



ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه لاین‌های شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum*) دوجین در شرایط آب و هوایی کرج

Evaluation of Forage Yield and Quality of Double-Cut Persian Clover (*Trifolium resupinatum*) Lines under Weather Conditions of Karaj, Iran

محمد زمانیان^{۱*}، سعید حیدرزاده^۲ و فرید گل‌زردی^۳

- ۱- دانشیار، بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۲- دکتری زراعت، بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- استادیار، بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۸

چکیده

زمانیان، م، حیدرزاده، س. و گل‌زردی، ف. ۱۴۰۵. ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه لاین‌های شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum*) دوجین در شرایط آب و هوایی کرج. نهال و بذر ۴۲: ۱-۳۶

به‌منظور ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه لاین‌های شبدر ایرانی دوجین و شناسایی لاین‌های برتر، آزمایشی در سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۰۳ و ۱۴۰۳-۰۴ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در زمان بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد و در آن ۱۶ لاین شبدر ایرانی در دو چین از نظر عملکرد و کیفیت علوفه مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد علوفه خشک، میزان و عملکرد پروتئین، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خشی، محتوی و عملکرد ماده خشک قابل‌هضم، محتوی کربوهیدرات‌های محلول در آب، خاکستر، ماده خشک مصرفی، ارزش نسبی تغذیه‌ای و انرژی خالص شیردهی بودند. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال × لاین و سال × چین بر عملکرد علوفه خشک، محتوی و عملکرد پروتئین، محتوی و عملکرد ماده خشک قابل‌هضم، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، کربوهیدرات‌های محلول در آب، خاکستر و انرژی خالص شیردهی معنی دار بود. لاین شماره ۹ (BPC/Lordegan) به‌ویژه در سال دوم بیشترین عملکرد ماده خشک (۳/۲۸ تن در هکتار)، محتوی و عملکرد پروتئین خام (به‌ترتیب ۲۵/۸ درصد و ۸۴۳ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد ماده خشک قابل‌هضم (۲۱۴۴ کیلوگرم در هکتار) را داشت. همچنین لاین‌های شماره ۱۰ (BPC/Qourshibashi)، ۱۳ (KPC/2chin14)، ۱۲ (KPC/2chin13)، ۸ (BPC/Kermanshah) و ۵ (BPC/Shazand) نیز از نظر عملکرد و کیفیت علوفه در گروه لاین‌های برتر قرار گرفتند. بهبود نسبی شرایط اقلیمی در سال دوم (افزایش بارش کل در طول فصل رشد و گرم‌تر بودن دمای هوا در اسفند تا اردیبهشت همزمان با دوره رشد سریع و رشد مجدد پس از چین اول) موجب افزایش عملکرد ماده خشک، محتوی و عملکرد پروتئین، عملکرد ماده خشک قابل‌هضم و محتوی کربوهیدرات‌های محلول در آب و همچنین کاهش تفاوت کیفیت بین چین اول و دوم شد. در مجموع، لاین‌های شماره ۹ و ۱۰ به دلیل برتری توأم در عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای علوفه در دو سال آزمایش، به‌عنوان گزینه‌های امیدبخش به‌عنوان ارقام جدید و استفاده در برنامه‌های بهترآبی شبدر ایرانی در شرایط اقلیمی مشابه کرج شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: شبدر ایرانی، عملکرد علوفه خشک، ماده خشک مصرفی، پروتئین خام، قابلیت هضم علوفه.

تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۵۹۹۲

* نگارنده مسئول: m.zamanian@areeo.ac.ir



2026© The Authors. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum*) یکی از مهمترین لگوم‌های علوفه‌ای یک‌ساله در مناطق معتدل و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که به دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، سازگاری با شرایط اقلیمی متنوع و ارزش غذایی بالا، نقش مهمی در تأمین علوفه باکیفیت برای نشخوارکنندگان ایفا می‌کند (Bakhtiyari et al., 2020; Zamanian et al., 2024a). از این رو، شناسایی لاین‌هایی از شبدر ایرانی که ضمن برخورداری از عملکرد مطلوب، دارای کیفیت تغذیه‌ای بالا و حداقل ترکیبات ضدکیفیت باشند، برای بهبود بهره‌وری واحدهای دامپروری و توسعه سامانه‌های تولید علوفه پایدار ضروری است (Zamanian et al., 2025a).

ایران به‌عنوان یکی از مراکز مهم تنوع ژنتیکی شبدر، دارای ذخایر ژرم‌پلاسما ارزشمندی از شبدر ایرانی است که می‌تواند منبع مناسبی برای اصلاح و توسعه ارقام جدید با عملکرد و کیفیت علوفه مطلوب باشد (Zamanian and Golzardi, 2024; Zamanian et al., 2024a). وجود تنوع ژنتیکی گسترده در این گیاه، امکان انتخاب لاین‌های برتر از نظر تولید و کیفیت تغذیه‌ای علوفه و سازگاری به شرایط محیطی مختلف را فراهم می‌کند (Zamanian et al., 2025a; Zamanian et al., 2025b).

عملکرد و کیفیت علوفه در گیاهان علوفه‌ای به شدت تحت تأثیر برهمکنش ژنوتیپ × محیط قرار دارد و بیان صفات کمی و ویژگی‌های

کیفیت علوفه، حاصل ظرفیت ژنتیکی گیاه و برهمکنش آن با شرایط محیطی و مدیریت زراعی است (Haerinasab and Eslami-Farouji, 2022; Nay et al., 2023). کیفیت علوفه بیانگر میزان انرژی و مواد مغذی قابل استفاده برای دام بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی تغذیه، رشد و تولید دام دارد (Heydarzadeh et al., 2022). در ارزیابی ارزش غذایی گیاهان علوفه‌ای، علاوه بر عملکرد ماده خشک، شاخص‌هایی نظیر پروتئین خام، قابلیت هضم، الیاف نامحلول و محتوی انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، زیرا نیاز دام‌ها به این ترکیبات بسته به نوع دام، مرحله رشد و وضعیت تولیدی آن‌ها متفاوت است (Heydarzadeh et al., 2023).

محتوی الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (Acid Detergent Fiber = ADF) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (Neutral Detergent Fiber = NDF) از مهمترین شاخص‌های تعیین‌کننده قابلیت هضم و میزان مصرف علوفه هستند، به‌طوری‌که افزایش ADF معمولاً موجب کاهش قابلیت هضم و افزایش NDF باعث کاهش ماده خشک مصرفی توسط دام می‌شود (Bakhtiyari et al., 2020; Rady et al., 2022; Moradi-Ghahderijani et al., 2024). بر همین اساس، شاخص‌های ترکیبی نظیر ارزش نسبی تغذیه‌ای (Relative Feed Value = RFV) و انرژی خالص شیردهی

لاین‌های دارای رشد مجدد مطلوب و کیفیت پایدار ضروری است.

نتایج پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که بین لاین‌های شبدر ایرانی از نظر عملکرد علوفه، میزان پروتئین خام، قابلیت هضم، کربوهیدرات‌های محلول در آب و سایر شاخص‌های کیفیت علوفه تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Balazadeh *et al.*, 2021; Zamanian *et al.*, 2025a). همچنین بهبود دسترسی گیاه به منابع محیطی نظیر نور، آب و عناصر غذایی می‌تواند موجب افزایش سنتز ترکیبات آلی، پروتئین خام و کربوهیدرات‌های محلول و در نتیجه ارتقای ارزش تغذیه‌ای علوفه تولیدی شود (Xiong *et al.*, 2020; Taab *et al.*, 2023).

زمانیان (Zamanian, 2008) با بررسی و مقایسه عملکرد و کیفیت علوفه لاین‌های شبدر ایرانی گزارش کرد که بین لاین‌ها از نظر عملکرد علوفه خشک و عملکرد پروتئین تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که لاین‌های برتر متعلق به جمعیت‌های شبدر ایرانی اقلید فارس، بالاده کازرون، محلی زابل، لردگان چهارمحال، دو چین کردستان و هفت چین شازند بودند. زمانیان و شاهوردی (Zamanian and Shahvardi, 2017) با بررسی پایداری عملکرد علوفه لاین‌های امیدبخش شبدر ایرانی گزارش کردند که در کرج لاین KPC/Eqlid-e-Fars/78-37، در سمنان لاین KPC/Eqlid-e-Fars/78-5، در شهرکرد لاین

(Net Energy for Lactation = NEL) که بر پایه صفات فیزیکی محاسبه می‌شوند، امروزه به طور گسترده برای مقایسه ارزش غذایی گیاهان علوفه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ashoori *et al.*, 2021; Pourali *et al.*, 2023).

عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای علوفه دو معیار اساسی در انتخاب لاین‌های برتر گیاهان علوفه‌ای هستند، اما در بسیاری از موارد بین این دو صفت رابطه‌ای معکوس مشاهده می‌شود، به گونه‌ای که افزایش عملکرد علوفه ممکن است با کاهش برخی شاخص‌های کیفیت همراه باشد (Kucukduvan and Ates, 2021; Nölke *et al.*, 2021; Radinović *et al.*, 2022). بنابراین، یکی از اهداف اصلی برنامه‌های به‌نژادی گیاهان علوفه‌ای، شناسایی لاین‌هایی است که بتوانند عملکرد بالا را همزمان با کیفیت تغذیه‌ای علوفه مطلوب را دارا باشند.

در گیاهان علوفه‌ای چندچین، عملکرد و کیفیت علوفه در برداشت‌های متوالی معمولاً یکسان نیست. چین اول به دلیل طول دوره رشد بیشتر، اغلب عملکرد علوفه بالاتری تولید می‌کند، در حالی که چین‌های بعدی ممکن است به دلیل رشد مجدد سریع، از نظر برخی شاخص‌های کیفیت علوفه مانند میزان پروتئین خام، قابلیت هضم و ترکیبات محلول تفاوت قابل توجهی با چین اول داشته باشند (Jabbar *et al.*, 2022; Zamanian *et al.*, 2024b). بنابراین، ارزیابی همزمان عملکرد و کیفیت علوفه در چین‌های مختلف برای شناسایی

KPC/Lordegan-e-Char./78-17 و در بروجرد
لاین KPC/2Chinene-e-Kord/78-30
لاین‌های برتر از نظر عملکرد علوفه خشک بودند.
شبدر ایرانی در نظام‌های زراعی مناطق سرد
و معتدل کشور جایگاه ویژه‌ای دارد. زیرا با
کاشت پاییزه، بخش مهمی از نیاز رویشی خود
را با نزولات پاییز و زمستان تأمین می‌کند و
علوفه را در اواخر زمستان و اوایل بهار، یعنی
دوره اوج کمبود علوفه سبز در منطقه، عرضه
می‌کند (Zamanian et al., 2025b). این
ویژگی در شرایط کاهش نزولات جوی
و محدودیت منابع آب در اقلیم نیمه‌خشک
اهمیت بیشتری دارد. زیرا برخلاف لگوم‌های
علوفه‌ای چندساله مانند یونجه که بیشترین
مصرف آب را در تابستان دارند، شبدر ایرانی
دوره رشد خود را در فصلی با تقاضای تبخیر و
تعرق پایین‌تر و کارایی مصرف آب بالاتر
تکمیل می‌کند (Zamanian and Golzardi, 2024).

از دیدگاه بوم‌شناختی، تثبیت زیستی نیتروژن
توسط این گیاه موجب کاهش مصرف کودهای
نیتروژنی، بهبود کربن آلی و ساختمان خاک و
افزایش عملکرد محصول بعدی در تناوب
می‌شود و پوشش زمستانه آن فرسایش آبی و
بادی خاک را کاهش می‌دهد. در این میان،
لاین‌های دوجین مزیت ویژه‌ای دارند.
زیرا چرخه تولید علوفه را زودتر تکمیل می‌کنند
و زمین را در اواخر بهار آزاد می‌کنند. بنابراین
امکان اختصاص رشد مجدد بعدی به تولید بذر

یا کشت محصولات تابستانه فراهم می‌شود
و بهره‌وری سالانه زمین و آب در الگوی
کاشت منطقه افزایش می‌یابد (Zamanian et al., 2024b; Zamanian et al., 2025a).

در چند دهه اخیر برنامه بهنژادی شبدر ایرانی
با جمع‌آوری و ارزیابی توده‌های بومی، گزینش
تک‌بوته و ازدیاد لاین‌های خالص ادامه داشته
و تا کنون دو رقم تجاری در کشور نامگذاری
و آزادسازی شده است. رقم عطار
(BPC/Borujerd/81-13) به روش انتخاب لاین
خالص با جمع‌آوری، کاشت و انتخاب تک بوته
از میان ۱۴ توده بومی چندچین کشور و پس از
ارزیابی سازگاری و کارایی در ایستگاه‌های
کرمانشاه، کرج و بروجرد به عنوان اولین
رقم شبدر ایرانی نامگذاری و آزادسازی شد و با
تولید ۷۲/۹۹ و ۱۱/۰۸ تن در هکتار علوفه تر و
خشک، به ترتیب ۲۳/۶۵ و ۲۱/۷۹ درصد برتری
عملکرد نسبت به توده محلی هفت چین بروجرد
نشان داد (Shahverdi et al., 2019). رقم پارس
نیز به روش انتخاب لاین خالص و در یک دوره
۱۳ ساله از میان ۲۲ توده بومی کشور گزینش و
برای کشت در مناطق سرد و معتدل نامگذاری و
آزادسازی شد (Zamanian et al., 2022).

