

Evaluation of agronomic value and qualitative indices of forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivars in regions with different climatic conditions in Iran

Nima Khaledi^{1*}, Mohamad Rahmani², Farshid Hassani³, Ali Shayanfar⁴, Saman Sheidaei⁵

1*. Corresponding Author, Assistant professor, Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: n_khaledi@areeo.ac.ir

2. Researcher, Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: mrf_1351@yahoo.com

3. Associate professor, Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: farshid_hs2000@yahoo.com

4. Assistant professor, Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: ali.shayanfar13@gmail.com

5. Assistant professor, Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: saman_sheidaee@yahoo.com

Introduction

Global agriculture confronts critical challenges driven by population growth and the scarcity of vital resources, particularly water and soil. In Iran, these pressures are exacerbated by climatic volatility and a reliance on imported protein inputs, rendering the adoption of resilient, low-input forage legumes essential. The pea (*Pisum sativum* L.) is a promising candidate owing to its genetic diversity, high biomass potential, and soil-improving properties via nitrogen fixation. Nevertheless, the scarcity of improved varieties adapted to Iran's diverse climates constrains its cultivation. Successful production depends on selecting cultivars with robust vegetative growth and delayed physiological maturity to maximize dry matter accumulation. However, these traits are governed by complex interactions between genetic factors and environmental variables, such as temperature and photoperiod. Furthermore, forage quality typically declines with maturity due to lignification. Consequently, a comprehensive multi-environmental evaluation is essential to identify cultivars that achieve an optimal balance of high yield, stability, and nutritional quality. The objective of this study is to address existing knowledge gaps via a rigorous multi-year, multi-location trial that assesses agronomic performance, stability, and forage quality of distinct pea cultivars across the varied agro-ecological zones of Iran.

Materials and Methods

A field experiment was conducted across four representative locations: Karaj (cold semi-arid), Gorgan (humid Caspian), Kermanshah (cold semi-arid Mediterranean), and Parsabad (warm semi-arid temperate) during the 2023-2024 and 2024-2025 growing seasons. The study utilized a randomized complete block design with four replications to evaluate two imported forage pea cultivars from Turkey, namely Zerre and Gap pembesi, alongside registered cultivars (Arda, Beren, and Tashkent). Agronomic management, including irrigation and weed control, was uniformly applied across all treatments in accordance with local recommendations. Evaluated traits included fresh and dry forage yield, plant height, establishment percentage, and phenological characteristics. To assess nutritional quality, random samples of approximately 500 grams were collected from the first harvest. Following drying and milling, qualitative parameters, including crude protein (CP), water-soluble carbohydrates (WSC), crude fiber (CF), acid detergent fiber (ADF), and total ash content, were analyzed using near-infrared spectroscopy (NIRS; PerCon Inframatic 8620). Statistical analysis involved a combined analysis of variance (ANOVA) across years and locations using SAS software (version 9.4). Mean comparisons were performed using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% probability level. Additionally, GGE-biplot analysis was employed to assess cultivar stability and cultivar-by-environment interaction.

Results and Discussion

Analysis of variance revealed significant effects for location, year, cultivar, and their interactions on most traits, highlighting the substantial impact of environmental heterogeneity on forage pea performance. Descriptive statistics showed high variability in yield traits, reflecting considerable genetic diversity and environmental sensitivity. The location effect was particularly pronounced for yield; Gorgan exhibited the highest fresh and dry forage yields due to its favorable humid climate and fertile soil, while Karaj showed the lowest yields, likely due to moisture limitations and heat stress. Kermanshah and Parsabad demonstrated intermediate performance with acceptable stability. Among the cultivars, Gap pembesi distinguished itself with the highest fresh and dry yields, superior plant height, and establishment percentage. Its late-maturing phenotype extended the vegetative period, facilitating greater photosynthetic accumulation. GGE-biplot analysis confirmed its broad adaptability and general superiority. Beren ranked second, driven by vigorous vegetative growth and strong regrowth ability. Conversely, early-maturing cultivars, Tashkent and Arda, produced lower biomass. While their shorter cycle suits regions with constrained growing seasons, their yield potential was lower in this study. Zerre demonstrated a superior nutritional profile, with high CP, optimal WSC, and moderate ADF, resulting in high digestibility. In contrast, Gap pembesi exhibited higher fiber fractions, resulting in lower digestibility compared to Zerre. Tashkent exhibited the lowest nutritional quality. These findings suggest that while late-maturing cultivars like Gap pembesi are ideal for maximizing biomass, cultivars like Zerre offer superior forage quality essential for animal nutrition.

Conclusions

This comprehensive multi-environment study provides key insights into the agronomic and qualitative performance of forage pea cultivars in Iran. The observed substantial cultivar-by-environment interaction dictates the need for region-specific cultivar recommendations. Based on the integration of yield data, stability analysis, and nutritional quality assessments, Gap pembesi is identified as the superior cultivar for general cultivation. Its outstanding biomass yield, plant height, establishment rate, and wide adaptability across different climates position it as a top choice for enhancing domestic forage output. Beren is also recommended as a complementary cultivar, particularly for temperate regions, due to its vigorous vegetative growth and regrowth capacity. However, for

farming systems prioritizing forage quality over sheer biomass quantity, Zerre offers a distinct advantage with its high protein content and superior digestibility. Ultimately, decisions regarding cultivar selection must be based on production targets, regional climate, and growing season duration. This study establishes a solid foundation for future breeding programs and extension services by promoting the adoption of high-yielding, stable, and qualitatively superior forage pea cultivars to ensure the sustainability of Iran's livestock sector.

This study lays a solid foundation for future breeding programs and extension services, promoting the adoption of high-yielding, stable, and qualitatively superior forage pea cultivars to ensure the sustainability of Iran's livestock sector.

Keywords: Nutritional value, Yield stability, Climatic adaptation, Winter legumes.



ارزیابی ارزش زراعی و شاخص‌های کیفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای (*Pisum sativum* L.) در مناطقی با شرایط اقلیمی متفاوت در ایران

نیما خالدی^{۱*}، محمد رحمانی^۲، فرشید حسینی^۳، علی شایان فر^۴، سامان شیدائی^۵

*۱. نویسنده مسئول، استادیار، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج،

ایران. رایانامه: n_khaledi@areeo.ac.ir

۲. محقق، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

mrf_1351@yahoo.com

۳. دانشیار، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

farshid_hs2000@yahoo.com

۴. استادیار، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

ali.shayanfar13@gmail.com

۵. استادیار، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه:

saman_sheidaee@yahoo.com

آدرس پستی: استان البرز، کرج، بلوار علامه جعفری، نشن خیابان صمیمی (کلکسیون)، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و

نهال

چکیده

با توجه به محدودیت فزاینده منابع آبی و خاکی و ضرورت کاهش وابستگی به واردات نهاده‌های پروتئینی، توسعه کشت لگوم‌های علوفه‌ای زمستانه با سازگاری اقلیمی بالا، به‌عنوان راهکار اساسی برای تضمین پایداری در تولید علوفه به‌شمار می‌رود. از این‌رو، نخودفرنگی علوفه‌ای به‌واسطه توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، ارتقای حاصلخیزی خاک و تولید علوفه با ارزش تغذیه‌ای بالا، جایگاهی ویژه در نظام‌های تناوبی کشاورزی ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف ارزیابی جامع عملکرد، پایداری و شاخص‌های کیفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای طی دو سال زراعی در چهار منطقه کرج، گرگان، کرمانشاه و پارس‌آباد اجرا گردید. مواد گیاهی شامل ارقام زرّه و گاپ‌پمبسی و سه رقم مرجع (آردا، برن و تاشکند) بودند که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد علوفه، صفات فنولوژیک و رشدی، و همچنین شاخص‌های کیفی نظیر پروتئین خام، فیبر و خاکستر کل بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات مکان، سال و برهم‌کنش رقم در محیط بر اغلب صفات معنی‌دار بود، که این امر بیانگر حساسیت ارقام به نوسانات محیطی می‌باشد. نتایج نشان داد که رقم گاپ‌پمبسی با میانگین $8312/2$ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد علوفه خشک را داشت که ۵۶ درصد بیشتر از رقم زرّه ($5327/6$ کیلوگرم در هکتار) بود. از نظر کیفی، رقم زرّه با $14/97$ درصد پروتئین خام و $3/97$ درصد کربوهیدرات محلول در آب ارزش تغذیه‌ای بالاتری داشت، در حالی که رقم گاپ‌پمبسی با $45/15$ درصد فیبر نامحلول قابلیت هضم کمتری نشان داد. میانگین ارتفاع بوته در ارقام از ۹۱

زره) تا ۱۲۱ (گاپمبسی) سانتی متر متغیر بود. تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد علوفه خشک دارد. بر اساس یافته‌ها، رقم گاپمبسی با دارا بودن بالاترین عملکرد علوفه، استقرار مطلوب و سازگاری گسترده در تمامی محیط‌های آزمایشی، به عنوان برترین رقم از نظر کمیت و پایداری شناسایی شد. ارزیابی شاخص‌های کیفی نشان داد که رقم زره با ترکیبی متعادل از پروتئین خام بالاتر و فیبر نامحلول کمتر، از ارزش تغذیه‌ای برتری برخوردار است؛ در حالی که ارقام با عملکرد بالا نظیر گاپمبسی قابلیت هضم پایین‌تری داشت. به طور کلی، نتایج این پژوهش تأکید می‌کند که برنامه‌ریزی برای توسعه کشت ارقام در مناطق مختلف، نیازمند توجه هم‌زمان به پایداری عملکرد و شاخص‌های کیفی علوفه است.

واژه‌های کلیدی: ارزش تغذیه‌ای، پایداری عملکرد، سازگاری اقلیمی، لگوم‌های زمستانه.

مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد فزاینده جمعیت و محدودیت روزافزون منابع آب و خاک، تأمین پایدار علوفه با کیفیت را به یکی از مسائل راهبردی و چالش‌های اساسی کشاورزی تبدیل کرده است. در ایران، چالش‌هایی نظیر کاهش دسترسی به منابع آب تجدیدپذیر، تغییرپذیری اقلیم و وابستگی قابل توجه به واردات نهاده‌های پروتئینی از جمله کنجاله سویا، ضرورت بازنگری در الگوهای تولید و بهره‌گیری از گیاهان زراعی کم‌نهاده و سازگار با شرایط دیم را بیش از پیش آشکار ساخته است. در این چارچوب، لگوم‌های علوفه‌ای به دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش کارایی سامانه‌های زراعی، از جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های کشاورزی پایدار برخوردارند (Peoples et al., 2009). این گیاهان با کاهش وابستگی به کودهای نیتروژنی شیمیایی و ارتقای حاصلخیزی خاک، می‌توانند به بهبود بهره‌وری و پایداری تولید در اکوسیستم‌های زراعی کمک کنند (Herridge et al., 2008).

