



The Effect of Different Tillage Systems on Forage Quality in a Triticale (×*Triticosecale* Wittmack)–Vetch (*Vicia sativa* L.) Intercropping

Arman Jamali¹, Gholamreza Heidari^{1*}, Yousef Sohrabi¹ and Zahed Sharifi²

1- Department of Production and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

2- Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 22-08-2025
Revised: 30-12-2025
Accepted: 05-01-2026
Available Online: 10-05-2026

How to cite this article:

Jamali, A., Heidari, G., Sohrabi, Y., & Sharifi, Z. (2026). The effect of different tillage systems on forage quality in a triticale (×*Triticosecale* Wittmack)–vetch (*Vicia sativa* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*, 17(4), 591-609. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2026.95047.1250>

Introduction

Global food demand is rising, and by 2050, the world population is expected to reach about 9 billion. To meet this demand under increasing environmental pressures, improving the efficiency of production factors through sustainable agricultural practices is essential. Conventional tillage and sole-cropping systems often suffer from limited ground cover and associated soil degradation. Intercropping systems, especially mixtures of cereals and legumes, can enhance resource-use efficiency, improve soil quality via biological nitrogen fixation, and reduce soil erosion while maintaining or increasing forage yield and quality. This study focuses on the performance of intercropping two forage crops, vetch (*Vicia sativa* L.) and triticale (×*Triticosecale* Wittmack), under different tillage regimes, aiming to identify combinations that optimize forage quality under dryland conditions in Kurdistan, Iran.

Materials and Methods

The field experiment was conducted during the 2019–2020 growing season at the Kurdistan University experimental farm. The trial employed a split-plot based on a randomized complete block design with three replicates. The main plots consisted of three tillage treatments: conventional tillage (plough-back, disc, and harrow), reduced tillage (chisels), and no-tillage. Subplots represented six sowing patterns: (I_{1v}) pure vetch, (I_{1t}) pure triticale, (I₂) 80% triticale+20% vetch, (I₃) 60% triticale+40% vetch, (I₄) 40% triticale+60% vetch, and (I₅) 20% triticale+80% vetch. Subplot dimensions and spacings were standardized, with three 5 m by 1.5 m main plots per replicate. Quality parameters of the forage were assessed at anthesis by harvesting, excluding edge effects. The laboratory analyses included crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and ash content, following standard procedures. Plant height and dry matter (DM) yield were also recorded. Data were analyzed using SAS 9.1. Means were compared with LSD at 5% probability. Figures were produced in Excel.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/agry.2026.95047.1250>

Results and Discussion

Analysis of variance showed significant interactions between tillage and intercropping on several forage quality traits in both species. Specifically, the interaction affected the acid detergent fiber (ADF) and crude protein (CP) of vetch forage at the 1% level, and also influenced the neutral detergent fiber (NDF) and CP of vetch and triticale in different contexts. Overall, ADF and ash contents, and CP of vetch, were sensitive to tillage $\times$ intercropping, whereas NDF showed pronounced responses to tillage and intercropping independently in many treatment combinations. Crude protein was higher in vetch pure stands and generally increased under no-tillage compared with conventional tillage. In intercropping setups, CP of triticale tended to increase as the proportion of vetch increased, indicating a positive effect of legume association on the protein content of the cereal component, likely due to improved nitrogen availability and better canopy light capture under mixed stands. The content of ADF (and thus digestibility potential) and NDF was notably affected by tillage and intercropping. Pure cropping with conventional tillage tended to exhibit higher NDF and ADF values compared with no-till and mixed stands, suggesting lower forage digestibility in traditional systems. Intercropping, especially with favorable cereal-legume ratios, reduced fiber concentrations in some treatments, aligning with improved forage quality reported in other cereal-legume mixtures. Ash content was mainly driven by intercropping. Among the treatments, pure vetch exhibited the highest ash content, while pure triticale had the lowest, with mixed patterns showing intermediate values. This pattern reflects changes in mineral content and tissue composition influenced by species mix and resource availability. Dry matter did not show significant differences among tillage systems in this study. The land equivalent ratio (LER) analysis demonstrated that intercropping, particularly at ratios of triticale 80% + vetch 20%, improved LER across all tillage treatments, with the highest LER observed under conservation tillage systems.

Conclusion

The study demonstrates that tillage systems and intercropping patterns significantly influence the quality of forage from vetch and triticale under dry Mediterranean conditions. Intercropping, particularly with balanced cereal-legume ratios, improved forage quality by modulating Crude Protein and fiber fractions (Acid Detergent Fiber and Natural Detergent Fiber), and reduced ash content relative to pure stands under some tillage regimes. No-tillage tended to enhance CP for vetch, and under intercropping, CP of the cereal component increased, suggesting improved nitrogen use efficiency and forage nutritive value in conservative farming systems. Intercropping, especially at an 80:20 ratio, improved LER, particularly under conservation tillage systems. Practically, adopting conservation or reduced tillage in combination with carefully designed vetch-triticale mixtures can enhance forage quality and soil health in semi-arid environments.

Keywords: Conservation tillage, Crude protein, Digestibility, Dry matter, Soil management

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴، ص ۵۹۱-۶۰۹

اثر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر کیفیت علوفه در کشت مخلوط تریتیکاله (*Triticosecale* ×) و ماشک (*Vicia sativa* L.) Wittmack

آرمان جمالی^۱، غلامرضا حیدری^{۱*}، یوسف سهرابی^۱ و زاهد شریفی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

چکیده

این آزمایش به منظور ارزیابی اثر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر برخی ویژگی‌های کیفیت علوفه به صورت کرت‌های خردشده برپایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان انجام شد. سیستم‌های خاک‌ورزی به عنوان عامل اصلی در سه سطح خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگردان دار + دیسک + ماله)، کم‌خاک‌ورزی (چیزل) و بدون خاک‌ورزی اعمال شد. الگوهای کشت مخلوط به عنوان عامل فرعی در شش سطح شامل کشت خالص ماشک (*Vicia sativa* L.)، کشت خالص تریتیکاله (*Triticosecale* ×) Wittmack، کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله + ۸۰ درصد تریتیکاله و ۶۰ درصد ماشک، کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله + ۴۰ درصد ماشک، کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله + ۸۰ درصد ماشک بود. نتایج نشان داد که افزایش ماشک در الگوهای کشت باعث افزایش پروتئین خام علوفه شد. بیشترین الیاف نامحلول در شوینده خنثی ماشک در سیستم‌های خاک‌ورزی رایج، کاهش یافته و بدون خاک‌ورزی مربوط به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک بود. کمترین پروتئین خام علوفه ماشک در هر سه سیستم خاک‌ورزی رایج، کاهش یافته و بدون خاک‌ورزی در کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک ثبت شد. بیشترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در گیاه ماشک (۴۷/۱۵ درصد) و تریتیکاله (۴۵/۰۹ درصد) مربوط به تیمار خاک‌ورزی رایج بود. بیشترین خاکستر علوفه (۱۲/۲۳ درصد) در تیمار کشت خالص ماشک و کمترین میزان این صفت نیز در تیمار کشت خالص تریتیکاله (۷/۲۱ درصد) مشاهده شد. ارتفاع بوته ماشک و تریتیکاله تحت تأثیر اثرات ساده خاک‌ورزی و کشت مخلوط معنی دار گردید. بیشترین ارتفاع بوته ماشک (۳۸/۷۶ سانتی‌متر) و تریتیکاله (۷۶ سانتی‌متر) در تیمار خاک‌ورزی رایج و کمترین ارتفاع بوته ماشک (۳۶/۱۸ سانتی‌متر) و تریتیکاله (۷۱/۸۲ سانتی‌متر) در تیمار بدون خاک‌ورزی بود. در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، کشت مخلوط در نسبت ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک نسبت برابری زمین را بهبود بخشید. براساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان اظهار داشت که کاربرد روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌ویژه در شرایط دیم سبب تغییرات مثبت کیفیت علوفه در گیاه ماشک و تریتیکاله شد. بهره‌برداری از سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و کشت مخلوط در این پژوهش، علاوه بر بهبود کیفیت علوفه سبب افزایش نسبت برابری زمین گردید.

واژه‌های کلیدی: پروتئین خام، خاک‌ورزی حفاظتی، قابلیت هضم، ماده خشک، مدیریت خاک

مقدمه

پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان در پایان سال ۲۰۵۰ به حدود

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج،

ایران

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج،

ایران

(Email: g.heidari@uok.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/agry.2026.95047.1250>

۹/۸ میلیارد تن برسد، بنابراین جهت تأمین غذای مورد نیاز این جمعیت روبه‌رشد، بهره‌وری عوامل تولید که از ابزارهای پایداری در کشاورزی است، باید افزایش یابد (Salah et al., 2019). این در حالی است که در سال‌های اخیر، چالش‌های مختلف محیطی از جمله کاهش کیفیت آب، خاک و هوا، ناشی از کشاورزی فشرده به‌ویژه در نواحی مدیرانه‌ای افزایش یافته است (Samuel et al., 2020). در سیستم‌های تک‌کشتی به دلیل عدم برخورداری از پوشش گیاهی کافی

در سطح خاک، مشکلات عمده‌ای وجود دارد (Barnes et al., 2019). بنابراین افزایش تولید در واحد زمان و اصلاح سیستم‌های خاک‌ورزی جهت کاهش فرسایش خاک و افزایش حاصلخیزی آن می‌تواند حائز اهمیت باشد.

