

Comparison of yield and quality of forage in the intercropping of rye (*Secale cereale* L.) and vetch (*Vicia villosa* Roth.) under different tillage systems

Taleb Salavati, Gholamreza Heidari, Mohammad Majidi, Shiva Khalesro

former M.Sc student of Agroecology, University of Kurdistan

Department of Engineering of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Agricultural Jihad organization of Kurdistan province, Sanandaj, Iran

Department of Engineering of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Introduction

In sustainable agricultural management, conservation tillage systems are one of the important components. These systems play a significant role in improving the physical, biological and chemical properties of the soil. One of effective factors in increasing sustainable production is the intercropping of crops and fodder. In addition to increasing the diversity of economic resources of the farm, intercropping increases the yield per unit area, biodiversity and efficient use of resources and reduces possible damage from pests and diseases. One of the common types of forage intercropping is the mixed crop of legumes and cereals. Cereals are at a high level in terms of dry matter, but they are poor in terms of protein, and on the other hand, legums are at a high level in terms of protein. Therefore, the mixture of cereals and legums will lead to the production of high quality forage. Since the effects of the combined use of mixed cropping and conservation tillage on fodder production have been less evaluated, and considering the importance of vetch and rye crops in fodder production and livestock feeding, improving soil fertility and production stability in agroecosystems, it seems necessary to evaluate the effect of mixed cultivation of these plants in different tillage systems.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of different tillage systems on intercropping of rye (*Secale cereale* L.) and vetch (*Vicia villosa* Roth), an experiment was carried out in the cropping year of 2018-2019 in the Gariza Agricultural Research Station of Sanandaj. The experiment was carried out as a split plot based on a randomized complete block design in 3 replications. Tillage methods include no tillage, reduced tillage and conventional tillage as the main factor and rye and vetch intercropping system in 5 levels including 100% vetch, 75% vetch + 25% rye, 50% vetch + 50% rye, 25% vetch + 75% rye and 100% rye were considered as secondary factor. In conventional tillage system, reversible plow and disk were used, and in reduced tillage system, goose claw was used for plowing. In all three tillage systems, sowing of two crops was done simultaneously and manually on 15th of October. The studied traits included the number of nodes in the hairy vetch root, dry forage yield of hairy vetch and rye, land equivalent ratio, neutral and acid detergent insoluble fiber, digestible dry matter, and ash percentage. SAS 9.1 software was used to analyze the data and LSD test was used to compare the average of the treatments. Also, graphs were drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that dry forage yield of rye and hairy vetch was influenced by the intercropping pattern and tillage systems. Among the mixed cropping combinations, the highest dry forage yield of rye (1625 kg.ha⁻¹) was achieved in the treatment of 75% rye + 25% hairy vetch under conventional tillage, which did not show a significant difference compared to the treatment of 75% rye + 25% hairy vetch under reduced tillage. In all studied tillage systems, the 50% vetch and 50% rye intercropping pattern had a higher land equivalent ratio (LER). The lowest total LER was related to the conventional tillage system and the treatment of 75% vetch + 25% rye. Assessment of the forage quality showed that the insoluble fibers in acidic (ADF) and neutral (NDF) detergent in conventional tillage and rye monoculture were more than other treatments. The amounts of ADF and NDF were reduced in low tillage and no tillage systems. Also, by increasing the proportion of vetch in intercropping treatments, the amount of insoluble fibers in acidic (ADF) and neutral (NDF) detergents decreased. The highest digestible dry matter (DMD) was in the reduced tillage treatment. The percentage of forage ash in the mixed cropping treatment with the combination of 75% vetch and 25% rye was higher than other ratios of mixed cropping.

Conclusion

According to the results of the present experiment, the high value of land equivalent ratio (LER) in intercropping patterns indicates a better utilization of the unit of land area in intercropping. Overall, to maximize forage yield and enhance forage quality, the findings clearly demonstrate that intercropping outperforms monoculture for the crops studied.

Key words: conservation tillage, forage yield, forage digestibility, land equality ratio.

مقایسه عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط چاودار (*Secale cereale* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) تحت سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی

طالب صلواتی^۱، غلامرضا حیدری^{۲*}، محمد مجیدی^۳، شیوا خالص‌رو^۴

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشگاه کردستان، سنندج

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه کردستان

۳- سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، سنندج، ایران

۴- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه کردستان

(*) - نویسنده مسئول: g.heidari@uok.ac.ir (Email: g.heidari@uok.ac.ir)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی در کشت مخلوط چاودار (*Secale cereale* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. روش‌های خاک‌ورزی شامل بدون خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی رایج به عنوان فاکتور اصلی و الگوهای کشت مخلوط چاودار و ماشک در ۵ سطح شامل ۱۰۰ درصد ماشک، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد چاودار، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد چاودار، ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد چاودار و ۱۰۰ درصد چاودار به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل تعداد گره در ریشه ماشک، عملکرد علوفه خشک ماشک و چاودار، نسبت برابری زمین، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، ماده خشک قابل هضم و درصد خاکستر بود. نتایج نشان داد در بین ترکیب‌های کشت مخلوط، بیشترین عملکرد علوفه خشک چاودار (1625 kg.ha^{-1}) در تیمار ۷۵ درصد چاودار + ۲۵ درصد ماشک و در سیستم خاک‌ورزی متداول حاصل شد که با تیمار ۷۵ درصد چاودار + ۲۵ درصد ماشک در سیستم خاک‌ورزی کاهش یافته اختلاف معنی‌داری نداشت. در همه سیستم‌های خاک‌ورزی مورد آزمایش، الگوی کشت ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد چاودار نسبت برابری زمین (LER) بالاتری داشت. بررسی نتایج کیفیت علوفه نشان داد که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و خنثی (NDF) در خاک‌ورزی رایج و کشت خالص چاودار بیشتر از سایر تیمارهای مورد آزمایش بود در حالی که با افزایش نسبت ماشک در کشت مخلوط مقدار الیاف نامحلول کاهش پیدا کرد. بیشترین ماده خشک قابل هضم (DMD) به میزان ۴۴۵/۶ گرم بر کیلوگرم به تیمار شخم کاهشی مربوط بود. این یافته‌ها بر پتانسیل استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی و سیستم‌های کشت مخلوط به عنوان استراتژی‌های مؤثر کشاورزی برای افزایش کمیت و کیفیت تولید علوفه تأکید می‌کنند.

کلمات کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، عملکرد علوفه، قابلیت هضم علوفه، نسبت برابری زمین.

مقدمه

عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر به تنهایی بخش مهمی از هزینه‌های تولید گیاهان زراعی را به خود اختصاص می‌دهد و می‌تواند بر خصوصیات خاک نظیر رطوبت، دما و فشردگی خاک مؤثر باشد (Bagnall et al., 2020). ایجاد بستر مناسب رشد گیاهان با انتخاب و اجرای صحیح یک سیستم خاک‌ورزی فراهم می‌شود (Schillinger et al., 2010). در روش رایج خاک‌ورزی بستر رشد گیاهان از طریق مخلوط کردن بقایای احتمالی باقی‌مانده با خاک و حذف آن‌ها از سطح خاک و همچنین شکستن چرخه‌ی زندگی موجودات خاک‌زی انجام می‌گیرد (Issaka et al., 2019). علاوه بر موارد مذکور عدم کشت به موقع محصول، فرسایش بادی و آبی، کاهش ماده آلی خاک، تخریب ساختمان خاک، مصرف آب زیاد، مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی برای آماده‌سازی بسترکاشت و در نهایت افزایش هزینه‌های تولید و از بین بردن بقایای گیاهی از معایب این سیستم می‌باشد (Bagnall et al., 2020). با توجه به وجود آب و هوای خشک و نیمه‌خشک در ایران، حفظ بقایای گیاهی در خاک و اعمال روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی یکی از راهکارهای رفع این مشکلات می‌باشد (Asadi et al., 2019).

خاک‌ورزی، از طریق ایجاد تغییر در خصوصیات خاک، به پایداری کشاورزی و بهبود کیفیت خاک منتهی می‌گردد و یکی از مهم‌ترین عملیات زراعی مؤثر در تعیین خصوصیات فیزیکی (بافت و وزن مخصوص ظاهری) و هیدرولیکی (نفوذ آب و میزان رطوبت) خاک می‌باشد (Gozubuyuk et al., 2014).

در مدیریت‌های تولید پایدار، سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی یکی از مؤلفه‌های مهم به‌شمار می‌روند. این سیستم‌ها در بهبود خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک نقش بسزایی دارند (Heidari et al., 2016). اجرای خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج، در سطح خاک اختلال کمتری ایجاد می‌کند، به نیروی کار کمتری نیاز دارد، و موجب افزایش ذخیره رطوبتی و ماده آلی خاک می‌شود (Simmons and Coleman, 2008). بنابراین سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی ضمن عدم کاهش عملکرد و کیفیت محصول، آسیب به خاک و مصرف انرژی را نیز کاهش می‌دهند و جایگزین مناسبی برای سیستم‌های خاک‌ورزی رایج به‌حساب می‌آیند (Heidari et al., 2016).

