	1.48^{ns}
Y*R	2	86.77**	2155.44^{ns}	0.8^{ns}	1.62^{ns}	565.80**	34.75**	4.03*
Residual	38	9.68	1093.54	2.48	1.03	27.20	1.85	1.02
CV%		4.23	6.39	4.57	17.62	6.87	6.61	1.39

*، **، $^{+}$ و ^{ns} به‌ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال اشتباه ۵ ٪، ۱٪، ۱۰٪ و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات بررسی‌شده در ژنوتیپ‌های آزمایشی.

Table 3. Mean comparisons of studied traits in tested genotypes.

Genotype	Plant height (cm)		Stem no m^{-2}		Regrowth rate (cm)		Fall dormancy score		Fresh forage yield (t.ha^{-1})	Dry forage yield (t.ha^{-1})	Moisture %
Poly-Bami	76.0	abc	496.6	b	36.7	bc	6.8	b	78.62	21.06	73.1
Poly-Yazdi	77.4	ab	510.1	ab	44.2	a	8.7	a	79.74	22.11	72.3
Poly-Ahang	74.1	abc	521.0	ab	35.7	bcd	6.1	bc	77.21	20.80	73.0
Poly-KFA16	75.2	abc	519.8	ab	35.7	bcd	6.4	bc	74.02	19.74	73.2
Poly-KFA4	75.0	abc	533.6	ab	35.1	cd	6.6	bc	78.05	20.77	73.3
Poly-Mandegar	75.7	abc	502.5	ab	33.4	cd	5.5	bcde	74.55	20.35	72.6
Poly-KFA3	78.6	a	511.1	ab	42.4	a	8.6	a	84.11	22.91	72.6
Poly-KFA13	74.4	abc	550.1	a	34.9	cd	5.3	bcde	80.13	21.11	73.7
Poly-KFA11	74.9	abc	513.7	ab	32.8	cde	5.1	bcde	79.76	20.88	73.8
Poly-KFA15	72.6	abc	528.5	ab	32.5	cde	5.1	bcde	71.58	19.48	72.8
Bami	74.8	abc	521.1	ab	40.7	ab	8.6	a	77.05	22.13	71.3
Yazdi	73.5	abc	499.9	ab	43.6	a	8.5	a	76.23	20.86	72.6
Ahang	71.4	bc	524.4	ab	27.4	efg	3.4	de	69.61	19.03	72.6
KFA16	71.6	bc	492.5	b	30.9	cdef	4.4	cde	69.68	19.56	71.9
KFA4	72.1	abc	542.9	ab	30.7	cdef	4.4	cde	77.00	21.13	72.5
Mandegar	73.3	abc	505.3	ab	30.1	def	4.4	cde	73.91	19.34	73.8
KFA3	70.3	c	532.2	ab	27.0	fg	3.4	de	76.19	20.05	73.7
KFA13	71.3	bc	509.7	ab	34.5	cd	5.0	bcde	75.08	20.69	72.4
KFA11	66.1	d	545.3	a	24.8	g	3.1	e	76.78	20.28	73.5
KFA15	72.6	abc	490.6	b	36.1	bcd	5.5	bcde	69.39	19.26	72.1
Polycross progenies mean	75.4		518.7		36.3		6.4		77.78	20.92	73.0
Parents Mean	71.7		516.4		32.6		5.1		74.09	20.23	72.6
Grand Mean	73.5		517.6		34.5		5.7		75.93	20.58	72.8