هر دو رقم، عطار و پارس، به گروه چندچین
تعلق دارند و تا کنون هیچ رقم تجاری دوجین
شبدر ایرانی در کشور نامگذاری و آزادسازی
نشده است. در حالی که لاین‌های دوجین به دلیل
تکمیل چرخه زندگی کوتاه‌تر و همچنین امکان
تولید بذر پس از دو چین علوفه، در الگوهای

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۰۳ و ۱۴۰۳-۰۴ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در زمان بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش، ۱۶ لاین شبدر ایرانی (جدول ۱) به عنوان کرت‌های اصلی و دو چین (برداشت اول و دوم) به عنوان کرت‌های فرعی در زمان در نظر گرفته شدند. لاین‌های مورد بررسی از توده‌های محلی و با استفاده از روش انتخاب تک‌بوته‌ای حاصل شدند و دارای خلوص ژنتیکی و یکنواختی فنوتیپی بودند.

تلفیقی علوفه-بذر و تناوب‌های فشرده مزیت ویژه‌ای دارند. با وجود مطالعات انجام‌شده بر روی شبدر ایرانی، اطلاعات محدودی درباره عملکرد و کیفیت علوفه لاین‌های دوچین آن در دسترس است.

با توجه به اهمیت توسعه ارقام پرمحصول و باکیفیت شبدر ایرانی دوچین، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد علوفه و ویژگی‌های کیفی ۱۶ لاین شبدر ایرانی دوچین در شرایط آب‌وهوایی کرج در دو سال زراعی انجام شد تا لاین‌های برتر از نظر عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای علوفه شناسایی و امکان استفاده از آن‌ها در برنامه‌های بهنژادی و تولید علوفه پایدار در مناطق مشابه فراهم شود.

جدول ۱- نام و منشأ لاین‌های شبدر ایرانی دو چین مورد مطالعه

Table 1. Name and origin of the studied double-cut Persian clover lines

شماره لاین	نام لاین	منشأ
Line no.	Line name	Origin
1	BPC/2chin B	Lorestan
2	BPC/Azna	Lorestan
3	BPC/Dehgolan	Kurdistan
4	BPC/Silakhor	Lorestan
5	BPC/Shazand	Markazi
6	BPC/Alshtar	Lorestan
7	BPC/Qourchibashi2	Markazi
8	BPC/Kermanshah	Kermanshah
9	BPC/Lordegan	Chaharmahal and Bakhtiari
10	BPC/Qourshibashi	Markazi
11	KPC/2chin12	Kermanshah
12	KPC/2chin13	Kurdistan
13	KPC/2chin14	Kermanshah
14	KPC/2chin15	Kermanshah
15	KPC/2chin16	Kermanshah
16	KPC/2chin17	Markazi

توده‌های بومی شبدر ایرانی از گروه‌های مختلف رسیدگی در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۲ به منظور انتخاب تک‌بوته‌های برتر بررسی شدند. در سال اول، تک‌بوته‌های برتر در چند مرحله از نظر مورفولوژی، فرم بوته، ارتفاع بوته، زمان گلدهی، رنگ گل و یکنواختی رسیدگی انتخاب و بذرگیری شدند. در سال دوم بذر هر تک‌بوته (لاین) در خطوط جداگانه ازدیاد یافت و در سال سوم هر لاین در خطوطی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر در کنار شاهد خود کشت و از نظر عملکرد علوفه مقایسه شد. میانگین برتری لاین‌های منتخب نسبت به شاهد در گروه‌های مختلف بین ۷ تا ۵۰ درصد متغیر بود و ۱۶ لاین برتر گروه دوجین، در پژوهش حاضر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

از آنجا که تا زمان اجرای این آزمایش هیچ رقم دوجین شبدر ایرانی در کشور نامگذاری و آزادسازی نشده بود و دو رقم تجاری موجود (عطار و پارس) به گروه چندجین تعلق دارند و از نظر تعداد چین، طول دوره رشد و الگوی رشد مجدد با لاین‌های دوجین قابل مقایسه نیستند، امکان استفاده از رقم شاهد مناسب در این بررسی وجود نداشت و تلاش برای تهیه بذر رقم شاهد دوجین از مؤسسات خارج از کشور نیز به نتیجه نرسید. لازم به یادآوری است که ارزش بهنژادی این لاین‌ها پیش‌تر در مراحل گزینش لاین خالص

احراز شده بود و در پژوهش حاضر، مقایسه به صورت بین‌لاینی انجام شد.

لاین‌های مورد بررسی در این پژوهش، با هدف برخورداری از پتانسیل ژنتیکی تولید دو چین اقتصادی علوفه در مناطق شبدرخیز کشور انتخاب شده‌اند. در این لاین‌ها رشد مجدد پس از چین دوم ادامه می‌یابد، اما عملکرد علوفه چین سوم قابل توجه و اقتصادی نیست و به دلیل همزمانی با افزایش دما و طول روز در خرداد، رشد مجدد سوم وارد مرحله زایشی می‌شود. بنابراین مدیریت زراعی توصیه‌شده برای این لاین‌ها برداشت دو چین علوفه و اختصاص رشد مجدد بعدی به تولید بذر است.

به‌منظور تعیین وضعیت حاصلخیزی خاک، پیش از کاشت از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین گردید (جدول ۲). بر اساس نتایج آزمون خاک و نیاز غذایی گیاه، پیش از کاشت مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل (حاوی ۴۶ درصد P_2O_5) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره استارتر (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به‌عنوان کود پایه مصرف و با خاک مخلوط شد. به‌منظور آماده‌سازی بستر کشت، زمین قبل از کاشت شخم زده شد و سپس با دو دیسک عمود بر هم آماده گردید.

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physico-chemical properties of the soil of the experimental site

Soil texture	بافت خاک	پتاسیم	فسفر	درصد نیتروژن کل	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	واکنش گل اشباع
		Potassium (میلی‌گرم در کیلوگرم)	Phosphorus (میلی‌گرم در کیلوگرم)		Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	
Clay loam	لومی رسی	245	11	0.09	0.83	7.9

بذر لاین‌های مورد مطالعه با قوه نامیه ۹۹ درصد از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه و بر اساس میزان بذر مصرفی ۲۵ کیلوگرم در هکتار در تاریخ‌های ۲۷ شهریور ۱۴۰۲ و ۱ مهر ۱۴۰۳ به صورت دستی در عمق سه سانتی متری کشت شدند. تراکم نهایی بوته پس از استقرار ۲۰۰ بوته در مترمربع بود. هر کرت شامل چهار ردیف به طول پنج متر و فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها بود. آبیاری اولیه بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی با فواصل ۷ تا ۱۰ روز و متناسب با شرایط اقلیمی و نیاز آبی گیاه صورت گرفت. روش آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) بود و در کل فصل رشد، نه نوبت آبیاری در سال اول و هشت نوبت آبیاری در سال دوم انجام شد. میزان کل آب آبیاری مصرفی طی سال اول و دوم به ترتیب ۲۶۵۰ و ۲۴۰۰ مترمکعب در هکتار بود. داده‌های دما و بارندگی در دوره اجرای آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- میانگین دمای هوا و مجموع بارش ماهانه در دوره آزمایش در فصل‌های زراعی ۱۴۰۲-۰۳ و ۱۴۰۳-۰۴ در کرج

Table 3. Monthly mean air temperature and total precipitation during the experimental period in 2023-24 and 2024-25 growing seasons in Karaj

Month	ماه	میانگین دما (سانتی‌گراد)		بارندگی (میلی‌متر)	
		Mean temperature (°C)		Precipitation (mm)	
		2023-24	2024-25	2023-24	2024-25
September	شهریور	23.1	25.5	0	2
October	مهر	16.8	18.7	7	30
November	آبان	11.6	9.7	17	87
December	آذر	6.6	3.4	18	21
January	دی	4.2	2.6	52	29
February	بهمن	3.1	1.3	54	51
March	اسفند	3.2	6.9	77	60
April	فروردین	10.0	14.3	13	26
May	اردیبهشت	17.8	22.5	3	24
June	خرداد	22.7	24.5	1	2
Total	مجموع	-	-	242	332

برداشت چین اول در مرحله ۲۵ درصد گلدهی (اواخر فروردین) انجام شد و برداشت دوم پس از رشد مجدد گیاه و رسیدن به همان مرحله فنولوژیک صورت گرفت. تفاوت زمان رسیدن به مرحله ۲۵ درصد گلدهی بین لاین‌های مورد بررسی سه روز بود. پس از حذف دو خط کناری هر کرت و نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط به عنوان اثر حاشیه‌ای، نمونه‌برداری به روش دستی با استفاده از داس از سطح چهار مترمربع از دو خط مرکزی هر کرت برای تعیین عملکرد علوفه انجام شد.

نمونه‌های علوفه برای تعیین عملکرد ماده خشک و ارزیابی صفات کیفیت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده پس از آسیاب و عبور از الک، به وسیله دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک (NIRS، مدل Perten Instruments، Inframatic 8620، آلمان) تجزیه شدند (Jafari et al., 2003). صفات اندازه‌گیری‌شده شامل درصد پروتئین

خام (Crude Protein Content = CPC)، قابلیت هضم ماده خشک (Digestible Dry Matter = DDM)، کربوهیدرات‌های محلول در آب (Water Soluble Carbohydrate = WSC)، لیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)، لیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و خاکستر (Ash Content) بود. عملکرد پروتئین خام (Crude Protein Yield = CPY) و عملکرد ماده خشک قابل هضم (Digestible Dry Matter Yield = DDMY) نیز از حاصل ضرب عملکرد ماده خشک در درصد پروتئین خام و ماده خشک قابل هضم محاسبه شدند (Zamanian et al., 2024a).

شاخص‌های ارزش تغذیه‌ای شامل ماده خشک مصرفی (Dry matter Intake = DMI)، ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV) و انرژی خالص شیردهی (NEL) به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳ محاسبه شدند (Ashoori et al., 2021; Pourali et al., 2023; Heydarzadeh et al., 2023).

$$DMI = 120/NDF \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$RFV = (DMD \times DMI) \times 0.775 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$NEL = [(1.044 - (0.0119 \times ADF))] \times 2.205 \quad (\text{رابطه ۳})$$

وزن بدن دام، RFV ارزش نسبی تغذیه‌ای (درصد) و NEL انرژی خالص شیردهی (مگا کالری در کیلوگرم ماده خشک) می‌باشند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از

که در این رابطه‌ها ADF و NDF به ترتیب درصد لیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، DMD قابلیت هضم ماده خشک (درصد)، DMI ماده خشک مصرفی (درصد از

برای بررسی معنی‌داری اثر سال، لاین، سال × لاین، چین، سال × چین و لاین × چین به ترتیب از بلوک / سال، سال × لاین، بلوک / سال × لاین، سال × چین، بلوک / سال × چین و سال × لاین × چین به عنوان مخرج آزمون F استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

رم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. پس از بررسی نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک و اثبات همگنی واریانس خطاهای آزمایشی دو سال با آزمون بارتلت (جدول ۴)، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای دو سال زراعی انجام شد. در مدل آماری، سال به عنوان اثر تصادفی و لاین و چین به عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شدند. بنابراین

جدول ۴- نتایج آزمون بارتلت برای بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی صفات در دو سال زراعی

Table 4. Bartlett's test results for assessing the homogeneity of experimental error variances of the traits in two growing seasons

Trait	صفت	Chi-Square	P > ChiSq
Dry forage yield	عملکرد علوفه خشک	3.510	0.061
Crude protein content	محتوی پروتئین خام	3.431	0.064
Protein yield	عملکرد پروتئین	3.397	0.065
Acid detergent fiber	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	0.007	0.932
Neutral detergent fiber	الیاف نامحلول در شوینده خنثی	2.697	0.101
Dry matter intake	ماده خشک مصرفی	3.380	0.066
Dry matter digestibility	قابلیت هضم ماده خشک	0.007	0.932
Digestible dry matter yield	عملکرد ماده خشک قابل هضم	3.565	0.059
Water-soluble carbohydrates	کربوهیدرات‌های محلول در آب	3.713	0.054
Ash content	محتوی خاکستر	0.054	0.816
Relative feed value	ارزش نسبی تغذیه‌ای	3.456	0.063
Net energy for lactation	انرژی خالص شیردهی	0.006	0.935

نتایج و بحث

ارزش نسبی تغذیه‌ای و انرژی خالص شیردهی معنی‌دار بود (جدول ۵). معنی‌دار شدن اثر سال برای اکثر صفات نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوایی در دو سال زراعی، (جدول ۳)، نقش تعیین‌کننده‌ای بر رشد رویشی، تجمع ماده خشک و کیفیت علوفه لاین‌های شبدر مورد مطالعه داشت.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال بر عملکرد علوفه خشک، میزان و عملکرد پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، ماده خشک مصرفی، قابلیت هضم ماده خشک، عملکرد ماده خشک قابل هضم، کربوهیدرات‌های محلول در آب،

جدول ۵- خلاصه تجزیه واریانس مرکب برای صفات کمی و کیفیت علوفه لاین‌های شبدر ایرانی دوچین

Table 5. Summary of combined analysis of variance for forage quantitative and quality traits of double-cut Persian clover lines

