University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

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

Evaluation of Forage Production Potential in Persian Clover-Crimson Clover Intercropping under Different Planting Densities in the Climatic Conditions of Shahrekord

Mohammad Zamanian[1]✉ | Foroud Salehi[2] | Farid Golzardi[3] | Saeid Heydarzadeh[4]

1. Corresponding Author, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: m.zamanian@areeo.ac.ir
2. Crop and Horticultural Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. E-mail: f.salehi@areeo.ac.ir
3. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: f.golzardi@areeo.ac.ir
4. Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: s.heydarzadeh@urmia.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: June 22, 2024
Received in revised form: August 17, 2024
Accepted: August 19, 2024
Published online: March 21, 2025

Keywords:
Cropping system,
insoluble fiber,
plant height,
protein yield,
relative feed value.

ABSTRACT

To investigate the effects of different intercropping patterns of Persian clover and crimson clover under two planting densities on forage yield and quality, a two-year experiment (2020-2022) was conducted in Shahrekord using a factorial arrangement in a randomized complete block design with three replications. The experimental factors included five cropping systems with ratios of 0%-100%, 100%-0%, 75%-25%, 25%-75%, and 50%-50%, and two planting densities (20 and 25 kg seed ha^{-1}). The results showed that the highest dry matter digestibility (63.11%), dry matter intake (2.79%), total digestible nutrients (58.61%), ash (6.05%), water-soluble carbohydrates (6.68%), relative feed value (136.4%), net energy for lactation (1.43 Mcal kg^{-1}), and plant height (67.79 cm) were obtained in the intercropping system of 50% Persian clover + 50% crimson clover with a planting density of 20 kg ha^{-1}. The highest dry forage yield (6.60 ton ha^{-1}) was obtained in the crimson clover monoculture with a planting density of 25 kg ha^{-1}, whereas the maximum protein yield (0.85 ton ha^{-1}) was obtained in the 25% Persian clover +75% crimson clover cropping system with a planting density of 20 kg ha^{-1}. Overall, to achieve both optimal forage yield and quality, the intercropping system of 50% Persian clover + 50% crimson clover with a planting density of 20 kg ha^{-1} is recommended.

Cite this article: Zamanian, M., Salehi, F., Golzardi, F., & Heydarzadeh, S. (2025). Evaluation of forage production potential in persian clover-crimson clover intercropping under different planting densities in the climatic conditions of Shahrekord. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *56*(1), 93-107. Doi: 10.22059/ijfcs.2024.378281.655087.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.378281.655087

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۸۲

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

ارزیابی پتانسیل تولید علوفه در کشت مخلوط شبدر ایرانی–شبدر لاکی تحت تراکم‌های مختلف کاشت در شرایط آب‌وهوایی شهرکرد

محمد زمانیان[۱]✉ | فرود صالحی[۲] | فرید گل‌زردی[۳] | سعید حیدرزاده[۴]

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: m.zamanian@areeo.ac.ir

۲. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: f.salehi@areeo.ac.ir

۳. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: f.golzardi@areeo.ac.ir

۴. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: s.heydarzadeh@urmia.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ارتفاع بوته،
ارزش نسبی تغذیه‌ای،
الیاف نامحلول،
عملکرد پروتئین،
نظام کشت.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط شبدر ایرانی و لاکی در دو تراکم کاشت بر عملکرد و کیفیت علوفه، آزمایشی دوساله (۱۴۰۱-۱۳۹۹) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرکرد اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل پنج نظام کشت با نسبت‌های ۱۰۰-۰، ۷۵-۲۵، ۲۵-۷۵ و ۵۰-۵۰ درصد و دو تراکم کاشت (۲۰ و ۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که حداکثر قابلیت هضم ماده خشک (۶۳/۱۱٪)، ماده خشک مصرفی (۲/۷۹ درصد)، کل مواد مغذی قابل هضم (۵۸/۶۱٪)، خاکستر (۶/۰۵٪)، کربوهیدرات‌های محلول در آب (۶/۶۸٪)، ارزش نسبی تغذیه‌ای (۱۳۶/۴٪)، انرژی خالص شیردهی (۱/۴۳ مگاکالری در کیلوگرم) و ارتفاع بوته (۶۷/۷۹ سانتی‌متر) در کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بیشترین عملکرد علوفه خشک (۶/۶۰ تن در هکتار) در کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد؛ درحالی‌که حداکثر عملکرد پروتئین (۰/۸۵ تن در هکتار) در نظام کشت ۲۵ درصد شبدر ایرانی + ۷۵ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. به‌طور کلی، برای دست‌یابی همزمان به عملکرد و کیفیت علوفه مناسب، نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی در تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار قابل توصیه می‌باشد.

استناد: زمانیان، م.، فرود صالحی، ف.، گل‌زردی، ف.، و حیدرزاده، س. (۱۴۰۴). ارزیابی پتانسیل تولید علوفه در کشت مخلوط شبدر ایرانی–شبدر لاکی تحت تراکم‌های مختلف کاشت در شرایط آب‌وهوایی شهرکرد. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۶(۱)، ۹۳-۱۰۷.
DOI: 10.22059/ijfcs.2024.378281.655087

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

تولید علوفه باکیفیت و با عملکرد بالا یکی از اهداف اساسی در کشاورزی است که تاثیر مستقیم بر اقتصاد و پایداری نظام‌های کشاورزی دارد. در این راستا، انتخاب گونه‌های مناسب و الگوهای کاشت بهینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Arif *et al*., 2022). شبدرها به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای خانواده لگومینوزه در مناطق معتدل و مرطوب شناخته می‌شوند و به دلیل ارزش غذایی بالا و قابلیت بهبود خاک از طریق تثبیت نیتروژن، نقش بسزایی در نظام‌های زراعی دارند (Ashoori *et al*., 2021). این گونه‌ها علفی و خوش‌خوراک می‌باشند و علاوه بر تولید علوفه، نقش مهمی در ارتقای کارایی تناوب‌های زراعی ایفا می‌کنند (Zamanian *et al*., 2024). شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum*) و شبدر لاکی (*T. incarnatum*) به‌عنوان دو گونه مهم از خانواده لگومینوزه، دارای ویژگی‌های منحصر به فردی می‌باشند. شبدر ایرانی با فرم بوته نیمه‌ایستاده و کیفیت علوفه بالا و شبدر لاکی با فرم بوته ایستاده و عملکرد علوفه بالا می‌توانند به عنوان گزینه‌های مکمل و مناسبی در برنامه‌های کشت مخلوط مورد استفاده قرار گیرند (Zamanian & Golzardi, 2024; Zamanian *et al*., 2024).

گسترش روش‌های زراعی فشرده و تخریب ناشی از آن طی چند دهه اخیر، بوم‌نظام‌های زراعی را با خطر فروپاشی مواجه کرده است (Bacchi *et al*., 2021). با این حال کشت مخلوط به عنوان یکی از روش‌های زراعی پایدار، از دیرباز مورد توجه کشاورزان بوده است (Ashoori *et al*., 2021). این روش با افزایش تنوع زیستی، به بهبود استفاده از منابع محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی کمک می‌کند و مشکلات مربوط به آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را کاهش می‌دهد (Baghdadi *et al*., 2023). علاوه بر این، کشت مخلوط می‌تواند ریسک‌های مرتبط با شرایط غیر قابل پیش‌بینی اقلیمی و نوسانات بازار را کاهش داده و به پایداری سیستم‌های زراعی کمک کند (Favre *et al*., 2019). نظام‌های کشت مخلوط به عنوان یکی از راه‌حل‌های مؤثر در افزایش عملکرد و کیفیت علوفه شناخته می‌شوند (Ashoori *et al*., 2021; Ferraz-Almeida *et al*., 2022). در ارزیابی کشت مخلوط گندم و یونجه، عملکرد و ارزش غذایی علوفه در مقایسه با شرایط تک‌کشتی بهبود یافت (Mu *et al*., 2023). گزارش شده است که الیاف نامحلول شوینده خنثی و اسیدی در الگوهای مختلف کشت مخلوط در تراکم کاشت پایین کاهش یافت که می‌توان آن را به بهبود ویژگی‌های رشد گیاه به دلیل افزایش در دسترس‌بودن مواد مغذی و افزایش کارایی استفاده از محیط زیست در الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت تک نسبت داد (Pourali *et al*., 2023).