نخودفرنگی^۱ به عنوان یکی از گونه‌های مهم تیره باقلاییان^۲، از تنوع ژنتیکی قابل توجهی در تیپ‌های دانه‌ای و علوفه‌ای برخوردار است (Asci et al., 2015). تیپ‌های علوفه‌ای این گیاه به دلیل رشد رویشی مطلوب، توان تولید زیست‌توده بالا، نسبت مناسب برگ به ساقه و کیفیت تغذیه‌ای قابل قبول، در بسیاری از مناطق معتدل جهان مورد کشت و بهره‌برداری قرار می‌گیرند (Haliloglu et al., 2022). این گیاه از طریق همزیستی مؤثر با باکتری‌های ریزوبیوم قادر است مقادیر قابل توجهی نیتروژن اتمسفری را تثبیت کرده و بدین ترتیب بخشی از نیاز نیتروژنی سامانه‌های زراعی را تأمین کند (Tsialtas et al., 2018). افزون بر این، بقایای گیاهی نخودفرنگی به دلیل نسبت پایین کربن به نیتروژن، با سرعت بیشتری تجزیه شده و از طریق تسریع چرخه عناصر غذایی، نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی و پایداری خاک ایفا می‌کنند (Şenbek et al., 2025).

بر اساس آخرین آمار منتشرشده توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، میزان تولید جهانی انواع نخودفرنگی در سال ۲۰۲۴ حدود ۲۲ میلیون تن و سطح زیر کشت آن نزدیک به ۲/۶ میلیون هکتار گزارش شده است (FAOSTAT, 2026). در ایران، اگرچه آمار تفکیک‌شده‌ای برای سطح زیر کشت و تولید تیپ‌های علوفه‌ای نخودفرنگی در دسترس نیست، مجموع سطح زیر کشت و میزان برداشت این محصول به ترتیب حدود ۲/۸ هزار هکتار و ۱۶/۲ هزار تن برآورد شده است (FAOSTAT, 2026).

¹ *Pisum sativum* L.

² Fabaceae

در تیپ‌های علوفه‌ای نخودفرنگی، انتخاب ارقامی با رشد رویشی قوی و تأخیر نسبی در رسیدگی فیزیولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا این ویژگی‌ها ارتباط مستقیمی با افزایش تولید ماده خشک و بهبود کیفیت علوفه دارند. افزایش طول دوره رشد رویشی پیش از ورود به فاز زایشی، از طریق گسترش سطح فتوسنتزی، زمینه تولید زیست‌توده بیشتر را فراهم می‌کند. با این حال، تداوم و کارایی این فرایند به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی، به‌ویژه دما و طول روز قرار دارد (Weller & Ortega, 2015). ژن‌های تنظیم‌کننده گلدهی در گیاه نخودفرنگی علوفه‌ای حساسیت بالایی به فتوپریود و شرایط محیطی دارند و این پاسخ‌های فیزیولوژیک نقش تعیین‌کننده‌ای در زمان انتقال از رشد رویشی به مرحله زایشی ایفا می‌کنند (Weller et al., 2012). علاوه بر این، وقوع تنش گرمایی در مرحله گل‌دهی می‌تواند با کاهش زنده‌مانی گرده، اختلال در فرآیند لقاح و درنهایت افت تولید زیست‌توده و کیفیت علوفه همراه باشد (Bueckert et al., 2015). بنابراین، دستیابی به ارقام برتر و پایدار مستلزم ارزیابی دقیق واکنش آن‌ها نسبت به تغییرات دمایی و الگوی بارندگی در شرایط اقلیمی متنوع کشور است.

از منظر کیفی نیز ارزش تغذیه‌ای علوفه نخودفرنگی متأثر از شاخص‌هایی نظیر درصد پروتئین خام، اجزای دیواره سلولی شامل فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، میزان لیگنین و کربوهیدرات‌های محلول است (Mirza & Çopur Doğrusöz, 2024; Yüksel & Türk, 2019). درصد پروتئین خام در مراحل آغازین رشد گیاه در سطح بالاتری قرار دارد، اما با افزایش سن گیاه، افزایش سهم ساقه و تشدید فرآیند لیگنینی شدن، روندی کاهشی نشان می‌دهد (Türk & Albayrak, 2012). بر این اساس، تعیین زمان بهینه برداشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به‌گونه‌ای که مرحله ۵۰ درصد گلدهی به‌عنوان زمان مناسب برای دستیابی به تعادل مطلوب میان کمیت و کیفیت علوفه معرفی شده است (Çaçan et al., 2019). از این رو، انتخاب ارقام برتر در برنامه‌های به‌نژادی و مدیریت زراعی باید با رویکردی چندمعیاره و بر پایه ارزیابی هم‌زمان عملکرد زیست‌توده و شاخص‌های کیفی انجام گیرد (Mirza & Çopur Doğrusöz, 2024).

صفات رشدی و عملکردی در نخودفرنگی علوفه‌ای، همانند سایر گونه‌های زراعی، تحت تأثیر اثرات اصلی ارقام، محیط و برهم‌کنش ارقام در محیط قرار دارند. زمانی که سهم اثر برهم‌کنش ارقام در محیط بالا باشد، رتبه‌بندی ارقام در محیط‌های مختلف دستخوش تغییر می‌شود و معرفی یک رقم با سازگاری عمومی به چالشی مهم تبدیل می‌گردد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که در نخودفرنگی علوفه‌ای سهم اثر محیط و تعامل ارقام در محیط می‌تواند نقش قابل توجهی در تغییرات عملکرد ایفا کند؛ به‌طوری که تحلیل‌های چندمحیطی نشان داده‌اند که اثرات ارقام، محیط و برهم‌کنش ارقام در محیط به‌طور معنی‌داری بر عملکرد تأثیرگذار هستند (Hu et al., 2025; Kebede et al., 2024).

از دیدگاه ژنتیک کمی، برهم‌کنش ارقام در محیط می‌تواند ناشی از تفاوت در حساسیت ارقام نسبت به عوامل محیطی یا وجود سازوکارهای فیزیولوژیک متفاوت در پاسخ به تنش‌ها باشد. در چنین شرایطی، استفاده از مدل‌های آماری چندمتغیره امکان تفکیک اثرات اصلی و برهم‌کنش را فراهم کرده و شناسایی ارقامی پایدار و سازگار را تسهیل می‌کند (Haile et al., 2022). این رویکردها به‌ویژه در برنامه‌های معرفی رقم اهمیت دارند، جایی که هدف انتخاب ارقامی با عملکرد بالا و ثبات نسبی در طیف وسیعی از محیط‌ها است.

طبق دستورالعمل‌های ثبت رقم، آزمون‌های تعیین ارزش زراعی و مصرف مستلزم ارزیابی دقیق عملکرد، پایداری، سازگاری اقلیمی و شاخص‌های کیفی در مقایسه با ارقام شاهد در شرایط محیطی متنوع هستند. فقدان چنین ارزیابی‌هایی در طیف گسترده‌ای از اقلیم‌های کشور،

فرآیند انتخاب و معرفی ارقام را با محدودیت مواجه کرده است. بر این اساس، انجام مطالعات چندمحیطی مبتنی بر تحلیل برهم‌کنش ارقام در محیط، به‌عنوان پیش‌نیازی اساسی برای شناسایی و معرفی ارقام علوفه‌ای نخودفرنگی با سازگاری عمومی یا اختصاصی، ضروری به نظر می‌رسد (Sayar & Han, 2016; Greveniotis et al., 2022).

در ایران، با وجود پتانسیل اقلیمی مناسب برای توسعه لگوم‌های زمستانه در تناوب با غلات، اطلاعات مستند و نظام‌مندی درباره ارزیابی چندمحیطی تیپ‌های علوفه‌ای نخودفرنگی محدود است و بیشتر پژوهش‌ها به تیپ‌های دانه‌ای یا به ارزیابی در یک یا دو محیط محدود شده‌اند. علاوه بر این، تاکنون هیچ رقم علوفه‌ای اصلاح‌شده و ثبت‌شده‌ای از نخودفرنگی با پشتوانه اطلاعات جامع چندساله و چندمحیطی در قالب آزمون تعیین ارزش زراعی معرفی نشده است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع عملکرد علوفه‌تر و خشک، تحلیل صفات کیفی مؤثر بر ارزش غذایی و ارزیابی برهم‌کنش ارقام در محیط انجام شد تا ارقام برتر و پایدار نخودفرنگی علوفه‌ای شناسایی و زمینه علمی لازم برای معرفی ارقام مناسب فراهم شود.

مواد و روش‌ها

شرایط محل اجرا و طرح آزمایشی

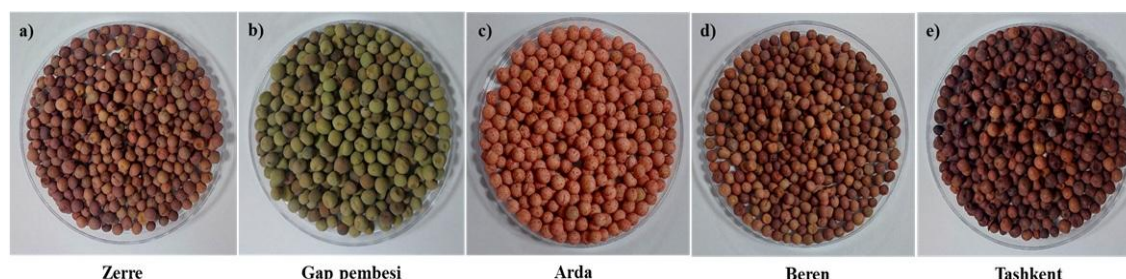
این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در چهار منطقه با اقلیم‌های متفاوت شامل کرج، گرگان، کرمانشاه و پارس‌آباد (مغان) انجام شد. این مناطق به‌ترتیب نماینده اقلیم‌های نیمه‌خشک سرد، معتدل مرطوب خیزی، معتدل سرد نیمه‌مرطوب با الگوی مدیریتانه‌ای و معتدل گرم نیمه‌مرطوب هستند. آزمایش‌ها در هر منطقه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. اطلاعات هواشناسی مربوط به این مناطق طی فصل‌های زراعی مورد مطالعه در [جدول ۱](#) ارائه شده است.