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	Mean Squares					ماده خشک مصرفی Dry matter intake
			عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	محتوی پروتئین خام Crude protein content	عملکرد پروتئین Protein yield	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	
Year (Y)	سال	1	25101838*	126.70**	1802650**	176.87**	247.82*	1.268*
Block/Y	بلوک/سال	4	1412459	3.96	70553	5.51	21.35	0.106
Line (L)	لاین	15	459393	38.82*	89505*	27.38	23.12	0.113
Y × L	سال × لاین	15	199413*	15.81**	35072**	11.59**	10.48**	0.050**
Block/Y × L	بلوک/سال × لاین	60	106625	1.39	6321	2.99	3.37	0.015
Cut (C)	چین	1	837811	192.18	50830	8.20	139.15	0.748
Y × C	سال × چین	1	8856719**	56.19*	693121**	101.53*	76.65	0.450
Block/Y × C	بلوک/سال × چین	4	88888	3.43	2656	13.16	16.36	0.072
L × C	لاین × چین	15	13777	5.17	4738	2.80	4.20	0.026
Y × L × C	سال × لاین × چین	15	20763	3.73	2914	2.15	4.17	0.024*
Error	خطا	60	97667	2.16	5613	2.15	2.44	0.011
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	12.81	7.07	14.59	6.51	5.74	5.71

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

Table 5. Continued

ادامه جدول ۵-

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	Mean Squares					انرژی خالص شیردهی Net energy for lactation
			قابلیت هضم ماده خشک Dry matter digestibility	عملکرد ماده خشک قابل هضم Digestible dry matter yield	کربوهیدرات‌های محلول در آب Water-soluble carbohydrates	میانگین مربعات	ارزش نسبی تغذیه‌ای Relative feed value	
						محتوی خاکستر Ash content		
Year (Y)	سال	1	107.36**	8491577*	47.78**	0.0002	6223*	0.122**
Block/Y	بلوک/سال	4	3.35	625624	0.06	0.0685	359	0.004
Line (L)	لاین	15	16.61	281930*	8.47	1.6661*	663	0.019
Y × L	سال × لاین	15	7.03**	115752**	3.62**	0.6040**	284**	0.008**
Block/Y × L	بلوک/سال × لاین	60	1.81	47619	0.28	0.0569	70	0.002
Cut (C)	چین	1	4.96	3603100	28.32	0.0001	2398	0.006
Y × C	سال × چین	1	61.64*	4445092**	8.33*	1.1424**	2725	0.07*
Block/Y × C	بلوک/سال × چین	4	8.00	28998	0.41	0.0176	369	0.009
L × C	لاین × چین	15	1.70	7577	1.22	0.0992	117	0.002
Y × L × C	سال × لاین × چین	15	1.31	11152	1.00**	0.1422**	106*	0.001
Error	خطا	60	1.30	41218	0.21	0.0566	48	0.001
C.V. (%)	ضریب تغییرات	-	6.79	13.07	10.01	6.92	7.87	6.65

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

امکان پذیر نبود و انجام آن مستلزم ارزیابی چندساله و چندمکانی است.

لاین های شبدر ایرانی دوجین مورد ارزیابی در این پژوهش از نظر میزان و عملکرد پروتئین خام، عملکرد ماده خشک قابل هضم و درصد خاکستر تفاوت معنی دار داشتند (جدول ۵) که می تواند با تفاوت شرایط آب و هوایی دو سال مورد بررسی و برهمکنش سال $\times$ لاین تفسیر شود. به همین دلیل، در این پژوهش از تفسیر اثر اصلی لاین صرف نظر شد و رتبه بندی و تعیین لاین های برتر تنها بر پایه مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ لاین (جدول ۶) و سال $\times$ لاین $\times$ چین (جدول ۷) و بر اساس برتری همزمان لاین ها در هر دو سال زراعی انجام شد.

یکی از مهمترین نتایج این پژوهش نیز معنی دار بودن برهمکنش سال $\times$ لاین بر کلیه صفات مورد بررسی بود. این نتیجه نشان می دهد که پاسخ لاین ها به شرایط محیطی در دو سال یکسان نبود و رتبه بندی لاین ها بسته به شرایط آب و هوایی هر سال تغییر کرد. وجود چنین برهمکنشی بیانگر اهمیت ارزیابی چندساله در برنامه های بهنژادی است، زیرا انتخاب لاین (های) برتر صرفاً بر اساس نتایج یک سال آزمایش می تواند منجر به انتخاب لاین هایی شود که در شرایط آب و هوایی متفاوت عملکرد پایداری ندارند. از دیدگاه بهنژادی، لاین هایی که ضمن حفظ سطح عملکرد، کمترین تغییر را بین سال ها نشان دهند، از ارزش بیشتری برای نامگذاری و آزادسازی به عنوان رقم جدید برخوردار خواهند بود (Zamanian et al., 2025a).

در لگوم های علوفه ای، دما و الگوی بارش ها از مهمترین عوامل تعیین کننده سرعت رشد، تثبیت نیتروژن، نسبت برگ به ساقه و در نهایت کیفیت علوفه می باشند (Pourali et al., 2023). بنابراین همانطوری که انتظار می رفت حتی در شرایط مدیریت زراعی مشابه، تفاوت شرایط آب و هوایی بین دو سال زراعی، (جدول ۳)، باعث ایجاد تفاوت های قابل توجه در عملکرد و ارزش غذایی علوفه شد. بر اساس اطلاعات جدول ۳، بارش مهر و آبان (۲۴ میلی متر در سال اول در برابر ۱۱۷ میلی متر در سال دوم) که همزمان با کاشت و استقرار گیاه بود و همچنین دمای هوا در اسفند تا اردیبهشت (۳/۲، ۱۰ و ۱۷/۸ درجه سانتی گراد در برابر ۶/۹، ۱۴/۳ و ۲۲/۵ درجه سانتی گراد، یعنی ۳/۷ تا ۴/۷ درجه گرم تر در سال دوم) که با دوره رشد سریع و همچنین رشد مجدد پس از چین اول همزمان بود، احتمالاً بیشترین تأثیر را بر تفاوت عملکرد و کیفیت علوفه بین دو سال داشت.

با توجه به این که نیاز آبی گیاه در هر دو سال با آبیاری تکمیلی تأمین شد، سهم بارش عمدتاً غیرمستقیم و از طریق بهبود شرایط جوانه زنی، استقرار یکنواخت محصول در پاییز و تأمین رطوبت پروفیل خاک در دوره پیش از آغاز آبیاری های بهاره قابل تفسیر است، در حالی که دمای بالاتر بهار احتمالاً مؤثرترین عامل در افزایش سرعت رشد مجدد و عملکرد چین دوم بود، زیرا بیشترین تفاوت بین دو سال زراعی نیز در عملکرد چین دوم مشاهده شد. با این حال، از آنجا که آزمایش دو سال ادامه یافت، تفکیک آماری سهم هر عامل آب و هوایی

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش سال × لاین و سال × چین بر عملکرد و کیفیت علوفه لاین‌های شبدر ایرانی دوچین

Table 6. Mean comparison of the year × line and year × cut interactions on the forage yield and quality of double-cut Persian clover lines

لاین	عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار)		پروتئین خام (درصد)		عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار)		الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد)	
	Dry forage yield (kg ha ⁻¹)		Crude protein (%)		Protein yield (kg ha ⁻¹)		Acid detergent fiber (%)	
Line	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
No.1	2023	2777	19.13	21.85	384.7	606.0	32.59	32.48
No.2	2072	2617	20.12	18.56	413.8	486.0	31.83	33.19
No.3	1833	2799	18.13	22.28	326.7	627.5	33.18	33.70
No.4	2058	2761	20.09	21.38	410.0	588.8	31.96	33.86
No.5	2182	2916	20.68	23.17	450.0	674.3	31.39	32.93
No.6	1738	2676	18.11	20.82	311.8	556.5	33.66	34.27
No.7	1718	3021	18.08	22.33	307.7	674.7	34.10	32.31
No.8	2056	2892	19.41	23.86	392.8	691.3	32.24	32.63
No.9	2405	3279	22.27	25.80	535.7	843.3	28.75	30.20
No.10	2341	3181	21.94	24.87	514.3	789.5	29.08	31.21
No.11	2214	2584	20.95	19.06	459.5	491.3	30.15	35.39
No.12	2258	2687	21.32	21.86	477.5	586.7	29.85	34.06
No.13	2315	2955	21.63	24.67	499.3	730.5	29.45	31.53
No.14	2155	2524	20.73	18.13	444.5	457.5	30.64	35.85
No.15	2248	2643	20.90	20.53	471.3	542.8	30.02	34.39
No.16	1605	2477	16.65	16.97	264.0	417.5	34.97	36.58
LSD _{0.05} (L)	388	364	1.54	1.53	84.8	93.4	1.34	2.25
LSD _{0.05} (Y × L)	391		1.36		91.8		2.00	
چین								
Cut								
Cut 1	2500	2794	19.55	20.09	492.8	566.5	30.56	33.93
Cut 2	1653	2805	20.47	23.17	340.1	654.1	32.42	32.89
LSD _{0.05} (C)	137	129	0.54	0.55	30.0	33.0	0.47	0.79
LSD _{0.05} (Y × C)	169		1.05		29.2		2.06	

Table 6. Continued

ادامه جدول ۶-

لاین Line	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد) Neutral detergent fiber (%)		قابلیت هضم ماده خشک (درصد) Dry matter digestibility (%)		عملکرد ماده خشک قابل هضم (کیلو گرم در هکتار) Digestible dry matter yield (kg ha ⁻¹)		انرژی خالص شیردهی (مگا کالری در کیلو گرم) Net energy for lactation (Mcal kg ⁻¹)	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	2024	2025
No.1	42.09	41.98	63.51	63.60	1286	1766	1.447	1.450
No.2	41.33	42.69	64.11	63.05	1331	1651	1.467	1.431
No.3	41.88	43.20	63.05	62.65	1156	1755	1.432	1.418
No.4	41.46	43.36	64.01	62.53	1319	1728	1.464	1.414
No.5	40.60	42.43	64.45	63.25	1417	1847	1.479	1.438
No.6	42.73	43.77	62.68	62.21	1090	1667	1.419	1.403
No.7	42.81	41.81	62.34	63.73	1072	1924	1.407	1.454
No.8	41.11	42.13	63.79	63.48	1310	1836	1.456	1.446
No.9	38.00	39.71	66.51	65.37	1605	2144	1.548	1.510
No.10	38.59	40.72	66.25	64.59	1555	2052	1.539	1.483
No.11	39.65	44.90	65.41	61.33	1452	1586	1.511	1.373
No.12	39.14	43.56	65.65	62.37	1487	1679	1.519	1.409
No.13	38.95	41.03	65.96	64.34	1531	1901	1.529	1.475
No.14	40.14	45.36	65.03	60.97	1402	1539	1.498	1.361
No.15	38.86	43.90	65.52	62.11	1480	1641	1.515	1.400
No.16	42.94	46.08	61.66	60.41	991	1497	1.385	1.342
LSD _{0.05} (L)	1.64	2.25	1.04	1.75	251	235	0.035	0.059
LSD _{0.05} (Y × L)	2.12		1.56		252		0.053	
Cutچین								
Cut 1	39.16	42.70	65.10	62.47	1632	1748	1.500	1.412
Cut 2	42.13	43.14	63.64	63.28	1054	1778	1.451	1.439
LSD _{0.05} (C)	0.58	0.80	0.37	0.62	89	83	0.012	0.021
LSD _{0.05} (Y × C)	2.29		1.60		97		0.054	

برهمکنش سال $\times$ چین بر کلیه صفات به جز الیاف نامحلول در شوینده خنثی، ماده خشک مصرفی و ارزش نسبی تغذیه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۵). این نتیجه بیانگر آن است که پاسخ چین‌های اول و دوم به شرایط آب و هوایی در دو سال زراعی متفاوت بود. در سال نخست، شرایط آب و هوایی انتهای فصل رشد، (جدول ۳)، احتمالاً موجب محدود شدن رشد مجدد پس از برداشت اول شد، در حالی که در سال دوم به دلیل استقرار بهتر گیاه و شرایط مناسب‌تر رشد، چین دوم عملکرد و کیفیتی مشابه یا حتی بهتر از چین اول تولید کرد.

بنابراین چنین استنباط می‌شود که عملکرد چین دوم در شبدر ایرانی تا حد زیادی به شرایط آب و هوایی سال زراعی وابسته است و مدیریت مناسب آبیاری و تغذیه پس از برداشت اول می‌تواند سهم مهمی در حفظ عملکرد چین دوم داشته باشد. شواهد این تفسیر در نتایج این پژوهش قابل ردیابی است: عملکرد چین دوم در سال اول ۱۶۵۳ کیلوگرم در هکتار (۳۴ درصد کمتر از چین اول) بود، در حالی که در سال دوم به ۲۸۰۵ کیلوگرم در هکتار و هم‌سطح چین اول (۲۷۹۴ کیلوگرم در هکتار) رسید. عملکرد ماده خشک قابل هضم چین دوم از ۱۰۵۴ به ۱۷۷۸ کیلوگرم در هکتار و عملکرد پروتئین چین دوم از ۳۴۰/۱ به ۶۵۴/۱ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. همچنین انرژی خالص شیردهی چین دوم در سال اول کمتر از چین اول (۱/۴۵۱ در برابر ۱/۵۰۰ مگا کالری در کیلوگرم) و در سال دوم بیشتر از آن

(۱/۴۳۹ در برابر ۱/۴۱۲) بود (جدول ۶).

برهمکنش لاین $\times$ چین بر هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود (جدول ۵) که نشان می‌دهد همه لاین‌ها از نظر الگوی پاسخ به برداشت اول و دوم رفتار نسبتاً مشابهی داشتند. به عبارت دیگر، الگوی رشد مجدد پس از هر چین در همه لاین‌ها نسبتاً مشابه بود و تفاضل عملکرد علوفه بین دو چین عمدتاً تحت تأثیر عوامل آب و هوایی قرار داشت. همچنین برهمکنش سه‌گانه سال $\times$ لاین $\times$ چین تنها بر ماده خشک مصرفی، کربوهیدرات‌های محلول در آب، میزان خاکستر و ارزش نسبی تغذیه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۵). این یافته‌ها بیان می‌کند که اگرچه تغییرات آب و هوایی بر کیفیت علوفه در برخی لاین‌ها تأثیر گذاشت، اما الگوی کلی واکنش لاین‌ها در دو چین در دو سال از پایداری نسبی برخوردار بود.