در خصوص ارتفاع بوته (سانتیمتر)، نتاج پلی‌کراس Poly-KFA3 و Poly-Yazdi به‌ترتیب با میانگین ۷۸/۶ و ۷۷/۴ سانتیمتر بیشترین و اکوتیپ والدی KFA11 با میانگین ۶۶/۱ سانتیمتر کمترین ارتفاع را داشتند. نتاج پلی‌کراس در حدود ۴ سانتیمتر میانگین ارتفاع بیشتری نسبت به والدها نشان دادند. منیری‌فر (Monirifar, 2010) نیز میانگین ارتفاع بوته ۳۰ خانواده ناتنی (نتاج پلی‌کراس) تولیدی را بین ۶۹/۱۱ تا ۸۰/۵۹ سانتیمتر گزارش کرد. در بررسی حاضر، کلیه نتاج پلی‌کراس هتروزیس مثبت برای صفت ارتفاع بوته نشان دادند و بیشترین میزان هتروزیس مربوط به دو خانواده ناتنی Poly-KFA11 و Poly-KFA13 به‌ترتیب با ۱۳/۲۵ و ۱۱/۸۵ درصد افزایش نسبت به والدهای مادری خود بود (جدول ۴). در خصوص صفت تعداد ساقه در مترمربع، خانواده‌های ناتنی Poly-KFA13 و KFA11 به‌ترتیب با میانگین ۵۷۵/۱ و ۵۴۵/۳ ساقه در مترمربع بیشترین و KFA15 با میانگین۴۹۰/۶ کمترین تعداد ساقه در مترمربع را داشتند. تفاوت چندانی بین میانگین تعداد ساقه در مترمربع نتاج پلی‌کراس و والدها مشاهده نشد. در ارتباط با این صفت، نتایج حاکی از دامنه بسیار وسیعی از هتروزیس‌های منفی و مثبت بود (جدول ۴). بیشترین میزان هتروزیس مثبت مربوط به دو خانواده ناتنی Poly-KFA13 و Poly-KFA15 به‌ترتیب با ۷/۹۴ و۷/۷۲ درصد افزایش نسبت والد مادری‌شان و بیشترین هتروزیس منفی نیز مربوط به دو خانواده Poly-KFA11 و Poly-Bami به‌ترتیب با ۵/۷۹- و ۴/۷- درصد کاهش نسبت به والد مادری‌شان بود.

ژنوتیپ‌های Poly-Yazdi، Yazdi و Poly-KFA3 به‌ترتیب با ۴۴/۲، ۴۳/۶ و ۴۲/۴ سانتی‌متر رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت بیشترین و KFA11، KFA3 و Ahang به‌ترتیب با میانگین ۲۴/۸، ۲۷/۰ و ۲۷/۴ سانتیمتر کمترین میزان رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت را داشتند. در مجموع میانگین نتاج پلی‌کراس نشان از ۳/۷ سانتیمتر رشد مجدد بیشتر نسبت به والدین در طی ۱۴ روز پس از برداشت داشت. برآورد هتروزیس برای صفت سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت در نتاج پلی‌کراس (خانواده‌های ناتنی) مورد بررسی تنوع خوبی از هتروزیس بین خانواده‌ها نشان داد. یکی از خصوصیات بارز یونجه‌های گرمسیری یا به عبارت دیگر یونجه‌های نیمه‌فعال و فعال در پاییز و زمستان همانند یونجه بمی، سرعت رشد مجدد بالا می‌باشد. تلاقی پلی‌کراس بین یونجه‌های بمی و یزدی با یونجه‌های مناطق سرد کشور و انتقال این خصوصیت به یونجه‌های سردسیری منجر به میزان هتروزیس بسیار بالایی برای این صفت در خانواده‌های ناتنی تولیدی یونجه‌های سردسیری شد. بیشترین میزان هتروزیس مثبت مربوط به خانواده‌های ناتنی Poly-KFA3،Poly-KFA11 و Poly-Ahang به‌ترتیب با ۳۲/۳۲،۵۷/۰۳ و ۳۰/۲۳ درصد افزایش میزان رشد مجدد نسبت به والدهای مادری بود؛ در حالی‌که بیشترین هتروزیس منفی مربوط به Poly-Bami و Poly-KFA15 به‌ترتیب با ۹/۹۶- و ۹/۶۳- درصد کاهش میزان سرعت رشد مجدد نسبت به والدهای مادری‌شان بود (جدول۴).