تراکم کاشت به عنوان یک عامل کلیدی و مؤثر در تعیین عملکرد و کیفیت علوفه شناخته می‌شود (Ibrahim & Acikalin, 2020). تغییر در تراکم گیاهی، ریز اقلیم متفاوتی را برای گیاهان ایجاد می‌کند و در نتیجه سطوح مختلفی از رطوبت خاک، میکروارگانیسم‌های خاک، دمای تاج‌پوشش و ... ایجاد می‌شود (Jahanzad *et al*., 2013). جهت استفاده مطلوب‌تر از عوامل محیطی نظیر نور، آب و مواد غذایی و جلوگیری از بروز رقابت شدید، تعداد بوته در واحد سطح باید در حد مطلوب تنظیم و بدین منظور باید عوامل متعدد محیطی و گیاهی در نظر گرفته شوند (Salama, 2019). در قیاس با نظام‌های تک‌کشتی، انتخاب تراکم مطلوب دو یا چند گونه در نظام‌های کشت مخلوط از اهمیت بیشتری برخوردار است و باید برای تنظیم دقیق آن به رقابت بین گونه‌ها و عوامل مؤثر بر رقابت نیز توجه شود (Umesh *et al*., 2022). انتخاب تراکم بهینه برای کشت مخلوط می‌تواند به بهبود بهره‌وری و افزایش عملکرد کمک کند. حصول عملکرد مناسب، مستلزم بهره‌گیری کامل گیاه از شرایط مطلوب محیطی است و تراکم کاشت بهینه، گیاه را قادر می‌سازد تا با حداکثر جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی، عملکرد بالاتری تولید نماید (Widdicombe & Thelen, 2002; Xu *et al*., 2021). مطالعات مختلف در مورد تأثیر تراکم کاشت بر عملکرد علوفه نشان می‌دهد که در اغلب موارد به تراکم کاشت بالاتر منجر می‌شود (Xu *et al*., 2021; Delfani *et al*., 2022). Jahanzad *et al*. (2013) اثر تراکم‌های مختلف کاشت بر سورگوم را مورد مطالعه قرار داده و گزارش نمودند که عملکرد علوفه در تراکم بالا بالاترین عملکرد را داشت.

با توجه به کمبود علوفه در کشور و پتانسیل مناسب شبدرها برای رفع بخش قابل توجهی از نیاز به علوفه، باید راهکارهای مناسبی برای ارتقای عملکرد کمی و کیفی این گیاهان معرفی شوند؛ بنابراین، مطالعه حاضر با هدف شناسایی بهترین میزان بذر

مصرفی و همچنین مناسب‌ترین نظام کشت مخلوط شبدر ایرانی و شبدر لاکی از نظر عملکرد و کیفیت علوفه در شرایط آب و هوایی شهرکرد انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل پنج نظام کشت (تک‌کشتی شبدر ایرانی، تک‌کشتی شبدر لاکی، و نظام‌های کشت مخلوط ۲۵ درصد شبدر ایرانی + ۷۵ درصد شبدر لاکی، ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی، و ۷۵ درصد شبدر ایرانی + ۲۵ درصد شبدر لاکی) و دو تراکم کاشت (۲۰ و ۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار) بودند. در جدول ۱ مشخصات خاک مزرعه آزمایشی ذکر شده است (نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک انجام گرفت).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در محل اجرای آزمایش طی سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰.

Year	Soil Texture	Available K (mg kg^{-1})	Available P (mg kg^{-1})	Total N (%)	Organic carbon (%)	EC (dS m^{-1})	pH
2020	Loam-clay	211	8.1	0.044	0.566	0.517	7.76
2021	Loam-clay	268	10.7	0.061	0.724	0.602	7.79

میانگین دمای ده‌ساله محل اجرای پژوهش ۱۴/۹۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه ۳۰۷ میلی‌متر بود. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول پنج متر با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود. بذور شبدر ایرانی یک‌چین و شبدر لاکی رقم البرز۱ با قوه نامیه ۹۹ درصد از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند. به‌منظور آماده‌سازی بستر کشت، زمین قبل از کاشت شخم زده و سپس با دو دیسک عمود بر هم آماده شد. بر اساس نتایج آنالیز خاک و نیاز گیاه شبدر، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (به‌عنوان استارتر) به زمین اضافه و همراه با شخم، با خاک مخلوط شد. لازم به ذکر است که به علت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط شبدر، کود اوره به صورت سرک مصرف نشد. بذرها به صورت دستی در عمق سه سانتی‌متری در تاریخ‌های ۱۵ شهریور ۱۳۹۹ و ۱۷ شهریور ۱۴۰۰ کاشته شدند. در تیمارهای کشت مخلوط، ابتدا بذور شبدر ایرانی و شبدر لاکی بر اساس نسبت‌های مربوطه با هم مخلوط شدند و سپس روی ردیف‌هایی با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف یک سانتی‌متر کشت شدند. به عنوان مثال، در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد شبدر ایرانی + ۲۵ درصد شبدر لاکی با میزان بذر مصرفی ۲۰ کیلوگرم در هکتار، ابتدا بذر شبدر ایرانی بر اساس تراکم کاشت ۱۵ کیلوگرم در هکتار و بذر شبدر لاکی بر اساس تراکم کاشت پنج کیلوگرم در هکتار به خوبی با هم مخلوط شدند و سپس بذرِ مخلوط‌شده، روی ردیف‌های کاشت با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر کشت شدند. آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی هر هفت تا ۱۰ روز بسته به شرایط اقلیمی و نیاز گیاه انجام می‌گرفت. جدول ۲ پارامترهای آب و هوا (دما و بارندگی) را در طول دوره آزمایشی نشان می‌دهد.

برداشت علوفه به صورت تک‌چین در مرحله ۲۵ درصد گلدهی و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در سطح دو متر مربع از هر کرت در اواخر فروردین‌ماه صورت گرفت. به‌منظور تعیین عملکرد علوفه خشک و همچنین ارزیابی خصوصیات کیفی، نمونه‌های علوفه هر کرت در پاکت قرار داده شدند و در آون با دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند. برای تعیین خصوصیات کیفی علوفه شامل درصد پروتئین خام (CP)[1]، قابلیت هضم ماده خشک (DMD)[2]، کربوهیدرات محلول در آب (WSC)[3]،

1. Crude Protein
2. Digestible Dry Matter
3. Water-Soluble Carbohydrate

الیاف نامحلول شوینده‌های اسیدی (ADF[4]) و خنثی (NDF[5]) و خاکستر، نمونه‌های خشک‌شده آسیاب و غربال شدند و سپس با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک (مدل PerCon Inframatic 8620، آلمان) مورد ارزیابی قرار گرفتند (Jafari *et al*., 2003).

جدول ۲. مجموع بارندگی و میانگین دمای ماهانه هوا در طول دوره آزمایش

Year	Month	Temperature °C	Precipitation (mm)
2020	September	21.5	1
2020	October	16.3	14
2020	November	8.4	45
2020	December	3.0	68
2021	January	-3.9	32
2021	February	-4.3	47
2021	March	3.7	39
2021	April	8.3	11
2021	May	14.3	31
2021	June	21.8	9
2021	July	26.1	0
2021	August	25.3	0
2021	September	21.2	0
2021	October	13.2	7
2021	November	7.2	37
2021	December	3.6	29
2022	January	0.3	19
2022	February	0.9	23
2022	March	1.5	29
2022	April	1.8	24
2022	May	8.5	18
2022	June	13.3	2

محاسبه مواد مغذی قابل هضم (TDN[6])، ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV[7]) و انرژی ویژه شیردهی (NEL[8])، ماده خشک مصرفی (DMI[9]) به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۴ انجام شد (Horrocks & Vallentine, 1999; Ashoori *et al*., 2021):

$$TDN = (-۱/۲۹۱ \times \%\ ADF) + ۱۰۱/۳۵ \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$NEL = (۱/۰۴۴ - (۰/۰۱۱۹ \times \%\ ADF) \times ۲/۲۰۵ \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$RFV = \%\ DDM \times \%\ DMI \times ۰/۷۷۵ \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$DMI = \frac{۱۲۰}{NDF} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

در این معادلات ADF الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، DDM قابلیت هضم ماده خشک و DMI ماده خشک مصرفی می‌باشند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

۳. نتایج پژوهش و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که درصد پروتئین خام، عملکرد علوفه کل و عملکرد پروتئین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر متقابل سال × نظام کشت × تراکم کشت قرار گرفتند (جدول ۳). همچنین کربوهیدرات‌های محلول در آب، الیاف نامحلول

4. Acid Detergent Fiber
5. Neutral Detergent Fiber
6. Total Digestible Nutrient
7. Relative Feed Value
8. Net Energy for Lactation
9. Dry Matter Intake

شوینده‌های اسیدی و خنثی، قابلیت هضم ماده خشک، کل مواد مغذی قابل هضم، ارزش نسبی تغذیه‌ای، انرژی خالص شیردهی، ماده خشک مصرفی و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر متقابل نظام کشت و تراکم کاشت و اثر ساده سال قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس عملکرد و خصوصیات کیفی علوفه شبدر تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی.