عملکرد علوفه خشک

مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ لاین نشان داد که دامنه تغییرات عملکرد علوفه خشک بین لاین‌ها در دو سال زراعی قابل توجه بود (جدول ۶). این تفاوت بیان می‌کند که بخشی از تفاوت عملکرد مشاهده‌شده ناشی از ظرفیت ژنتیکی لاین‌ها و بخش دیگر ناشی از پاسخ متفاوت آن‌ها به تغییرات دما و بارش‌ها بود. کلیه لاین‌های شبدر ایرانی مورد ارزیابی در سال زراعی دوم عملکرد علوفه خشک بیشتری نسبت به سال اول تولید کردند که نشان‌دهنده مساعدتر بودن شرایط آب و هوایی سال دوم برای رشد و تولید ماده خشک بود. افزایش بارش‌های پاییز و زمستان و توزیع

بهتر رطوبت در ابتدای فصل رشد و همچنین دمای مناسب‌تر در ابتدای فصل رشد و اسفند تا خرداد در سال دوم (جدول ۳) احتمالاً موجب استقرار اولیه بهتر بوته‌ها، افزایش تعداد شاخه‌های جانبی و گسترش سطح برگ شده و نهایتاً به افزایش فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک منجر شد. بنابراین تفاوت مشاهده شده بین دو سال زراعی را می‌توان تا حد زیادی ناشی از تفاوت در شرایط آب و هوایی و تاثیر آن بر استقرار اولیه محصول دانست.

افزایش بارندگی‌های پاییز و زمستان علاوه بر بهبود ذخیره رطوبت خاک، موجب توسعه بیشتر سیستم ریشه و افزایش توان جذب عناصر غذایی می‌شود و در نهایت در افزایش عملکرد و کیفیت علوفه را به همراه دارد (Zamanian et al., 2024a). لازم به یادآوری است که در هر دو سال زراعی، نیاز آبی گیاه با آبیاری تکمیلی تأمین شد، بنابراین اثر بارش‌ها نه از طریق رفع تنش خشکی، بلکه عمدتاً از طریق تأمین رطوبت یکنواخت بستر بذر در زمان کاشت و استقرار اولیه گیاهان در پاییز و توزیع بهتر رطوبت در پروفیل خاک قابل تفسیر است. افزون بر این، از آنجا که سال زراعی در این تجزیه به عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته شد، مجموعه عوامل محیطی غیرقابل کنترل هر سال (دما، بارش، تابش و تقاضای تبخیر و تعرق) در قالب اثر سال و برهمکنش‌های آن برآورد شد. نکته قابل توجه در مقایسه میانگین برهمکنش سال × لاین آن است که کلیه لاین‌ها به یک

اندازه از بهبود شرایط محیطی سال زراعی دوم بهره‌مند نشدند. برخی لاین‌ها افزایش چشمگیری در عملکرد علوفه خشک نشان دادند، در حالی که در برخی دیگر تغییرات اندک بود. این موضوع نشان می‌دهد که ظرفیت بهره‌برداری از شرایط محیطی مطلوب، یک ویژگی وابسته به لاین است. لاین‌هایی که در هر دو سال زراعی عملکرد نسبتاً بالایی حفظ کردند (به ترتیب لاین‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۳ و ۵)، از نظر بهنژادی دارای پایداری فنوتیپی بیشتری بودند و می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای انتخاب به عنوان رقم جدید یا استفاده به عنوان والد در برنامه‌های بهنژادی شبدر ایرانی باشند. از سوی دیگر، برخی لاین‌ها همچون لاین‌های شماره ۷ و ۱۳ اگرچه در سال زراعی دوم عملکرد بالایی تولید کردند، اما در سال اول عملکرد نسبتاً پایینی داشتند (جدول ۶). چنین لاین‌هایی دارای حساسیت بیشتری به شرایط محیطی هستند و ممکن است برای مناطق با شرایط اقلیمی کمتر متغیر مناسب باشند. البته این نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

بیشترین عملکرد علوفه خشک در سال‌های زراعی اول و دوم مربوط به لاین شماره ۹ بود که به ترتیب ۲۴۰۵ و ۳۲۷۹ کیلوگرم ماده خشک در هکتار تولید کرد (جدول ۶). پس از آن لاین‌های ۱۰، ۱۳ و ۵ در زمره لاین‌های برتر قرار گرفتند. در مقابل، لاین ۱۶ در هر دو سال زراعی کمترین عملکرد را داشت (به ترتیب ۱۶۰۵ و ۲۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) که

نشان‌دهنده ظرفیت تولیدی پایین‌ترین لاین در شرایط کرج است (جدول ۶). از نظر میزان پاسخ به بهبود شرایط محیطی، لاین شماره ۷ بیشترین افزایش عملکرد را بین دو سال نشان داد (حدود ۷۶ درصد افزایش)، در حالی که لاین‌های ۱۱، ۱۴ و ۱۵ کمترین تغییرات را در دو سال زراعی داشتند. از دیدگاه بهنژادی، لاین‌هایی نظیر ۹ و ۱۰ که هم عملکرد علوفه خشک بالا و هم پایداری نسبی مناسبی دارند، گزینه‌های ارزشمندتری برای ادامه برنامه بهنژادی محسوب می‌شوند.

مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ لاین نشان داد که لاین‌های ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۲، ۸ و ۵ در هر دو سال زراعی و مستقل از شرایط آب و هوایی، در گروه لاین‌های برتر قرار داشتند (جدول ۶). همین پایداری رتبه در دو سال زراعی، مبنای تعیین آن‌ها به عنوان لاین‌های برتر در این پژوهش بود. در مقابل، لاین‌های ۷ و ۳ تنها در سال زراعی دوم عملکرد بالایی داشتند و رتبه آن‌ها در دو سال زراعی متوالی تغییر کرد (جدول ۶). تفاوت عملکرد بین لاین‌ها در دو سال (جدول ۶) می‌تواند با سازگاری متفاوت آن‌ها با شرایط آب و هوایی و مدیریت زراعی در سال‌های مختلف مرتبط باشد (Radinović *et al.*, 2022; Mikulić *et al.*, 2023).

وجود تنوع در عملکرد علوفه لاین‌های مختلف شبدر ایرانی قبلاً نیز گزارش شده است (Zamanian, 2025a,b) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. شبدر ایرانی یکی از

مقاوم‌ترین لگوم‌های علوفه‌ای به سرما است، با این حال پتانسیل تولید لاین‌های مختلف آن تحت شرایط دماهای پائین متفاوت است (Zamanian *et al.*, 2024b). با توجه به زمان کاشت شبدر ایرانی در پائیز و برداشت علوفه آن در بهار، به نظر می‌رسد لاین‌هایی که بیشترین عملکرد علوفه را تولید کردند، لاین‌های شماره ۹ و ۱۰، از سازگاری مناسب‌تری با دماهای پائین در زمستان به عنوان لاین‌های برتر برای کشت در مناطق سردسیر دارا باشند (Zamanian *et al.*, 2024b; Zamanian *et al.*, 2025a). با این حال، این رتبه‌بندی بر اساس میانگین‌های برهمکنش سال $\times$ لاین انجام شد، که برای کلیه صفات معنی‌دار بود (جدول ۵).

بررسی مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ چین نشان داد در سال زراعی اول، چین اول با ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌طور معنی‌داری عملکرد علوفه خشک بالاتری نسبت به چین دوم (۱۶۵۳ کیلوگرم در هکتار) داشت. اما در سال زراعی دوم، این روند برعکس شد و چین دوم با ۲۸۰۵ کیلوگرم در هکتار عملکردی مشابه با چین اول (۲۷۹۴ کیلوگرم در هکتار) تولید کرد (جدول ۶). تفاوت عملکرد علوفه خشک بین چین‌ها در دو سال زراعی را می‌توان به شرایط آب و هوایی متفاوت در دوره رشد نسبت داد (جدول ۳). در سال زراعی دوم، با وجود تأمین نیاز آبی گیاه از طریق آبیاری تکمیلی در هر دو سال زراعی، بارش‌های پاییزه بیشتر بود و رطوبت بستر بذر در دوره جوانه‌زنی و استقرار اولیه یکنواخت‌تر

بود که احتمالاً باعث تسریع استقرار و رشد گیاه و افزایش ذخیره مواد ذخیره‌ای در ریشه شد. در نتیجه، رشد مجدد پس از چین اول تسریع شد و عملکرد چین دوم به‌طور قابل توجهی افزایش یافت.

علاوه بر این، دمای هوا در اسفند تا اردیبهشت سال زراعی دوم ۳/۷ تا ۴/۷ درجه سانتی‌گراد گرمتر از سال زراعی اول بود (جدول ۳). اگرچه این تفاوت در نگاه نخست زیاد به نظر نمی‌رسد، اما از آنجا که دمای این دوره در هر دو سال زراعی پایین‌تر از دمای بهینه رشد شبدر ایرانی بود، در این دامنه هر درجه افزایش دما می‌تواند سرعت رشد مجدد، توسعه سطح برگ و نرخ فتوسنتز خالص چین دوم را به‌طور محسوس افزایش دهد (Zamanian et al., 2024b; Zamanian et al., 2025a). به همین دلیل چین دوم عملکردی مشابه چین اول تولید کرد. این یافته از نظر مدیریت زراعی محصول شبدر ایرانی دوچین اهمیت زیادی دارد، زیرا نشان می‌دهد در شرایط آب و هوایی مناسب، این محصول علوفه‌ای می‌تواند سهم قابل توجهی از تولید سالانه خود را در چین دوم نیز حفظ کند.

محتوی و عملکرد پروتئین خام

مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ لاین نشان داد که درصد پروتئین خام در اکثر لاین‌ها در سال زراعی دوم افزایش یافت (جدول ۶) که احتمالاً ناشی از شرایط آب و هوایی مطلوب‌تر برای تثبیت زیستی نیتروژن و رشد رویشی بیشتر

گیاه بود. لاین شماره ۹ در هر دو سال زراعی بیشترین درصد پروتئین خام را داشت (به ترتیب ۲۲/۲۷ و ۲۵/۸۰ درصد) و پس از آن لاین‌های شماره ۱۰، ۱۳، ۸ و ۵ از نظر میزان پروتئین خام در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین میزان پروتئین خام نیز به لاین ۱۶ اختصاص داشت که در هر دو سال زراعی کمتر از ۱۷ درصد بود (جدول ۶).

بیشترین عملکرد پروتئین خام در هر دو سال زراعی نیز متعلق به لاین شماره ۹ بود (به ترتیب ۵۳۶ و ۸۴۳ کیلوگرم در هکتار). لاین‌های ۱۰، ۱۳، ۸ و ۷ نیز عملکرد پروتئین خام بالایی داشتند. در مقابل، لاین ۱۶ با ۲۶۴ و ۴۱۸ کیلوگرم پروتئین در هکتار پایین‌ترین عملکرد پروتئین خام را نشان داد (جدول ۶). تفاوت لاین‌ها از نظر عملکرد پروتئین خام احتمالاً ناشی از تفاوت ژنتیکی در توان تثبیت زیستی نیتروژن، سرعت جذب نیتروژن معدنی، نسبت برگ به ساقه و سرعت پیری برگ‌ها بود (Leto et al., 2004; Jabbar et al., 2022; Zamanian et al., 2025a). در گیاهان لگوم، بخش عمده پروتئین در برگ‌ها تجمع می‌یابد، بنابراین لاین‌هایی که نسبت برگ به ساقه بیشتری دارند یا برگ‌های آن‌ها دیرتر پیر می‌شوند، معمولاً درصد پروتئین خام بالاتری نیز دارند (Pourali et al., 2023; Mikulić et al., 2023).

از طرف دیگر، شرایط آب و هوایی سال زراعی دوم احتمالاً با افزایش فعالیت

باکتری‌های همزیست ریزوبیوم و بهبود فرآیند تثبیت نیتروژن، زمینه افزایش سنتز پروتئین را فراهم کرد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که فعالیت ریزوبیوم‌ها به شدت تحت تأثیر رطوبت خاک و دمای محیط قرار دارد و شرایط مطلوب رشد می‌تواند میزان تثبیت نیتروژن را به طور محسوسی افزایش دهد. افزایش ۵۷ درصدی عملکرد پروتئین خام لاین شماره ۹ از سال زراعی اول به دوم علاوه بر افزایش عملکرد خشک، ناشی از افزایش هم‌زمان درصد پروتئین خام نیز بود که ویژگی این لاین را از نظر تولید پروتئین خام بسیار مطلوب نشان داد. این موضوع حساسیت زیاد عملکرد پروتئین خام به شرایط محیطی و مدیریت زراعی را نشان داد. به نظر می‌رسد لاین‌های برتر شبدر ایرانی با بهره‌برداری بهینه از منابع محیطی و نرخ فتوسنتز بالاتر باعث افزایش رشد رویشی و توسعه برگ‌ها و بهبود محتوی و عملکرد پروتئین شدند (Zamanian and Golzardi, 2024; Zamanian et al., 2025a).