در خصوص صفت نمره خواب پاییزی، دو خانواده ناتنی Poly-Yazdi و Poly-KFA3 به‌ترتیب با میانگین ۸/۷ و ۸/۶ بیشترین و سه ژنوتیپ والدینی KFA11، KFA3 و Ahang به‌ترتیب با میانگین ۳/۱، ۳/۴ و ۳/۴ کمترین نمره خواب پاییزی را دارا بودند. میانگین نمره خواب پاییزی نتاج پلی‌کراس (۶/۴) ۲۰ درصد نسبت به میانگین والدین (۵/۱) افزایش نشان داد. بیشترین تغییر در نمره خواب پاییزی مربوط به ژنوتیپ‌های KFA3 و Ahang به‌ترتیب با ۵/۲ و ۲/۷ واحد افزایش بود (جدول ۳). افزایش نمرات خواب پاییزی در نتاج پلی‌کراس ژنوتیپ‌های مناطق سرد کشور، عمدتاً به‌واسطه اثرات ناشی از تلاقی به‌ویژه با اکوتیپ‌های بمی و یزدی می‌باشد. در این صفت، هرچه از سمت نمره ۱ به نمره ۱۱ می‌رویم، مقاومت گیاه به سرما کمتر، حساسیت به طول روز کمتر، طوقه‌ها کوچکتر، تعداد ساقه در بوته کمتر، فاصله میانگره‌ها بیشتر، میزان برگ کمتر و سرعت رشد مجدد بیشتر می‌شود (Moghaddam *et al.*, 2021). پوتنام و همکاران (Putnam *et al*., 2005) بیان داشتند که ارقام یونجه با نمرات ۱ تا ۴ برای مناطق سرد، نمرات ۵ تا ۷ برای مناطق معتدل، نمرات ۷ تا ۹ برای مناطق گرم و مدیترانه‌ای و نمرات ۸ تا ۱۱ برای مناطق بیابانی گرم مناسب و سازگار می‌باشند. میانگین نمرات خواب پاییزی ژنوتیپ‌های والدی با نتایج گزارش‌شده توسط مقدم و همکاران (Moghaddam *et al.*, 2021) همخوانی دارد.

جدول ٤. برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و هتروزیس در خانواده‌های ناتنی برای صفات مورد بررسی.

Table 4. Estimation of general combing ability and heterosis in half-sib families (poly-cross progenies) for the studied traits.

خانواده ناتنی Half-sib family	ارتفاع بوته Plant height (cm)		تعداد ساقه در مترمربع Stem no. per m^{2}		سرعت رشد مجدد Regrowth rate (cm)		نمره خواب پاییزی Fall dormancy score		عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (t ha^{-1})		عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (t ha^{-1})	
	ترکیب‌پذیری عمومی General combining ability	هتروزیس (٪) Hetrosis	ترکیب‌پذیری عمومی General combining ability	هتروزیس (٪) Hetrosis	ترکیب‌پذیری عمومی General combining ability	هتروزیس (٪) Hetrosis	ترکیب‌پذیری عمومی General combining ability	هتروزیس (٪) Hetrosis	ترکیب‌پذیری عمومی General combining ability	هتروزیس (٪) Hetrosis	ترکیب‌پذیری عمومی General combining ability	هتروزیس (٪) Hetrosis
Poly-Bami	0.65	1.72	-22.14	-4.70	0.33	-9.89	0.39	-20.93	0.85	2.04	0.14	-4.83
Poly-Yazdi	1.97	5.26	-8.57	2.05	7.82	1.18	2.29	1.95	1.97	4.60	1.19	6.03
Poly-Ahang	-1.30	3.73	2.29	-0.65	-0.65	30.23	-0.34	76.70	-0.57	10.92	-0.12	9.27
Poly-KFA16	-0.16	5.11	1.13	5.54	-0.59	15.54	-0.04	44.70	-3.76	6.23	-1.18	0.95
Poly-KFA4	-0.40	4.06	14.86	-1.72	-1.23	14.39	0.22	51.91	0.27	1.36	-0.15	-1.70
Poly-Mandegar	0.35	3.37	-16.17	-0.55	-2.89	11.16	-0.94	24.24	-3.23	0.87	-0.57	5.23
Poly-KFA3	3.20	11.85	-7.61	-3.96	6.09	57.03	2.19	150.49	6.33	10.39	1.99	14.25
Poly-KFA13	-1.04	4.30	31.43	7.94	-1.47	0.97	-1.14	4.64	2.36	6.74	0.19	2.02
Poly-KFA11	-0.52	13.25	-4.97	-5.79	-3.58	32.32	-1.34	61.70	1.98	3.89	-0.04	2.98
Poly-KFA15	-2.76	0.00	9.76	7.72	-3.83	-9.99	-1.28	-6.67	-6.20	3.15	-1.45	1.11