Source of variation	df	Mean square						
		CP	NDF	ADF	WSC	Ash	TDN	DMD
Year (Y)	1	48**	18.76**	20.95**	3.78**	0.18**	34.93**	12.71**
Rep (Year)	4	0.07	0.14	0.15	0.08	0.01	0.25	0.09
Cropping pattern (C)	4	34.07**	1.58**	1.93**	7.07**	0.42**	3.23**	1.18**
Planting density (D)	1	13.30**	0.58^{ns}	1.18**	0.17^{ns}	0.25**	1.98**	0.72**
C×D	4	0.39^{ns}	3.57**	3.97**	1.05**	0.25**	6.61**	2.40**
Y×C	4	2.46**	0.13^{ns}	0.10^{ns}	0.03^{ns}	0.01^{ns}	0.18^{ns}	0.06^{ns}
Y×D	1	5.69**	0.05^{ns}	0.32^{ns}	0.06^{ns}	0.01^{ns}	0.54^{ns}	0.19^{ns}
Y×C×D	4	0.74**	0.09^{ns}	0.09^{ns}	0.05^{ns}	0.01^{ns}	0.15^{ns}	0.05^{ns}
Error	36	0.18	0.14	0.13	0.14	0.01	0.23	0.08
CV (%)		2.93	0.86	1.08	7.25	1.95	0.84	0.46
Source of variation	**df**	**DMI**	**RFV**	**NEL**	**PLH**	**DMY**	**PY**	
Year	1	0.06**	408.09**	0.01**	93.32**	17.53**	0.06**	
Rep (Year)	4	0.0006	2.88	0.0001	0.28	0.37	0.008	
Cropping pattern (C)	4	0.006**	36.75**	0.001**	432.40**	6.36**	0.02**	
Planting density (D)	1	0.001^{ns}	14.44*	0.001**	22.48**	0.11^{ns}	0.05**	
C×D	4	0.01**	79.34**	0.002**	5.16**	0.88**	0.02**	
Y×C	4	0.0003^{ns}	2.05^{ns}	0.00006^{ns}	0.22^{ns}	5.78**	0.14**	
Y×D	1	0.0002^{ns}	2.21^{ns}	0.0002^{ns}	0.40^{ns}	0.300*	0.001^{ns}	
Y×C×D	4	0.0003^{ns}	1.33^{ns}	0.00006^{ns}	0.19^{ns}	0.34**	0.01**	
Error	36	0.0004	2.72	0.0001	0.56	0.04	0.001	
CV (%)		0.81	1.26	0.78	1.34	4.58	5.88	

* و ** و ns به‌ترتیب نشانگر اختلاف آماری معنی‌داری در سطوح احتمال پنج، یک درصد و عدم اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد.

CP: محتوی پروتئین خام؛ ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی؛ NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی؛ WSC: کربوهیدرات‌های محلول در آب؛ TDN: کل مواد مغذی قابل هضم. DMD: قابلیت هضم ماده خشک؛ DMI: ماده خشک مصرفی؛ RFV: ارزش نسبی تغذیه‌ای. NEL: انرژی خالص برای شیردهی؛ PLH: ارتفاع بوته؛ DMY: عملکرد ماده خشک؛ PY: عملکرد پروتئین.

۳-۱. محتوی پروتئین خام

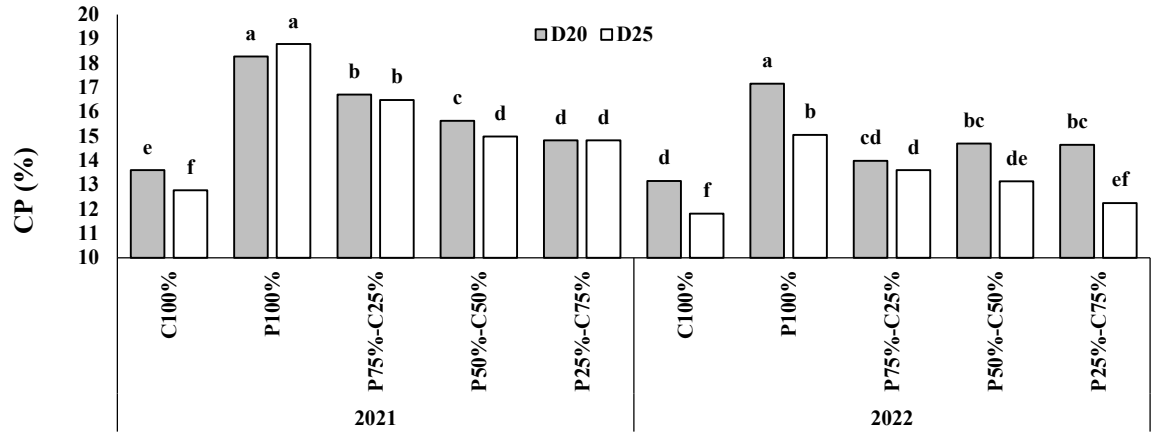
نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان پروتئین خام علوفه (۱۸/۷۸ درصد) مربوط به نظام کشت خالص شبدر ایرانی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال اول بود. این مقدار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با نظام کشت خالص شبدر ایرانی در تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار نداشت. کمترین میزان پروتئین خام (۱۱/۸۱ درصد) در نظام کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال دوم مشاهده شد (شکل ۱). یافته‌های این مطالعه نشان داد که الگوهای مختلف کشت مخلوط با تراکم کاشت پایین، محتوی پروتئین خام بالاتری را داشتند که به نظر می‌رسد با رقابت پائین‌تر بوته‌ها در نتیجه جذب بیشتر نیتروژن مرتبط باشد (Armstrong & Albrecht, 2008). همچنین این مسئله می‌تواند به افزایش فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و غلظت‌های بالاتر نیتروژن در بوته‌های شبدر نسبت داده شود (Ashoori *et al*., 2021). کاهش محتوی پروتئین خام با افزایش تراکم کاشت می‌تواند با کاهش نسبت برگ به ساقه نیز مرتبط باشد (Delfani *et al*., 2022). این کاهش محتوای پروتئین ممکن است به دلیل درصد کمتر برگ و درصد بیشتر ساقه و دیواره سلولی باشد (Delfani *et al*., 2022). به‌نظر می‌رسد کشت خالص شبدر در تراکم کاشت پایین با حفظ رطوبت خاک، افزایش کیفیت فتوسنتز و انتقال مواد مغذی تحت رقابت پائین‌تر بین بوته‌ها، عمر بافت‌های سبز را طولانی‌تر کرده و باعث افزایش رشد رویشی و سطح برگ و بهبود محتوی پروتئین شده است (Pourali *et al*., 2023). نظام کشت خالص شبدر ایرانی در تراکم کاشت پایین، با حفظ رطوبت خاک و دوام بافت‌های سبز گیاه، نرخ فتوسنتز و انتقال عناصر غذایی را بهبود داده و در نتیجه محتوی پروتئین خام علوفه افزایش یافته است (Balazadeh *et al*., 2021).

جدول ٤. مقایسه میانگین ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه شبدر تحت تأثیر سال.

Year	NDF	ADF	WSC	Ash	TDN	DMD	DMI	RFV	NEL	Plant height
2021	44.84a	34.92a	4.98b	5.79b	56.25b	61.69b	2.67b	127.99b	1.38b	54.53b
2022	43.72b	33.74b	5.48a	5.90a	57.78a	62.61a	2.74a	133.21a	1.41a	57.02a

حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; WSC: water soluble carbohydrate; TDN: total digestible nutrient; DMD: dry matter digestibility; DMI: dry matter intake; RFV: relative feed value; NEL: net energy for lactation.