یکی از مهم‌ترین راهبردها در راستای افزایش تولید در واحد زمان، سیستم‌های کشت مخلوط می‌باشد. کاشت همزمان دو یا چند گیاه زراعی در یک مزرعه در طول یک فصل زراعی، کشت مخلوط نامیده می‌شود (Hodiyani et al., 2016). کشت مخلوط هنگامی سودمند است که منابع محیطی مورد نیاز دو گونه از یکدیگر متفاوت بوده و گونه‌ها در کنار یکدیگر قادر به استفاده بهینه از عوامل محیطی باشند (Mabudi & Zehtab Salmasi, 2017). هدف از آزمایش‌های کشت مخلوط، به‌ویژه کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای، افزایش عملکرد در واحد سطح و کیفیت محصول می‌باشد و در اغلب موارد از گیاهان خانواده بقولات و غلات استفاده می‌شوند. غلات از نظر ماده خشک در سطح بالایی قرار دارند، ولی از حیث پروتئین فقیر می‌باشند و در نقطه مقابل، بقولات از نظر میزان پروتئین در سطح بالایی قرار دارند. از این‌رو، کشت مخلوط غلات و بقولات منجر به تولید علوفه‌ای با کیفیت بالا خواهد شد (Shahbazi et al., 2022).

نتایج مطالعات نشان داده است که برتری بوم‌شناختی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، نتیجه استفاده کارآمدتر از منابع محیطی، به‌خصوص استفاده از نور خورشید است که این انرژی در طول فرآیند ذخیره شده و تبدیل به زیست‌توده گیاهی می‌شود (Wang et al., 2024). بهره‌برداری از منابع، نیازمند تیپ ایده‌آل گیاه زراعی و انتخاب تراکم مناسب کاشت است که در کمترین زمان، تمام آشیان اکولوژیک را اشغال نمایند. در نتیجه، استفاده مؤثر از نور، آب و مواد غذایی نسبت به کشت جداگانه داشته باشد (Lal et al., 2019). از سوی دیگر، امروزه کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای بسیار متداول بوده و کاربرد آن موجب افزایش کمی و کیفی علوفه، کاهش خسارت احتمالی ناشی از آفات و بیماری‌ها و استفاده حداکثر از منابع آب و خاک شده است (Lithourgidis et al., 2011).

خاک‌ورزی بر بخش مهمی از خصوصیات خاک از قبیل دما، ذخیره و پراکنش رطوبت در خاک و نیز تراکم خاک اثر می‌گذارد (Lv et al., 2023). در همین راستا، انتخاب و اجرای صحیح یک سیستم خاک‌ورزی می‌تواند بستر بذری مناسب را جهت رشد گیاه و در نهایت به دست آوردن عملکرد مطلوب فراهم می‌کند (Ahmadi et al., 2024).

سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم از طریق شکستن لایه‌های نفوذناپذیر خاک، پاک کردن سطح خاک از بقایای گیاهی و قطع چرخه زندگی علف‌های هرز، حشرات و بیماری‌ها بستر مناسبی برای رشد گیاه آماده می‌کند. اما این سیستم‌ها نه تنها به انرژی زیادی نیاز دارند، بلکه در درازمدت خصوصیات فیزیکی خاک را تخریب و آن را دچار فرسایش می‌کنند (Li et al., 2023). در این راستا، جایگزینی نظام‌های رایج با نظام‌های کشاورزی حفاظتی به‌عنوان یک راهکار مهم در جهت نیل به پایداری مطرح گردیده و پذیرش جهانی را به دنبال داشته است (Akinola et al., 2023). نتایج پژوهشی نشان داد که سیستم‌های کم و بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم نه تنها باعث کاهش هزینه‌های زراعی می‌شود، بلکه سله بستن لایه سطحی خاک، وزن مخصوص ظاهری و فشردگی خاک را کاهش می‌دهد و موجب افزایش ذخیره رطوبت در خاک، بیشتر در نتیجه نفوذ بهتر آب، کاهش تبخیر و رواناب و افزایش دسترسی عناصر غذایی در خاک می‌شوند (Lv et al., 2023). نفوذپذیری آب در خاک در سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی به‌علت افزایش مواد آلی و فعالیت کرم‌های خاکی نسبت به سیستم خاک‌ورزی متداول افزایش می‌یابد (Akinola et al., 2023).

ماشک (*Vicia sativa* L.) برای حفاظت و اصلاح ساختمان خاک، به‌عنوان کود سبز، علوفه خشک، سیلو و علوفه سبز کشت می‌شوند. علوفه ماشک برای دام‌ها مناسب بوده و میزان پروتئین آن در زمان مناسب برداشت در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد است (Chen et al., 2020). گیاه تربیتی‌کاله (*Triticosecale* Wittmack L.) حاصل ترکیب دو جنس چاودار (*Secale cereal* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) است. تربیتی‌کاله، خصوصیات عملکردی گندم را برای تولید مواد غذایی و سازگاری چاودار به محیط نامطلوب دارد و به‌دلیل بالا بودن لیزین، ارزش پروتئینی بالاتری نسبت به گندم دارد (Audenaert et al., 2014).

افزایش عملکرد علوفه در گیاهان کشت‌شده به روش‌های کم-خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی مشاهده شده است (Wasaya et al., 2017). نتایج پژوهشی نشان داد که گیاه ماشک کشت‌شده در تیمارهای کشت مستقیم (بدون خاک‌ورزی) و کم‌خاک‌ورزی در شرایط دیم عملکرد و ارتفاع بیشتری در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی مرسوم داشتند. براساس این پژوهش، خاک‌ورزی کاهش در شرایط دیم با توجه به تغییرات بیولوژیکی و ساختاری که در خاک به وجود

می‌آورد سبب تغییرات مثبت مورفوفیزیولوژیکی و کیفیت علوفه در گیاه ماشک می‌شود (Elyasi et al., 2024). نتایج پژوهش دیگری با هدف بررسی سطوح مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) در کشت مخلوط نشان داد که سیستم بدون خاک‌ورزی موجب افزایش عملکرد ذرت در الگوهای مختلف کشت مخلوط گردید (Farrahi et al., 2023).

کشت مخلوط غلات و لگوم‌ها، یکی از راهکارهای مفید جهت افزایش کیفیت علوفه و افزایش عملکرد می‌باشد، چراکه غلات دارای قابلیت تولید زیست‌توده زیاد و انرژی قابل توجه برای دام است، اما به لحاظ پروتئین فقیر می‌باشد. از سوی دیگر، لگوم‌ها دارای خوش خوراکی بالاتر، پروتئین بیشتر و قابلیت هضم مطلوب هستند، اما عملکرد آن‌ها در واحد سطح پایین می‌باشد (Lithourgidis, 2011).

نتایج پژوهشی نشان داد که کشت مخلوط غلات و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) باعث افزایش پروتئین خام علوفه در همه تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص شد (Kocer & Albaryrac, 2022).

سبز (*Vigna radiata* L.) بر عملکرد و کیفیت علوفه نشان داد که کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای کیفیت علوفه بالاتری بود (Dahmardeh et al., 2013). نتایج حاصل از بررسی عملکرد و کیفیت علوفه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نشان داد که بالاترین میزان عملکرد کل علوفه خشک از تیمار کشت مخلوط ۵۰:۵۰ لوبیا تپاری (*Phaseolus acutifolius* L.) - ارزن

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان اجرا گردید. مزرعه با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۸ دقیقه شمالی در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان سنندج واقع است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۸۶۶ متر می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه این منطقه ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد و براساس روش آمبرژه آب‌وهوای منطقه، مدیترانه‌ای و از نوع خشک است. میانگین بارش و دمای ماهانه سال آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- میانگین دما و مجموع بارش ماهیانه در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹

Table 1- Average monthly temperature and total precipitation in crop year 2019-2020

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
	October	November	December	January	February	Mars	April	May	June	July
بارندگی Precipitation (mm)	1.7	125.7	31.2	30	39.8	20.1	93.6	22.2	0.1	0.5
میانگین حداقل دما Average minimum temperature (°C)	11.4	4.0	-3.7	-3.5	-3.7	2.7	3.6	9.64	13.3	18.2
میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (°C)	23.9	12.1	4.2	3.9	4.9	12.7	13.4	21.5	26.3	33.5

خاک‌ورزی (چیزل) و بدون خاک‌ورزی اعمال شد و الگوهای مختلف کاشت به عنوان عامل فرعی در شش سطح شامل کشت خالص ماشک (I_{1v})، کشت خالص تریتیکاله (I_{1t})، کشت مخلوط جایگزینی

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. خاک‌ورزی به عنوان عامل اصلی در سه سطح خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگردان دار + دیسک + ماله)، کم

۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک (I_2)، کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک (I_3)، کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک (I_4) و کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک (I_5) بود. در خاک‌ورزی رایج زمین محل آزمایش در ۲۵ مهر ماه به‌وسیله گاوآهن برگردان‌دار تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک‌ورزی زده شد. سپس کلوخه ها با استفاده از دیسک خرد شدند و در انتها برای تسطح زمین از ماله استفاده شد. کم‌خاک‌ورزی کاهشی نیز در همین زمان با استفاده از چپزل تا عمق ۲۰ سانتی‌متری انجام شد. کشت در تمام تیمارها به‌صورت دستی انجام گرفت. میزان تراکم گیاه تریتیکاله ۳۵۰ بوته در مترمربع و گیاه ماشک ۲۵۰ بوته در مترمربع به‌عنوان تراکم مطلوب برای کشت خالص دو گیاه در نظر گرفته شد. کرت‌های فرعی دارای ابعادی به‌طول ۵ متر و عرض ۱/۵ متر بود. ابعاد کرت‌های اصلی ۸×

۱۹ متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل شش ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر در کشت خالص و مخلوط بود. فاصله بین کرت‌های فرعی نیز نیم متر و فاصله بین کرت‌های اصلی و تکرارها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در زمان کاشت کودهای مورد نیاز شامل نیتروژن از منبع اوره، فسفر از منبع سوپرفسفات‌تریپل و پتاسیم از منبع پتاسیم سولفات بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی گیاه ماشک و تریتیکاله به خاک اضافه گردید. پژوهش حاضر به‌صورت دیم اجرا شد.