جدول ۱ - اطلاعات هواشناسی مناطق مورد بررسی طی فصل‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴
Table 1. Meteorological data of the experimental locations during the 2022-2023 and 2023-2024 growing seasons

فصل زراعی Growing seasons	مکان‌های اجرای آزمایش Experimental locations	بارش سالیانه (میلی‌متر) Annual precipitation (mm)	رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	میانگین دمای سالیانه (درجه سلسیوس) Mean annual temperature (°C)	ساعات آفتابی Sunshine hours	کمینه مطلق دما (درجه سلسیوس) Absolute minimum temperature (°C)	بیشینه مطلق دما (درجه سلسیوس) Absolute maximum temperature (°C)
۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-2024	پارس‌آباد (مغان) Parsabad (Moghan)	280	55	16	2100	-12	37
	کرمانشاه Kermanshah	330	50	17	2200	-9	39
	کرج Karaj	265	45	18.5	2200	-6.5	38
	گرگان Gorgan	430	65	18	2050	-10	43
۱۴۰۴-۱۴۰۳ 2024-2025	پارس‌آباد (مغان) Parsabad (Moghan)	255	53	16.8	2050	-11	37.5
	کرمانشاه Kermanshah	245	50	17.8	2150	-9	40
	کرج Karaj	305	43	19	2150	-5.5	39
	گرگان Gorgan	390	63	18.8	2000	-9	44

مواد گیاهی و مدیریت زراعی

مواد گیاهی مورد استفاده در این مطالعه شامل دو رقم وارداتی نخودفرنگی علوفه‌ای به نام‌های زرّه^۱ و گاپ‌پمبسی^۲ از کشور ترکیه و همچنین سه رقم آردا^۳، برن^۴ و تاشکند^۵، که پیش از این در فهرست ملی ارقام گیاهی کشور در سال ۱۴۰۴ ثبت شده بود، به‌عنوان ارقام مرجع می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- نمونه‌های بذری ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای

(a) زرّه، (b) گاپ‌پمبسی، (c) آردا، (d) برن و (e) تاشکند

Figure 1. Seed samples of forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivars (a) Zerreh, (b) Gap pembesi, (c) Arda, (d) Beren, and (e) Tashkent

ارقام مورد بررسی از نظر دوره رشد به سه گروه دیررس (گاپ‌پمبسی)، متوسط‌رس (زرّه و برن) و زودرس (آردا و تاشکند) تقسیم می‌شوند. برای تعیین نیاز کودی هر منطقه، پیش از اجرای آزمایش، نمونه‌های مرکب خاک جمع‌آوری شده و به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل گردید. نتایج حاصل از این بررسی‌ها در **جدول ۲** ارائه شده است. بر اساس نتایج آنالیز خاک (جدول ۲)، کود اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در تمام مناطق به عنوان کود پایه مصرف شد. کود سوپرفسفات تریپل فقط در کرمانشاه (۷۰ کیلوگرم) و کرج (۶۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف گردید و در پارس‌آباد و گرگان مصرف نشد. هیچ گونه کود پتاسه‌ای در هیچ منطقه‌ای استفاده نشد.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصات مکان‌های اجرای آزمایش

Table 2. Physicochemical properties of soil and characteristics of the experimental locations

مکان‌های اجرای آزمایش Experimental locations	مختصات جغرافیایی Geographical coordinates	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m above sea level)	تاریخ کاشت Sowing date		خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک Physicochemical properties of soil sample						
			سال دوم Sowing date (Year 2)	سال اول Sowing date (Year 1)	بافت خاک Soil texture	EC (dS.m ⁻¹) شوری (دسی زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد) OC (%)	نیتروژن کل (درصد) TN (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته خاک pH
پارس‌آباد (مغان) Parsabad (Moghan)	39° 65' 18" N	40	۱۴۰۳/۰۹/۲۷	۱۴۰۲/۰۹/۰۷	لوم رسی	1.6	1.2	0.12	128.9	29.3	7.9
	47° 92' 52" E		2024/12/17	2023/11/28	Clay Loam						
کرمانشاه Kermanshah	34° 27' 47" N	1320	۱۴۰۳/۰۸/۲۶	۱۴۰۲/۰۸/۲۱	لوم رسی	1.7	1.2	0.13	159.7	14.2	7.5
	46° 80' 13" E		2024/11/16	2023/11/11	Clay Loam						
کرج	35° 82' 58" N	1300	۱۴۰۳/۰۸/۱۲	۱۴۰۲/۰۸/۱۴	لوم رسی	1.5	1.1	0.11	124.5	14.9	7.8

¹ Zerreh

² Gap pembesi

³ Arda

⁴ Beren

⁵ Tashkent

Karaj	50° 97' 26" E	2024/11/02	2023/11/04	Clay Loam						
گرگان	36 84' 15" N	۱۴۰۳/۰۸/۲۸	۱۴۰۲/۰۸/۲۲	لوم سیلتی	1.5	1.4	0.18	161.2	28.6	7.2
Gorgan	54° 43' 08" E	2024/11/18	2023/11/13	Silty Loam						

هر یک از رقم‌ها در هر کرت شامل هشت ردیف به طول شش متر با فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر کشت و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف چهار سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرها به صورت دستی و در عمق چهار تا پنج سانتی‌متر کاشته شدند. زمان کاشت بر اساس میانگین دمای روزانه (دمای مناسب برای جوانه‌زنی)، شروع بارندگی‌های پاییزه در هر منطقه و توصیه‌های کشاورزی محلی تعیین شد (جدول ۲). آبیاری بر اساس زمان آبیاری بر اساس شرایط اقلیمی هر منطقه و با فاصله آبیاری ۷ تا ۱۴ روز (بسته به میزان بارندگی و دمای هوا) انجام شد. بلافاصله پس از کاشت، یک نوبت آبیاری سبک برای اطمینان از سبز شدن یکنواخت انجام شد. کنترل علف‌های هرز و سایر عملیات زراعی به طور یکنواخت در تمامی تیمارها اعمال گردید.

اندازه‌گیری صفات زراعی و عملکردی

بازدید و یادداشت‌برداری در مراحل مختلف رشد گیاه انجام شد (شکل ۲) و صفات زراعی کلیدی شامل ارتفاع بوته در زمان برداشت چین اول (سانتی‌متر)، توانایی رشد مجدد (اندازه‌گیری ارتفاع مجدد بوته‌ها، ۱۴ روز پس از چین اول و کف‌بر کردن تا ارتفاع ۵ سانتی‌متری، با متر نواری از سطح خاک تا انتهای جوانه انتهایی، بر حسب سانتی‌متر)، عملکرد علوفه‌تر و خشک (کیلوگرم در هکتار)، درصد استقرار بوته (نسبت بوته‌های سبز شده به تعداد بذر کاشته شده در مرحله سه تا چهار برگی)، طول دوره سبز شدن (تعداد روز تا سبز شدن ۵۰ درصد بوته‌ها)، طول دوره گلدهی (شامل تعداد روز تا شروع گلدهی و گلدهی ۵۰ درصد بوته‌ها) و تعداد روز از کاشت تا برداشت بر اساس دستورالعمل فنی آزمون‌های تعیین ارزش زراعی ارقام نیامداران علوفه‌ای (Rahmani et al., 2025) اندازه‌گیری شد. برداشت علوفه در مرحله ظهور اولین غلاف انجام شد. این مرحله به عنوان مناسب‌ترین زمان برداشت نخودفرنگی علوفه‌ای از نظر دستیابی به بیشترین عملکرد ماده خشک و بهترین کیفیت علوفه می‌باشد. برای اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی، ۲۰ گیاه به طور تصادفی از هر کرت انتخاب شد. برای برآورد عملکرد، ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت و دو ردیف حاشیه‌ای حذف و سطح باقی‌مانده به عنوان سطح مفید برداشت در نظر گرفته شد. عملکرد علوفه‌تر از توزین کل سطح مفید پس از برداشت محاسبه گردید و برای تعیین عملکرد خشک، نمونه‌ای از علوفه برداشت‌شده در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شد تا وزن ثابت حاصل شود؛ سپس عملکرد خشک محاسبه گردید.



شکل ۲- وضعیت کلی مزرعه تحقیقاتی نخودفرنگی علوفه‌ای

(a) مقایسه ظاهری وضعیت ارقام مختلف، (b) استقرار بوته و (c) برداشت علوفه و تعیین عملکرد

Figure 2. General status of forage pea research farm

(a) Comparison of appearance of different varieties, (b) plant establishment, and (c) harvesting of forage and determining yield

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت علوفه

برای تعیین کیفیت علوفه، حداقل ۵۰۰ گرم نمونه از هر تیمار در چین اول به صورت تصادفی برداشت شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس آسیاب شده و از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. صفات کیفی شامل درصد پروتئین خام^۱، کربوهیدرات‌های محلول در آب^۲، فیبر خام^۳، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی^۴ و خاکستر کل^۵ با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک^۶ در طول موج ۲۴۰۰-۵۰۰ نانومتر بر اساس روش شرح داده شده توسط جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) اندازه‌گیری شد.

¹ Crude protein

² Water solution carbohydrate

³ Crude fiber

⁴ Acid detergent fiber

⁵ Ashes

⁶ مدل 8620 Inframatic PerCon

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس مرکب برای دو سال و چهار منطقه و مقایسه میانگین‌ها در هر منطقه به‌طور جداگانه با روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS (version 9.4) انجام شد. به‌منظور ارزیابی پایداری و بررسی برهم‌کنش ارقام در محیط، تحلیل GGE-biplot انجام شد. همچنین رتبه‌بندی ارقام و محاسبه انحراف معیار عملکرد در محیط‌های مختلف برای شناسایی ارقام برتر و پایدار صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی چندمحیطی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای از نظر عملکرد و ارزش زراعی

شاخص‌های آماری توصیفی نشان داد که پراکنش صفات عملکردی از جمله عملکرد علوفه‌تر و خشک، نسبتاً زیاد بوده است که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه ارقام و همچنین اثرپذیری آن‌ها از شرایط محیطی است (جدول ۳). مقادیر چولگی و کشیدگی نزدیک به صفر حاکی از انطباق مناسب داده‌ها با توزیع نسبتاً نرمال بوده و آزمون بارتلت نیز همگنی واریانس‌ها را پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب تأیید کرد (جدول ۳).

جدول ۳- شاخص‌های آماری توصیفی و ارزیابی امکان انجام تجزیه مرکب در ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای

Table 3. Descriptive statistical parameters and assessment of the assumptions for combined analysis of variance in forage pea cultivars

Statistic	آماره	استقرار بوته Plant establishment	ارتفاع بوته در چین اول Plant height at first cutting	ارتفاع بوته در چین دوم Plant height at second cutting	عملکرد تر Fresh yield	عملکرد خشک Dry yield	سبز Sowing emergence	کاشت تا شروع شدن Sowing beginning flowering	کاشت تا گلدهی گلدهی Sowing to 50% flowering	کاشت تا برداشت Sowing to harvest
Mean	میانگین	88.7	106	17.1	19170	6826	19.2	6.83	16.6	168
Standard deviation	انحراف معیار	15.4	40.5	6.96	6888	2157	6.88	2.16	3.78	18.3
Coefficient of variation (%)	ضریب تغییرات (درصد)	17.4	38.3	40.9	35.9	31.6	35.9	31.6	22.8	10.9
Skewness	چولگی	-1.36	0.356	0.432	0.943	1.17	0.947	1.17	-0.409	0.772
Kurtosis	کشیدگی	0.273	-1.32	-0.48	-0.50	0.471	-0.506	0.479	-0.517	0.109
Bartlett's chi-square	مقدار کای اسکور آزمون بارتلت	14.9	47.4	81.7	125	103	4.67	29.8	29.5	21.7
Significance level of chi-square	احتمال معنی‌داری کای اسکور	0.31 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.0005 ^{**}	<0.0001 ^{**}	<0.0001 ^{**}	1.00 ^{ns}	0.85 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.98 ^{ns}