در میان صفات اندازه‌گیری‌شده در این پژوهش، بیشترین رابطه با عملکرد پروتئین خام به ترتیب مربوط به عملکرد ماده خشک و سپس درصد پروتئین خام بود. به‌طوری‌که در لاین ۹ شماره افزایش ۳۶ درصدی عملکرد ماده خشک (از ۲۴۰۵ به ۳۲۷۹ کیلوگرم در هکتار) همراه با افزایش ۱۵/۹ درصدی پروتئین خام (از ۲۲/۲۷ به ۲۵/۸۰ درصد)، افزایش ۵۷ درصدی عملکرد پروتئین خام را به دنبال داشت. همچنین لاین‌هایی که کمترین ADF و NDF و بیشترین

درصد خاکستر را داشتند (لاین‌های ۹، ۱۰ و ۱۳) بالاترین درصد پروتئین خام را نیز نشان دادند، در حالی که لاین شماره ۱۶ با بیشترین یاف کمترین پروتئین خام را داشت. این هم‌راستایی، از نظر تئوری، پیشنهاد مبتنی بر نسبت برگ به ساقه مطلوب‌تر را پشتیبانی می‌کند، هرچند این صفت در پژوهش حاضر اندازه‌گیری نشد.

مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ چین نشان داد که بیشترین عملکرد پروتئین خام (۶۵۴ کیلوگرم در هکتار) در چین دوم از سال زراعی دوم و کمترین آن (۳۴۰ کیلوگرم در هکتار) در چین دوم از سال زراعی اول به دست آمد (جدول ۶). در سال زراعی اول، درصد پروتئین خام در چین دوم (۲۰/۴۷ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از چین اول (۱۹/۵۵ درصد) بود. این تفاوت در سال زراعی دوم نیز مشاهده شد. به‌طوری‌که مقدار پروتئین خام از ۲۰/۰۹ درصد در چین اول به ۲۳/۱۷ درصد در چین دوم افزایش یافت. افزایش پروتئین خام در چین دوم را احتمالاً می‌توان به افزایش نسبت برگ به ساقه و فعالیت بیشتر گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نسبت داد (Heydarzadeh et al., 2022). هرچند نسبت برگ به ساقه و تعداد و وزن گره‌های ریشه در این پژوهش اندازه‌گیری نشد و این تفسیر بر پایه محتوی بالاتر پروتئین خام و خاکستر چین دوم (دو صفتی که عمدتاً در برگ تجمع می‌یابند) ارائه شده است.

در سال زراعی اول، عملکرد پروتئین خام در

چین اول به طور معنی داری بیشتر از چین دوم بود که عمدتاً ناشی از کاهش عملکرد ماده خشک در رشد مجدد بود. اما در سال زراعی دوم، عملکرد پروتئین در چین دوم به طور معنی داری بیشتر از چین اول شد، که با افزایش محتوی پروتئین و عملکرد ماده خشک در چین دوم مرتبط بود (جدول ۶). این یافته مهمی است، زیرا نشان می دهد در سال های زراعی با شرایط رشد مطلوب، افزایش درصد پروتئین خام در چین دوم به اندازه ای است که حتی کاهش احتمالی عملکرد ماده خشک در چین دوم را نیز جبران کرده و در نهایت عملکرد پروتئین خام بیشتری تولید می شود. از دیدگاه تغذیه دام، این یافته اهمیت زیادی دارد، زیرا چین دوم در چنین شرایطی نه تنها از نظر کیفیت علوفه بلکه از نظر مقدار پروتئین خام تولیدی نیز ارزش بالایی دارد (Ashoori et al., 2021).

الیاف نامحلول در شوینده های اسیدی و خنثی

مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ لاین نشان داد که دامنه تغییرات ADF و NDF بین لاین های شبدر ایرانی مورد ارزیابی نسبتاً وسیع بود. این نتیجه نشان می دهد که سرعت تشکیل دیواره سلولی و میزان لیگنینی شدن بافت ها علاوه بر خصوصیات ژنتیکی، به شرایط محیطی نیز وابسته است. کمترین مقدار ADF در هر دو سال زراعی به لاین ۹ شماره اختصاص داشت (۲۸/۷۵ و ۳۰/۲۰ درصد) و پس از آن لاین های ۱۰، ۱۳، ۱۲ و ۱۵ قرار گرفتند. در مقابل، بیشترین مقدار ADF در لاین شماره ۱۶ مشاهده شد.

محتوی ADF یکی از مهمترین شاخص های تعیین کننده قابلیت هضم علوفه است و افزایش آن با کاهش ارزش غذایی همراه است (Ashoori et al., 2021). پایین بودن ADF در لاین های شماره ۹ و ۱۰ نشان داد که این لاین ها دارای دیواره سلولی نازک تر و میزان لیگنین کمتری بودند و بنابراین قابلیت هضم بالاتری دارند (Kucukduvan and Ates, 2021). این لاین ها معمولاً نسبت برگ به ساقه بیشتری دارند و به دلیل حفظ بافت های جوان تر، از قابلیت هضم بالاتری برخوردارند (Rady et al., 2022). در مقابل، مقادیر بالای ADF در لاین های ۱۶، ۱۴ و ۱۱ حاکی از توسعه بیشتر بافت های ساختمانی نگهدارنده ساقه و کاهش کیفیت تغذیه ای آن است.

جالب توجه است که در اکثر لاین ها مقدار ADF در سال زراعی دوم اندکی افزایش یافت. این افزایش احتمالاً به دلیل رشد سریع تر گیاه و توسعه بیشتر ساختارهای نگهدارنده ساقه در شرایط مطلوب تر سال زراعی دوم بود. با وجود این، تفاوت بین لاین ها همچنان از تفاوت بین دو سال زراعی بیشتر بود که نقش تفاوت ژنتیکی را در کنترل این صفت نشان می دهد. مقایسه میانگین سال $\times$ چین نشان داد که در سال زراعی اول مقدار ADF در چین دوم (۳۲/۴۲ درصد) به طور معنی داری بیشتر از چین اول (۳۰/۵۶ درصد) بود که نشان دهنده کاهش کیفیت علوفه در رشد مجدد بود. در مقابل، در سال زراعی دوم مقدار ADF در چین دوم (۳۲/۸۹ درصد) اندکی کمتر

از چین اول (۳۳/۹۳ درصد) ثبت شد. این یافته نشان می‌دهد که در سال زراعی نخست، محدودیت‌های محیطی موجب تسریع بلوغ فیزیولوژیک و افزایش ضخامت دیواره سلولی در رشد مجدد شد، در حالی که در سال زراعی دوم به دلیل رشد سریع‌تر و شرایط مناسب‌تر، بافت‌های تولیدشده در چین دوم جوان‌تر باقی ماند و کیفیت علوفه حفظ شد.

کمترین مقدار NDF در هر دو سال زراعی مربوط به لاین شماره ۹ بود (به ترتیب ۳۸ و ۳۹/۷۱ درصد). لاین‌های ۱۰، ۱۳، ۱۵ و ۱۲ نیز مقادیر نسبتاً پایینی از NDF داشتند. در مقابل، بیشترین مقدار NDF به لاین ۱۶ اختصاص یافت که در سال زراعی دوم به بیش از ۴۶ درصد رسید. NDF مهمترین شاخص پیش‌بینی‌کننده مصرف اختیاری خوراک توسط دام است و هرچه مقدار آن کمتر باشد، دام قادر خواهد بود مقدار بیشتری علوفه مصرف کند (Bakhtiyari et al., 2020; Heydarzadeh et al., 2023). از نظر تغذیه‌ای، ترکیب همزمان NDF پایین و پروتئین خام بالا در لاین شماره ۹ یک ویژگی بسیار مطلوب محسوب می‌شود، زیرا چنین علوفه‌ای علاوه بر ارزش غذایی بالا، قابلیت مصرف بیشتری نیز خواهد داشت. در مقابل، NDF بالای لاین ۱۶ احتمالاً موجب کاهش مصرف خوراک و کاهش بهره‌وری دام خواهد شد.

مقایسه میانگین سال $\times$ چین نشان داد که در سال زراعی نخست مقدار NDF در چین دوم

بیشتر از چین اول بود، در حالی که در سال زراعی دوم تفاوت معنی‌داری بین دو چین مشاهده نشد. در اکثر لاین‌ها مقدار NDF در سال زراعی دوم اندکی افزایش یافت که مشابه روند مشاهده شده برای ADF بود. این موضوع نشان می‌دهد که بهبود شرایط رشد اگرچه باعث افزایش عملکرد شد، اما تا حدودی نیز موجب افزایش اجزای ساختمانی گیاه گردید. این روند احتمالاً ناشی از افزایش نسبت برگ به ساقه در رشد مجدد سال دوم و همچنین بهبود شرایط فتوسنتزی در زمان تشکیل شاخه‌های جدید بود (Moradi-Ghahderijani et al., 2024). از نظر مدیریتی، این یافته اهمیت زیادی دارد، زیرا نشان می‌دهد در سال‌های زراعی دارای شرایط آب و هوایی مناسب، برداشت دوم نه تنها از نظر عملکرد، بلکه از نظر قابلیت مصرف نیز می‌تواند کیفیت مطلوبی داشته باشد.

قابلیت هضم علوفه و انرژی خالص شیردهی

در هر دو سال، لاین شماره ۹ بیشترین قابلیت هضم ماده خشک (DDM) را نشان داد و تفاوت معنی‌داری با سایر لاین‌ها داشت (جدول ۶). علاوه بر لاین شماره ۹، لاین‌های ۱۰، ۱۳، ۱۲ و ۱۵ نیز در گروه لاین‌های برتر قرار گرفتند که بیانگر وجود ویژگی‌های مطلوب در ساختار دیواره سلولی این لاین‌ها بود. در مقابل، لاین ۱۶ کمترین DDM را در هر دو سال نشان داد. قابلیت هضم علوفه خشک (DDM) یکی از مهمترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت علوفه

است و تحت تأثیر میزان ADF قرار می گیرد (Rady *et al.*, 2022). پایداری جایگاه لاین های شماره ۹، ۱۰ و ۱۳ در دو سال زراعی متوالی نشان می دهد که پایین بودن ADF در این لاین ها عمدتاً منشأ ژنتیکی داشته و کمتر تحت تأثیر تغییرات محیطی قرار گرفت (Nölke *et al.*, 2021).

هر چند لاین های شبدر ایرانی مورد ارزیابی در پژوهش حاضر منشأ متفاوتی دارند (جدول ۱)، اما احتمالاً طی فرآیند انتخاب، لاین هایی با نسبت برگ به ساقه بالاتر و سرعت لیگنینی شدن کمتر انتخاب شده اند (Radinović *et al.*, 2022; Mikulić *et al.*, 2023; Nay *et al.*, 2023). در مقابل، کاهش DDM در لاین های ۱۱، ۱۴ و ۱۶ ناشی از افزایش ADF و توسعه بیشتر بافت های ساختمانی است. افزایش لیگنین نه تنها قابلیت هضم سلولز و همی سلولز را کاهش می دهد، بلکه دسترسی میکروارگانیزم های شکمبه به سایر اجزای دیواره سلولی را نیز محدود می کند. از این رو کاهش DDM در این لاین ها کاملاً با افزایش ADF مطابقت دارد (جدول ۶).

در سال زراعی اول، DDM چین اول (۶۵/۱ درصد) به طور معنی داری بیشتر از چین دوم (۶۳/۶۴ درصد) بود که نشان دهنده کاهش کیفیت علوفه در رشد مجدد بود (جدول ۶). این روند احتمالاً ناشی از افزایش نسبی لیگنین و ضخیم تر شدن دیواره سلولی در شرایط خشک تر سال زراعی نخست است. در مقابل،

در سال دوم DDM چین دوم اندکی بیشتر از چین اول بود. این یافته نشان می دهد که احتمالاً شرایط رطوبتی مناسب تر سال زراعی دوم، علاوه بر افزایش عملکرد، موجب حفظ بافت های جوان تر و کاهش سرعت لیگنینی شدن در چین دوم شد. از دیدگاه مدیریت مزرعه، این یافته اهمیت زیادی دارد، زیرا نشان می دهد در سال های زراعی دارای شرایط آب و هوایی مطلوب، علوفه تولیدی چین دوم می تواند تقریباً همان کیفیت علوفه چین اول را دارا باشد.

اگرچه DDM شاخص مناسبی برای ارزیابی کیفیت علوفه است، اما از نظر تولیدکننده، عملکرد ماده خشک قابل هضم (DDMY) اهمیت بیشتری دارد، زیرا هم عملکرد علوفه و هم قابلیت هضم آن را به طور همزمان در نظر می گیرد. در واقع، DDMY یکی از بهترین معیارها برای انتخاب لاین های برتر در برنامه های بهنژادی گیاهان علوفه ای است. لاین شماره ۹ در هر دو سال بیشترین DDMY را داشت. این برتری ناشی از ترکیب همزمان عملکرد بالا و بیشترین DDM بود. پس از آن، لاین های ۱۰، ۱۳، ۸ و ۵ بیشترین DDMY را داشتند. در مقابل، لاین ۱۶ به دلیل عملکرد پایین و قابلیت هضم کمتر، پایین ترین مقدار DDMY را نشان داد (جدول ۶).

نکته قابل توجه آن است که برخی لاین ها مانند لاین ۱۷ اگرچه از نظر DDM در حد متوسط بودند، اما به دلیل افزایش چشمگیر عملکرد ماده خشک در سال زراعی دوم، DDMY نسبتاً

بالایی تولید کردند. این موضوع نشان می‌دهد که در انتخاب لاین‌های علوفه‌ای نباید صرفاً بر شاخص‌های کیفیت علوفه تمرکز کرد، بلکه عملکرد کمی نیز باید همزمان مدنظر قرار گیرد. در سال زراعی اول، DDMY چین دوم نسبت به چین اول کاهش معنی‌داری داشت که عمدتاً ناشی از کاهش عملکرد ماده خشک بود. اما در سال زراعی دوم، به دلیل حفظ عملکرد چین دوم و همچنین قابلیت هضم مناسب، تفاوت معنی‌داری بین دو چین وجود نداشت (جدول ۶).