قبل از اجرای آزمایش و در زمان گاوآهن بودن خاک به‌روش تصادفی، نه نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و به‌فاصله ۲۵ متر از هم و به‌صورت زیگزاگ تهیه شد و بعد از مخلوط‌کردن نمونه‌ها، یک نمونه مرکب تهیه گردید. نتایج ویژگی‌های خاک، قبل از شروع آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری
Table 2- The physicochemical properties of the soil at a depth of 0-30 cm

مشخصات Properties	واحد unit	مقدار Value
هدایت الکتریکی EC	$dS.m^{-1}$	0.49
ماسه Sand	%	14.2
شن Silt	%	38.4
رس Clay	%	47.4
ماده آلی Organic mater	%	0.87
آهن قابل دسترس Available Fe	$mg.kg^{-1}$	2.20
نیتروژن N	%	0.08
فسفر قابل دسترس Available P	$mg.kg^{-1}$	12.4
پتاسیم قابل دسترس Available K	$mg.kg^{-1}$	320

(Van et al., 1991) و درصد پروتئین خام علوفه^۲ (CP) با استفاده از دستگاه کج‌دال (Nelson & Sommers, 1996) و همچنین الیاف نامحلول در شوینده خنثی^۳ (NDF) (Van et al., 1991) و الیاف

به‌منظور اندازه‌گیری کیفیت علوفه در مرحله گل‌دهی، با حذف اثر حاشیه، ناحیه‌ای به مساحت ۰/۵ مترمربع از هر کرت برداشت و برای تعیین کیفیت علوفه به آزمایشگاه منتقل و صفات خاکستر علوفه^۱

2- Crude Protein
3- Neutral Detergent Fiber

1- Ash

ارتفاع بوته ماشک و تریتیکاله تحت تأثیر اثرات خاک‌ورزی و کشت مخلوط معنی‌دار شدند. خاک‌ورزی رایج موجب افزایش ارتفاع بوته ماشک نسبت به تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته (۳/۳۸ درصد) و تیمار بدون خاک‌ورزی (۷/۱۳ درصد) شد. همچنین ارتفاع بوته تریتیکاله در تیمار خاک‌ورزی رایج به‌میزان ۰/۷ و ۵/۸۲ درصد بیشتر از تیمارهای خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی بود. بررسی مقایسه میانگین کشت مخلوط بر ارتفاع بوته نشان داد که کمترین ارتفاع مربوط به تیمار کشت خالص ماشک بود و بیشترین ارتفاع بوته در تیمار کشت خالص تریتیکاله مشاهده شد (جدول ۵).

به نظر می‌رسد که در شرایط خاک‌ورزی رایج، به‌دلیل خاک‌ورزی بیشتر، توسعه ریشه بهتر صورت گرفته است و با توجه به عدم محدودیت در مصرف آب و عناصر غذایی دیگر، ارتفاع بوته نسبت به سایر سیستم‌ها بالاتر بوده است (Ren et al., 2018). در پژوهشی که اثر انواع مختلف خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی ماشک گل سفید مورد مطالعه قرار گرفت، نتایج نشان داد که کمترین ارتفاع در کشت مرسوم به دست آمد. این پژوهشگران عنوان کردند که گیاهان کاشته‌شده به‌روشنی کم‌خاک‌ورزی ارتفاع بیشتری داشتند و دلیل این امر توزیع نامتناسب بارندگی در سال اجرای آزمایش عنوان گردید که کمبود آب موجب کاهش کلروفیل و کارایی فتوسیستم دو در تیمارهای کشت رایج شده است (Elyasi et al., 2024). نتایج پژوهشی که الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در سطوح مختلف خاک‌ورزی را مورد بررسی قرار داده بود نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم بود. همچنین بالاترین ارتفاع بوته در کشت خالص سورگوم و کمترین ارتفاع بوته در تیمار کشت خالص ذرت مشاهده شد (Farrahi et al., 2023). نتایج پژوهشی که با هدف ارزیابی تولید در کشت مخلوط چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) در سری جایگزینی انجام گردید، نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته لوبیا چشم‌بلبلی در تیمار کشت خالص و کمترین ارتفاع مربوط به تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵ درصد چای ترش بود و ارتفاع بوته در کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی نسبت به نظام‌های جایگزینی بیشتر بود (Heydari et al., 2019).

نامحلول در شوینده اسیدی^۱ (ADF) (AOAC, 2005) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته‌های ماشک و تریتیکاله از هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب، اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها گزارش گردید. برای اندازه‌گیری ماده خشک علوفه، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک با حذف اثر حاشیه، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از خشک کردن در آون با دمای ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت توزین گردید.

از آنجایی که اندازه‌گیری‌ها روی هر یک از گیاهان تریتیکاله و ماشک به‌صورت جداگانه صورت گرفته، تعداد سطوح عامل دوم پنج شده، چراکه سطح کشت خالص تریتیکاله برای صفات ماشک و بالعکس کشت خالص ماشک برای صفات تریتیکاله حذف شدند. قبل از تجزیه داده‌ها، آزمون نرمال بودن آن‌ها به‌وسیله نرم افزارهای آماری انجام شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری (SAS 9.4) و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون LSD 5% انجام گردید. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2020 صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ماشک و ارتفاع بوته ماشک تحت تأثیر اثر ساده خاک‌ورزی و کشت مخلوط معنی‌دار شدند، اما تحت تأثیر اثر متقابل خاک‌ورزی × کشت مخلوط معنی‌دار نبودند. خاکستر علوفه ماشک تنها تحت تأثیر اثر ساده کشت مخلوط معنی‌دار بود. الیاف نامحلول در شوینده خنثی و پروتئین خام علوفه ماشک تحت تأثیر اثرات ساده و اثر متقابل خاک‌ورزی و کشت مخلوط معنی‌دار بودند (جدول ۳). خاکستر، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و پروتئین خام علوفه و ارتفاع بوته تریتیکاله تحت تأثیر اثر ساده خاک‌ورزی و کشت مخلوط معنی‌دار گردید. الیاف نامحلول در شوینده خنثی تریتیکاله تحت تأثیر اثر متقابل خاک‌ورزی و کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴).

ارتفاع بوته

نتایج مقایسه میانگین داده‌های آزمایش (جدول ۵) نشان داد که

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر کیفیت علوفه ماشک

Table 3- Variance analysis (mean squares) of the effect of tillage and intercropping on the quality of vetch forage

ارتفاع بوته Plant height	ماده خشک کل Total dry matter (TDM)	خاکستر Ash	پروتئین خام Crude protein (CP)	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (NDF)	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (ADF)	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V.
10.13	1401.48	0.29	5.06	5.41	87.71	2	بلوک Block
25.08*	108.71 ^{ns}	0.62 ^{ns}	89.97**	70.32**	382.75**	2	خاک‌ورزی Tillage (T)
1.04	764.04	1.52	5.11	5.31	11.86	4	خطا (۱) Error (1)
33.29**	1154.49 ^{ns}	18.13**	520.18**	540.45**	428.15**	4	کشت مخلوط Intercropping (I)
6.94 ^{ns}	988.56 ^{ns}	0.79 ^{ns}	21.06**	18.61**	79.23 ^{ns}	8	T×I
6.83	3383.62	1.12	4.04	3.91	45.85	24	خطا (۲) Error (2)
6.99	9.61	10.67	4.19	4.27	16.37	-	ضریب تغییرات CV (%)

^{ns}: غیرمعنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.
ns: non-significant, * and **: significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر کیفیت علوفه تریتیکاله

Table 4- Variance analysis (mean squares) of the effect of tillage and intercropping on the quality of triticale forage

ارتفاع بوته Plant height	ماده خشک کل Total dry matter (TDM)	خاکستر Ash	پروتئین خام Crude protein (CP)	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (NDF)	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (ADF)	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V.
9.41	17760.54	0.35	18.73	6.04	87.86	2	بلوک Block
76.82**	34.38 ^{ns}	0.48 ^{ns}	5.61 ^{ns}	41.98**	328.41**	2	خاک‌ورزی Tillage (T)
30.22	12424.34	1.55	6.04	5.21	11.81	4	خطا (۱) Error (1)
21.81**	8257.98 ^{ns}	18.97**	127.77**	564.91**	427.16**	4	کشت مخلوط Intercropping (I)
19.54 ^{ns}	8428.54 ^{ns}	0.64 ^{ns}	4.11 ^{ns}	17.37**	79.51 ^{ns}	8	T×I
13.27	8214.62	1.14	9.05	3.81	45.85	24	خطا (۲) Error (2)
4.89	25.19	12.56	27.52	4.35	17.04	-	ضریب تغییرات CV (%)