^{ns}، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}، * and ** indicate non-significant differences and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر مکان، سال، رقم و برهم‌کنش‌های آن‌ها برای اکثر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴ - نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای در چهار مکان و دو سال
Table 4. Combined analysis of variance for traits of forage pea cultivars evaluated across four locations and two years

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	استقرار بوته Plant establishment	ارتفاع بوته در چین اول Plant height at first cutting	ارتفاع بوته در چین دوم Plant height at second cutting	عملکرد تر Fresh yield	عملکرد خشک Dry yield	کاشت تا سبز شدن Sowing emergence	کاشت تا شروع گلدهی Sowing beginning to of flowering	کاشت تا ۵۰ درصد گلدهی Sowing to 50% flowering	کاشت تا برداشت Sowing to harvest
مکان Location	3	11498.3**	77260.4**	1004.1**	2007275023**	154664432.4**	2007.3**	154.7**	361.2**	10087.8**
سال Year	1	525.6**	10.51 ^{ns}	10.00 ^{ns}	1202702 ^{ns}	116100.6 ^{ns}	1.20*	0.12 ^{ns}	7.22**	3204.1**
مکان در سال Location × Year	3	580**	1336**	77.88**	8980009**	1368561.8**	8.98**	1.37**	8.54**	1814.3**
بلوک (مکان در سال) Block (Location × Year)	24	0.94 ^{ns}	9.92 ^{ns}	4.08 ^{ns}	217746 ^{ns}	62807.8 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.97 ^{ns}
رقم Cultivar	4	41.3**	3913.5**	671.5**	272601642**	49134430.8**	272.6**	49.13**	148.32**	1699.2**
مکان در رقم Location × Cultivar	12	52.4**	636.6**	110.9**	30595971**	5646069.3**	30.59**	5.64**	36.63**	529.8**
سال در رقم Year × Cultivar	4	18.5**	8.83 ^{ns}	4.48 ^{ns}	136597 ^{ns}	23932.3 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.02 ^{ns}	10.88**	146.8**
مکان در سال در رقم Location × Year × Cultivar	12	11.9**	49.8**	4.28 ^{ns}	689185**	69603.8 ^{ns}	0.69**	0.07 ^{ns}	3.36**	50.5**
خطا Error	96	6.18	2.92	230138	47910.4	0.23	0.05	0.31	0.83	0.65
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		2.35	10.01	2.50	3.21	2.50	3.21	3.35	0.54	0.45

^{ns}, * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and ** indicate non-significant differences and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که رقم گاپ‌پمبسی (۸۳۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار) و زرّه (۵۳۲۷/۶ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد علوفه خشک را داشته و سایر ارقام در بین این دو قرار گرفتند. همچنین از نظر صفت عملکرد علوفه‌تر، رقم گاپ‌پمبسی (۲۳۶۴۹ کیلوگرم در هکتار) و رقم زرّه (۱۶۰۲۲ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را داشتند. برتری رقم گاپ‌پمبسی از نظر عملکرد علوفه خشک می‌تواند ناشی از توانایی ژنتیکی بالاتر این رقم در جذب و انتقال مواد فتوسنتزی باشد که با یافته‌های سیدلاوسکاس و برنوتاس (Sidlauskas & Bernotas, 2003) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که عملکرد گیاه و فرآیند تشکیل آن، همواره تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، محیطی و برهم‌کنش‌های آن‌ها قرار می‌گیرد. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر مکان در تمامی صفات مورد بررسی به‌ویژه در صفات عملکردی برجسته بود که نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده شرایط اقلیمی و مدیریتی در چهار منطقه آزمایشی است؛ این یافته با مشاهدات آنیچاریکو و همکاران (Annicchiarico et al., 2002) در خصوص تأثیر محیط روی صفات زراعی گیاهان علوفه‌ای مطابقت دارد. دادرس و همکاران (Dadras et al., 2020) گزارش کردند که عدم وجود اختلاف معنی‌دار در صفات مورد بررسی طی دو سال متوالی ارزیابی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای می‌توان ناشی از مشابه بودن تقریبی شرایط آب و هوایی باشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار میان ارقام (اثر رقم در تمامی صفات) نشان‌دهنده پتانسیل مناسب برای گزینش ارقام برتر نخودفرنگی علوفه‌ای است. معنی‌دار بودن برهم‌کنش رقم در مکان در برخی صفات عملکردی و رشدی (جدول ۴) بیانگر آن است که واکنش ارقام در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و عملکرد ارقام تحت تأثیر تعامل رقم در محیط قرار می‌گیرد (Razmi et al., 2024). بنابراین، معرفی و توصیه ارقام برتر باید بر اساس پایداری عملکرد و سازگاری با شرایط هر منطقه صورت گیرد که با مشاهدات سایر محققان (Mohammadi, 2018; Yihunie & Gesesse, 2010; et al., 2010) مطابقت دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر ارتفاع بوته، عملکرد علوفه‌تر و خشک معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز تأیید کرد که میانگین این صفات در سال زراعی اول (۱۴۰۲-۱۴۰۳) و سال زراعی دوم (۱۴۰۳-۱۴۰۴) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). در این پژوهش، گرچه به دلیل شرایط نسبتاً پایداری جوی در دو سال آزمایش، تفاوت معنی‌داری بین دو سال مشاهده نشد اما این ویژگی بیانگر پایداری ژنتیکی نسبی ارقام مورد بررسی است.

مقایسه میانگین مکان‌ها نشان داد که مناطق مختلف از نظر رشد و تولید تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۵). بیشترین عملکرد علوفه‌تر و خشک در منطقه گرگان ثبت شد. عملکرد علوفه‌تر در گرگان به ترتیب حدود ۴۸ درصد بیشتر از مغان، ۴۲ درصد بیشتر از کرمانشاه و ۵۲ درصد بیشتر از کرج بود. همچنین عملکرد علوفه خشک در گرگان به ترتیب حدود ۳۹ درصد بیشتر از مغان، ۲۸ درصد بیشتر از کرمانشاه و ۴۷ درصد بیشتر از کرج بود. این برتری عملکرد را می‌توان به اقلیم مرطوب، خاک حاصلخیز و شرایط مساعد رشد در منطقه گرگان نسبت داد که با یافته‌های تراشی و همکاران (Tarashi et al., 2020) مطابقت دارد. در مقابل، کمترین میزان عملکرد علوفه‌تر و خشک (به ترتیب ۱۴۲۱۷/۹ کیلوگرم در هکتار و ۵۰۲۸/۴ کیلوگرم در هکتار) در منطقه کرج ثبت شد که می‌تواند ناشی از محدودیت رطوبتی، دماهای بالاتر در دوره رشد و شرایط تنش‌زای محیطی در این منطقه باشد. مناطق کرمانشاه و مغان از نظر میزان عملکرد در سطح متوسط تا مطلوب قرار داشتند، بنابراین این مناطق از نظر پایداری رشد و ثبات تولید، وضعیت قابل قبولی داشتند.

ارتفاع بوته ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی قرار دارد و در یک محیط اختلاف ژنتیکی ارقام منجر به طول متفاوت بین آن‌ها می‌شود (Salehi Sheikhi et al., 2022). دادرس و همکاران (Dadras et al., 2020) گزارش کردند که ارتفاع بوته نقش معنی‌داری در بروز عملکرد و اختلاف بین ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای دارد که با مشاهدات این پژوهش مطابقت دارد. اختلاف عملکرد بین مناطق مختلف عمدتاً به برهمکنش رقم در محیط مربوط است و برخی ارقام (به‌ویژه رقم گاپ‌پمبسی) سازگاری عمومی بالایی دارند. مطالعات چندمحیطی نشان می‌دهند که سهم معنی‌داری از واریانس عملکرد به برهمکنش رقم در محیط اختصاص دارد و انتخاب رقم پایدار نیازمند آزمایش در چند سال و چند مکان است (Bocianowski et al., 2019; Das et al., 2019). این یافته مشابه نتایج این پژوهش در مورد رقم گاپ‌پمبسی است که در تمام مناطق عملکرد برتری نشان داد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بین ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای از نظر عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و ارتفاع بوته اختلاف معنی‌دار وجود دارد. رقم گاپ‌پمبسی در تمامی مناطق بالاترین میزان عملکرد علوفه تر و خشک (به‌ترتیب ۲۳۶۴۹/۰ کیلوگرم در هکتار و ۸۳۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار) را داشت و از نظر صفات رشدی مانند ارتفاع بوته (حدود ۱۲۱ سانتی‌متر) و درصد استقرار (حدود ۸۹ درصد) نیز برتر بود (جدول ۵). رقم برن با عملکرد علوفه خشک ۷۵۵۳/۷ کیلوگرم در هکتار (حدود ۹ درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی)، ارتفاع بوته حدود ۱۰۹ سانتی‌متر و توانایی رشد مجدد (بالاترین ارتفاع بوته در چین دوم حدود ۲۱ سانتی‌متر) در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۵). رقم آردا با عملکرد علوفه خشک ۷۱۴۳/۵ کیلوگرم در هکتار (حدود ۱۴ درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی) عملکرد متوسط اما پایداری نسبی نشان داد. ارقام زرّه و تاشکند نیز به‌ترتیب با عملکرد ۵۳۲۷/۶ و ۵۷۹۷/۶ کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب ۳۶ و ۳۰ درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی) عملکرد پایین‌تری داشتند، ولی استقرار قابل قبولی (به‌ترتیب حدود ۸۸ و ۹۰ درصد) از خود نشان دادند (جدول ۵). بنابراین، در شرایطی که هدف تولید کمی علوفه باشد، ارقام برن، آردا و گاپ‌پمبسی در مقایسه با ارقام زرّه و تاشکند برتری دارند. در انتخاب رقم برای تولید کمی علوفه، صفاتی مانند ارتفاع بلند و توانایی رشد مجدد مزیت محسوب می‌شوند (Senbek et al., 2025) که با یافته‌های این پژوهش مطابق دارد. ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای با دوره‌ی رشد طولانی در برخی شرایط محیطی (به‌ویژه در اقلیم‌های خنک‌تر یا با طول فصلی بالاتر) عملکرد نسبتاً بالاتری دارند (Parissi et al., 2022) که با یافته‌های حاصل از این پژوهش در خصوص رقم گاپ‌پمبسی که به‌عنوان دیرگل‌ترین و دیررس‌ترین رقم دارای بالاترین میزان عملکرد تر و خشک علوفه می‌باشد، مطابقت دارد. ارزیابی برهم‌کنش ارقام جدید در محیط‌های مختلف حائز اهمیت بوده و تفسیر برتری نهایی ارقام باید در چارچوب نتایج برهم‌کنش رقم در محیط و شاخص‌های پایداری انجام شود (Ahmadi et al., 2023). در مجموع، بر اساس میانگین عملکرد، رقم گاپ‌پمبسی به‌عنوان رقم برتر از نظر تولید علوفه و رقم برن به‌عنوان رقمی با قدرت رشد رویشی بالا قابل گزارش می‌شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای بر اساس تجزیه واریانس مرکب در سطوح عامل‌های مورد مطالعه

Table 5. Mean comparison of forage pea cultivars based on the combined analysis of variance in the levels of studied factors