نتایج برآورد میزان هتروزیس در خصوص نمره خواب پاییزی نیز وضعیت کم و بیش مشابه با صفت سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت داشت. یونجه‌های گرمسیری و یا به عبارت دیگر یونجه‌های نیمه‌فعال و فعال در پاییز و زمستان همانند یونجه بمی و یزدی در این بررسی، دارای نمرات خواب پاییزی بالایی هستند و برعکس آنها، یونجه‌های سردسیری یا یونجه‌های با خواب پاییزی و زمستانه دارای نمرات خواب پاییزی می‌باشند (جدول ۳). تلاقی بین یونجه‌های سردسیری و گرمسیری و تولید خانواده‌های ناتنی و در ادامه برآورد میزان هتروزیس در خانواده‌های ناتنی تولیدی به‌طور کلی نشان داد که اکثر یونجه‌های سردسیری هتروزیس مثبت نشان دادند که بیانگر انتقال ژن‌های مربوط به این صفت از یونجه‌های گرمسیری و همچنین هتروزیس ناشی از تلاقی بین خود یونجه‌های سردسیری می‌باشد. بیشترین میزان هتروزیس مثبت مربوط به خانواده‌های ناتنی Poly-KFA3،Poly-Ahang و Poly-KFA11 به‌ترتیب با ۱۵۰/۴۹، ۷۶/۷۰ و ۶۱/۷۰ درصد افزایش نمره خواب پاییزی نسبت به والدهای مادری‌شان بود؛ در حالی‌که بیشترین هتروزیس منفی نیز مربوط به Poly-Bami با ۲۰/۹۳- درصد کاهش نمره خواب پاییزی نسبت به والد مادریش بود.

میانگین عملکرد علوفه تر و خشک ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول۲). با این‌حال، ژنوتیپ Poly-KFA3 به‌ترتیب با میانگین ۸۴/۱۱ و ۲۲/۹۱ تن در هکتار بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک را دارا بود. ژنوتیپ KFA15 با میانگین ۶۹/۳۹ تن در هکتار و ژنوتیپ Ahang با میانگین ۱۹/۰۳ تن در هکتار به‌ترتیب کمترین عملکرد علوفه تر و خشک را داشتند. میانگین عملکرد علوفه تر و خشک نتاج پلی‌کراس به‌ترتیب ۳/۷ و ۰/۷ تن در هکتار بیشتر از میانگین ژنوتیپ‌های والدینی بود. منیری‌فر (Monirifar, 2010) میانگین عملکرد علوفه خشک ۳۰ خانواده ناتنی (نتاج پلی‌کراس) تولیدی را بین ۷/۱ تا ۱۲/۴۳ تن در هکتار گزارش کرد. در خصوص صفات عملکرد علوفه تر و خشک، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده (جدول۵)، حداکثر هتروزیس برآورد شده از ۱۵ درصد فراتر نبود. بیشترین هتروزیس مشاهده‌شده در صفت عملکرد علوفه تر مربوط به دو خانواده Poly-Ahang و Poly-KFA3 به‌ترتیب با ۱۰/۹۲ و ۱۰/۳۹ درصد افزایش عملکرد علوفه تر نسبت به والد مادری‌شان بود. نکته قابل ذکر اینکه کلیه هتروزیس‌های برآورد شده در خانواده ناتنی مقادیر مثبت بود. در خصوص عملکرد علوفه خشک دامنه‌ای از هتروزیس‌های مثبت و منفی برآورد شد (جدول۴). بیشترین هتروزیس مثبت مربوط به دو خانواده ناتنی Poly-KFA3 و Poly-Ahang به‌ترتیب با ۱۴/۲۵ و ۹/۲۷ درصد افزایش عملکرد علوفه خشک و بیشترین هتروزیس منفی مربوط به دو خانواده ناتنی Poly-Bami و Poly-KFA4 به‌ترتیب با ۴/۸۳- و۱/۷۰- درصد کاهش عملکرد علوفه خشک نسبت والد مادری‌شان بود. مادریل و همکاران (Maderil *et al*., 2008) میزان هتروزیس برای صفت عملکرد ماده خشک در هیبریدهای مورد بررسی را بین ۱۷/۰۵-۲۲/۵۸ درصد گزارش کردند.