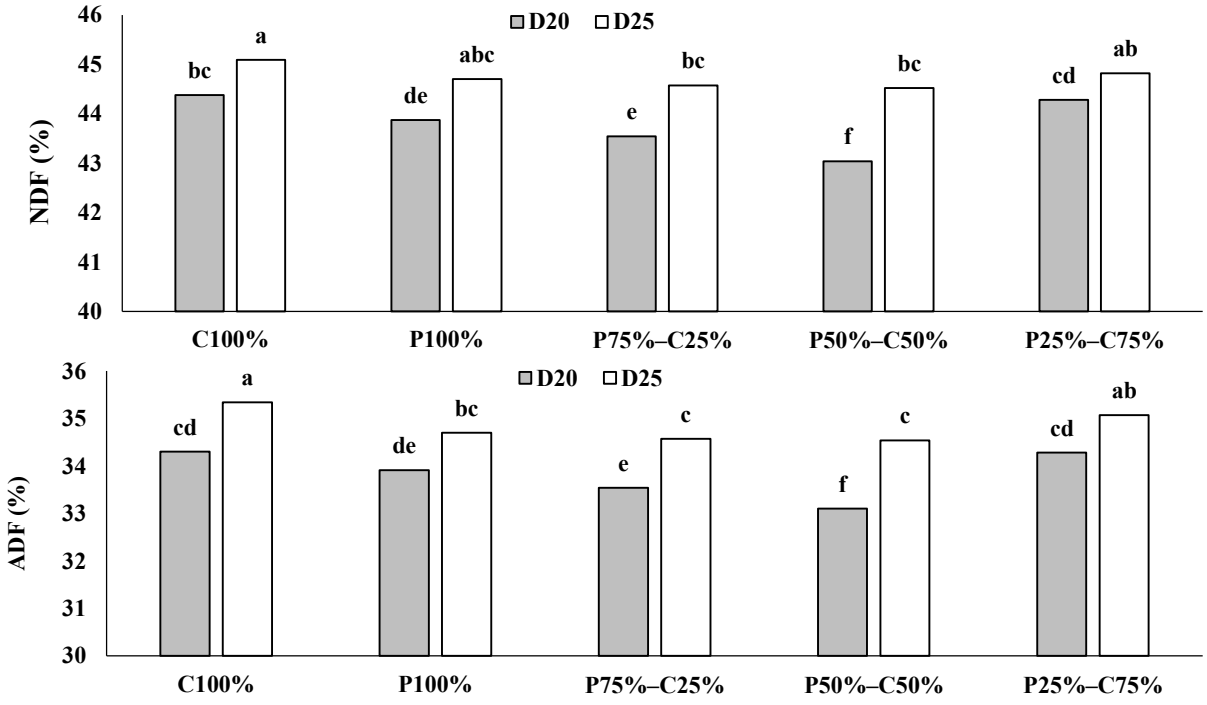
شکل ۱. مقایسه میانگین محتوی پروتئین خام علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل سال، نظام کشت و تراکم کاشت (برش‌دهی روی سال).

$C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}$–$C_{25\%}$، $P_{50\%}$–$C_{50\%}$ و $P_{75\%}$–$C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

۳-۲. الیاف نامحلول در شوینده‌های اسیدی و خنثی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی (۴۵/۰۹ درصد) و اسیدی (۳۵/۳۴ درصد) مربوط به نظام کشت خالص شبدر لاکی در تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). درحالی‌که، کمترین میزان آن‌ها به‌ترتیب با ۴۳/۰۳ و ۳۳/۱۰ درصد مربوط به نظام کشت۵۰ درصد شبدر ایرانی+۵۰ درصد شبدر لاکی در تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). در مطالعه دیگری نیز گزارش شد که با کاهش تراکم بوته، میزان الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی و اسیدی در علوفه ذرت کاهش یافت (Salama, 2019). همچنین افزایش محتوی فیبر علوفه با افزایش تراکم کاشت شبدر شیرین گزارش شده است (Sowa-Borowiec *et al*., 2022). میزان الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی و اسیدی علوفه در سال اول کشت نسبت به سال دوم بیشتر بود (جدول ۴). افزایش بارندگی در سال دوم به طور موثر اثرات شدید تنش خشکی را در مراحل حساس رشد گیاه کاهش می‌دهد. این بهبود در دسترس‌بودن رطوبت در سال دوم کیفیت علوفه را با افزایش محتوای پروتئین خام، کربوهیدرات‌های محلول در آب و عملکرد کلی علوفه شبدر افزایش می‌دهد که همین امر منجر به کاهش میزان الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی و اسیدی در سال دوم شده است (Balazadeh *et al*., 2021; Heydarzadeh *et al*., 2022). الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی و اسیدی شاخص‌های مهمی برای ارزیابی کیفیت علوفه هستند و کاهش آن‌ها باعث بهبود کیفیت علوفه می‌شود (Balazadeh *et al*., 2021; Pourali *et al*., 2023). برعکس، افزایش غلظت الیاف نامحلول منجر به کاهش قابلیت هضم علوفه خواهد شد (Heydarzadeh *et al*., 2022). مطالعه حاضر نشان داد که الگوهای کشت مخلوط با تراکم کاشت پایین، منجر به کاهش میزان الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی و اسیدی می‌شود که این بهبود در کیفیت علوفه را می‌توان به افزایش دسترسی به مواد مغذی و بهبود کارایی استفاده از منابع در نظام‌های کشت مخلوط نسبت داد (Bakhtiyari *et al*., 2020). کاهش محتوای فیبر تحت تراکم کاشت کمتر در الگوهای کشت مخلوط را می‌توان به افزایش نسبت برگ به ساقه نسبت داد. با توجه به اینکه برگ‌ها حاوی فیبر کمتری نسبت به ساقه هستند، هر عاملی که منجر به افزایش نسبت برگ به ساقه شود، منجر به کاهش الیاف نامحلول در

شوینده‌های خنثی و اسیدی خواهد شد (Pourali *et al*., 2023). سیستم‌های کشت مخلوط اغلب نسبت برگ به ساقه بیشتر و در نتیجه محتوای فیبر کمتری دارند (Zhang *et al*., 2022).



شکل ۲. مقایسه میانگین میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و اسیدی (ADF) علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل نظام کشت × تراکم کاشت.
$C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}–C_{25\%}$، $P_{50\%}–C_{50\%}$ و $P_{75\%}–C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

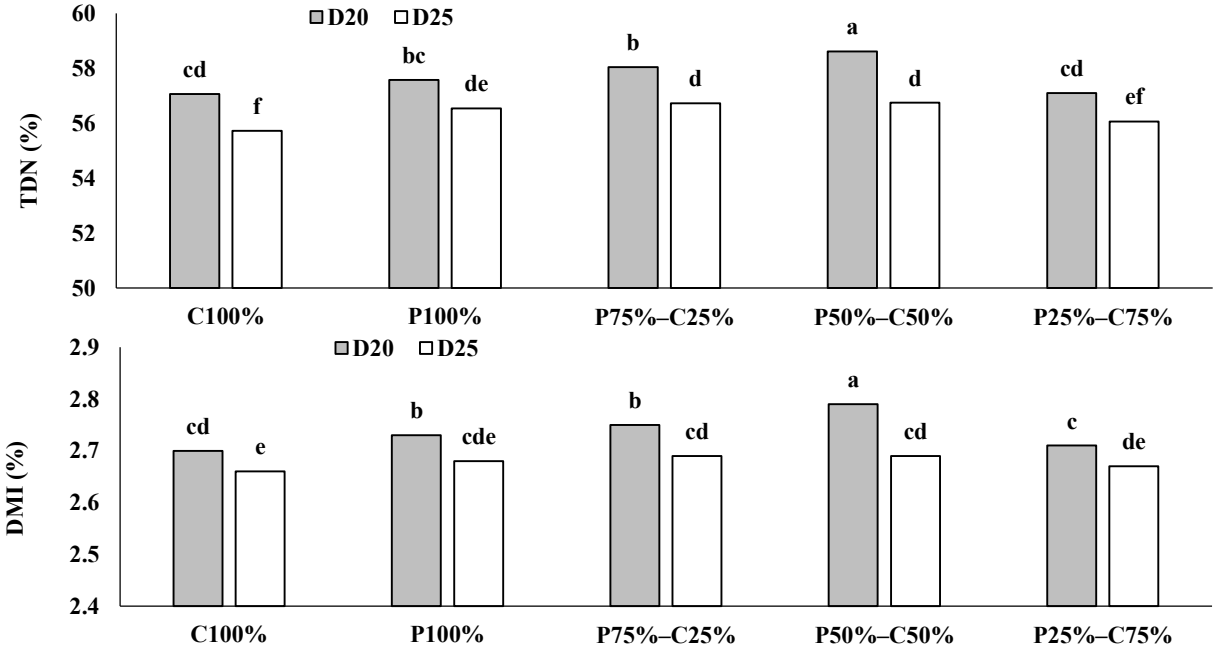
۳–۳. میزان کل مواد مغذی قابل هضم و ماده خشک مصرفی