^{ns}: غیرمعنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.
ns: non-significant, *: significant at $p \leq 0.05$, **: significant at $p \leq 0.01$, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر ارتفاع بوته و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه ماشک و تریتیکاله

Table 5- Mean comparison of the effect of different levels of tillage and intercropping on the plant height and acid detergent fiber (ADF) of vetch and triticale forage

تیمارها Treatments	سطوح Levels	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%)		ارتفاع بوته Plant height (cm)	
		ماشک Vetch	تریتیکاله Triticale	ماشک Vetch	تریتیکاله Triticale
خاک‌ورزی Tillage	خاک‌ورزی رایج Conventional tillage	47.15	45.09	38.76	76
	کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	37.93	37.61	37.25	75.43
	بدون خاک‌ورزی No tillage	38.59	36.95	36.18	71.82
	LSD 5%	5.10	5.11	1.97	2.74
کشت مخلوط Intercropping	I1	30.82	47.22	35.66	72.89
	I2	45.89	39.82	36.41	73.96
	I3	41.44	44.27	36.04	73.11
	I4	39.74	38.12	39.99	76.08
	I5	48.83	29.21	38.88	76.04
	LSD 5%	5.88	6.18	2.54	3.54

I1: کشت خالص، I2: کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک، I3: کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک،

ماشک، I4: کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک و I5: کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک.

I1: Pure cropping, I2: mixed cropping of 80% triticale with 20% vetch, I3: mixed cropping of 60% triticale with 40% vetch, I4: mixed cropping of 40% triticale with 60% vetch, and I5: mixed cropping of 20% triticale with 80% vetch.

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

بیشترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در گیاه ماشک و تریتیکاله مربوط به تیمار خاک‌ورزی رایج بود. مقادیر این صفت در تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته و تیمار بدون خاک‌ورزی در سطح مشابه آماری قرار داشتند (جدول ۵). بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی حاکی از این بود که کمترین مقدار این صفت در تیمار کشت خالص ماشک و بیشترین آن در تیمار کشت خالص تریتیکاله به دست آمد. کشت مخلوط موجب افزایش درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی گردید (جدول ۵). به‌طور کلی، دو بخش ساختمانی و دیواره سلولی گیاهان از سلولز، همی‌سلولز و لیگنین تشکیل شده است که محتوای سلولی شامل هیدرات‌های کربن با زنجیره ساختمانی کوتاه و ترکیبات پروتئین و اسیدهای آلی را در بر می‌گیرد (Arzani et al., 2013). کیفیت علوفه با لیگنینی شدن و افزایش دیواره سلولی بدون همی‌سلولز (الیاف نامحلول در شوینده اسیدی) کاهش می‌یابد. با افزایش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از قابلیت هضم علوفه توسط دام کاسته می‌شود

(Çerit & Güllap, 2021). علاوه بر این، با کاهش الیاف نامحلول در

شوینده اسیدی شاخص ارزش غذایی نسبی افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث بهبود کیفیت مواد غذایی می‌شود (Javanmard et al., 2019). در خاک‌ورزی مرسوم به دلیل سست شدن خاک سطحی، بهبود تهویه خاک، آزاد شدن عناصر از ماده آلی خاک طی فرآیند معدنی شدن و فقدان لایه سخت در خاک زیرسطحی، ارتقای زهکشی و رشد ریشه، رشد گیاه افزایش یافته و افزایش ماده خشک سبب می‌شود که گیاه فرصت بیشتری جهت انباشت الیاف سلولزی و نامحلول داشته باشد (Idowu et al., 2019). نتایج پژوهش الیاسی و همکاران (Elyasi et al., 2024) نشان داد که خاک‌ورزی رایج باعث افزایش معنی‌دار درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه ماشک سفید گردید. این پژوهشگران عنوان کردند که وجود بقایای گیاهی در خاک‌ورزی حفاظتی موجب کند شدن روند معدنی شدن نیتروژن آلی می‌شود که متعاقب آن، نیاز گیاه به این عنصر در طول دوره رشد تأمین نمی‌شود. از سوی دیگر، نیتروژن قابل استفاده گیاه با سرعت توسط ریزجانداران از دسترس خارج می‌شود، در نتیجه گیاه

فرصت کافی جهت انباشت الیاف سلولزی و نامحلول ندارد. افزایش درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و گاودانه (*Vicia ervilia* L.) در مقایسه با کشت خالص نیز گزارش شده است (Najafabadi et al., 2017). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که اثر الگوهای کشت بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار بود، به‌نحوی که بیشترین میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در تیمار کشت خالص تربیتیکاله و کمترین مقدار آن در تیمار کشت خالص ماشک مراغه‌ای حاصل شد (Shahbazi et al., 2022).

الیاف نامحلول در شوینده خنثی

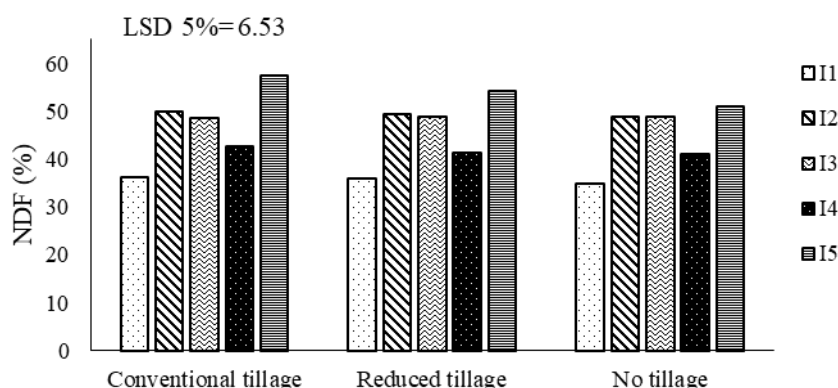
نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاکی از این بود که مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه ماشک (جدول ۳) و تربیتیکاله (جدول ۴) تحت تأثیر اثر متقابل خاک‌ورزی × کشت مخلوط در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه ماشک در سیستم خاک‌ورزی رایج، کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی در تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تربیتیکاله با ۸۰ درصد ماشک بیشتر بود. بیشترین الیاف نامحلول در شوینده خنثی گیاه تربیتیکاله در کشت خالص مشاهده شد و کمترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمارهای کشت خالص ماشک بود که اختلاف معنی‌داری با کشت خالص ماشک در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته نداشت. درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تربیتیکاله در سیستم‌های خاک‌ورزی رایج، کاهشی و بدون خاک‌ورزی در تیمار کشت خالص تربیتیکاله بیشتر از سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود (شکل‌های ۱ و ۲).

الیاف نامحلول در شوینده خنثی به‌عنوان یکی از عوامل ارزیابی کیفیت علوفه در راستای پیش‌بینی مصرف اختیاری جیره غذایی مورد استفاده قرار گرفته است و این عامل تحت تأثیر شرایط محیطی و بوم‌شناختی مورد بررسی قرار می‌گیرد. علاوه بر این، الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه و نیز عامل مهمی برای تعیین میزان تعلیف دام شناسایی شده است (Arzani et al., 2013). نتایج پژوهشی نشان داد که در تیمار خاک‌ورزی کاهشی و خاک‌ورزی رایج، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه به‌طور معنی‌داری بیشتر از سیستم بدون خاک‌ورزی بود (Elyasi et al., 2024). در خاک‌ورزی حفاظتی که در

مراحل آغازین حالت گذار قرار دارد، تراکم خاکدانه‌ها در حالت نامطلوب قرار دارد، و نسبت به خاک‌ورزی رایج ریشه‌های گیاه به‌خوبی توسعه نمی‌یابد و به همین دلیل جذب آب و عناصر غذایی با مشکل مواجه می‌شود و در نتیجه، رشد محدود ریشه منجر به کاهش رشد اندام هوایی گیاه می‌شود و بنابراین مواد فتوسنتزی تبدیل به ترکیبات ساختاری می‌شود و در نهایت، مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاهش می‌یابد (Li et al., 2023). در نتایج بررسی کیفیت علوفه در کشت مخلوط نخود (*Cicer arietinum* L.) با یولاف (*Avena sativa* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) مشخص شد که کشت خالص نخود دارای پایین‌ترین میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی بود و بالاترین میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار کشت خالص جو و یولاف مشاهده شد (Kocer & Albayrac, 2012). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان داد که با افزودن نسبت لگوم‌ها، میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی کاهش می‌یابد (Javanmard et al., 2019). در مطالعه‌ای مشخص شد که کشت مخلوط تربیتیکاله با ماشک منجر به کاهش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی گردید، اما پروتئین خام و ماده خشک علوفه را افزایش داد و در نهایت باعث بهبود کیفیت علوفه گردید (Shahbazi et al., 2022). احتمال می‌رود که در پژوهش حاضر، کاهش میزان ADF و الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه در شرایط مخلوط با ماشک از بالا بودن سطح برگ و تعداد برگ این گیاهان در شرایط سایه ناشی شده باشد، زیرا گیاهان در محیط‌های برخوردار از سایه جهت افزایش جذب نور، مواد فتوسنتزی بیشتری را به رشد برگ و تعداد برگ اختصاص می‌دهند و بر اثر افزایش نسبت برگ به ساقه، میزان ADF و الیاف نامحلول در شوینده خنثی کاهش می‌یابد (Shahbazi et al., 2022).