برآورد قابلیت ترکیب عمومی والدین مورد استفاده در ایجاد نتاج پلی‌کراس (خانواده‌های ناتنی) در جدول ۴ درج شده است. در خصوص ارتفاع بوته، بیشترین و کمترین ترکیب‌پذیری عمومی به‌ترتیب مربوط به والدین KFA3 و KFA15 با ۳/۲ و ۲/۷۶- سانتیمتر بود. منیری‌فر (Monirifar, 2010) ترکیب‌پذیری عمومی صفت ارتفاع بوته را در بین مواد ژنتیکی مورد بررسی را بین ۳/۹۵- ۷/۵۳ سانتیمتر گزارش کرد. میترا و ناتاراجان (Mitra & Natarajan, 2002) میزان ترکیب‌پذیری عمومی ۱۵ کلون انتخابی از یک توده محلی را ۱۳/۰۵- ۱۳/۵۶ سانتیمتر گزارش کردند. بیشترین و کمترین قابلیت ترکیب عمومی والدین در صفت تعداد ساقه در مترمربع به‌ترتیب مربوط به والدین KFA13 و Bami با ۳۳/۴۳ و ۲۱/۱۴- ساقه در مترمربع بود. دامنه ترکیب‌پذیری عمومی محاسبه‌شده بین والدین برای صفت سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت بین ۷/۸۲ و ۳/۸۳- سانتیمتر بود که به‌ترتیب مربوط به والدهای Yazdi و KFA15 بود. در خصوص صفت نمره خواب پاییزی، بیشترین و کمترین ترکیب‌پذیری عمومی به‌ترتیب مربوط به والدهای Yazdi و KFA11 با ۲/۲۹ و ۱/۳۴- بود. در خصوص صفات عملکرد علوفه تر و خشک، بیشترین ترکیب‌پذیری عمومی مربوط به والد KFA3 به‌ترتیب با ۶/۳۳ و ۱/۹۹ تن در هکتار عملکرد علوفه تر و خشک بود؛ در حالی‌که کمترین ترکیب‌پذیری عمومی مربوط به والد KFA15 به‌ترتیب با ۶/۲- و ۱/۴۵- تن در هکتار عملکرد علوفه تر و خشک بود. میترا و ناتاراجان (Mitra & Natarajan, 2002) میزان قابلیت ترکیب عمومی برای صفت عملکرد علوفه تر برای ۱۵ کلون والدی را بین ۲۰/۶۷- ۱۵/۶۹ گرم در بوته و برای صفت عملکرد علوفه خشک را بین ۴/۷۵- ۳/۵ گرم در بوته گزارش کردند. منیری‌فر