انرژی خالص شیردهی (NEL) یکی از مهمترین شاخص‌های ارزیابی ارزش تغذیه‌ای علوفه برای دام‌های شیری است و ارتباط مستقیمی با قابلیت هضم و مقدار الیاف علوفه دارد (Ashoori et al., 2021; Nay et al., 2023). بیشترین مقدار NEL در هر دو سال زراعی مربوط به لاین شماره ۹ بود (به ترتیب ۱/۵۵ و ۱/۵۱ مگا کالری در کیلو گرم) و پس از آن لاین‌های ۱۰، ۱۳، ۱۲ و ۱۵ قرار گرفتند. این لاین‌ها به دلیل ADF پایین و DDM بالا، انرژی قابل استفاده بیشتری برای دام فراهم کردند (Jabbar et al., 2022). در مقابل، لاین ۱۶ کمترین مقدار NEL را داشت که نتیجه مستقیم افزایش الیاف ساختمانی و کاهش قابلیت هضم این لاین بود (جدول ۶).

از نظر فیزیولوژیکی، افزایش NEL در لاین‌های برتر شبدر ایرانی مورد ارزیابی در این پژوهش نشان داد که این لاین‌ها سهم بیشتری از

کربوهیدرات‌های قابل تخمیر و اجزای سلولی قابل هضم را در ساختار علوفه خود حفظ کردند. این ویژگی علاوه بر افزایش تولید شیر، موجب بهبود کارایی تبدیل خوراک نیز خواهد شد (Leto et al., 2024). در سال زراعی اول مقدار NEL در چین دوم کمتر از چین اول بود که با افزایش ADF و کاهش DDM مرتبط است. اما در سال زراعی دوم، انرژی خالص شیردهی چین دوم بیشتر از چین اول بود (جدول ۶). این یافته نشان می‌دهد که در شرایط آب و هوایی مطلوب، چین دوم نه تنها از نظر عملکرد، بلکه از نظر ارزش انرژی نیز کیفیت قابل قبولی دارد و می‌تواند سهم مهمی در تأمین خوراک دام‌های پرتولید ایفا کند.

کربوهیدرات‌های محلول در آب و خاکستر

کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSC) از مهمترین ترکیبات تعیین کننده کیفیت سیلاژ هستند و علاوه بر تأمین انرژی برای میکروارگانیسم‌های شکمبه، نقش کلیدی در رشد مجدد گیاه پس از برداشت دارند (Rady et al., 2022). مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ لاین $\times$ چین نشان داد که در سال زراعی اول و چین اول، لاین ۹ شماره و پس از آن لاین‌های ۱۰، ۱۳، ۱۲، ۱۵ و ۱۱ بیشترین مقدار WSC را تولید کردند (جدول ۷). در مقابل، لاین‌های ۱۶ و ۷ کمترین WSC را داشتند. در اکثر لاین‌ها مقدار WSC در چین دوم سال زراعی اول به شدت کاهش یافت.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش سال $\times$ لاین $\times$ چین بر کیفیت علوفه لاین های شبدر ایرانی دوچین
Table 7. Mean comparison of the year $\times$ line $\times$ cut interaction on the forage quality of double-cut Persian clover lines

لاین Line	محتوی خاکستر (درصد) Ash content (%)				کربوهیدرات‌های محلول در آب (درصد) Water-soluble carbohydrates (%)			
	2024		2025		2024		2025	
	Cut 1	Cut 2	Cut 1	Cut 2	Cut 1	Cut 2	Cut 1	Cut 2
No.1	5.89	5.66	6.09	6.12	3.50	3.17	5.07	5.16
No.2	6.20	5.66	5.63	5.91	4.51	3.52	4.60	4.19
No.3	5.61	5.91	6.12	6.12	3.36	2.88	5.26	5.18
No.4	6.05	5.79	6.09	6.10	4.48	3.49	5.07	4.96
No.5	6.23	6.16	6.15	6.26	5.08	3.80	5.27	5.27
No.6	5.53	5.64	5.93	6.00	3.28	2.87	4.94	4.42
No.7	5.06	5.59	6.35	6.31	1.66	2.37	5.91	5.37
No.8	5.99	5.84	6.50	6.32	4.51	3.25	5.46	5.49
No.9	6.99	6.73	6.63	6.74	6.66	5.19	7.15	5.79
No.10	6.99	6.39	6.59	6.72	6.55	4.54	6.90	5.64
No.11	6.53	6.16	5.41	6.09	5.71	3.96	4.21	4.14
No.12	6.66	6.24	5.97	5.92	6.15	2.17	5.01	4.86
No.13	6.62	6.38	6.37	6.46	6.28	4.20	6.37	5.60
No.14	6.22	5.91	5.19	5.74	5.05	3.77	3.80	3.99
No.15	6.54	6.19	5.69	5.92	5.95	3.97	4.76	4.26
No.16	5.04	5.43	5.01	5.44	1.51	2.14	3.76	3.58
LSD _{0.05} (L)	0.24	0.17	0.65	0.36	0.32	0.79	1.02	0.97
LSD _{0.05} (Y × L)	0.20		0.51		0.59		0.97	
LSD _{0.05} (Y × L × C)			0.39				0.74	

Table 7. Continued

ادامه جدول ۷-

لاین Line	ماده خشک مصرفی (درصد) Dry matter intake (%)				ارزش نسبی تغذیه‌ای (درصد) Relative feed value (%)			
	2024		2025		2024		2025	
	Cut 1	Cut 2	Cut 1	Cut 2	Cut 1	Cut 2	Cut 1	Cut 2
No.1	2.927	2.783	2.820	2.907	144.56	136.48	136.60	145.76
No.2	2.980	2.837	2.740	2.893	148.70	140.31	130.67	144.78
No.3	2.873	2.863	2.847	2.717	140.83	139.65	138.76	131.51
No.4	2.973	2.823	2.773	2.773	148.14	139.42	133.21	135.94
No.5	3.233	2.737	2.887	2.787	166.27	132.86	141.63	136.98
No.6	2.840	2.780	2.750	2.737	138.30	134.71	131.53	133.11
No.7	2.820	2.790	2.927	2.827	136.99	134.25	144.53	139.69
No.8	3.057	2.810	2.900	2.807	151.25	138.55	142.67	138.26
No.9	3.350	2.987	3.010	3.033	175.41	151.51	150.80	155.50
No.10	3.303	2.943	2.973	2.923	172.55	148.36	148.13	146.93
No.11	3.217	2.860	2.713	2.663	166.02	142.33	128.78	127.41
No.12	3.287	2.877	2.770	2.747	170.12	143.65	133.28	133.68
No.13	3.280	2.907	2.940	2.910	171.01	145.55	145.70	146.02
No.14	3.127	2.877	2.677	2.623	159.43	143.54	126.24	124.56
No.15	3.227	2.970	2.747	2.727	167.04	147.90	131.31	132.24
No.16	2.760	2.863	2.630	2.583	132.48	136.42	122.53	121.47
LSD _{0.05} (L)	0.176	0.173	0.217	0.197	9.05	10.08	16.08	14.72
LSD _{0.05} (Y × L)	0.171		0.203		9.38		15.10	
LSD _{0.05} (Y × L × C)			0.175				11.35	

بیشترین کاهش در میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب مربوط به لاین ۱۲ بود که بیش از ۶۴ درصد کاهش را نشان داد. لاین‌های ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۵ و ۵ نیز کاهش چشمگیری نشان دادند. این کاهش بیانگر مصرف گسترده ذخایر کربوهیدرات برای تشکیل شاخه‌های جدید و رشد مجدد بود. با این حال، لاین شماره ۹ با وجود کاهش از ۶/۶۶ به ۵/۱۹ درصد، همچنان بالاترین مقدار WSC را حفظ کرد که نشان‌دهنده توان بالای این لاین در سنتز مجدد و جایگزینی ذخایر مصرف‌شده بود. در سال زراعی دوم، الگوی پاسخ لاین‌ها تا حدی تغییر کرد. مقدار WSC در چین اول بسیاری از لاین‌ها نسبت به سال زراعی اول افزایش یافت که احتمالاً ناشی از شرایط مناسب‌تر برای فتوسنتز و ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی بود (Heydarzadeh *et al.*, 2023). بیشترین مقدار WSC مجدداً متعلق به لاین شماره ۹ (۷/۱۵ درصد) بود و پس از آن لاین‌های شماره ۱۰، ۱۳، ۷ و ۸ قرار گرفتند.

جالب توجه است که لاین شماره ۷ که در سال زراعی نخست کمترین مقدار WSC را داشت، در سال زراعی دوم افزایش چشمگیری نشان داد که احتمالاً ناشی از سازگاری بیشتر این لاین با شرایط آب و هوایی سال دوم بود. در چین دوم سال زراعی دوم نیز مقدار WSC در اغلب لاین‌ها نسبت به چین اول کاهش یافت، اما شدت این کاهش نسبت به سال زراعی نخست کمتر بود. برای مثال، کاهش WSC در لاین شماره ۹ تنها حدود ۱۹ درصد بود، در حالی که این افت در سال زراعی اول بیش از ۲۲ درصد

برآورد شد. همچنین مقدار WSC چین دوم سال زراعی دوم در کلیه لاین‌ها نسبت به سال اول افزایش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی مطلوب‌تر در سال زراعی دوم احتمالاً موجب افزایش سرعت فتوسنتز و جایگزینی سریع‌تر ذخایر کربوهیدرات پس از برداشت اول شد.

در مجموع، لاین شماره ۹ و پس از آن لاین شماره ۱۰ نه تنها بالاترین WSC را در تمامی ترکیب‌های سال زراعی و چین حفظ کردند، بلکه بیشترین پایداری را نیز نشان دادند. چنین ویژگی‌ای برای تولید سیلاژ با کیفیت بالا و همچنین حفظ توان رشد مجدد در سیستم‌های چندبرداشتی بسیار ارزشمند است (Zamanian *et al.*, 2025a).

محتوی خاکستر نشان‌دهنده مجموع مواد معدنی موجود در علوفه است و علاوه بر زمینه ژنتیکی، به شدت تحت تأثیر شرایط رشد، جذب عناصر غذایی و نسبت برگ به ساقه قرار دارد (Zamanian *et al.*, 2024a). در سال زراعی اول، بیشترین مقدار خاکستر در چین اول مربوط به لاین‌های شماره ۹ و ۱۰ بود و پس از آن لاین‌های شماره ۱۲، ۱۳، ۱۵ و ۱۱ قرار گرفتند. کمترین میزان خاکستر نیز در لاین‌های ۱۶ و ۷ مشاهده شد (جدول ۷). در چین دوم سال نخست، مقدار خاکستر در اکثر لاین‌ها کاهش یافت. بیشترین کاهش مربوط به لاین ۱۰ بود که از ۶/۹۹ به ۶/۳۹ درصد رسید، در حالی که برخی لاین‌ها مانند لاین‌های شماره ۳، ۶، ۷ و

۱۶ اندکی افزایش نشان دادند. این روند احتمالاً ناشی از افزایش سهم ساقه و کاهش نسبت برگ به ساقه در رشد مجدد است، زیرا برگ‌ها نسبت به ساقه غلظت بیشتری از عناصر معدنی دارند (Radinović et al., 2022).

در سال زراعی دوم الگوی متفاوتی مشاهده شد. در اکثر لاین‌ها میزان خاکستر نسبت به سال زراعی نخست افزایش یافت که احتمالاً ناشی از شرایط مناسب‌تر رطوبتی و جذب بیشتر عناصر غذایی از خاک بود. بیشترین مقدار خاکستر مربوط به لاین شماره ۹ و سپس لاین‌های شماره ۱۰، ۸، ۱۳ و ۷ بود. در مقابل، لاین ۱۶ همچنان کمترین مقدار خاکستر را داشت (جدول ۷). حفظ میزان بالای خاکستر در لاین‌های شماره ۹، ۱۰ و ۱۳ علاوه بر کیفیت تغذیه‌ای مطلوب، نشان‌دهنده کارایی بیشتر این لاین‌ها در جذب عناصر معدنی و انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی است (Pourali et al., 2023). از نظر بهنژادی، این ویژگی می‌تواند برای افزایش ارزش تغذیه‌ای علوفه مورد استفاده قرار گیرد (Heydarzadeh et al., 2023).

ماده خشک مصرفی و ارزش نسبی تغذیه‌ای

ماده خشک مصرفی یکی از شاخص‌های کلیدی پیش‌بینی‌کننده مصرف اختیاری خوراک توسط دام است و تابع مقدار NDF می‌باشد. کاهش NDF موجب افزایش سرعت عبور خوراک از شکمبه و افزایش مصرف روزانه علوفه می‌شود (Zamanian et al., 2024a). در چین اول سال زراعی نخست، بیشترین DMI

متعلق به لاین ۹ (۳/۳۵ درصد) بود که تفاوت معنی‌داری با اکثر لاین‌ها داشت. پس از آن لاین‌های شماره ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۵، ۱۵ و ۱۱ در گروه لاین‌های برتر قرار گرفتند. در مقابل، لاین‌های شماره ۱۶، ۷ و ۶ کمترین مقادیر را نشان دادند. این نتایج کاملاً با مقادیر پایین NDF این لاین‌ها مطابقت دارد (جدول ۶)، زیرا کاهش دیواره سلولی امکان مصرف بیشتر خوراک را فراهم می‌کند.