بیشترین میزان کل مواد مغذی قابل هضم (۵۸/۶۱ درصد) و ماده خشک مصرفی (۲/۷۹ درصد) مربوط به نظام کشت۵۰ درصد شبدر ایرانی+۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۳)؛ درحالی‌که، کمترین میزان آن‌ها (به‌ترتیب با ۵۵/۷۲ و ۲/۶۶ درصد) در نظام کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (شکل ۳). همچنین میزان کل مواد مغذی قابل هضم و ماده خشک مصرفی علوفه در سال دوم کشت نسبت به سال اول افزایش یافت (جدول ۴). در طول مرحله رشد رویشی سال دوم نسبت به سال اول، دسترسی بهتر به عناصر درشت و ریزمغذی و حفظ رطوبت در سیستم کشت مخلوط۵۰ درصد شبدر ایرانی+۵۰ درصد شبدر لاکی، احتمالاً تولید ماده خشک قابل هضم را افزایش می‌دهد و راندمان تبدیل عناصر غذایی توسط دام را بهبود می‌بخشد (Bakhtiyari *et al*., 2020). افزایش محتوای الیاف نامحلول منجر به کاهش میزان مواد مغذی قابل هضم می‌شود که این امر می‌تواند توانایی حیوانات در استفاده از مواد مغذی موجود در علوفه را محدود کند (Heydarzadeh *et al*., 2022). افزایش الیاف نامحلول در شوینده خنثی موجب کاهش کیفیت و میزان ماده خشک مصرفی علوفه می‌شود (Ashoori *et al*., 2021). بنابراین، بالاتر بودن میزان مواد مغذی قابل هضم و ماده خشک مصرفی در نظام کشت ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی در تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار با پائین‌بودن میزان الیاف نامحلول در این تیمار مرتبط می‌باشد.

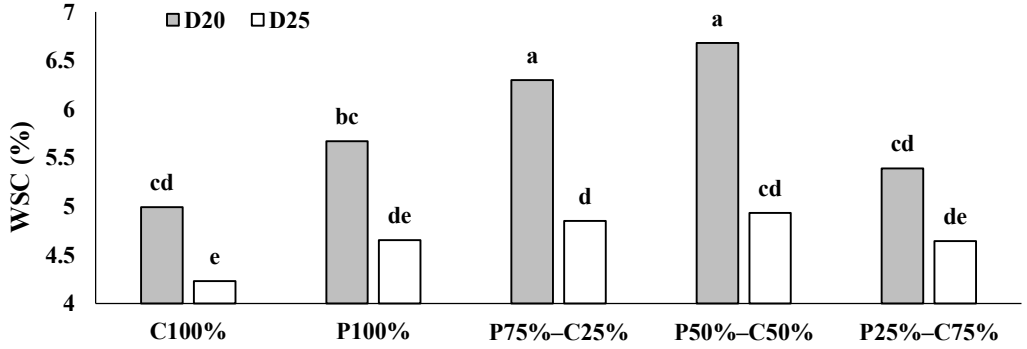
۳–۴. کربوهیدرات‌های محلول در آب

بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب (۶/۸۸ درصد) در نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی در تراکم پایین حاصل شد. در مقابل، کمترین میزان آن با ۴/۲۳ درصد در نظام کشت خالص شبدر لاکی در تراکم بالا مشاهده شد (شکل ۴). میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب در سال دوم به طور معنی‌داری بیشتر از سال اول بود (جدول ۴). احتمالاً در سال دوم به

دلیل تامین مواد مغذی ضروری و آب در طول فصل رشد با حفظ مسیر فتوسنتزی شرایط مساعدی را برای رشد و نمو گیاه ایجاد می‌کند. این باعث افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول در آب می‌شود. میزان کربوهیدرات‌های محلول در آب یکی دیگر از شاخص‌های مهم کیفیت علوفه است که نقش مهمی در انعطاف‌پذیری گیاه در برابر سرما و چرا ایفا می‌کند (Heydarzadeh *et al*., 2022). این ترکیبات انرژی را برای میکروارگانیسم‌های شکمبه فراهم می‌کنند و سلامت گوارش حیوانات را حفظ می‌کنند (Fotohi Chiyaneh *et al*., 2023). در مطالعه حاضر، کشت مخلوط ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی با تراکم پایین بالاترین کربوهیدرات‌های محلول در آب را نشان داد، احتمالا میزان جذب بالاتر مواد مغذی موجود در این تیمار می‌تواند سرعت فتوسنتز را افزایش دهد. در سیستم کشت مخلوط ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی، بسترهای بیشتری برای سنتز قند در دسترس است، و مواد فتوسنتزی بیشتری به تولید کربوهیدرات اختصاص داده می‌شود (Bakhtiyari *et al*., 2020). این افزایش کربوهیدرات‌های محلول در علوفه شبدر را در سیستم کشت مخلوط ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی توجیه می‌کند.



شکل ۳. مقایسه میانگین میزان کل مواد مغذی قابل هضم (TDN) و ماده خشک مصرفی (DMI) علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل نظام کشت × تراکم کاشت.
$C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}–C_{25\%}$، $P_{50\%}–C_{50\%}$ و $P_{75\%}–C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ٤. مقایسه میانگین میزان کربوهیدرات محلول در آب علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل نظام کشت × تراکم کاشت.
$C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}–C_{25\%}$، $P_{50\%}–C_{50\%}$ و $P_{75\%}–C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

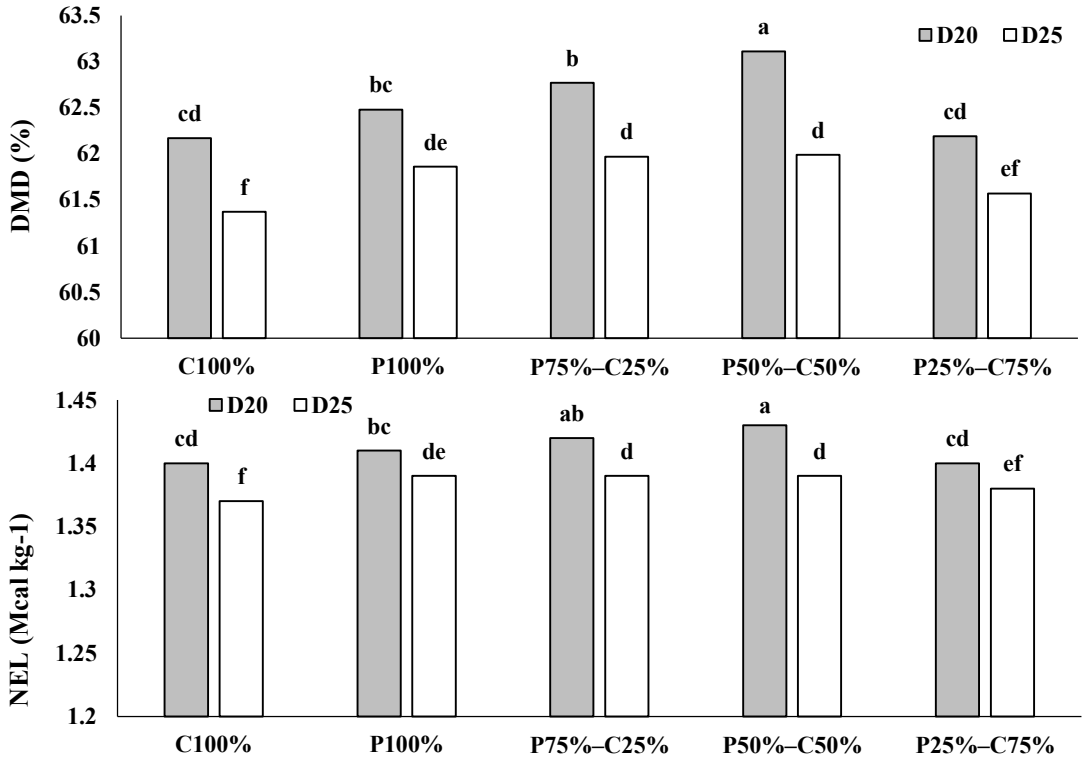
۳-۵. قابلیت هضم ماده خشک و انرژی خالص شیردهی