پروتئین خام علوفه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از این بود که پروتئین خام علوفه ماشک در تیمار کشت خالص ماشک بیشتر از کشت مخلوط بود. همچنین کاهش و عدم انجام خاک‌ورزی موجب افزایش پروتئین خام علوفه گردید (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر پروتئین خام علوفه تربیتیکاله نیز نشان داد که افزودن ماشک در تیمارهای کشت مخلوط باعث افزایش پروتئین خام تربیتیکاله گردید (شکل ۴).

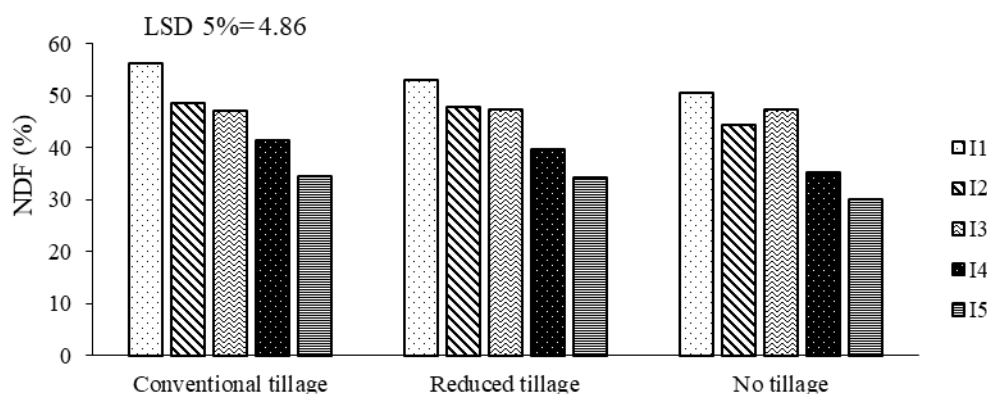


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر الباف نامحلول در شوینده خشی (NDF) ماشک

Fig. 1- Mean comparison for the interaction of tillage and intercropping on neutral detergent fiber (NDF) of vetch

I1: کشت خالص، I2: کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک، I3: کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک، I4: کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک و I5: کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک.

I1: Pure cropping, I2: mixed cropping of 80% triticale with 20% vetch, I3: mixed cropping of 60% triticale with 40% vetch, I4: mixed cropping of 40% triticale with 60% vetch, and I5: mixed cropping of 20% triticale with 80% vetch.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر الباف نامحلول در شوینده خشی (NDF) تریتیکاله

Fig. 2- Mean comparison for the interaction of tillage and intercropping on neutral detergent fiber (NDF) of triticale

I1: کشت خالص، I2: کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک، I3: کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک، I4: کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک و I5: کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک.

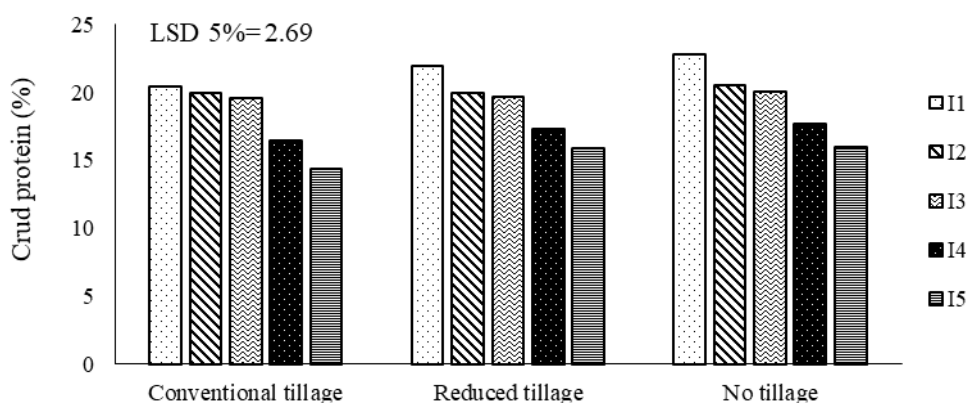
I1: Pure cropping, I2: mixed cropping of 80% triticale with 20% vetch, I3: mixed cropping of 60% triticale with 40% vetch, I4: mixed cropping of 40% triticale with 60% vetch, and I5: mixed cropping of 20% triticale with 80% vetch.

(Lanyasunya et al., 2007). نتایج تحقیقات نشان داده است که در صورتی که گیاه در طول دوره رشد خود به مقدار کافی نیتروژن در اختیار داشته باشد، پروتئین علوفه افزایش می‌یابد. زمانی که این مقدار نیتروژن کمتر از مقدار مورد نیاز گیاه باشد، تنها عملکرد افزایش یافته بدون اینکه تغییر محسوسی در میزان پروتئین به وجود آید (Greene et al., 1987). در تیمار خاک‌ورزی مرسوم با توجه به آشنایی نیترات و کاهش قابلیت دسترسی ریشه به نیتروژن کاهش یافته و در نتیجه

پروتئین، نقش مهمی در فرآیندهای بیولوژیکی ایفا می‌کند، به طوری که فعالیت مناسب باکتری‌های مسئول هضم علوفه در دستگاه گوارشی دام‌ها به محتوی پروتئینی علوفه بستگی دارد. به صورت کلی، بقولات از نظر میزان پروتئین و گندمیان از نظر میزان کربوهیدرات‌ها غنی می‌باشد. پایین بودن میزان پروتئین علوفه غلات و نیاز دام به غذای مکمل و با ارزش، اهمیت کشت مخلوط غلات و بقولات را در تأمین پروتئین و علوفه کافی و با کیفیت بالا نشان می‌دهد

علوفه‌ای یک‌ساله و جو انجام شد، نتایج نشان داد که نسبت ۳:۱ نخود علوفه‌ای به جو، بیشترین مقدار پروتئین خام را داشت (Lamei, 2013). در پژوهش دیگری گزارش شد که کمترین درصد پروتئین در تیمار خالص ذرت و بیشترین آن در تیمار خالص لوبیا چشم بلبلی بود (Sharif Nejad et al., 2018). سیستم کشت مخلوط می‌تواند تثبیت نیتروژن توسط لگوم‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. تفاوت در عمق توسعه ریشه، میزان توسعه جانبی و تراکم ریشه عواملی هستند که میزان رقابت اجزای کشت مخلوط را برای جذب عناصر تحت تأثیر قرار می‌دهند. غلات عموماً ارتفاع بیشتری در مقایسه با لگوم‌ها دارند و نسبت به آن‌ها رشد سریع‌تر و تراکم ریشه بیشتری دارند که باعث می‌شود در مقایسه با لگوم‌ها، قدرت رقابت بیشتری برای جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن داشته باشند (Lamei, 2013). از آنجایی که تراکم کشت تریتیکاله در الگوهای مختلف کشت مخلوط کمتر از کشت خالص آن است، به نظر می‌رسد که در کشت مخلوط برای بوته‌های تریتیکاله نیتروژن بیشتری فراهم بوده که این امر موجب افزایش محتوای نیتروژن در بافت‌های تریتیکاله و در نتیجه افزایش پروتئین خام علوفه شده است.

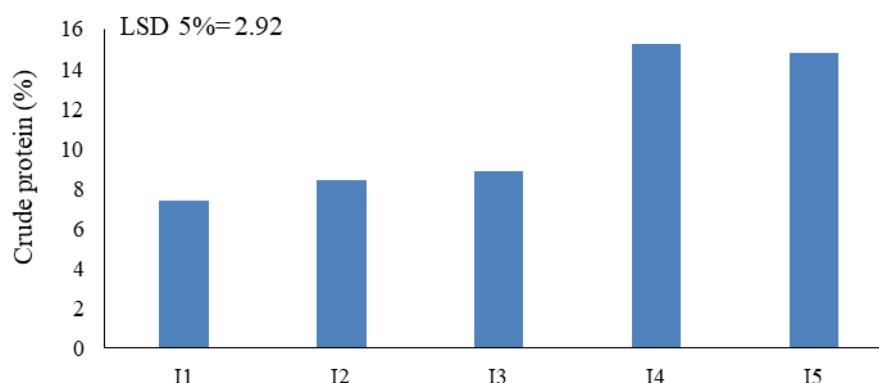
مقدار پروتئین خام علوفه نیز کاهش یافته است. از سوی دیگر، در سیستم‌های خاک‌ورزی کاهشی و بدون خاک‌ورزی با بقایای گیاهی برخورد از نسبت کربن به نیتروژن بالا، ممکن است تجزیه بقایا توسط ریزجانداران به‌کندی انجام شود و نیتروژن خاک در مراحل اولیه رشد تا حدودی از دسترس گیاه خارج گردد، ولی در پایان فرآیند تجزیه، نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Idowu et al., 2019). به نظر می‌رسد که قدرت تثبیت‌کنندگی نیتروژن در گیاه ماشک سبب شده است که میزان پروتئین خام علوفه در سیستم‌های خاک‌ورزی متفاوت روند مشابهی را طی کند. در تیمارهای بدون خاک‌ورزی، رطوبت خاک و غلظت عناصر غذایی می‌یابد و در نتیجه کلروفیل تولیدشده در اندام هوایی افزایش می‌یابد و متعاقب آن فتوسنتز بهبود یافته و گیاهان، پروتئین بیشتری تولید می‌کنند (Baum et al., 2015). افزایش پروتئین خام علوفه در تیمار بدون خاک‌ورزی در گیاه ماشک سفید نیز گزارش شده است (Elyasi et al., 2024). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که افزودن لگوم به کشت مخلوط باعث افزایش پروتئین خام گردید (Nakhzari, 2017). در پژوهش دیگری که کشت بقولات



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر پروتئین خام (CP) ماشک

Fig. 3- Mean comparison for the interaction of tillage and intercropping on crude protein (CP) of vetch

I1: کشت خالص، I2: کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک، I3: کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک، I4: کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک و I5: کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک.
I1: Pure cropping, I2: mixed cropping of 80% triticale with 20% vetch, I3: mixed cropping of 60% triticale with 40% vetch, I4: mixed cropping of 40% triticale with 60% vetch, and I5: mixed cropping of 20% triticale with 80% vetch.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر پروتئین خام (CP) علوفه تریتیکاله

Fig. 4- Mean comparison for the effect of intercropping on crude protein (CP) of triticale forage

I₁: کشت خالص، I₂: کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک، I₃: کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک، I₄: کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک و I₅: کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک.