در چین دوم سال زراعی اول، تقریباً تمامی لاین‌ها کاهش DMI را تجربه کردند، اما شدت این کاهش متفاوت بود. بیشترین افت در لاین شماره ۵ با ۱۵/۳ درصد کاهش ثبت شد. همچنین لاین‌های شماره ۱۰، ۱۲، ۱۱ و ۱۴ نیز کاهش زیادی را در چین دوم نشان دادند. در مقابل، DMI لاین شماره ۱۶ افزایش یافت و در لاین شماره ۳ نیز بدون تغییر باقی ماند. این تفاوت بیانگر آن است که برخی لاین‌ها در رشد مجدد، افزایش NDF داشتند، در حالی که برخی دیگر کیفیت خود را حفظ کردند. در سال زراعی دوم، الگوی پاسخ لاین‌ها تغییر کرد. بیشترین DMI در چین اول همچنان متعلق به لاین شماره ۹ بود، اما تفاوت آن با لاین‌های شماره ۱۰، ۱۳، ۸، ۷ و ۵ کمتر از سال زراعی نخست شد. نکته قابل توجه آن است که برخلاف سال زراعی اول، کاهش DMI در چین دوم بسیار محدود بود.

این روند نشان می‌دهد که در سال زراعی دوم، شرایط آب و هوایی مناسب‌تر موجب شد

که رشد مجدد با افزایش قابل توجه NDF همراه نباشد و در نتیجه قابلیت مصرف علوفه در چین دوم حفظ شود. از نظر بهنژادی، لاین شماره ۹ نه تنها بیشترین DMI را در هر دو سال حفظ کرد، بلکه کمترین کاهش کیفیت را در دو چین نشان داد (جدول ۷). این ویژگی احتمالاً ناشی از منشأ کوهستانی این لاین است، جایی که انتخاب طبیعی، گیاهانی با نسبت برگ بیشتر و ساقه‌های ظریف‌تر را حفظ کرده است. همچنین لاین‌های شماره ۱۰، ۱۳ و ۱۲ نیز پایداری نسبی نشان دادند که بیانگر ارزش بهنژادی بالای این ژرم‌پلاسم است (Nay et al., 2023; Mikulić et al., 2023).

ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV) شاخصی تلفیقی است که همزمان قابلیت هضم و قابلیت مصرف را در نظر می‌گیرد و از معتبرترین معیارهای ارزیابی کیفیت علوفه محسوب می‌شود (Heydarzadeh et al., 2023). در سال زراعی اول و چین اول، لاین شماره ۹ بالاترین RFV (۱۷۵) را داشت و تفاوت معنی‌داری با اکثر لاین‌ها نشان داد. پس از آن لاین‌های شماره ۱۰ (۱۷۳)، ۱۳ (۱۷۱)، ۱۲ (۱۷۰)، ۱۵ (۱۶۷)، ۵ (۱۶۶) و ۱۱ (۱۶۶) در گروه برتر قرار گرفتند. در مقابل، لاین ۱۶ (۱۳۲) پایین‌ترین RFV را داشت (جدول ۷).

در چین دوم در سال زراعی اول، کلیه لاین‌ها کاهش RFV داشتند. بیشترین افت مربوط به لاین شماره ۵ بود که از ۱۶۶ به ۱۳۳ کاهش یافت (جدول ۷). لاین‌های شماره ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۵ نیز کاهش قابل توجهی را در چین دوم نشان

دادند. این کاهش عمدتاً ناشی از افزایش NDF و ADF و کاهش همزمان DMI و DDM در رشد مجدد بود (Zamanian et al., 2025a). در سال زراعی دوم نیز لاین شماره ۹ همچنان برترین لاین باقی ماند. پس از آن لاین‌های ۱۰، ۱۳، ۷ و ۸ در گروه برتر قرار گرفتند، در حالی که لاین‌های ۱۶، ۱۴ و ۱۱ کمترین RFV را داشتند (جدول ۷).

نکته مهم این است که اگرچه RFV اکثر لاین‌ها در سال زراعی دوم نسبت به سال نخست کاهش یافت، اما اختلاف بین چین اول و دوم کمتر از سال اول بود. این نتیجه نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی مناسب‌تر سال دوم موجب حفظ کیفیت تغذیه‌ای علوفه در برداشت دوم شده است (Pourali et al., 2023). از دیدگاه اصلاح نباتات، لاین شماره ۹ به دلیل برتری همزمان برای DMI، WSC، DDM و RFV ارزشمندترین لاین این مطالعه شناسایی شد (جدول ۷). پس از آن، لاین‌های شماره ۱۰، ۱۳ و ۱۲ نیز کیفیت تغذیه‌ای مطلوب و پایداری مناسبی در دو سال زراعی و دو چین نشان دادند. در مقابل، لاین شماره ۱۶ در اغلب شاخص‌های کیفیت پایین‌ترین میزان را داشت که بیانگر محدودیت ژنتیکی آن برای استفاده در برنامه‌های بهنژادی شبدر ایرانی بود. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب لاین‌های برتر در شبدر ایرانی باید بر پایه مجموعه‌ای از صفات عملکردی و ویژگی‌های کیفیت و همچنین پایداری آن‌ها در شرایط مختلف محیطی انجام گیرد، نه صرفاً بر

اساس عملکرد ماده خشک.

در تبیین سازکار برتری لاین‌های شبدر ایرانی دوچین موفق بر پایه صفات اندازه‌گیری‌شده می‌توان پیام روشنی درباره صفات موثر بر ارتقای عملکرد کمی و کیفیت علوفه ارائه کرد: برتری لاین‌های شماره ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۲، ۸ و ۵ حاصل تجمع همزمان سه ویژگی: (الف) توان تولید ماده خشک بالاتر در چین اول، (ب) حفظ توان رشد مجدد و تولید علوفه در چین دوم و (ج) محتوی پایین‌تر الیاف و قابلیت هضم بالاتر بود. از آنجایی که ماده خشک مصرفی تابع معکوس NDF و ارزش نسبی تغذیه‌ای حاصل ضرب قابلیت هضم و ماده خشک مصرفی است، کاهش NDF نقش محوری در ارتقای کیفیت داشت، به گونه‌ای که لاین شماره ۹ با کمترین NDF بالاترین ارزش نسبی تغذیه‌ای (۱۷۵) را به دست آورد، در حالی که لاین شماره ۱۶ با بیشترین NDF کمترین مقدار این شاخص (۱۳۲) را نشان داد.

علاوه بر این، محتوی بالاتر پروتئین خام و خاکستر در لاین‌های برتر، که هر دو در برگ بیش از ساقه تجمع می‌یابند، به‌طور غیرمستقیم بیانگر نسبت برگ به ساقه مطلوب‌تر و روند کندتر چوبی‌شدن ساقه در این لاین‌ها بود، صفتی که در لگوم‌های علوفه‌ای مهم‌ترین معیار تعیین‌کننده کیفیت محسوب می‌شود. بر این اساس پیشنهاد می‌شود در مراحل بعدی برنامه بهنژادی، صفات مورفولوژیکی (نسبت برگ به ساقه، ارتفاع بوته و تعداد جوانه‌های طوقه) و فیزیولوژیکی (شاخص سطح برگ، محتوی

کلروفیل و کارایی مصرف آب) نیز اندازه‌گیری شود تا معیارهای گزینش غیرمستقیم کارآمدتری برای بهبود عملکرد و ویژگی‌های کیفیت علوفه شبدر ایرانی دوچین تعیین گردد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که لاین‌های شبدر ایرانی دوچین مورد بررسی از نظر عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای علوفه، تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی داشتند و واکنش آن‌ها به شرایط محیطی و چین‌برداری یکسان نبود. این تنوع می‌تواند مبنای مناسبی برای انتخاب لاین‌های برتر در برنامه‌های بهنژادی و تولید ارقام جدید باشد. نتایج نشان داد که شبدر ایرانی دوچین در صورت استقرار اولیه مناسب در شرایط دمایی مطلوب و برخورداری از رطوبت کافی در مراحل رشد، می‌تواند علاوه بر افزایش تولید زیست‌توده، کیفیت تغذیه‌ای مطلوب خود در چین دوم را نیز حفظ کند.

در میان لاین‌های مورد بررسی، لاین شماره ۹ (BPC/Lordegan) به‌طور پایدار بالاترین عملکرد و کیفیت علوفه را به خود اختصاص داد. همچنین لاین‌های شماره ۱۰ (BPC/Qourshibashi)، ۱۳ (KPC/2chin14)، ۱۲ (KPC/2chin13)، ۸ (BPC/Shazand) و ۵ (BPC/Kermanshah) نیز از نظر ترکیب عملکرد و کیفیت علوفه در زمره لاین‌های برتر قرار گرفتند و به‌عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند برای برنامه‌های بهنژادی قابل معرفی هستند. به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش سال × لاین، انتخاب در شبدر ایرانی دوچین باید بر پایه عملکرد و

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در اجرای این پروژه تحقیقاتی مصوب با کد ۰۱-۰۳-۰۳-۰۳۲-۰۲۰۵۰۱ سپاسگزاری می‌کنند.

عدم تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌دارند که هیچگونه تعارض منافع با هم و سایر اشخاص حقوقی/حقیقی ندارند.

کیفیت علوفه به‌صورت همزمان و بر اساس پایداری رتبه لاین‌ها در سال‌های مختلف انجام شود. بر این اساس لاین‌های شماره ۹ و ۱۰ به‌عنوان گزینه‌های اصلی معرفی رقم و والدین ارزشمند برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی و لاین‌های شماره ۱۳، ۱۲، ۸ و ۵ به‌عنوان ذخایر ژنتیکی برای برخی صفات شناسایی شدند.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین‌وسیله از پشتیبانی‌های

References

- Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J. and Ilkaee, M.N. 2021. Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. *Bragantia*, 80, e1421. DOI: 10.1590/1678-4499.20200423
- Bakhtiyari, F., Zamanian, M. and Golzardi, F. 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 11(1), pp.49–65.
- Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F. and Torkashvand, A.M. 2021. Effects of limited irrigation on forage yield, nutritive value and water use efficiency of Persian clover (*Trifolium resupinatum*) compared to berseem clover (*Trifolium alexandrinum*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(16), pp.1927-1942. DOI: 10.1080/00103624.2021.1900228
- Haerinasab, M. and Eslami-Farouji, A. 2022. Contribution to the knowledge of the genetic diversity and taxonomy of some Iranian *Trifolium* species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(2), pp.699-717. DOI: 10.1007/s10722-021-01254-w
- Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A., and Jamei, R. 2023. Impact of bio-fertilizers under supplementary irrigation and rain-fed conditions on some physiological responses and forage quality of smooth vetch (*Vicia dasycarpa*). *Journal of Agricultural Science*, 29(3), pp.777-787. DOI: 10.15832/ankutbd.1130289
- Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A., Jamei, R., and Petrusa, E. 2022. Fodder value and physiological aspects of rainfed smooth vetch affected by biofertilizers and

- supplementary irrigation in an agri-silviculture system. *Agroforestry Systems*, 96(1), pp.221-232. DOI: 10.1007/s10457-021-00695-7
- Jabbar, A., Iqbal, A., Iqbal, M.A., Sheikh, U.A.A., Rahim, J., Khalid, S., Hafez, R.M., Shah, A.U.H., Khan, A.A., Bazmi, M.S.A. and Hussain, A. 2022.** Egyptian clover genotypic divergence and last cutting management augment nutritive quality, seed yield and milk productivity. *Sustainability*, 14(10), e5833. DOI: 10.3390/su14105833
- Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A. and 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(2), pp.293–299.
- Kucukduvan, C. and Ates, E. 2021.** Forage yield and some quality traits of Persian clover at winter and spring sowing under Edirne ecological conditions, Turkey. *Current Trends in Natural Sciences*, 10(19), pp.113-120. DOI: 10.47068/ctns.2021.v10i19.015
- Leto, J., Knezevic, M., Bosnjak, K., Macesic, D., Stafa, Z. and Kozumplik, V. 2004.** Yield and forage quality of red clover (*Trifolium pratense* L.) cultivars in the lowland and the mountain regions. *Plant Soil and Environment*, 50(9), pp.391-396. DOI: 10.17221/4049-pse
- Mikulić, M., Atanacković Krstonošić, M., Kladar, N., Vasiljević, S., Katanski, S., Mamlić, Z., Rakić, D. and Cvejić, J. 2023.** Phytochemical composition of different red clover genotypes based on plant part and genetic traits. *Foods*, 13(1), e103. DOI: 10.3390/foods13010103
- Moradi-Ghahderijani, M., Modarres-Sanavy, S., Mokhtassi-Bidgoli, A. and Heidarzadeh, A. 2024.** Evaluation of physiological characteristics and forage quality of Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.) under the different irrigation levels. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17(2), pp.271-286. DOI: 10.22077/escs.2023.5740.2171
- Nay, M.M., Grieder, C., Frey, L.A., Amdahl, H., Radovic, J., Jaluvka, L., Palmé, A., Skøt, L., Ruttink, T. and Kölliker, R. 2023.** Multi-location trials and population-based genotyping reveal high diversity and adaptation to breeding environments in a large collection of red clover. *Frontiers in Plant Science*, 14, e1128823. DOI: 10.3389/fpls.2023.1128823
- Nölke, I., Komainda, M., Tonn, B., Feuerstein, U. and Isselstein, J. 2021.** Including chicory and selecting white clover varieties as strategies to improve temporal stability of forage yield and quality in white-clover-based temporary grassland. *European Journal of Agronomy*, 130, e126362. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126362