بیشترین میزان قابلیت هضم ماده خشک (۶۳/۱۱ درصد) و انرژی خالص شیردهی (۱/۴۳ مگاکالری در کیلوگرم) مربوط به نظام کشت۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۵). در مقابل، کمترین میزان این صفات (به‌ترتیب با ۶۱/۳۷ و ۱/۳۷ درصد) در نظام کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (شکل ۵). همچنین مقادیر قابلیت هضم ماده خشک و انرژی خالص شیردهی علوفه در سال دوم کشت نسبت به سال اول، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که سیستم کشت شبدر ایرانی در تراکم پایین در سال اول نسبت به سال دوم احتمالاً با حفظ رطوبت خاک، بهبود کیفیت فتوسنتزی و انتقال مواد مغذی، عمر بافت‌های فتوسنتزی را طولانی‌تر کرده و در نتیجه منجر به افزایش درصد پروتئین خام علوفه شده باشد. قابلیت هضم علوفه نقش مهمی در افزایش راندمان تبدیل مواد مغذی دام دارد و به عنوان یک عامل کلیدی در افزایش وزن دام و تولید شیر در نظر گرفته می‌شود (Heydarzadeh *et al*., 2022). بهبود قابلیت هضم ماده خشک و انرژی خالص شیردهی در نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی و ۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت بالا با پائین‌بودن الیاف نامحلول در این تیمار مرتبط می‌باشد (Ashoori *et al*., 2021). در مطالعه‌ای مشابه، کشت مخلوط جو با یونجه یکساله در مقایسه با تک‌کشتی جو قابلیت هضم علوفه را افزایش داد و این تغییر به کاهش غلظت الیاف نامحلول در نظام کشت مخلوط نسبت داده شد (Sadeghpour *et al*., 2013). به نظر می‌رسد که نظام کشت مخلوط در تراکم کاشت پایین از طریق افزایش نسبت برگ به ساقه سبب افزایش قابلیت هضم علوفه شده است. با توجه به همبستگی منفی قابلیت هضم ماده خشک و انرژی خالص شیردهی با غلظت الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (Kazula *et al*., 2019) و کاهش معنی‌دار الیاف نامحلول در شوینده‌های اسیدی و خنثی در نظام کشت ۵۰ درصد شبدر ایرانی+۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار، افزایش قابلیت هضم و محتوی انرژی علوفه در این تیمار قابل توجیه است. انرژی خالص شیردهی یک شاخص ارزشمند است که مقدار انرژی موجود در علوفه برای نگهداری دام و تولید شیر را نشان می‌دهد (Heydarzadeh *et al*., 2022).

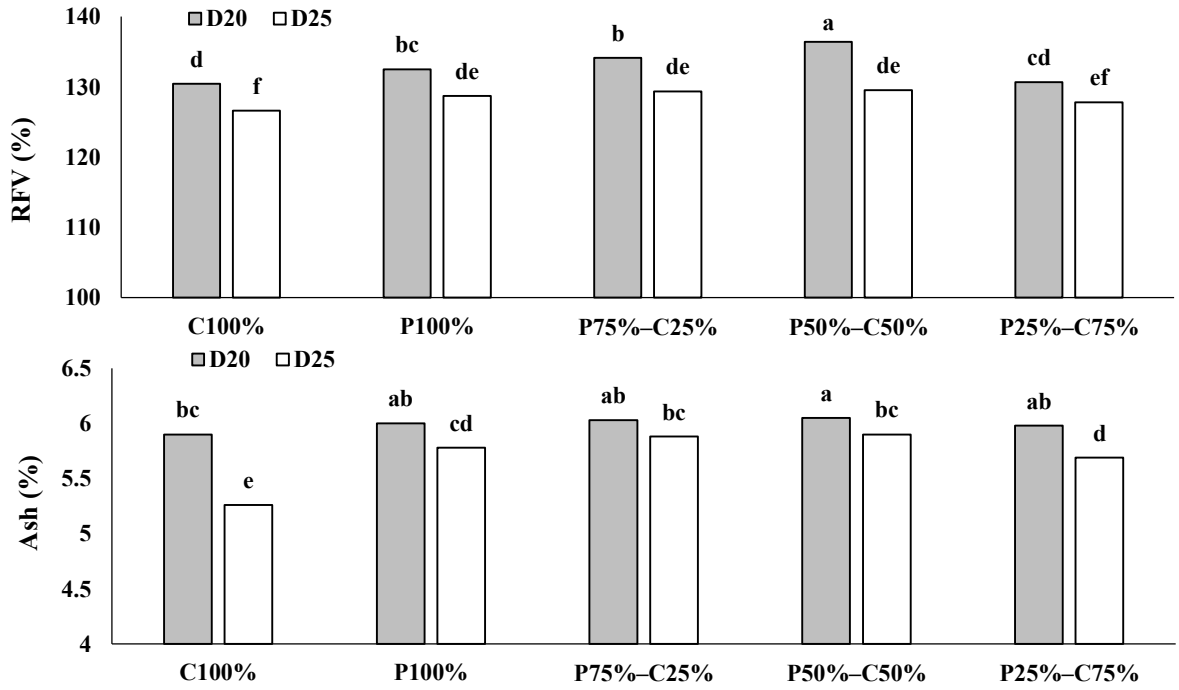
۳-۶. ارزش نسبی تغذیه‌ای و خاکستر علوفه

بیشترین میزان ارزش نسبی تغذیه‌ای (۱۳۶/۴۰ درصد) و خاکستر (۶/۰۵ درصد) علوفه در نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۶)؛ درحالی‌که، کمترین میزان این صفات به‌ترتیب با ۱۲۶/۶۱ و ۵/۲۶ درصد مربوط به نظام کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶). همچنین میزان ارزش نسبی تغذیه‌ای و خاکستر علوفه در سال دوم کشت نسبت به سال اول بیشتر بود (جدول ۴). میزان خاکستر گیاهان تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع خاک، گونه گیاهی، مرحله رشد، شرایط اقلیمی و فصل است (Heydarzadeh *et al*., 2022). به نظر می‌رسد ارزش نسبی تغذیه‌ای و خاکستر علوفه بین اجزا در کشت مخلوط شبدر ایرانی با شبدر لاکی به دلیل اثرات مکمل منجر به کاهش رقابت بین گونه‌ای در سال دوم کشت نسبت به سال اول امکان استفاده بهتر از مواد مغذی و منابع به‌ویژه نور را فراهم می‌کند و رشد قسمت‌های رویشی و ریشه‌ها را بهبود می‌بخشد. با گسترش ریشه‌های گیاه، جذب مواد معدنی افزایش می‌یابد که منجر به ذخیره‌سازی بیشتر مواد معدنی می‌شود. ارزش نسبی تغذیه‌ای یک شاخص مهم در ارزیابی کیفیت علوفه است که از قابلیت هضم ماده خشک و ماده خشک مصرفی مشتق می‌شود (Heydarzadeh *et al*., 2022). به نظر می‌رسد افزایش ارزش تغذیه‌ای در نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت پائین با بهبود شرایط رشد گیاهان، کاهش رقابت بین بوته‌ها و بهبود جذب نور و مواد مغذی مرتبط باشد که منجر به افزایش قابلیت هضم و مصرف ماده خشک علوفه شده است (Baghdadi *et al*., 2023). برعکس، مقادیر بالاتر الیاف نامحلول در کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت بالا باعث کاهش ارزش نسبی تغذیه‌ای علوفه در این تیمار شده است (Ashoori *et al*., 2021).

خاکستر علوفه نشان‌دهنده میزان مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی است و بالاتر بودن آن در نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار نشان‌دهنده دسترسی بهتر به مواد معدنی و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاهان است (Pourali *et al*., 2023). این مواد معدنی برای تولید ویتامین‌ها، هورمون‌ها و آنزیم‌ها ضروری هستند و نقش مهمی در بهبود کیفیت علوفه و سلامت دام‌ها دارند (Fotohi Chiyaneh *et al*., 2023).