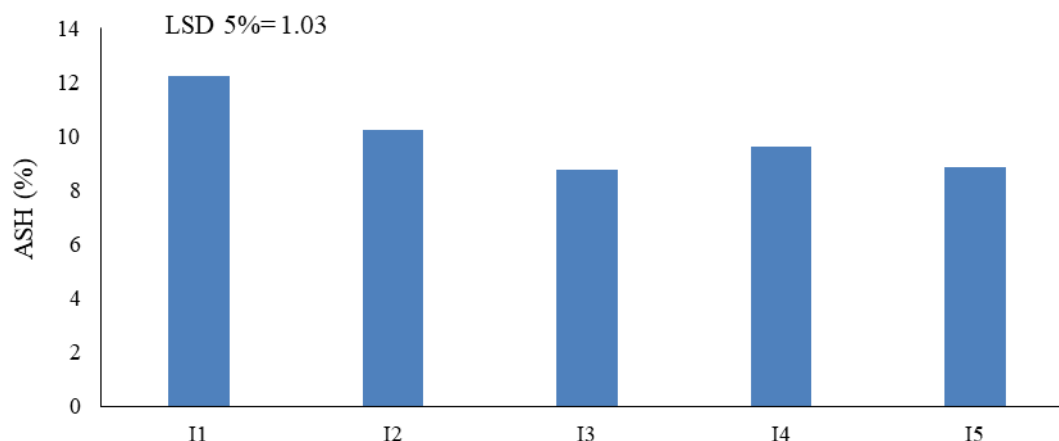
I₁: Pure cropping, I₂: mixed cropping of 80% triticale with 20% vetch, I₃: mixed cropping of 60% triticale with 40% vetch, I₄: mixed cropping of 40% triticale with 60% vetch, and I₅: mixed cropping of 20% triticale with 80% vetch.

خاکستر علوفه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین خاکستر علوفه در تیمار کشت خالص ماشک مشاهده شد که نسبت به تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک (I₂)، کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک (I₃)، کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک (I₄) و کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک (I₅) به ترتیب ۱۹/۴، ۳۹، ۶ و ۳۸ درصد افزایش داشت (شکل ۵). کمترین خاکستر علوفه مربوط به تیمار کشت خالص تریتیکاله بود. افزایش نسبت ماشک به تریتیکاله موجب افزایش خاکستر علوفه تریتیکاله گردید (شکل ۶).

محتوای خاکستر علوفه از مواد کانی تشکیل شده است. مواد کانی، نقش مهمی در ساخت ویتامین‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، تولید هورمون‌ها، ساخت بافت و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک وابسته به رشد دارند (Greene et al., 1987). افزایش خاکستر می‌تواند به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی در کشتهای مخلوط نسبت به کشت خالص تریتیکاله باشد. درصد خاکستر علوفه دلالت بر حضور مواد معدنی در بافت‌های گیاهی دارد، بنابراین هرچه مقدار آن بیشتر باشد، مواد معدنی بیشتری در اختیار دام قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود

که با افزایش حجم بافت‌های گیاهی، درصد خاکستر نیز افزایش یابد (Dareini et al., 2018)، بنابراین گیاه تریتیکاله به دلیل نیاز بالاتر، بخش بیشتری از منابع را به خود اختصاص داده است. خاکستر، انواع مواد معدنی و املاح مورد نیاز دام از جمله عناصر کم‌مصرف و پرمصرف را تأمین می‌کند. این مواد جهت فعالیت‌های متابولیکی و سلامت دام لازم است (Shahbazi et al., 2022). نتایج پژوهشی نشان داد که بالاترین میزان خاکستر در تیمار کشت خالص سسبانا (*Sesbania sesban* L. Merr.) و کمترین مقدار آن در کشت مخلوط ذرت مشاهده شد (Dareini et al., 2018)، این پژوهشگران بیان کردند که محتوای خاکستر علوفه با افزایش نسبت سسبانا در کشت مخلوط افزایش یافت. در نتایج پژوهش دیگری گزارش شد که بیشترین خاکستر علوفه در تیمار کشت خالص نخودفرنگی و کمترین درصد خاکستر در تیمار کشت خالص جو به دست آمد (Nakhzari Moghaddam, 2017). در پژوهش دیگری، بیشترین میزان خاکستر علوفه در تیمار کشت خالص لوبیا چشم بلبلی و کمترین آن در تیمار کشت خالص ذرت مشاهده شد و با افزایش درصد لوبیا چشم بلبلی در نسبت‌های کاشت میزان خاکستر علوفه افزایش یافت (Sharifi Nejad et al., 2018).

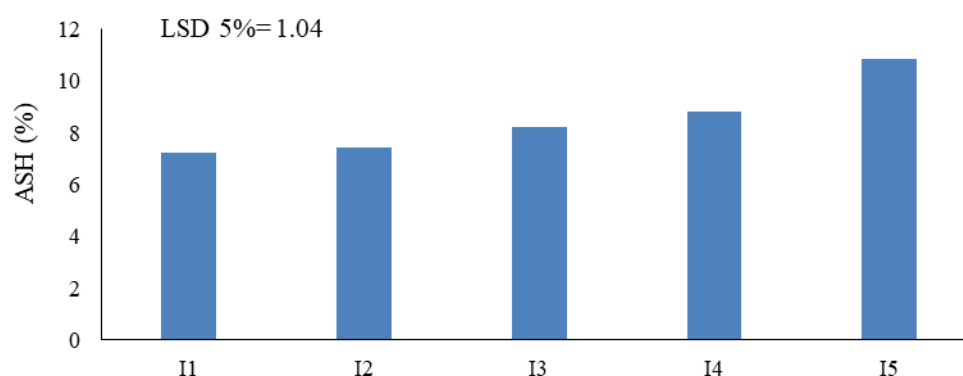


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر خاکستر (ASH) علوفه ماشک

Fig. 5- Mean comparison for the effect of intercropping on vetch forage ash

I₁: کشت خالص، I₂: کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک، I₃: کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک، I₄: کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک و I₅: کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک.

I₁: Pure cropping, I₂: mixed cropping of 80% triticale with 20% vetch, I₃: mixed cropping of 60% triticale with 40% vetch, I₄: mixed cropping of 40% triticale with 60% vetch, and I₅: mixed cropping of 20% triticale with 80% vetch.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط بر خاکستر (ASH) علوفه تریتیکاله

Fig. 6- Mean comparison for the effect of intercropping on triticale forage ash

I₁: کشت خالص، I₂: کشت مخلوط جایگزینی ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک، I₃: کشت مخلوط جایگزینی ۶۰ درصد تریتیکاله با ۴۰ درصد ماشک، I₄: کشت مخلوط جایگزینی ۴۰ درصد تریتیکاله با ۶۰ درصد ماشک و I₅: کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک.

I₁: Pure cropping, I₂: mixed cropping of 80% triticale with 20% vetch, I₃: mixed cropping of 60% triticale with 40% vetch, I₄: mixed cropping of 40% triticale with 60% vetch, and I₅: mixed cropping of 20% triticale with 80% vetch.