عامل‌های مورد مطالعه Studied factors	سطح Level	بوته Plant establishment (%)	ارتفاع بوته در چین اول (سانتی‌متر) Plant height at first cutting (cm)	ارتفاع بوته در چین دوم (سانتی‌متر) Plant height at second cutting (cm)	عملکرد تر در (کیلوگرم هکتار) Fresh (kg ha ⁻¹)	عملکرد خشک در (کیلوگرم هکتار) Dry yield (kg ha ⁻¹)	کاشت تا سبز شدن (روز) Sowing to emergence (day)	کاشت تا شروع گلدهی (روز) Sowing to beginning of flowering (day)	کاشت تا ۵۰٪ گلدهی (روز) Sowing to 50% flowering (day)	کاشت تا برداشت (روز) Sowing to harvest (day)
سال Year	سال اول First Year	90.56 a	106.01 a	16.82 a	19083.0 a	6800.0 a	6.8 a	163.5 b	174.4 b	203.7 a
	سال دوم Second Year	86.93 a	105.50 a	17.31 a	19257.0 a	6853.9 a	6.9 a	172.1 a	184.3 a	208.1 a
LSD 5%		4.80	12.68	2.18	2157.7	675.58	1.18	5.56	5.64	4.99
مکان Location	پارس آباد Parsabad	95.40 b	125.30 b	13.60 c	15540.7 c	5854.0 c	17.5 b	154.1 b	165.4 d	199.5 c
	کرمانشاه Kermanshah	100.0 a	75.52 c	12.60 c	17295.4 b	6875.2 b	12.2 c	168.2 b	179.6 b	206.5 b
	کرج Karaj	63.50 c	63.97 d	18.60 b	14217.9 c	5028.4 d	17.6 b	190.1 a	201.6 a	224.9 a
	گرگان Gorgan	96.10 b	158.22 a	23.47 a	29626.4 a	9550.2 a	19.1 a	159.4 c	171.5 c	197.3 c
LSD 5%		2.06	5.99	2.43	1379.5	587.02	1.22	5.37	5.68	4.94
رقم Cultivars	زره Zerre	88.12 a	91.09 b	9.18 c	16022.0 c	5327.6 c	18.3 a	164.7 bc	177.1 bc	213.1 ab
	گاپ پمبسی Gap pembesi	88.68 a	121.21 a	18.56 ab	23649.0 a	8312.2 a	14.6 b	178.9 a	190.6 a	216.0 a
	آردا Arda	89.25 a	106.93 ab	19.28 ab	18962.0 bc	7143.5 b	17.9 a	163.1 c	174.8 bc	194.7 c
	برن Beren	87.34 a	108.75 ab	20.91 a	19918.0 b	7553.7 ab	18.2 a	171.8 ab	182.2 ab	207.0 b
	تاشکند Tashkent	90.34 a	100.78 b	17.41 b	17299.0 bc	5797.6 c	13.9 b	161.3 c	173.0 c	199.6 c
LSD 5%		7.70	19.63	2.81	3186.5	924.33	1.62	8.56	8.82	6.99

اعدادی که با حروف مختلف نشان داده شده‌اند با توجه به آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار داشتند.

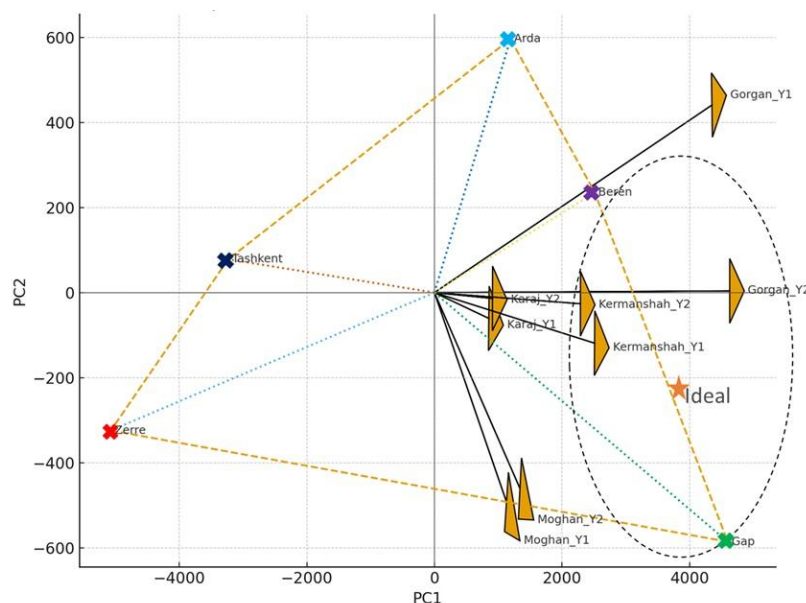
Different letters indicate significant differences according to least significant difference test at the level $P \leq 0.05$.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر مکان بر تمامی صفات فنولوژیک (روز تا جوانه‌زنی، روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) تفاوت معنی‌داری داشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کوتاه‌ترین دوره کاشت تا سبز شدن در کرمانشاه (۱۲ روز) و بلندترین آن در گرگان (۱۹ روز) بود که اختلافی حدود ۵۸ درصد را نشان می‌دهند (جدول ۵). دوره رشد گیاه در مناطق گرگان و پارس‌آباد به‌ترتیب ۱۹۷ روز و ۱۹۹ روز بود که به‌طور معنی‌داری کوتاه‌تر از مناطق کرج (۲۲۴ روز) و کرمانشاه (۲۰۶ روز) می‌باشد. به عبارت دیگر، طول دوره رشد در گرگان نسبت به کرج حدود ۲۷ روز (حدود ۱۴ درصد) کوتاه‌تر و نسبت به کرمانشاه حدود ۹ روز (حدود ۵ درصد) کوتاه‌تر بود (جدول ۵). در صورت بروز تنش محیطی، رشد رویشی و عملکرد نخودفرنگی علوفه‌ای کاهش می‌یابد، به‌نحوی که میزان این کاهش به‌شدت تنش و مرحله‌ای از نمو که تنش رخ می‌دهد، بستگی دارد (Neamat Mohammed et al., 2021). بنابراین انتخاب مکان مناسب (گرگان و پارس‌آباد) که در طول دوره رشد این گیاه کمتر تحت تنش محیطی قرار گرفته و یا کاشت ارقامی که دوره رشد کوتاه‌تری (ارقام تاشکند و آردا) برای فرار از شرایط نامساعد محیطی در این مناطق را داشته باشند، توصیه می‌گردد.

ارقام از نظر زمان گل‌دهی بسیار متفاوت بودند (جدول ۵). نتایج نشان داد که رقم گاپ‌پمبسی با ۲۱۶ روز دیررس‌ترین رقم بود که نسبت به رقم آردا (۱۹۴ روز) حدود ۲۲ روز (حدود ۱۱ درصد) و نسبت به رقم تاشکند (۱۹۹ روز) حدود ۱۷ روز (حدود ۸ درصد) دیرتر بود (جدول ۵). در مقابل، ارقام تاشکند (۱۹۹ روز) و آردا (۱۹۴ روز) به عنوان زودرس‌ترین ارقام شناسایی شدند (جدول ۵) که عملکرد کمتری داشتند (به ترتیب ۵۷۹۷/۶ و ۷۵۵۳/۷ کیلوگرم در هکتار) اما برای مناطق با فصل رشد کوتاه یا اقلیم‌های گرم‌تر گزینه اقتصادی محسوب می‌شوند. ارتباط مثبت بین دیرگل بودن و افزایش عملکرد نشان داد که طولانی‌تر شدن دوره فتوسنتز نقش مؤثری در افزایش بیوماس دارد، یافته‌ای که با مشاهدات دیگر محققان مطابقت دارد (Yucel, 2013).

شناسایی ارقام برتر و پایدار بر اساس تحلیل GGE-biplot

بر اساس تحلیل GGE-biplot نشان داد که در نمودار چندضلعی (الگوی برتری ارقام در محیط‌ها)، رقم گاپ‌پمبسی در رأس تمامی چندضلعی قرار گرفته و بخش وسیعی از محیط‌ها در برگرفته است که نشان‌دهنده برتری عمومی و سازگاری گسترده آن است (شکل ۳). این پدیده حاکی از ثبات عملکرد بالای رقم گاپ‌پمبسی در تمامی مناطق آزمون طی دو سال زراعی است. چنین الگویی از دیدگاه به‌نژادی، یکی از ویژگی‌های کلیدی برای معرفی رقم جدید محسوب می‌شود زیرا نشان می‌دهد رقم گاپ‌پمبسی در پاسخ به تغییرات محیطی رفتار سازگار و پایدار دارد. در مقابل، ارقام برن و آردا در داخل محدوده چندضلعی و دورتر از مرزهای آن قرار دارند که نشان‌دهنده عملکرد پایین‌تر و دامنه سازگاری محدودتر آن‌ها است (شکل ۳). ارقام برن و آردا رتبه‌های دوم و سوم را داشتند و از ثبات نسبی مناسبی برخوردار بودند، اگرچه میانگین عملکرد آن‌ها پایین‌تر از رقم گاپ‌پمبسی بود. در پژوهش‌های مختلفی از تحلیل GGE-biplot به‌منظور شناسایی ارقام برتر و ارزیابی ده ژنوتیپ نخودفرنگی طی سه سال متوالی در چهار مکان شمال اتیوپی (Yihunie & Gesesse, 2018) و هفت رقم نخودفرنگی طی دو سال متوالی در شهرستان طارم استفاده شده است (Dadras et al., 2020).



شکل ۳- نمودار چندضلعی (الگوی برتری ارقام در محیطها) مدل GGE-biplot برای عملکرد علوفه خشک ارقام نخودفرنگی
علوفه‌ای در محیطهای مختلف

Figure 3. Polygon view (which-won-where) of the GGE-biplot for dry yield of forage pea cultivars across environments

در مجموع، عملکرد علوفه نخودفرنگی تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی است و انتخاب رقم مناسب نیازمند بررسی چندساله و چندمکانه است (Dadras et al., 2020) که با مشاهدات این پژوهش مطابقت دارد. رقم گاپ‌پمبسی به‌عنوان رقم برتر از نظر عملکرد علوفه‌تر و خشک، ارتفاع بوته، درصد استقرار و پایداری عملکرد در تمامی مناطق شناسایی شد. ارقام برن و آردا نیز به‌عنوان ارقامی مکمل با رشد رویشی قوی و پایداری نسبی، گزینه‌های مناسبی برای شرایط خاص منطقه‌ای و برنامه‌های ترویج محسوب می‌شوند. نتایج نشان داد که معرفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای باید بر اساس شرایط اقلیمی، طول دوره رشد و پایداری عملکرد در هر منطقه انجام گیرد تا بیشترین بازدهی تولید علوفه حاصل شود. این پژوهش ضمن همسویی با یافته‌های شایان فر و همکاران (Shayanfar et al., 2025) برای ارقام مرجع (آردا، برن و تاشکند)، برای اولین بار عملکرد و کیفیت علوفه دو رقم جدید (زرّه و گاپ‌پمبسی) را در چهار منطقه مختلف ایران ارزیابی نموده است. آن‌ها گزارش کردند که ارقام برن و آردا پایداری بالاتری دارند و رقم تاشکند کمترین پایداری را نشان می‌دهد. ارزیابی واکنش ارقام در شرایط محیطی مختلف رشد گیاه از اهمیت بسزایی در کشت و کار نخودفرنگی دارد (Georgieva & Kosev, 2020). جمع‌بندی تحلیل‌های چندمحیطی نشان داد که انتخاب ارقام دیررس و پایدار در شرایط اقلیمی معتدل و نیمه‌خشک کشور می‌تواند راهبردی مؤثر برای افزایش پایداری تولید علوفه باشد. به‌طور کلی، نتایج این بخش نشان داد که عملکرد و پایداری تولید علوفه در ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی و شرایط اقلیمی مناطق مختلف قرار دارد.