(Monirifar, 2010) قابلیت ترکیب عمومی برای ۳۰ والد مورد استفاده در تولید خانواده‌های ناتنی مربوط به صفت عملکرد علوفه تر را بین ۳/۸۶- تا ۶/۶۸ تن در هکتار و برای صفت عملکرد علوفه خشک را بین ۱/۹۱- تا ۳/۴۱ تن در هکتار گزارش کرد. با توجه به نتایج حاصل از برآوردهای قابلیت ترکیب عمومی ژنوتیپ‌های والدی و همچنین منشأ و محدوده کشت‌وکار این ژنوتیپ‌ها، و از طرف دیگر جهت ایجاد تنوع حداکثری و به‌حداقل‌رساندن اثرات ناشی از تلاقی‌های خویشاوندی در نسل‌های آتی تولید بذر، پنج ژنوتیپ بمی، یزدی، KFA3، KFA13 و KFA16 جهت تولید رقم ترکیبی یا سنتتیک جدید انتخاب می‌شوند. به‌علاوه، ایزوله دیگری با استفاده از خانواده‌های ناتنی انتخابی نیز ایجاد و جمعیت جدیدی از تلاقی این خانواده‌ها ایجاد خواهد شد.

۴. نتیجه‌گیری

بیشترین میزان هتروزیس با توجه به تلاقی پلی‌کراس بین یونجه‌های گرمسیری و سردسیری، برای صفات نمره خواب پاییزی و سرعت رشد مجدد ۱۴ روز پس از برداشت به‌ویژه در بین خانواده‌های ناتنی یونجه‌های سردسیری مشاهده شد. با توجه به نتایج حاصل از برآوردهای قابلیت ترکیب عمومی ژنوتیپ‌های والدی و همچنین منشأ و محدوده کشت‌وکار این ژنوتیپ‌ها، و از طرف دیگر جهت ایجاد تنوع حداکثری و به‌حداقل‌رساندن اثرات ناشی از تلاقی‌های خویشاوندی در نسل‌های آتی تولید بذر، پنج ژنوتیپ بمی، یزدی، KFA3، KFA13 و KFA16 جهت تولید رقم ترکیبی یا سنتتیک جدید انتخاب شدند. به‌علاوه، ایزوله دیگری با استفاده از خانواده‌های ناتنی انتخابی نیز ایجاد، و جمعیت جدیدی از تلاقی این خانواده‌ها ایجاد خواهد شد.

۵. منابع

Al Lawati, A.H., Pierce, C.A., Murray, L.W., & Ray, I.M. (2010). Combining ability and heterosis for forage yield among elite alfalfa core collection accessions with different fall dormancy responses. *Crop Science*, *50,* 150–158. Doi: 10.2135/cropsci2008.09.0549.

Amato, G., Stringia, L., & Glamal, D. (1997). Evaluation of progenies of sulla (*Hedgsarum coronarium* L.) derived from Sicilian landraces. *Rivista- di- Agronomia*, *31*, 166-769.

Avci, M., Aktas, A., Kilicalp, N., & Hatipoglu, R. (2011). Development of synthetic cultivar of alfalfa (*Medicago sativa* L.) on the basis of polycross progeny performance in the Southern Anatolia. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *9*(2), 404-408.

Brummer, E.C., Naroofshah, M., & Luth, D. (2000). Re-examining the relationship between fall dormancy and winter hardiness in alfalfa. *Crop Science*, *40*(4), 971-977.

Cash, S.D., Knipe, W.J., & Mc Caslin, M.H. (1998). Registration of 'Tahoe' alfalfa. *Crop Science*, *38*, 536.

Casler, M.D., Berg, C.C., Carlson, T., & Sleper, D.A. (1997). Convergent-divergent selection for seed production and forage traits in orchardgrass.III. Correlated responses for forage traits. *Crop Science*, *37*, 1059-1065.

Fehr, W.R. (1987). *Principles of Cultivar Development*. Vol II, Macmillan Pub. Co., New York.

Frandsen, H.N. (1940). *Some breeding experiments with timothy*. Imported Agricultural Bulletin Joint Publication3, 80-92.

Halgic, S., Gasperov, S., Kolic, B., & Lovrec, L. (1992). Trends in breeding perennial herbage crops. *Sjemenarstvo*, *9*, 265-268.