ماده خشک علوفه

ماده خشک علوفه تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جداول ۳ و ۴). نتایج پژوهشی که در آن تأثیر الگوهای کشت مخلوط بر علوفه گاودانه و گلرنگ مورد بررسی قرار گرفت، نشان داد که ماده خشک علوفه گلرنگ تحت تأثیر الگوهای کشت قرار نگرفت، اما ماده خشک علوفه گاودانه در کشت خالص بیشتر از تیمارهای کشت مخلوط بود (Najafabadi et al., 2017). همچنین نتایج

پژوهش دیگری نشان داد که ماده خشک علوفه در کشت مخلوط ماشک علوفه‌ای - جو خرم در سال اول آزمایش تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط معنی‌دار نگردید (Heydarpour et al., 2018). نتایج پژوهشی که در آن عملکرد علوفه ماشک تحت سیستم کشت حفاظتی و مرسوم مورد بررسی قرار گرفت، نشان داد که اختلاف معنی‌داری در ماده خشک علوفه تحت تیمار کشت حفاظتی و کشت مرسوم مشاهده نشد. این پژوهشگران، دلیل عدم تفاوت معنی‌دار را به

بارندگی کافی در سال اجرای پژوهش نسبت دادند که در کشت مرسوم نیز گیاه در طول دوره رشد به مقدار کافی آب در اختیار داشته است (Heydarpour et al., 2018). در پژوهش دیگری که اثر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد و کیفیت علوفه سورگوم علوفه‌ای انجام شد، نتایج نشان داد که ماده خشک علوفه سورگوم تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی معنی‌دار نشد، این پژوهشگران بیان کردند که اگرچه بین روش‌های خاک‌ورزی از لحاظ عملکرد علوفه خشک و بیشتر صفات کیفی علوفه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما افزایش مواد آلی خاک، صرفه‌جویی در زمان، کاهش آسیب به ساختمان خاک و در نهایت کاهش هزینه‌های تولید در جهت افزایش سود خالص برای زارعین در سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کاهش‌یافته غیرقابل انکار است (Zeinvand et al., 2023). از سوی دیگر، نتایج برخی پژوهش‌ها، اثر مثبت سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی را بر افزایش ماده خشک علوفه نشان داده‌اند (Ghasemi et al., 2018) ولی به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر با توجه به اجرای یک‌ساله سیستم‌های خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی، تراکم بالای خاک ناشی از عدم انجام خاک‌ورزی باعث ایجاد محدودیت در رشد ریشه شده و در نتیجه جذب عناصر غذایی از خاک کاهش یافته و متعاقب آن ماده خشک علوفه در تیمارهای مذکور افزایش نیافته است (Hu et al., 2020).

نسبت برابری زمین

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط و خاک‌ورزی بر نسبت برابری زمین نشان داد که نسبت برابری زمین تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، اما تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و اثر متقابل خاک‌ورزی و کشت مخلوط معنی‌دار قرار نگرفت (جدول ۶). بیشترین نسبت برابری زمین کل (۱/۲۶) در تیمار کشت مخلوط جایگزینی با نسبت ۸۰ درصد تریتیکاله با ۲۰ درصد ماشک مشاهده شد (جدول ۷). اختلاف در ساختار ریخت‌شناختی گیاهان گندمیان و لگوم‌ها ناشی از داشتن ارتفاع بوته متفاوت و بهره‌برداری مکملی از منابع، می‌تواند منجر به افزایش نسبت برابری زمین بیشتر از یک شود (Xiao et al., 2018). علاوه بر این، یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهند که برتری بوم‌شناختی کشت مخلوط، نتیجه بهره‌وری بهتر از منابع رشد است. اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط ممکن است که در نحوه استفاده از منابع غذایی تفاوت داشته باشند و در صورت کاشت همزمان، بهره‌وری بهتری نسبت به کشت جداگانه خواهند داشت. به‌طور کلی، مزیت بیولوژیکی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص زمانی است که رقابت بین گونه‌ها برای منابع غذایی نسبت به رقابت درون گونه‌ای کمتر باشد.

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر خاک‌ورزی و کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین

Table 6- Variance analysis (mean squares) of the effect of tillage and intercropping on land equivalent ratio

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	نسبت برابری زمین جزئی تریتیکاله Partial land equivalent ratio of triticale	نسبت برابری زمین جزئی ماشک Partial land equivalent ratio of vetch	نسبت برابری کل Total land equivalent ratio
بلوک Block	2	0.01	0.01	0.01
خاک‌ورزی Tillage (T)	2	0.002 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.001 ^{ns}
خطا (۱) Error (1)	4	0.002	0.001	0.005
کشت مخلوط Intercropping (I)	3	0.32 ^{**}	0.16 ^{**}	0.29 ^{**}
T×I	6	0.0005 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}
خطا (۲) Error (2)	18	0.002	0.002	0.005
ضریب تغییرات CV (%)	—	7.38	9.21	6.01

^{ns}: غیر معنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

^{ns}: non-significant, * and **: significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص نسبت برابری زمین تیمارهای کشت مخلوط در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی
 Table 7- Mean comparison for land equivalent ratio index in intercropping treatments under different tillage systems

نسبت برابری کل Total land equivalent ratio	نسبت برابری زمین جزئی ماشک Partial land equivalent ratio of vetch	نسبت برابری زمین جزئی تریتیکاله Partial land equivalent ratio of triticale	سطوح کشت مخلوط Intercropping levels
1.25	0.38	0.86	تریتیکاله ۸۰٪ + ماشک ۲۰٪ Triticale 80% + vetch 20%
1.19	0.43	0.76	تریتیکاله ۶۰٪ + ماشک ۴۰٪ Triticale 60% + vetch 40%
1.15	0.54	0.61	تریتیکاله ۴۰٪ + ماشک ۶۰٪ Triticale 40% + vetch 60%
1.12	0.69	0.42	تریتیکاله ۲۰٪ + ماشک ۸۰٪ Triticale 20% + vetch 80%
0.070	0.046	0.051	LSD 5%

در صورتی که رقابت بین گونه‌ها کم باشد، کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ارجحیت دارد (Metwally et al., 2015). علاوه بر این، افزایش نسبت برابری زمین را می‌توان به تفاوت‌های ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی بین گونه‌ها، نقش گیاه لگوم در تثبیت نیتروژن در خاک، و بهبود شرایط محیطی برای اجزای دیگر مخلوط نسبت داد. همچنین این عوامل منجر به بهره‌برداری بهتر از منابع محیطی، افزایش کارایی مصرف نور و کاهش رقابت بین گونه‌ها و سبب کاهش رشد علف‌های هرز می‌گردد (Fateh et al., 2018). سایر تحقیقات نیز گزارش کرده‌اند که کشت مخلوط نسبت به کشت خالص منجر به افزایش نسبت برابری زمین می‌شود (Ashoori et al., 2021; Farahdahr, 2020).

نتیجه‌گیری

بررسی اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و الگوهای کشت مخلوط بر کیفیت علوفه ماشک و تریتیکاله نشان داد که نسبت‌های کشت مخلوط موجب بهبود کیفیت علوفه گردید. علاوه بر این، در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی، کیفیت علوفه بالاتر بود. بیشترین الیاف نامحلول در شوینده خنثی ماشک در سیستم خاک‌ورزی رایج در تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک مشاهده

شد. همچنین در تیمارهای خاک‌ورزی کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی نیز درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲۰ درصد تریتیکاله با ۸۰ درصد ماشک بیشتر بود. در سیستم خاک‌ورزی رایج، بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در تیمار کشت خالص تریتیکاله مشاهده شد. در سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی کاهشی، پروتئین خام علوفه در تیمار کشت خالص ماشک بیشتر از تیمارهای کشت مخلوط بود. کمترین خاکستر علوفه در تیمار کشت خالص تریتیکاله مشاهده شد. کمترین ارتفاع مربوط به تیمار کشت خالص ماشک و بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار کشت خالص تریتیکاله بود. به‌طور کلی، بهره‌برداری از سیستم‌های کم‌خاک‌ورزی و کشت مخلوط، علاوه بر بهبود کیفیت علوفه و افزایش نسبت برابری زمین، نقش مهمی در بهبود بهره‌وری و پایداری نظام‌های زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کند. براساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان اظهار داشت که کاربرد روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی به‌ویژه در شرایط دیم سبب تغییرات مثبت کیفیت علوفه در گیاه ماشک و تریتیکاله می‌شود. علاوه بر این، افزایش تنوع زیستی از طریق انجام کشت مخلوط می‌تواند موجب پایداری بیشتر بوم‌نظام کشاورزی گردد.