تحلیل همبستگی بین صفات فنولوژیک و عملکردی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای

تحلیل همبستگی بین صفات فنولوژیک و عملکردی (جدول ۶) نشان داد که برخی از صفات مورد بررسی دارای روابط معنی‌دار آماری با یکدیگر هستند. بالاترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد علوفه تر و خشک مشاهده شد ($r = 0.99$, $p < 0.01$). این یافته از نظر اقتصادی حائز اهمیت است، زیرا اندازه‌گیری یکی از این دو صفت می‌تواند برای برآورد دیگری کافی است و هزینه‌های ارزیابی را

کاهش می‌دهد. از نظر صفات ریخت‌شناسی، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته در چین اول با عملکرد علوفه تر ($r = 0.96, p < 0.05$) و عملکرد علوفه خشک ($r = 0.95, p < 0.05$) وجود داشت که نشان‌دهنده نقش مؤثر ارتفاع بوته در افزایش تولید ماده خشک و عملکرد نهایی است. در زمینه نقش ارتفاع بوته به عنوان یکی از اجزای عملکرد در لگوم‌های علوفه‌ای همبستگی مثبت بین عملکرد علوفه با ارتفاع بوته گزارش شده است (Majidi & Arzani, 2012). این همبستگی، به روشنی تأیید می‌کند که ارتفاع بوته شاخصی معتبر برای برآورد توان رقابتی و ظرفیت انباشت ماده خشک در گیاه به شمار می‌رود. از نظر به‌نژادی، این رابطه به وضوح نشان‌دهنده آن است که انتخاب ژنوتیپ‌های بلندقامت، به‌طور غیرمستقیم اما مؤثر، با دستیابی به ارقامی دارای پتانسیل عملکرد برتر همراه خواهد بود؛ چراکه ارتفاع بیشتر، بستر فیزیولوژیکی مناسبی برای افزایش سطح فتوسنتز و جذب بهینه تابش خورشیدی فراهم می‌آورد. بررسی همبستگی صفات فنولوژیکی نشان داد که همبستگی بسیار قوی و معنی‌داری بین روز تا شروع گلدهی و تا ۵۰ درصد گلدهی ($r = 0.99, p < 0.01$) و همچنین بین این دو صفت تا برداشت (به ترتیب $r = 0.90$ و $r = 0.92, p < 0.05$) وجود دارد که نشان‌دهنده این است که ارقام دیرگل‌تر، دیررس‌تر بوده و دوره رشد طولانی‌تری دارند. این یافته با مشاهدات گزارش شده توسط بخشی و همکاران (Bakhshi et al., 2021) مطابقت دارد. طولیل شدن فاز رشد رویشی، هرچند که فرآیند رسیدگی را به تعویق می‌اندازد، اما ظرفیت فتوسنتزی گیاه را به شکل چشم‌گیری افزایش داده و زمینه‌ساز انباشت ماده خشک بیشتر می‌گردد. این همان سازوکار فیزیولوژیکی است که برتری آشکار رقم دیررس گاپ‌پمبسی را در قبال ارقام زودرس تاشکند و آردا توجیه می‌کند. در مقابل، صفت استقرار بوته همبستگی معنی‌داری با هیچ یک از صفات عملکردی و فنولوژیک نشان نداد که بیانگر استقلال نسبی این صفت از سایر ویژگی‌های زراعی است. این ویژگی به‌ویژه در کشاورزی مکانیزه که یکنواختی سبز شدن و تراکم مطلوب بوته حائز اهمیت است، از ارزش راهبردی بالایی برخوردار می‌باشد. در مجموع، نتایج همبستگی نشان می‌دهد که ارتفاع بوته و طول دوره رشد می‌توانند به عنوان شاخص‌های غیرمستقیم و کم‌هزینه برای گزینش ارقام پر محصول نخودفرنگی علوفه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۶ - ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات فنولوژیک و عملکردی در ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای

Table 6. Pearson correlation coefficients between phenological and yield-related traits in forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivars

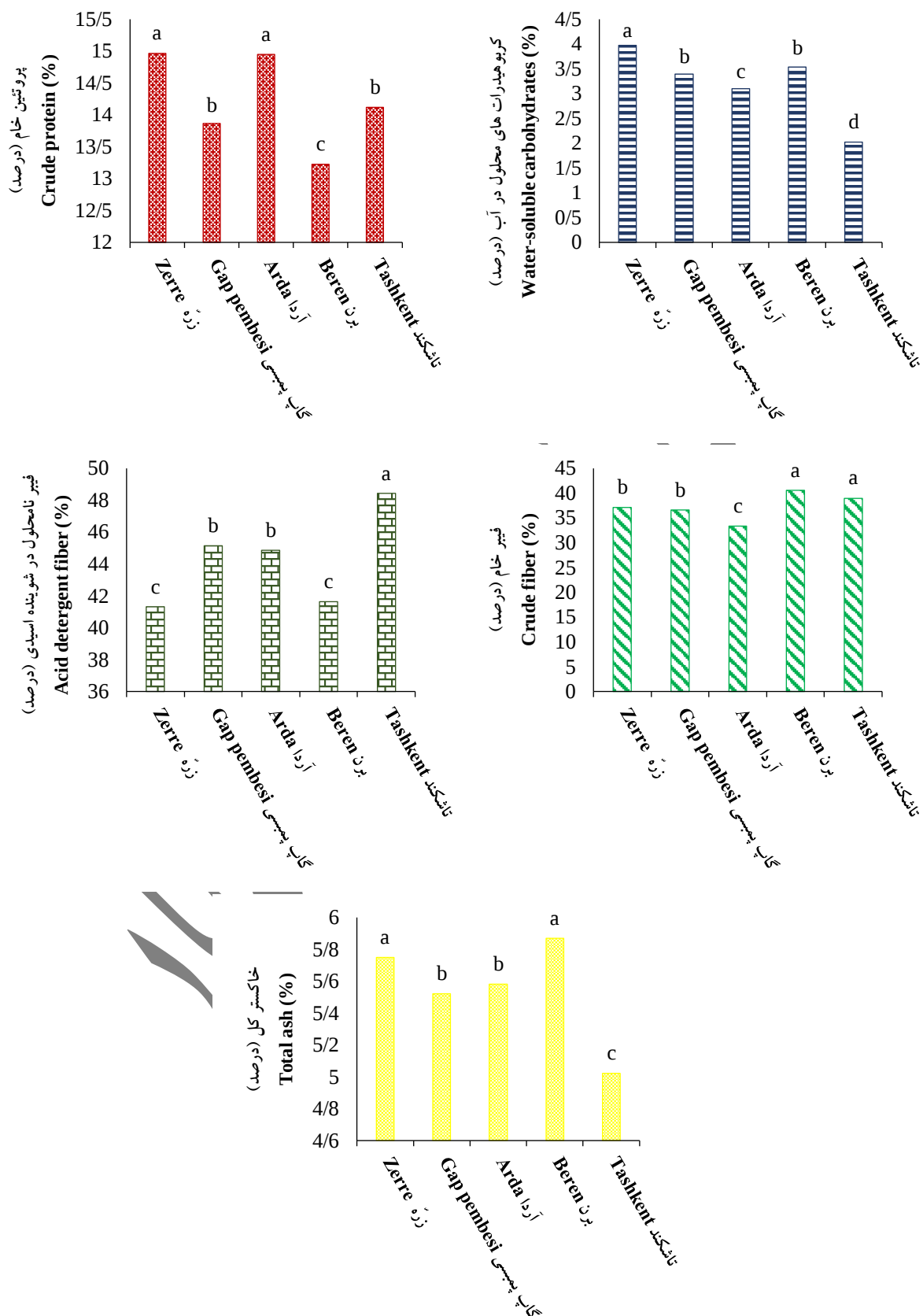
صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(۱) استقرار بوته (1) Plant establishment	1								
(۲) ارتفاع بوته در چین اول (2) Plant height at first cutting	-0.21 ^{ns}	1							
(۳) ارتفاع بوته در چین دوم (3) Plant height at second cutting	-0.46 ^{ns}	0.74 ^{ns}	1						
(۴) عملکرد تر (4) Fresh yield	-0.29 ^{ns}	0.96 [*]	0.83	1					
(۵) عملکرد خشک (5) Dry yield	-0.31 ^{ns}	0.95 [*]	0.86 ^{ns}	0.99 ^{**}	1				
(۶) کاشت تا سبز شدن (6) Sowing to emergence	0.42 ^{ns}	-0.53 ^{ns}	-0.64 ^{ns}	-0.62 ^{ns}	-0.59 ^{ns}	1			
(۷) کاشت تا شروع گلدهی (7) Sowing to beginning of flowering	-0.58 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.64 ^{ns}	-0.85 ^{ns}	1		
(۸) کاشت تا ۵۰ درصد گلدهی (8) Sowing to 50% flowering	-0.55 ^{ns}	0.61 ^{ns}	0.64 ^{ns}	0.66 ^{ns}	0.68 ^{ns}	-0.87 ^{ns}	0.99 ^{**}	1	
(۹) کاشت تا برداشت (9) Sowing to harvest	-0.53 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.65 ^{ns}	0.60 ^{ns}	0.64 ^{ns}	-0.72 ^{ns}	0.90 [*]	0.92 [*]	1

^{ns}, *, ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}, * and ** indicate non-significant differences and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ارزیابی کیفیت تغذیه‌ای ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای و ارتباط آن با عملکرد