- Pourali, S., Aghayari, F., Ardakani, M.R., Paknejad, F. and Golzardi, F. 2023.** Benefits from intercropped forage sorghum–red clover under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75, pp.1769–1780. DOI: 10.1007/s10343-023-00833-4
- Radinović, I., Vasiljević, S. and Branković, G. 2022.** Correlations of morpho-agronomic traits and forage quality properties in diverse red clover (*Trifolium pratense* L.) collections. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 67(2), pp.139-151. DOI: 10.2298/jas2202139r
- Rady, A.M., Attia, M.F., Kholif, A.E., Sallam, S.M. and Vargas-Bello-Pérez, E. 2022.** Improving fodder yields and nutritive value of some forage grasses as animal feeds through intercropping with Egyptian clover (*Trifolium alexandrinum* L.). *Agronomy*, 12(10), e2589. DOI: 10.3390/agronomy12102589
- Shahverdi, M., Zamanian, M., Rahjo, V., Moghaddam, A., Nasrollahi, M., Chegini, A., Chesmenoor, M., Sepahvand, M., Hoseinpour, T., Kooshki, M. H., Mohseni Amin, A., Nabati, E. and Astaraki, H. 2020.** Attar, the first Persian clover cultivar. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 8(2), pp.187-199 (in Persian). DOI: 10.22092/rafhc.2020.122639.1165
- Taab, A., Khazaie, M., Andersson, L., Bergkvist, G. and Radicetti, E. 2023.** Ecological intensification using Persian clover to support weed management in winter wheat under semiarid conditions. *Crop Protection*, 164, e106142. DOI: 10.1016/j.cropro.2022.106142
- Xiong, Y., Xiong, Y., He, J., Yu, Q., Zhao, J., Lei, X., Dong, Z., Yang, J., Peng, Y., Zhang, X. and Ma, X. 2020.** The complete chloroplast genome of two important annual clover species, *Trifolium alexandrinum* and *T. resupinatum*: Genome structure, comparative analyses and phylogenetic relationships with relatives in Leguminosae. *Plants*, 9(4), e478. DOI:10.3390/plants9040478
- Zamanian, M. 2008.** Study and comparison of quantity and quality of forage yield of Persian clover lines. *Pajouhesh and Sazangi Journal*, 57, pp.134 -140 (in Persian).
- Zamanian, M. and Shahvardi, M. 2017.** Stability of forage yield of promising lines of Persian clover (*Trifolium resupinatum* L.). *Seed and Plant*, 33(2), pp.177-194 (in Persian).
- Zamanian, M., Shahverdi, M., Nasrollahi, M., Khodadadi, H., Talebnejad, A. R., Yaghmuri, S., Abbasi, M. R., Rezaei, M., Aghashahi, A. R., Mostafa Tehrani, A., Mirhadi, A., Gholami, H. and Emrahimi, D. 2022.** Pars, new cultivar of Persian clover, suitable for cold and tempered regions. *Research Achievements for Field and Horticulture*

- Crops*, 11(1), pp.39-50 (in Persian). DOI: 10.22092/rafhc.2023.352130.1264
- Zamanian, M. and Golzardi, F. 2024.** Evaluation of forage yield, water-use efficiency and drought tolerance of Persian clover genotypes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(3), pp.721-740 (in Persian). DOI: 10.22034/csrar.2024.369467.1289
- Zamanian, M., Golzardi, F., Gitari, H., Nungula, E., Salehi, F. and Heydarzadeh, S. 2024a.** Enhancing forage nutritional value in Persian clover (*Trifolium resupinatum*) and crimson clover (*Trifolium incarnatum*) through intercropping and optimized seeding rate. *Cogent Food and Agriculture*, 10(1), e2410459. DOI: 10.1080/23311932.2024.2410459
- Zamanian, M., Poureisa, M. and Golzardi, F. 2024b.** The effect of planting date on thermal indices and dry matter yield of different clover genotypes. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 14(1), pp.4787- 4798 (in Persian). DOI: 10.83074/ijpp.2024.2108-1351
- Zamanian, M., Heydarzadeh, S. and Golzardi, F. 2025a.** Evaluation of forage yield and quality of single-cut Persian clover (*Trifolium resupinatum*) lines under climatic conditions of Karaj in Iran. *Seed and Plant*, 40, pp.241–270 (in Persian). DOI: 10.22092/spj.2025.369383.1416
- Zamanian, M., Golzardi, F., Kara, E., Heydarzadeh, S. and Sürmen, M. 2025b.** Impact of deficit irrigation on forage yield, quality, and drought tolerance: A comparative study of berseem and Persian clover genotypes in a semi-arid region. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(3), pp.677-692. DOI: 10.33462/jotaf.1454624

RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.22092/spj.2026.373580.1475

Evaluation of Forage Yield and Quality of Double-Cut Persian Clover (*Trifolium resupinatum*) Lines under Weather Conditions of Karaj, Iran

M. Zamanian^{1*} , S. Heydarzadeh²  and F. Golzardi³ 

1. Associate Professor, Maize and Forage Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

2. Ph. D. in Agronomy, Maize and Forage Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

3. Assistant Professor, Maize and Forage Crops Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

ABSTRACT

Zamanian, M., Heydarzadeh, S. and Golzardi, F. 2026. Evaluation of forage yield and quality of double-cut Persian clover (*Trifolium resupinatum*) lines under weather conditions of Karaj, Iran. *Seed and Plant*, 41, pp.1-36 (in Persian).

To evaluate forage yield and quality of double-cut Persian clover lines and to identify superior lines, a field experiment was carried-out in 2023-24 and 2024-25 growing seasons at the research farm of the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. The experiment was arranged as split-plot in time in randomized complete block design with three replications. Sixteen Persian clover lines were evaluated in two cuts. The measured and studied traits were dry forage yield, crude protein content and yield, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), digestible dry matter content and yield, water-soluble carbohydrates, ash content, dry matter intake, relative feed value and net energy for lactation. Combined analysis of variance revealed significant year $\times$ line and year $\times$ cut interactions for dry forage yield, crude protein content and yield, digestible dry matter content and yield, acid detergent fiber, water-soluble carbohydrates, ash content, and net energy for lactation. Line 9 (BPC/Lordegan) consistently outperformed the other lines, particularly in the second growing season, producing the highest dry forage yield (3.28 t ha^{-1}), crude protein content (25.8%), crude protein yield (843 kg ha^{-1}), and digestible dry matter yield (2144 kg ha^{-1}). In addition, Lines 10 (BPC/Qourshibashi), 13 (KPC/2chin14), 12 (KPC/2chin13), 8 (BPC/Kermanshah), and 5 (BPC/Shazand) ranked among the superior lines based on both forage yield and nutritive value. Overall, Lines 9 and 10 demonstrated superior forage yield and nutritional quality in the two growing seasons. These two lines were identified suitable for release as new cultivars for agroecological conditions similar to those of Karaj as well as potential parents in Persian clover breeding programs.

Keywords: Persian clover, crude protein, dry forage yield, dry matter intake, forage digestibility.

Introduction

Persian clover (*Trifolium resupinatum*) is one of the most important annual forage legumes grown in Mediterranean and semi-arid regions because of its high forage quality, rapid establishment, excellent palatability, and ability to biologically fix atmospheric nitrogen (Bakhtiyari *et al.*, 2020). The productivity and nutritional value of forage legumes are controlled by both genetic and environmental conditions, and significant genotype $\times$ environment interactions often influence their agronomic performance (Zamanian *et al.*, 2025a).

Previous studies have reported considerable genetic variation among Persian clover populations for forage yield, crude protein content, fiber fractions, and digestibility (Zamanian *et al.*, 2024a). Nevertheless, information regarding double-cut Persian clover germplasm, particularly its forage yield and quality, and regrowth performance under temperate conditions of Iran, remains scarce.

Regrowth ability directly determines total seasonal forage production, identifying superior double-cut Persian clover genotypes is essential for development of improved cultivars with high productivity and nutritional value. Therefore, the objective of this study was to evaluate 16 double-cut Persian clover lines under the environmental conditions of Karaj in two successive growing seasons, to determine their forage yield and nutritional value, and to identify promising breeding lines suitable for release as new cultivars and sustainable forage production.

Materials and methods

The experiment was carried-out in 2023-24 and 2024-25 growing seasons at the research farm of the Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. Sixteen double-cut Persian clover lines originating from different regions of Iran were evaluated using split-plot in time arrangement in randomized complete block design with three replications, where harvest time (first and second cut) was considered the subplot factor. Before sowing, soil samples (0-30 cm depth) were collected for physio-chemical properties analysis.

Considering the results of soil analysis, 150 kg ha⁻¹ triple superphosphate and 50 kg ha⁻¹ urea were incorporated into the soil as basal fertilizers. Seeds with 99% germinability were sown manually on 19 September 2023 and 22 September 2024 in a depth of 3 cm in the soil. Each plot consisted of four 5-m length rows with 50 cm row spacing. Irrigation was applied immediately after sowing and subsequently at 7–10 day intervals according to crop water requirements.

Forage was cut in late April (at approximately 25% flowering), and the second cut was taken after regrowth reached the same phenological stage. Border effects were eliminated,

and forage was harvested from the central 5 m² area of each plot. For determination of dry forage yield and forage quality, samples were oven-dried at 60°C for 72 hours to reach to constant weight. Dried samples were ground using a laboratory mill and passed through a fine sieve before chemical analysis.

Crude protein content (CPC), water-soluble carbohydrates (WSC), ash, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), and digestible dry matter (DDM) were determined using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Dry matter intake (DMI), relative feed value (RFV), net energy for lactation (NEL), crude protein yield (CPY), and digestible dry matter yield (DDMY) were calculated using standard equations (Zamanian *et al.*, 2024a).

Experimental data were subjected to combined analysis of variance using SAS 9.1. Year was considered as a random effect, and line and cut were considered as fixed effects. Mean comparisons were performed using the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results and Discussion

Combined analysis of variance revealed significant year $\times$ line and year $\times$ cut interactions for dry forage yield, CPC, CPY, ADF, DDM, DDMY, WSC, ash content, and NEL, indicating considerable genetic diversity and differential responses of Persian clover lines to environmental conditions and successive forage harvests. These findings confirm that both genotype and seasonal weather conditions play important roles in determining forage productivity and nutritional value (Zamanian *et al.*, 2025a).

The more favorable weather conditions during the second growing season significantly increased dry forage yield, CPC, CPY, DDMY, WSC, and NEL, while reducing differences in quality between the first and second cuts. This result indicates that favorable weather conditions enhanced regrowth ability and allowed plants to maintain forage quality after the first harvest. Among all evaluated lines, Line 9 (BPC/Lordegan) consistently exhibited superior agronomic and nutritional value performance in both growing seasons.

In the second growing season, Line 9 produced the highest dry forage yield (3.28 t ha⁻¹), CPC (25.8%), CPY (843 kg ha⁻¹), and DDMY (2144 kg ha⁻¹). Furthermore, it had the lowest ADF and NDF concentrations together with the highest digestibility, DMI, RFV, and NEL. These characteristics indicate that Line 9 combined high forage productivity with excellent nutritional value. Lines 10 (BPC/Qourshibashi), 13 (KPC/2chin14), 12 (KPC/2chin13), 8 (BPC/Kermanshah), and 5 (BPC/Shazand) also ranked among the superior lines for both forage yield and quality. Their consistently favorable performance in two growing seasons suggests their high adaptability and breeding value for improving

Persian clover germplasm (Zamanian *et al.*, 2025a).

While several lines experienced reductions in forage quality during the second cut, Lines 9 and 10 maintained relatively high CPC, digestibility, WSC, and RFV. Such stability in quality parameters indicates superior genetic and physiological capacity for regrowth and efficient redistribution of assimilates following the first harvest (Pourali *et al.*, 2021).

Overall, the results of the present study demonstrated that considerable genetic variability exists among double-cut Persian clover germplasm. Simultaneous improvement of forage yield and nutritional value appears feasible, because the best-performing lines combined high biomass production with desirable fiber composition and digestibility (Zamanian *et al.*, 2024a). Consequently, Lines 9 and 10 were identified as promising lines for release as new cultivars as well as valuable parents in future Persian clover breeding programs targeting temperate and semi-arid environments, similar to Karaj, in Iran.

References

Bakhtiyari, F., Zamanian, M. and Golzardi, F. 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 11(1), pp.49–65.

Pourali, S., Aghayari, F., Ardakani, M.R., Paknejad, F. and Golzardi, F. 2023. Benefits from intercropped forage sorghum–red clover under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75, pp.1769–1780. DOI: 10.1007/s10343-023-00833-4

Zamanian, M., Golzardi, F., Gitari, H., Nungula, E., Salehi, F. and Heydarzadeh, S. 2024a. Enhancing forage nutritional value in Persian clover (*Trifolium resupinatum*) and crimson clover (*Trifolium incarnatum*) through intercropping and optimized seeding rate. *Cogent Food and Agriculture*, 10(1), e2410459. DOI: 10.1080/23311932.2024.2410459

Zamanian, M., Heydarzadeh, S. and Golzardi, F. 2025a. Evaluation of forage yield and quality of single-cut Persian clover (*Trifolium resupinatum*) lines under climatic conditions of Karaj in Iran. *Seed and Plant*, 40, pp.241–270 (in Persian). DOI: 10.22092/spj.2025.369383.1416

*Corresponding author: m.zamanian@areeo.ac.ir

Tel.: +982632705992

Received: 30 January 2026

Accepted: 07 April 2026



2026© The Authors. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.