References

- Ahmadi, H., Mirseyed Hosseini, H., Moshiri, F., Alikhani, H.A., & Etesami, H. (2024). Impact of varied tillage practices and phosphorus fertilization regimes on wheat yield and grain quality parameters in a five-year corn-wheat rotation system. *Scientific Reports*, 14(1), 14717. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65784-w>
- Akinola, F.F., Fasinmirin, J.T., Olanrewaju, O.O., Ewulo, B.S., & Olorunfemi, I.E. (2023). Changes in soil physical and mechanical properties under different tillage and cropping systems in alfisol soil of southwestern Nigeria. *Farming Systems*, 1(3), 100050. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100050>
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th Edition, AOAC International, Gaithersburg, MD.
- Arzani, H., Motamedi (Torkan), J., Yari, R., Ghasemi Aryan, Y., & Khatir Nameni, J. (2013). Forage quality of important range species in Pashaylogh-e-Maravetapeh rangeland ecosystem in Golestan province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 1(1), 87-103. (In Persian with English abstract).
- Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajali, J., & Ilkaee, M.N. (2021). Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. *Bragantia*, 80, e1421. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200423>
- Audenaert, K., Troch, V., Landschoot, S., & Haesaert, G. (2014). Biotic stresses in the anthropogenic hybrid triticale (*Triticosecale Wittmack*): Current knowledge and breeding challenges. *European Journal of Plant Pathology*, 140, 615-630. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0498-2>
- Badakhshan, S., Amiri-Nejad, M., Tohidi-Nejad, E., & Parsa Motlagh, B. (2021). Evaluation of yield and quality forage in intercropping Tepary bean (*Phaseolus acutifolus* L. Gray) and millet cultivars. *Journal of Agroecology*, 13(2), 291-305. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v13i2.83847>
- Barnes, E., Amit, J.J., Stevan, Z.K., Peter, H.S., & John, L.L. (2019). Soybean and common ragweed growth in monoculture and mixture. *Weed Technology*, 33(3), 481-489. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.119>
- Baum, C., El-Tohamy, W., & Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using mycorrhizal fungi. A review. *Scientia Horticulturae*, 187, 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Çerit, N., & Güllap, M.K. (2021). The effects of nitrogen and vermicomposts applied in different dosages and combinations on the triticale silage (*X Triticosecale* Wittm.) quality. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, 2(1), 8-15. <https://doi.org/10.51801/turkjrf.894198>
- Chen, H., Daic, Z., Allison, M., Zheng, J., Xuc, J., & Schadt, W. (2020). Global meta-analyses show that conservation tillage practices promote soil fungal and bacterial biomass. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 293(1), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106841>
- Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syasar, B., & Ramroudi, M. (2013). Effect of intercropping maize (*Zea mays* L.) with cowpea (*Vigna unguiculata* L.) on green forage yield and quality evaluation. *Asian Journal of Plant Science*, 8(3), 235-239. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.3923/ajps.2009.235.239>
- Dareini, E., Jowkar, M., & Semiromi, T. (2018). Effect of maize (*Zea mays*) and sesbania (*Sesbania sesban* L. Merr.) intercropping on forage yield and quality. *Journal of Agroecology*, 8(2), 68-81. (In Persian with English abstract).
- Elyasi, S.S., Pirzad, A., Jalilian, J., Roohi, E., & Siosemardeh, A. (2024). Effects of tillage types on morpho-physiological characteristics and forage quality of vetch (*Vicia pannonica*) in rainfed condition. *Journal of Agroecology*, 16(1), 19-45. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109>
- Farrahi, A., Hoseini, M., Ahmadi, M., & Ghasemi Mobtaker, H. (2023). Investigating the different patterns of forage maize and sorghum intercropping at different tillage levels. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 75-88. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.359147.655003>
- Fateh, E., Tarighi, S., & Aynehband, A. (2018). The effect of different barley (*Hordeum vulgare*) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) intercropping planting ratio under nitrogen fertilizer on dry matter quality and quantity. *Crop Production*, 11(1), 23-35. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2018.12601.1982>
- Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A., & Fanaie, H.R. (2018). Effect of different tillage management on maize forage and grain quality and quantity under the influence of different sources of organic and chemical fertilizers. *Journal of Agroecology*, 10(2), 490-503. (In Persian with English abstract).

<https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.59988>

18. Green, L.W., Pinchak, W.E. & Heitschmidt, P.K. (1987). Seasonal dynamics of minerals in forages at the Texas Experimental Ranch. *Journal of Range Management*, 40(6), 502-506. <https://doi.org/10.2307/3898868>
19. Heydari, H., Dahmardeh, M., & Khammari, E. (2019). Evaluation of production in intercropped roselle with cowpea as replacement series. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 5(3), 157-167. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.230539.654299>
20. Heydarpour, N., Namdari, A., & Baghbani-Arani, A. (2018). Evaluation of quantitative yield and some physical properties of soil in three years mixed barley (Khorram)-vetch forage (*Vicia sativa*) cropping system under rain-fed conditions. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 1-14. (In Persian with English abstract).
21. Hodiyan, A., Dahmardeh, M., & Khammari, I. (2016). Evaluation of tillage systems on agronomical aspects in roselle-green gram intercropping using the replacement method. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 47(2), 265-276. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2016.58860>
22. Hu, W., Beare, M., Tregurtha, C., Gillespie, R., Lehto, K., Tregurtha, R., Gosden, P., Glasson, S., Dellow, S., & George, M. (2020). Effects of tillage, compaction and nitrogen inputs on crop production and nitrogen losses following simulated forage crop grazing. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 289, 106733. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106733>
23. Idowu, O.J., Sultana, S., Darapuneni, M., Beck, L., & Steiner, R. (2019). Short-term conservation tillage effects on corn silage yield and soil quality in an irrigated, arid agroecosystem. *Agronomy*, 9(8), 455-470. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080455>
24. Javanmard, A., Nikdel, H., & Amini Machiani, M. (2019). Evaluation of forage quantity and quality domestic population of hairy vetch (*Vicia villosa* L.), vetch (*Vicia sativa* L.) and Caspian vetch (*Vicia hyrcanica*) under rain-fed condition. *Journal of Science and Sustainable Production*, 29(1), 15-31. (In Persian with English abstract).
25. Kocer, A., & Albayrak, S. (2012). Determination of forage yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.) mixtures with oat and barley. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1), 96-99.
26. Lal, B., Rana, K.S., Rana, D.S., Shivay, Y.S., Sharma, Y.S., Meena, B.P. & Gautam, P. (2019). Biomass, yield, quality and moisture use of *Brassica carinata* as influenced by intercropping with chickpea under semiarid tropics. *Journal of Saudi Agriculture Science*, 18(1), 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.001>
27. Lamei, H.J. (2013). Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rainfed conditions of Zanjan province in Iran. *Seed and Plant Production*, 29(2), 169-183. (In Persian with English abstract).
28. Lanyasunya, T.P., Wang, H.R., Kariuki, S.T., Kuria, D.M., Chek, A.L., & Mukisira, E.A. (2007). Effect of maturity on the mineral content of hairy vetch (*Vicia villosa*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7(1), 53-58.
29. Li, Z., Liu, H., Yang, H., & Wang, T. (2023). Effects of deep vertical rotary tillage management methods on soil quality in saline cotton fields in southern Xinjiang. *Agriculture*, 13(10), 1864. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101864>
30. Lithourgidis, A.S., Dordas, C.A., Damalas, C.A., & Vlachostergios, D.O. (2011). Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 396-410.
31. Lv, L., Gao, Z., Liao, K., Zhu, Q., & Zhu, J. (2023). Impact of conservation tillage on the distribution of soil nutrients with depth. *Soil Tillage Research*, 225, 105527. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105527>
32. Mabudi Bilesuar, H., & Zehtab Salmasi, S. (2017). Evaluation of yield and advantages of corn (*Zea mays* L.) and sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1), 1-11. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001.1.24764310.1396.27.1.1.1>
33. Metwally, A.A., Safina, S.A., & Noaman, A.H. (2015). Yield and land equivalent ratio of intercropping maize with Egyptian cotton. *Journal of Agri-Food and Applied Sciences*, 3(4), 85-93.
34. Najafabadi, A., Jalilian, J., & Zardoshti, M. (2017). The effect of intercropping patterns on quantitative and qualitative characteristics of safflower and bitter vetch in high-input and low-input farming systems. *Journal of Crop Improvement*, 19(2), 445-460. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60427>
35. Nakhzari Moghaddam, A. (2017). The evaluation of quantitative and qualitative traits of barley (*Hordeum vulgare*) and pea (*Pisum sativum*) and land equivalent ratio under different planting patterns and nitrogen levels.

- Journal of Crop Production*, 10(1), 39-54. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.7775.1576>
36. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. & Sumner, M.E. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA Book Series*, Madison. p. 961-1010.
37. Ren, B., Li, X., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2018). Soil physical properties and maize root growth under different tillage systems in the North China Plain. *The Crop Journal*, 6(6), 669-676. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.05.009>
38. Salah, B.Y., Salma, S.K., Sourour, A., Bilal, S., Jamila, I., & Hichen, B.S. (2019). Effect of different levels of nitrogen fertilization on forage yields and quality of hairy vetch-triticale mixtures. *The Open Agriculture Journal*, 13(9), 90-100. <http://doi.org/10.2174/1874331501913010090>
39. Samuel, F.L., José, C., Daniel, P.B., Carlos, C.M., Jose, A. & Jorge, Á.F. (2020). Tillage and irrigation system effects on soil carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) emissions in a maize monoculture under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, 196(1), 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104488>
40. Shahbazi, S., Jalilian, J., Alizadeh, K., & Javanmard, A. (2022). Evaluation of chemical and organic-bio-fertilizer treatments on yield and forage quality of triticale and Maragheh Smooth vetch under sole and intercropping systems in rain-fed condition. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 10(2), 199-226. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/idaj.2022.356297.352>
41. Sharif Nejad, M., Ghanbari, A., & Sirousmehr, A.R. (2018). Evaluation of the ecophysiological aspects and forage quality indices in the intercropping of maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Agroecology*, 10(1), 267-280. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.60479>
42. Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3596. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
43. Wang, Y., Han, X., Zhao, X., Zhang, Y., Qi, B., & Li, L. (2024). Grain yield and interspecific competition in an oat-common vetch intercropping system at varying sowing density. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1344110. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1344110>
44. Wasaya, A., Tahir, M., Ali, H., Hussain, M., Yasir, T.A., Sher, A., & Ijaz, M. (2017). Influence of varying tillage systems and nitrogen application on crop allometry, chlorophyll contents, biomass production and net returns of maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research*, 170, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.02.006>
45. Xiao, J.X., Yin, X.H., Ren, J.B., Zhang, M., Tang, L., & Zheng, Y. (2018). Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and saves nitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping. *Field Crops Research*, 221, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.009>
46. Zeinvand Lorestani, E., Jahansou, M., Oveisi, M., & Ahmadi, A. (2023). The effects of tillage systems, water stress and nitrogen fertilizer on yield and quality of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(4), 203-218. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2022.330330.654852>