نتایج نشان داد که ارقام مورد بررسی از نظر صفات کیفی (درصد پروتئین خام، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی، فیبر خام و کربوهیدرات‌های محلول در آب) با یکدیگر متفاوت بودند (شکل ۴). به طوری که درصد پروتئین خام در ارقام بین ۱۳/۲۲ تا ۱۴/۹۷ درصد متغیر بود که بیشترین میزان مربوط به رقم زرّه و کمترین آن مربوط به رقم برن بود. همچنین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی بین ۴۱/۳۱ (رقم زرّه) تا ۴۸/۴۲ (رقم تاشکند)، فیبر خام بین ۳۳/۴۰ (رقم آردا) تا ۳۸/۹۹ (رقم تاشکند)، خاکستر کل بین ۵/۰۲ (رقم تاشکند) تا ۵/۸۷ (رقم برن) و کربوهیدرات‌های محلول در آب بین ۲/۰۲ (رقم تاشکند) تا ۳/۹۷ (رقم زرّه) درصد متغیر بودند. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۴، رقم زرّه با ۱۴/۹۷ درصد پروتئین خام (بالاترین مقدار در مقایسه با سایر ارقام)، ۳/۹۷ درصد کربوهیدرات محلول در آب (بیشترین مقدار) و ۴۱/۳۱ درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (کمترین مقدار)، ترکیبی متعادل و برتر از نظر ارزش تغذیه‌ای ارائه داد که آن را در موقعیت برتری نسبت به سایر ارقام قرار می‌دهد. در مقابل، رقم گاپ‌پمبسی با ۴۵/۱۵ درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (دومین مقدار بالا در مقایسه با سایر ارقام) و ۳۶/۵۶ درصد فیبر خام، به دلیل فیبر نامحلول نسبتاً بالا، قابلیت هضم و ارزش انرژی کمتری نسبت به سایر ارقام نشان داد (شکل ۴). رقم تاشکند با ۳۸/۹۹ درصد فیبر نامحلول (بیشترین مقدار) و ۲/۰۲ درصد کربوهیدرات محلول در آب (کمترین مقدار)، ضعیف‌ترین وضعیت را از نظر مصرف‌پذیری و قابلیت هضم ارائه کرد (شکل ۴). رقم آردا با ۳۳/۴۰ درصد فیبر خام (پایین‌ترین مقدار در بین ارقام) و ۴۴/۸۶ درصد فیبر نامحلول (حدود ۹ درصد بیشتر از رقم زرّه)، دارای فیبر نامحلول بالایی است که ممکن است هضم را محدود کند. رقم برن با ۴۰/۵۴ درصد فیبر خام (بالاترین مقدار در بین ارقام) و ۴۱/۶۴ درصد فیبر نامحلول (حدود ۹ درصد بیشتر از رقم زرّه)، دارای فیبر نامحلول بالایی است که ممکن است هضم را محدود کند. رقم برن عملکرد تغذیه‌ای مشابه رقم گاپ‌پمبسی نشان داد. به طوری که میزان پروتئین خام در رقم برن (۱۳/۲۲ درصد) حدود ۵ درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی بود. فیبر نامحلول در شوینده اسیدی رقم برن (۴۱/۶۴ درصد) حدود ۸ درصد کمتر رقم گاپ‌پمبسی بود، در حالی که فیبر خام (۴۰/۵۴ درصد) حدود ۱۰ درصد بیشتر از رقم گاپ‌پمبسی بود. این تفاوت‌ها بیانگر تنوع ژنتیکی قابل توجه در ترکیب شیمیایی علوفه و ظرفیت تغذیه‌ای ارقام مورد بررسی است. اختلاف مشاهده شده در درصد خاکستر احتمالاً ناشی از تفاوت در جذب عناصر معدنی و شرایط خاک مناطق آزمایشی بوده است؛ با این حال، به دلیل محدود بودن دامنه تغییرات این صفت بین ارقام، نقش تعیین‌کننده‌ای در تفکیک ارقام از نظر برتری تغذیه‌ای نداشت. میزان خاکستر اندازه‌گیری شده توسط ارقام مورد بررسی در این پژوهش در محدوده درصد خاکستر (کمتر از ۱۰ درصد) گزارش شده از رقم مراز نخودفرنگی می‌باشد (Ghasembaghlou et al., 2023). یافته‌های این پژوهش نشان داد که شاخص‌هایی چون درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب، علاوه بر درصد پروتئین خام و فیبر خام، در تفاوت کیفیت تغذیه‌ای ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای مؤثر هستند. این نتایج با پیشنهاد چاتال و همکاران (Catal et al., 2024) مبنی بر استفاده از این شاخص‌ها برای ارزیابی کیفیت تغذیه‌ای مطابقت دارد.



شکل ۴- مقایسه شاخص‌های کیفی علوفه در ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای. میانگین داده‌ها $\pm$ خطای استاندارد ارائه شده‌اند. اعدادی که با حروف مختلف نشان داده شده‌اند با توجه به آزمون حداقل اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد تفاوت معنی دار داشتند.

اختصارات شکل: پروتئین خام ، کربوهیدرات‌های محلول در آب ، فیبر خام ، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی  و خاکستر کل 

Figure 4. Comparison of forage quality traits among forage pea cultivars. Data are means $\pm$ standard error. Different letters indicate significant differences according to the least significant difference test at the level $P \leq 0.05$.

Abbreviations used in the figure: Crude protein , Water-soluble carbohydrates , Crude fiber , Acid detergent fiber  and Total ash 

نتایج نشان داد که تفاوت بین ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای مورد ارزیابی در این پژوهش عمدتاً از نظر ترکیب دیواره سلولی (شامل درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و فیبر خام) و در دسترس بودن کربوهیدرات‌های محلول تعیین می‌شود. فیبر نامحلول به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه و نیز عامل مهمی برای تعیین میزان غیرقابل هضم بودن آن برای دام گزارش شده است (Javanmard et al., 2019). میزان فیبر نامحلول در شوینده اسیدی اندازه‌گیری شده (۴۹-۴۱ درصد) توسط ارقام مورد بررسی در این پژوهش بیشتر از میزان گزارش شده در تیمارهای تحت تأثیر کود زیستی و شاهد رقم مراز نخودفرنگی (۴۰-۳۳ درصد) می‌باشد (Ghasembaghlou et al., 2023). تحقیقات دیگر پژوهشگران نشان داده‌اند که افزایش درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی معمولاً با کاهش قابلیت هضم و انرژی قابل استفاده در علوفه همراه است و بنابراین این شاخص نقش کلیدی در مقایسه ارزش تغذیه‌ای ارقام دارد (Xu et al., 2024). افزون بر این، مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب به‌عنوان عامل تعیین‌کننده‌ای در بهبود طعم‌پذیری و توازن نیتروژن با انرژی در شکمبه شناخته شده است؛ رقم‌هایی با درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب بالاتر مانند رقم زرّه در این پژوهش، احتمالاً حمایت بهتری از میکروبیوم شکمبه برای تبدیل نیتروژن قابل دسترس به پروتئین میکروبی فراهم می‌کنند (Sun et al., 2022). میزان پروتئین خام علوفه خشک ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای مورد مطالعه در این پژوهش در محدوده ۱۳ تا ۱۵ درصد ارزیابی شد که کمتر از درصد پروتئین اندازه‌گیری شده ارقام مورد بررسی توسط پاورز و ثاواراجا (Powers & Thavarajah, 2019) و رقم مراز نخودفرنگی (Ghasembaghlou et al., 2023) می‌باشد. به طور کلی، رقم زرّه بهترین کیفیت علوفه را ارائه داد، در حالی که ارقام گاپ‌پمبسی و تاشکند پایین‌ترین ارزش تغذیه‌ای را داشتند، که این یافته‌ها می‌تواند راهنمایی مناسبی برای انتخاب ارقام با کیفیت علوفه بالا در برنامه‌های اصلاح نباتات باشد.

اگرچه در این پژوهش درجه ورس به صورت کمی اندازه‌گیری نشد، اما مشاهدات مزرعه‌ای نشان داد که ارقام با عملکرد بالا و رشد رویشی قوی، مانند رقم گاپ‌پمبسی، حساسیت بیشتری به ورس و خوابیدگی ساقه داشتند. در مقابل، ارقام با ارتفاع بوته پایین‌تر مانند رقم زرّه (ارتفاع ۹۱ سانتی‌متر) خوابیدگی کمتری نشان دادند. از آنجایی که ورس و خوابیدگی ساقه یکی از عوامل محدودکننده برداشت مکانیزه نخودفرنگی علوفه‌ای محسوب می‌شود، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی، مقاومت به ورس به صورت کمی به عنوان یکی از معیارهای اصلی انتخاب رقم برای کشت مکانیزه مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که ارزیابی هم‌زمان صفات رشدی، عملکردی و شاخص‌های کیفی تغذیه‌ای می‌تواند تصویر دقیقی از توان بالقوه ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای ارائه دهد. از سوی دیگر، تحلیل چندمکانه و چندساله نشان داد که اثرات محیطی، تغییرات سالیانه و تفاوت‌های ژنتیکی به‌طور هم‌زمان روی صفات رشدی و عملکردی تأثیر گذاشته و ارزیابی برهمکنش رقم در مکان ضرورت توجه به سازگاری منطقه‌ای و ثبات عملکرد را دوچندان می‌سازد. به‌طور کلی، رقم گاپ‌پمبسی با داشتن بالاترین عملکرد علوفه‌تر و خشک، ارتفاع بوته مطلوب،

استقرار مناسب و سازگاری وسیع در اغلب محیط‌ها به‌عنوان برترین رقم شناخته شد. تحلیل همبستگی صفات در این پژوهش نشان داد که عملکرد علوفه تر و خشک دارای همبستگی بسیار قوی و مثبت هستند، که این یافته از نظر اقتصادی و عملی حائز اهمیت است، زیرا اندازه‌گیری یکی از این دو صفت برای برآورد دیگری کافی بوده و هزینه‌های ارزیابی را کاهش می‌دهد. همچنین ارتفاع بوته با عملکرد خشک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و می‌تواند به عنوان شاخص غیرمستقیم برای گزینش ارقام پرمحصول استفاده شود. ارقام دیرگل‌تر با دوره رشد طولانی‌تر، عملکرد بالاتری داشتند که نقش مثبت طول دوره رشد در تولید ماده خشک را تأیید می‌کند. در مجموع، استفاده از شاخص‌هایی مانند ارتفاع بوته و زودرسی می‌تواند فرآیند انتخاب ارقام برتر نخودفرنگی علوفه‌ای را تسریع کرده و کارایی برنامه‌های به‌نژادی را افزایش دهد. رقم برن نیز با رشد رویشی قوی و توان بازرویش بالا می‌تواند برای مناطق معتدل‌تر به‌عنوان رقم مکمل مورد استفاده قرار گیرد، اگرچه از نظر کیفیت تغذیه‌ای در رتبه پایین‌تری نسبت به رقم زرّه قرار می‌گیرد. ترکیب نتایج کیفی و عملکردی نشان می‌دهد که گرچه رقم زرّه دارای کیفیت علوفه مناسب‌تری می‌باشد، اما برای انتخاب رقم برتر در مقیاس کشاورزی، پایداری عملکرد و سازگاری در محیط‌های مختلف معیارهای کلیدی هستند که رقم گاپ‌بمبسی در آنها برتری دارد. در مجموع، نتایج این تحقیق تأکید می‌کند که انتخاب رقم مناسب باید بر اساس هدف تولید، طول فصل رشد و شرایط اقلیمی منطقه انجام گیرد. یافته‌های این پژوهش دیدگاه مناسبی را برای برنامه‌ریزی تولید علوفه، توصیه زراعی و توسعه کشت ارقام با عملکرد و کیفیت بالاتر فراهم می‌سازد.

سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت مالی مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال برای این پژوهش با کد مصوب ۰۴-۰۸-۰۸-۰۳۲-۰۲۰۷۳۰ تشکر و قدرانی می‌نمایند.

منابع

- Ahmadi, M., Omid, M., Shahnejat boshehri, A. A., & Amirbakhtiar, N. (2023). Evaluation of yield stability of promising winter rapeseed lines in cold and semi-cold climate of Iran. *Journal of Plant Production Research*, 30, 67-84. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2022.20114.2927>
- Annicchiarico P. (2002). Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes. In M. S. Kang, ed, Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding, CABI, Wallingford, UK, pp 365-383.
- Asci, O., Acar, Z., & Arici, Y. K. (2015). Hay yield, quality traits and interspecies competition of forage pea-triticale mixtures harvested at different stages. *Turkish Journal of Field Crops*, 20, 166-173.
- Bakhshi, B., Pouresmaeil, M., & Keshtgar Khajedad, M. (2021). Assessment of agro-morphological traits diversity in cowpea landraces originated from arid and warm regions of Iran. *Iranian Journal Pulses Research*, 12, 85-103. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.87704>
- Bocianowski, J., Książak, J., & Nowosad, K. (2019). Genotype by environment interaction for seed yield in pea (*Pisum sativum* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica*, 215, 191. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2515-1>

- Bueckert, R. A., Wagenhoffer, G., Hnatowich, C., & Warkentin, T. D. (2015). Effect of heat and precipitation on pea yield and reproductive performance in the field. *Canadian Journal of Plant Science*, 95, 629-639. <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-342>
- Çaçan, E., Kökten, K., Bakoğlu, A., Kaplan, M., & Bozkurt, A. (2019). Evaluation of some forage pea (*Pisum arvense* L.) lines and cultivars in terms of herbage yield and quality. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23, 254-262. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.446423>
- Çatal, M. İ., Çelik, Ş., & Bakoğlu, A. (2024). Investigation of factors affecting fresh herbage yield in pea (*Pisum arvense* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15, 1482723.
- Dadras, A. R., Azimi, M., Khodadadi, M., Aghabeygi, M., Abdolahi, A., & Mohamadi, A. (2020). Investigation the agronomic traits, yield and stability of different pea (*Pisum sativum* L.) cultivars in tarom region of Iran using graphical analysis. *Journal of Vegetables Sciences*, 4, 113-130. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.130891.1109>
- Das, A., Parihar, A. K., Saxena, D., Singh, D., Kushwaha, K. P. S., Chand, R., Bal, R. S., & Gupta, S. (2019). Deciphering genotype-by-environment interaction for targeting test environments and rust resistant genotypes in field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10, 825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00825>
- FAOSTAT. (2026). FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. Retrieved February 26, 2026. From <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCinfo>
- Georgieva, N., & Kosev, V. (2020). Model of forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivar in conditions of organic production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26, 91-95.
- Ghasembaghlou, M., Sedghi, M., Seyedsharifi, R., & Farzaneh, S. (2023). The effect of biofertilizer application and different levels of drought stress on yield and forage quality of pea (*Pisum sativum* L.) emaraz cultivar. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33, 85-96. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.50968.2856>
- Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., & Ipsilandis, C. G. (2022). Stability, the last frontier: forage yield dynamics of peas under two cultivation systems. *Plants*, 11, 892. <https://doi.org/10.3390/plants11070892>
- Haile, G. A., Kebede, G. Y., & Eritro. T. A. (2022). Biplot analysis of field pea genotypes by environment interaction and yield stability across eight environments in arsi zone. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 7, 14-23. <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2022/v7i330142>
- Haliloglu, K., Turkoglu, A., Tan, M., & Pocai, P. (2022). SSR-Based Molecular Identification and Population Structure Analysis for Forage Pea (*Pisum sativum* var. *arvense* L.) Landraces. *Genes*, 13, 1086. <https://doi.org/10.3390/genes13061086>
- Herridge, D. F., Peoples, M. B. & Boddey, R. M. (2008). Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant and Soil*, 311, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9668-3>
- Hu, C., Cun, J., Soliman, A. A., Yang, F., Ghareeb, Z. E., Yuan, X., Yang, T., Wang, X., Zhang, J., Xiang, C., Zhao, L., Liu, C., Luo, G., Zhou, B., Zhu, X., Tang, Y., Wang, R., Yu, H., Yang, X.,

- Wang, Y., Dai, Z., Zheng, A., Li, Q., Xia, X., Chen, X., & He, Y. (2025). Agronomic performance and yield stability of field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in multi-environment trials. *BMC Plant Biology*, 25, 1670. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07721-1>
- Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A., & Walsh, E. J. (2003). A note on estimation of quality parameters in perennial ryegrass by near infrared reflectance spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 42, 293-299.
- Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Eskandari, H. (2019). Evaluation of forage quantity and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) Intercropping system in maragheh rainfed conditions. *Journal of Agroecology*, 11, 435-452. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.65105>
- Kebede, G., Eritro, T. A., & Gutu, D. T. (2024). Genotype × environment interaction and stability analysis of advanced field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in southeastern Ethiopia. *Ecological Genetics and Genomics*. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2024.100302>
- Majidi M. M., & Arzani, A. (2012). Study of relationship between morphological, agronomic and qualitative traits in sainfoin populations (*Onobrychis viciifolia* Scop). *Journal of Plant Production Research*, 16, 159-173.
- Mirza, A., & Çopur Doğrusöz, M. (2024). Silage yield and quality of forage peas and Hungarian vetch and triticale binary mixtures. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 38, 434-444.
- Mohammadi, R., Mohammadi, M., Karimizadeh, R., & Amri, A. (2010). Analysis of genotype-by-environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat genotypes in warm winter areas of Iran. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 13, 267-274. (In Persian with English Abstract).
- Neamat Mohammed, T., Jalali Honarmand, S., Eghbal Ghobadi, M., & Rasaei, A. (2021). Effects of exogenous application of plant hormones on yield and physiological characteristics of pea under supplemental irrigation. *Journal of Vegetables Sciences*, 5, 197-213. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/IUVS.2021.531953.1167>
- Parissi, Z., Irakli, M., Tigka, E., Papastylianou, P., Dordas, C., Tani, E., Abraham, E. M., Theodoropoulos, A., Kargiotidou, A., Kougiteas, L., Kousta, A., Koskosidis, A., Kostoula, S., Beslemes, D., & Vlachostergios, D. N. (2022). Analysis of genotypic and environmental effects on biomass yield, nutritional and antinutritional factors in common vetch. *Agronomy*, 12, 1678.
- Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Boddey, R. M., Dakora, F. D., Bhattarai, S., Maskey, S. L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D. F., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E. S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF03179980>
- Powers, S. E., & Thavarajah, D. (2019). Checking agriculture's pulse: field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10, 1489. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01489>
- Rahmani, M., Sheidai, S., Zamanian, M., Moghadam, A., Ahakpaz, F., Ghotbi, V., Rezvani, A., Naderpour, M., Jazayeri Nooshabadi, M. R., Sadeghi, H., Rahjou, V., & Amini, S. (2025). Technical

- guideline for conducting value for cultivation and use (VCU) tests of forage legume varieties. Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Registration No. 68927, 31 pp. (In Persian)
- Razmi, N., Masoudi, B., & Hezarjaribi, E. (2024). Identification of key agronomical traits contributing to the selection of superior lines of soybean in Moghan Plain. *Journal of Plant Production Research*, 31, 127-145. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2023.21773.3076>
- Salehi Sheikhi, M., Nakhzari moghaddam, A., Rahemi karizaki, A., & Mohammad Esmaili, M. (2022). Effect of pea cultivar and replacement and additive intercropping ratios of pea and spinach on yield and competition indices. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)*, 23, 939-952. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.302557.2395>
- Sayar, M. S., & Han, Y. (2016). Forage yield performance of forage pea (*Pisum sativum* spp. *arvense* L.) genotypes and assessments using GGE biplot analysis. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 1621-1634. <https://doi.org/20.1001.1.16807073.2016.18.6.13.1>
- Şenbek, G., Duran, S. T., İpek, A., & Uzun, A. (2025). Selection of parental forage pea [*Pisum sativum* (L.)] genotypes based on morphological characterization and SSR markers for crossbreeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 72, 7517-7530. <https://doi.org/10.1007/s10722-025-02400-4>
- Shayanfar, A., Sheidaei, S., Ahmadi, H., Mehravar, M., Rahmani, M., Gharakhani, A., Rezaeizad, A., Alizadeh, S., Dinkouh, F., Hamzehzadeh, F., Darabi, H., Abbariki, Z., Nour-Ziyarat, R., Khaledi, N., & Nori, M. (2025). Evaluation of agronomic traits of three forage pea varieties solicited for commercialization in 2022. Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Registration No. 67266, 38 pp. (In Persian)
- Sidlauskas, G., & Bernotas, S. (2003). Some factors affecting seed yield of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agronomy Research*, 1, 229-243.
- Sun, X., Cheng, L., Jonker, A., Munidasa, S., & Pacheco, D. (2022). A review: Plant carbohydrate types- the potential impact on ruminant methane emissions. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 880115.
- Tarashi, M., Rahemi Karizki, A., Biabani, A., & Salahi Farahi, M. (2020). Land suitability evaluation of Golestan province for planting *Pisum sativa* based on climatic factors. *Iranian Journal Pulses Research*, 11, 62-73. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i1.70708>
- Tsialtas, I. T., Baxevanos, D., Vlachostergios, D. N., Dordas, C., & Lithourgidis, A. (2018). Cultivar complementarity for symbiotic nitrogen fixation and water use efficiency in pea-oat intercrops and its effect on forage yield and quality. *Field Crops Research*, 226, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.005>.
- Türk, M., & Albayrak, S. (2012). Effect of harvesting stages on forage yield and quality of different leaf types pea cultivar. *Turkish Journal of Field Crops*, 17, 111-114.
- Weller, J. L., and Ortega, R. (2015). Genetic control of flowering time in legumes. *Frontiers in Plant Science*, 6, 207. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00207>

- Weller, J. L., Liew, L. C., Hecht, V. F., Rajandran, V., Laurie, R. E., Ridge, S., Wenden, B., Vander Schoor, J. K., Jaminon, O., Blassiau, C. (2012). A conserved molecular basis for photoperiod adaptation in two temperate legumes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 21158-21163. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207943110>
- Xu, L., Tang, G., Wu, D., & Zhang, J. (2024). Yield and nutrient composition of forage crops and their effects on soil characteristics of winter fallow paddy in South China. *Frontiers in Plant Science*, 14.
- Yihunie, T. A. & Gesesse, C. A. (2018). GGE biplot analysis of genotype by environment interaction in field Pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in northwestern Ethiopia. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21, 67-74.
- Yucel, D. O. (2013). Impact of plant density and yield and yield components of pea (*Pisum sativum* ssp. *sativum*) cultivars. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 8, 169-174.
- Yüksel, O., & Turk, M. (2019). The effects of phosphorus fertilization and harvesting stages on forage yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 28, 4165-4170.