Hallauer, A.R., Carena, M.J., & Miranda Filho, J.B. (2010). *Quantitative genetics in maize breeding*. Handbook of plant breeding 6, DOI 10.1007/978-1-4419-0766-0_8, Springer Science+Business Media, LLC.

Hill, R.R., Jr., M.W., Pederson, L.J., Elling, R.W., Cleveland, J.H., Graham, F.I., Frosheiser, & Starling, J.L. (1971). Comparison of expected genetic advance with selection on basis of clone and polycross progeny test performance in alfalfa. *Crop Science*, *11*, 88-91.

Maalouf, F.S. (1997). Determination of the optimum strategy to predict yield in *Vicia faba* (L.) synthetic varieties, *CIHEAM-IAMZ*, Zaragoza.

Maderil, C.M., Pierce, C.A., & Ray, I.M. (2008). Heterosis among hybrids derived from genetically improved and unimproved alfalfa germplasm. *Crop Science*, *48*, 1787–1792. Doi: 10.2135/cropsci2008.01.0050.

Mitra, J., & Natarajan, S. (2002). Polycross progeny test for fodder yield in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Indian Journal of Genetics*, *62*(4), 371-372.

Moghaddam, A, Kharazmi, K, & Mofidian, S. (2021). Determination of fall dormancy score of Iranian alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes in cold and temperate climates. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *23*(3), 237-252 .http://agrobreedjournal.ir/article-1-1173-en.html.

Monirifar, H. (2010). Half-sib progeny test for selection of best parents for development of a synthetic variety of alfalfa. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *12*(1), 66-75. (In Persian).

Petkova, D., & Mirchev, M. (1994). Use of polycross method in developing cv. Prista 3 alfalfa. *Genetics and Breeding*, *27*, 118-122.

Radović, J., Sokolović, D., Lugić, Z., Anđelković, S., & Štrbanović, R. (2009). In: Huyghe C (ed), Ch 45: *Genetic diversity within and among alfalfa varieties for some traits*. Springer, Dordrecht/London, pp. 319–324.

Rotili, P., Gnochi, G., Scotti, C., & Zannone, L. (2001). *Some aspects of breeding methodology in alfalfa*. Institute sperimentale perle Colture foraggere-V.le .11 .Piacenza, 29-26900 Lodi, Italy.

Rumbaugh, M.D., Caddel, J.L., & Rowe, D.E. (1988). *Breeding and quantitative genetics*, pp. 770-808 . In Hanson, A.A., Barens, D.K., and Hill, Jr., R.R. (ed) *Alfalfa and Alfalfa Improvement*. Madison, Wisconsin, USA.

Ruru, S., Yang, J., Yang, Y., Yutong, Z., *et al*. (2022). Selection of alfalfa (*Medicago sativa* L.) hybrid parents and heterosis analysis of F1 hybrids. *Turkish Journal of Field Crops*, *27*(2), 235-241. https://doi.org/10.17557/tjfc.1126296.

Smolikova, M., Nedbalkova, B., Pelikan, J., Ptackova, M., & Bystricka, A. (1991). Selection of lucerne genotypes for synthetic population. *Scientific studies*. OSE VA. Breeding Institute for Fodder Plants, *12,* 31-39.

Tysdal, H.M., Kiesselbach, T.A., & Westover, H.L. (1942*). Alfalfa breeding*. Research Bulletin: Bulletin of the Agricultural Experiment Station of Nebraska No. 124- Vachunkova, A., Rod, J., Vagnerova, V., & Mrazek, O. (1992). Role of selection traits and environmental conditions in selecting components for synthetics in lucerne. *Genetika a Slechteni*, *28*, 143-151.

Valizadeh, M., Moghaddam, M., Taleb Chaichi, P., Kazemi, M., Monirifar, H., & Hasanpanah, H. (2002). *Breeding and introduction of most suitable of alfalfa (Medicago sativa L.) cultivars for Azarbayejan*. Report of research project, Tabriz University, Iran.

Wricke, G., & Weber, W.E. (1986). *Quantitative genetics and selection in plant breeding*. Walter de Gruyter, New York, 406 p.