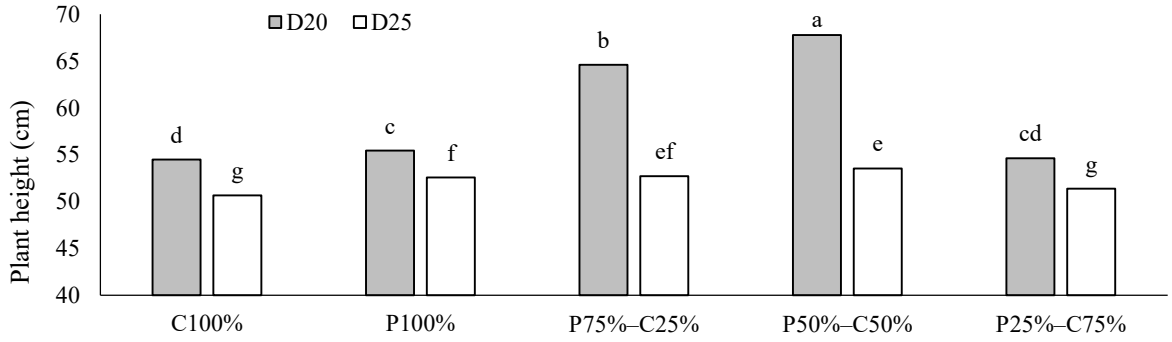
شکل ۵. مقایسه میانگین میزان قابلیت هضم ماده خشک (DMD) و انرژی خالص شیردهی (NEL) علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل نظام کشت × تراکم کاشت. $C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}–C_{25\%}$، $P_{50\%}–C_{50\%}$ و $P_{75\%}–C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ٦. مقایسه میانگین ارزش نسبی تغذیه‌ای (RFV) و خاکستر علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل نظام کشت × تراکم کاشت.
$C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}–C_{25\%}$، $P_{50\%}–C_{50\%}$ و $P_{75\%}–C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

۳–۷. ارتفاع بوته

بیشترین ارتفاع بوته (۶۷/۷۹ سانتی‌متر) در نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۷). به نظر می‌رسد این تیمار به دلیل کاهش رقابت بین بوته‌ها و بهبود دسترسی به نور و مواد مغذی، رشد بهتری داشته است (Bakhtiyari *et al*., 2020). در مقابل، کمترین ارتفاع بوته (۵۰/۶۵ سانتی‌متر) در نظام کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۷) که احتمالاً به دلیل رقابت شدیدتر برای منابع محدود، رشد کمتری داشته است (Delfani *et al*., 2022). همچنین ارتفاع بوته در سال دوم به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال اول بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد نظام کشت مخلوط با تراکم کاشت پایین در سال دوم نسبت به سال اول توانسته است با جذب بهتر مواد مغذی و کاهش رقابت، منجر به افزایش ارتفاع بوته‌ها شود (Javanmard *et al*., 2020).

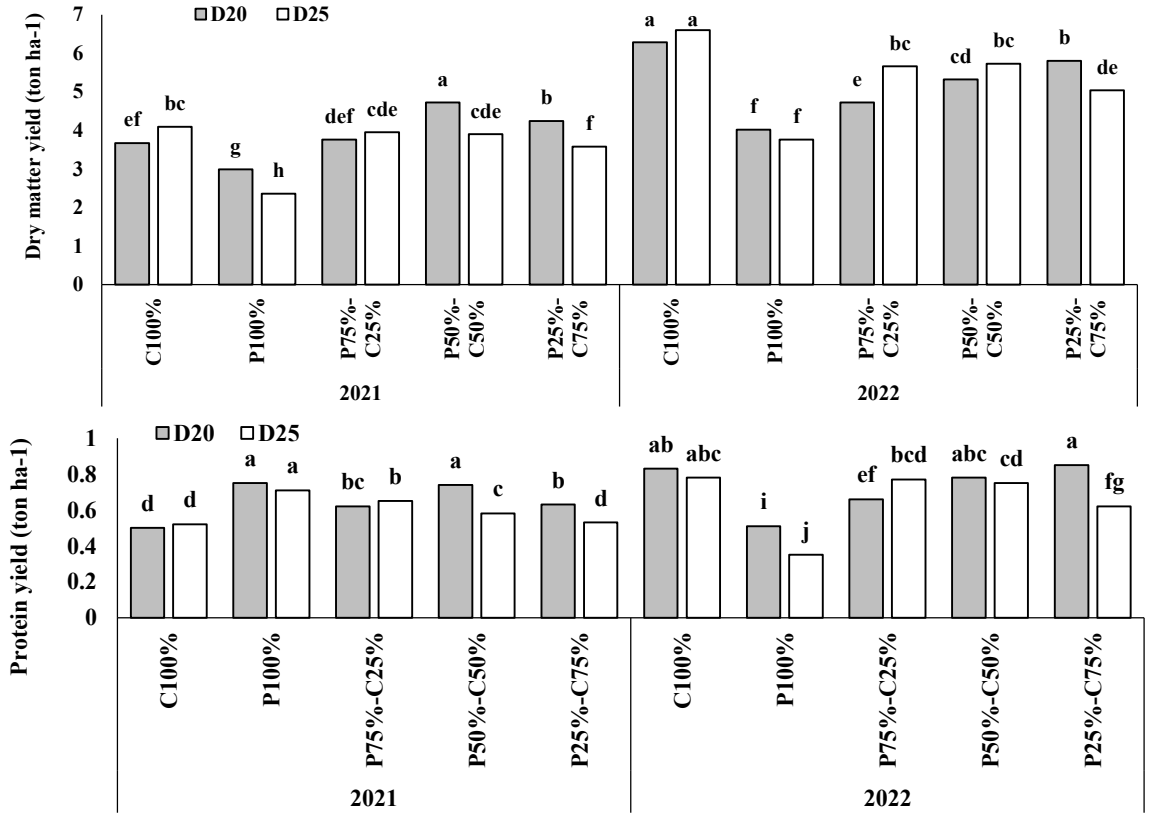


شکل ۷. مقایسه میانگین ارتفاع بوته علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل نظام کشت × تراکم کاشت.

$C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}–C_{25\%}$، $P_{50\%}–C_{50\%}$ و $P_{75\%}–C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

۳–۸. عملکرد علوفه کل و عملکرد پروتئین

بیشترین عملکرد علوفه خشک کل (۶/۶۰ تن در هکتار) در نظام کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال دوم به‌دست آمد (شکل ۸)؛ هر چند از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با نظام کشت خالص شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار نداشت. در مقابل، کمترین عملکرد علوفه خشک کل (۲/۳۶ تن در هکتار) در نظام کشت خالص شبدر ایرانی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال اول مشاهده شد (شکل ۸) که به نظر می‌رسد با رشد کندتر و تراکم بوته پایین‌تر در این تیمار مرتبط باشد. بیشترین عملکرد پروتئین (۰/۸۵ تن در هکتار) در نظام کشت مخلوط ۲۵ درصد شبدر ایرانی + ۷۵ درصد شبدر لاکی با تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال دوم به‌دست آمد (شکل ۸). به نظر می‌رسد این تیمار به دلیل ترکیب مناسب دو گونه و بهره‌برداری بهینه از منابع محیطی، عملکرد پروتئین بالایی را نشان داده است (Ashoori *et al*., 2021). کمترین عملکرد پروتئین (۰/۳۵ تن در هکتار) در نظام کشت خالص شبدر ایرانی با تراکم کاشت ۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال دوم حاصل شد (شکل ۸) که احتمالاً با رقابت درون‌گونه‌ای شدیدتر و رشد کمتر بوته‌ها در این تیمار مرتبط باشد (Pourali *et al*., 2023). این نتایج نشان می‌دهد که ترکیب نظام کشت مخلوط با تراکم کاشت مناسب می‌تواند به بهبود عملکرد علوفه و پروتئین منجر شود.



شکل ۸. مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک کل و عملکرد پروتئین علوفه شبدر تحت تاثیر متقابل سال، نظام کشت و تراکم کاشت (برش‌دهی روی سال). $C_{100\%}$، $P_{100\%}$، $P_{75\%}$–$C_{25\%}$، $P_{50\%}$–$C_{50\%}$ و $P_{75\%}$–$C_{20\%}$ به‌ترتیب کشت خالص لاکی، کشت خالص شبدر ایرانی، ۷۵ درصد ایرانی+۲۵ درصد لاکی، ۵۰ درصد ایرانی+۵۰ درصد لاکی و ۲۵ درصد ایرانی+۷۵ درصد لاکی. حروف غیر مشابه در هر ستون به مفهوم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن می‌باشد.

واکنش عملکرد علوفه و عملکرد پروتئین به تراکم کاشت در نظام‌های مختلف کشت طی دو سال مورد بررسی متفاوت بود، به‌نحوی‌که افزایش تراکم کاشت در برخی نظام‌ها باعث افزایش و در برخی نظام‌ها باعث کاهش عملکرد شده است (شکل ۸). مطالعات قبلی گزارش کرده‌اند که افزایش تراکم کاشت در نظام‌های کشت مخلوط می‌تواند منجر به افزایش رقابت برای نور و عناصر غذایی شود که به کاهش نرخ فتوسنتز و بهره‌وری گیاه منجر می‌شود (Tenakwa *et al*., 2019; Bakhtiyari *et al*., 2020). البته باید توجه داشت که تأثیر تراکم کاشت بر عملکرد علوفه به عوامل مختلفی از جمله شرایط محیطی و گونه گیاهی مورد بررسی بستگی دارد. در محصولاتی مانند ذرت (Guo *et al*., 2021) و یونجه (Xu *et al*., 2021) افزایش تراکم کاشت باعث افزایش عملکرد علوفه شده است. تامین رطوبت کافی در طول سال دوم مطالعه احتمالاً به ماندگاری طولانی گیاه و بازده علوفه پایدار کمک کرده است. برعکس، در شرایط تنش رطوبتی، افزایش تلفات گیاه مشاهده شد که منجر به کاهش عملکرد علوفه شد. شرایط آب و هوایی به‌طور قابل توجهی بر عملکرد علوفه تأثیر گذاشت، همانطوری‌که عملکرد علوفه بالاتر مشاهده شده در فصل زراعی دوم نسبت به فصل اول نشان داد. شرایط آب و هوایی مطلوب، به‌ویژه افزایش بارندگی و جذب مواد مغذی در طول فصل زراعی ۲۰۲۰–۲۰۲۱، احتمالاً به افزایش تعداد برگ و وزن کلی ساقه کمک کرده و در نتیجه عملکرد علوفه بالاتری را به همراه دارد (Ashoori et al., 2021).

۴. نتیجه‌گیری

کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی در تراکم کاشت پایین باعث بهبود قابلیت هضم ماده خشک، مواد مغذی قابل هضم، ارزش نسبی تغذیه‌ای، انرژی خالص شیردهی و ماده خشک مصرفی گیاه شبدر شد؛ درحالی‌که بالاترین عملکرد علوفه خشک در نظام خالص شبدر لاکی در تراکم کاشت بالا به‌دست آمد. کاهش تراکم کاشت در تمامی نظام‌های کشت مورد

بررسی باعث افزایش ارزش نسبی تغذیه‌ای، انرژی خالص شیردهی، قابلیت هضم ماده خشک، محتوی مواد مغذی قابل هضم، کربوهیدرات‌های محلول در آب و خاکستر و کاهش الیاف نامحلول در شوینده‌های اسیدی و خنثی شد. به‌طور کلی، برای دست‌یابی همزمان به عملکرد و کیفیت علوفه مناسب، نظام کشت مخلوط ۵۰ درصد شبدر ایرانی + ۵۰ درصد شبدر لاکی در تراکم کاشت ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار به عنوان یک راهکار سازگار با محیط زیست برای مناطق نیمه‌خشک با شرایط اقلیمی مشابه با شهرکرد قابل توصیه می‌باشد.

۵. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در اجرای این پروژه تحقیقاتی با کد مصوب ۹۹۰۶۳۶- ۰۶۱- ۰۳- ۰۳- ۰ سپاسگزاری می‌شود.

۶. منابع

Arif, M., Kumar, A., Pourouchottamane, R., Gupta, D.L., Singh, M.K., & Rai, B. (2022). Effect of intercropping row ratios on yield and nutritive value of maize and cowpea fodder. *Range Management and Agroforestry*, *43*(2), 292-298.

Armstrong, K.L., & Albrecht, K.A. (2008). Effect of plant density on forage yield and quality of intercropped corn and lablab bean. *Crop Science*, *48*(2), 814-822.

Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajalli, J., & Ilkaee, M.N. (2021). Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. *Bragantia*, *80*, e1421.

Bacchi, M., Monti, M., Calvi, A., Lo Presti, E., Pellicanò, A., & Preiti, G. (2021). Forage potential of cereal/legume intercrops: Agronomic performances, yield, quality forage and LER in two harvesting times in a Mediterranean environment. *Agronomy*, *11*(1), 121.

Baghdadi, A., Golzardi, F., & Hashemi, M. (2023). The use of alternative irrigation and cropping systems in forage production may alleviate the water scarcity in semi-arid regions. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 103*(10), 5050-5060.

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

Balazadeh, M., Zamanian, M., Golzardi, F., & 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), 1927-1942.

Delfani, M., Akbari, M., Vafa, P., MalekMaleki, F., & Masoumi, A. (2022). The effect of plant density and supplementary irrigation on nutritional value of two safflowers (*Carthamus tincturius* L.) forage crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *53*(11), 1355-1378.

Favre, J.R., Castiblanco, T.M., Combs, D.K., Wattiaux, M.A., & Picasso, V.D. (2019). Forage nutritive value and predicted fiber digestibility of Kernza intermediate wheatgrass in monoculture and in mixture with red clover during the first production year. *Animal Feed Science and Technology*, *258*, 114298.

Ferraz-Almeida, R., Albuquerque, C.J.B., Camargo, R., Lemes, E.M., Soares de Faria, R., & Quintão Lana, R.M. (2022). Sorghum–grass intercropping systems under varying planting densities in a semi-arid region: Focusing on soil carbon and grain yield in the conservation systems. *Agriculture*, *12*(11), 1762.

Fotohi Chiyaneh, S., Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., Keshavarz Afshar, R., & Siddique, K.H. (2023). Intercropping medicinal plants is a new idea for forage production: A case study with ajowan and fenugreek. *Food and Energy Security*, *13*(1), p.e 501.

Guo, Q., Huang, G., Guo, Y., Zhang, M., Zhou, Y., & Duan, L. (2021). Optimizing irrigation and planting density of spring maize under mulch drip irrigation system in the arid region of Northwest China. *Field Crops Research*, *266*, p.108141.

Heydarzadeh, S., Jalilian, J., Pirzad, A., Jamei, R., & Petrussa, E. (2022). Fodder value and physiological aspects of rainfed smooth vetch affected by biofertilizers and supplementary irrigation in an agri-silviculture system. *Agroforest Syst.*, *96*(1), 221-232.

Horrocks, R.D., & Vallentine, J.F. (1999). Harvested forages. Academic Press, London, UK.

Ibrahim, A.T.I.S., & Acikalin, S. (2020). Yield, quality and competition properties of grass pea and wheat grown as pure and binary mixture in different plant densities. *Turkish Journal of Field Crops*, *25*(1), 18-25.

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(2),* 293-299.

Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.R., & Dashtaki, M. (2013). Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management*, *117*, 62-69.

Javanmard, A., Machiani, M.A., Lithourgidis, A., Morshedloo, M.R., & Ostadi, A. (2020). Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology*, *1*, 100003.

Kazula, M.J., Andrzejewska, J., Conley, S.P., & Albrecht, K.A. (2019). Intercropping winter cereals in Kura clover for spring forage production. *Canadian Journal of Plant Science*, *99*(5), 740-750.

Mu, L., Su, K., Zhou, T., & Yang, H. (2023). Yield performance, land and water use, economic profit of irrigated spring wheat/alfalfa intercropping in the inland arid area of northwestern China. *Field Crops Research*, *303*, 109116.

Pourali, S., Aghayari, F., Ardakani, M.R., Paknejad, F., & Golzardi, F. (2023). Benefits from intercropped forage sorghum–red clover under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, *75*, 1769–1780.

Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., & Hashemi, M. (2013). Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, *148*, 43-48.

Salama, H.S.A. (2019). Yield and nutritive value of maize (*Zea mays* L.) forage as affected by plant density, sowing date and age at harvest. *Italian Journal of Agronomy*, *14*(2), 114-122.

Sowa-Borowiec, P., Jarecki, W., & Dżugan, M. (2022). The effect of sowing density and different harvesting stages on yield and some forage quality characters of the white sweet clover (*Melilotus albus*). *Agriculture*, *12*(5), p.575.

Tenakwa, E.A., Cudjoe, S., & Ansah, T. (2019). Biomass yield and fodder quality of napier grass (*Pennisetum purpureum*) as affected by pigeon pea (*Cajanus cajan*) intercrop and planting distance. *Ghana Journal of Agricultural Science*, *54*(2), 36-44.

Umesh, M.R., Angadi, S., Begna, S., & Gowda, P. (2022). Planting density and geometry effect on canopy development, forage yield and nutritive value of sorghum and annual legumes intercropping. *Sustainability*, *14*(8), p.4517.

Widdicombe, W.D., & Thelen, K.D. (2002). Row width and plant density effect on corn forage hybrids. *Agronomy Journal*, *94*(2), 326-330.

Xu, R., Zhao, H., Liu, G., You, Y., Ma, L., Liu, N., & Zhang, Y. (2021). Effects of nitrogen and maize plant density on forage yield and nitrogen uptake in an alfalfa–silage maize relay intercropping system in the North China Plain. *Field Crops Research*, *263*, p.108068.

Zamanian, M., & 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), 721-740. (In Persian).

Zamanian, M., Poureisa, M., & Golzardi, F. (2024). The Effect of planting date on thermal indices and dry matter yield of different clover species. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *14*(1), 4787-4798.

Zhang, H., Shi, W., Ali, S., Chang, S., Jia, Q., & Hou, F. (2022). Legume/maize intercropping and N application for improved yield, quality, water and n utilization for forage production. *Agronomy*, *12*(8), 1777.