بر اساس مطالعات قبلی رویکرد به کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی جهت کاهش هزینه‌ها و مصرف انرژی و استهلاک ادوات، صرفه‌جویی در زمان اجرای عملیات، حفظ محیط زیست و پایداری سیستم تولید در جهان بیشتر شده است (Issaka et al., 2019). در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، کاهش هزینه‌های تولید نمی‌تواند دلیلی بر برتری روش‌های کم‌خاک‌ورزی باشد و لازم است این روش‌ها از نظر تأثیر بر عملکرد و کیفیت محصول گیاهان زراعی نیز ارزیابی شوند و پاسخ خاک به سیستم‌های خاک‌ورزی کاهش یافته منوط به یک دوران گذار است (Indoria et al., 2017). نتایج آزمایشی درباره تأثیر بلندمدت روش‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که روش بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش عملکرد گندم (۶۶ درصد) نسبت به روش خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط دیم می‌شود (Chaghazardi et al., 2016). در تحقیقی دیگر افضل‌نیا و کرمی (Afzalnia & Karami, 2018) افزایش عملکرد گندم را در روش بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم گزارش کردند. در پژوهشی اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر صفات رشدی، عملکرد و بازده اقتصادی نخود در شرایط دیم مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد بین سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به‌طوری‌که، بیشترین تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و جانبی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین در سیستم شخم کاهشی به‌دست آمد که نسبت به شخم مرسوم به‌ترتیب ۲۶/۴، ۱۶/۸، ۲۷/۴، ۲۸/۶، ۱۰/۹، ۱۹/۶ و ۱۷/۱ درصد افزایش داشتند (Javanmard et al., 2022).

کشت مخلوط به عنوان یکی از مهمترین سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای توسعه یافته شناخته شده که به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mohavieh Asadi et al., 2020). در همین راستا یکی از عوامل تشکیل‌دهنده و مؤثر در افزایش تولید پایدار، سیستم کشت مخلوط گیاهان زراعی و علوفه‌ای می‌باشد. کشت مخلوط به غیر از بالا بردن تنوع منابع اقتصادی مزرعه، باعث افزایش عملکرد در واحد سطح، استفاده کارآمدتر از منابع، کاهش خسارت احتمالی آفات و بیماری‌ها، افزایش تنوع زیستی و تغذیه مطلوب‌تر انسان و دام و کاهش خسارت آفات می‌شود (Shahbazi et al., 2022). هدف اصلی از کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای، افزایش عملکرد در واحد سطح و کیفیت محصول می‌باشد و در اغلب موارد از گیاهان خانواده بقولات و غلات استفاده می‌شود. غلات از نظر ماده خشک در سطح بالایی قرار دارند، ولی از حیث پروتئین فقیر هستند و در نقطه مقابل، بقولات از نظر میزان پروتئین در سطح بالایی قرار دارند. از این رو، مخلوط غلات و بقولات منجر به تولید علوفه‌ای با کیفیت بالا خواهد شد (Heydarpour et al., 2018).

چاودار با نام علمی (*Secale cereale*) گیاهی از تیره Poaceae است که دارای رشد بسیار سریع و تولید زیست‌توده‌ی بالا می‌باشد، جهت تقویت مواد آلی خاک، افزایش میزان نفوذپذیری خاک، کمک به حفظ رطوبت موجود در خاک، زیست‌توده متراکم، داشتن ترکیب‌های دگرآسیب و همچنین کنترل فرسایش‌های بادی و آبی از مناسب‌ترین گیاهان در کشت‌های مخلوط می‌باشد (Pinnamaneni et al., 2022). ماشک نیز از تیره بقولات و جزو گیاهان یک‌ساله محسوب است که از مهم‌ترین فواید کشت آن تثبیت نیتروژن در خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تهیه علوفه تازه و خشک برای دام‌ها، تهیه کود سبز، کنترل علف‌های هرز تابستانه و رعایت تناوب زراعی و جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی را می‌توان نام برد. این گیاه دارای گره‌هایی بر روی ریشه است که حاوی باکتری هستند و می‌توانند نیتروژن هوا را تثبیت نمایند. این گیاه چون دارای استقرار سریع‌تر، ایجاد پوشش مناسب بر روی سطح خاک، رشد خوب و تحمل تراکم بالا و همچنین تثبیت نیتروژن بالا است، می‌تواند به عنوان یک گیاه مطلوب برای استفاده در کشت مخلوط و یا استفاده به‌عنوان کود سبز و یا به‌عنوان گیاه پوششی مورد استفاده قرار گیرد (Shahbazi et al., 2022).

کشت مخلوط غلات با گیاهان تیره بقولات، به دلیل استفاده بهینه از نور و استفاده از نیتروژن تولید شده بقولات توسط گیاهان تیره گرامینه، عملکرد کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا می‌کند. مخلوط غلات و لگوم می‌تواند منجر به جذب کارآمدتر منابع محدود

کننده‌ی رشد و افزایش و تثبیت عملکرد شود (Neugschwandtner et al., 2015). نقش لگوم‌ها نیز به عنوان منبع مهمی در جیره غذایی تغذیه انسان، دام و افزایش حاصلخیزی خاک شناخته شده است (Stagnari et al., 2017).

در یک تحقیق ترکیب جو و ماشک در نسبت‌های مختلف، بوته‌های ماشک از نظر فیزیکی توسط جو حمایت می‌شوند که این موضوع به استقرار و نمو بهتر بوته و نهایتاً عملکرد بالاتر منجر می‌گردد (Heydarpour et al., 2018). افزایش تعداد گره‌های تثبیت کننده نیتروژن نیز در این سیستم، میزان دسترسی و جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد (Asadi et al., 2019). از طرفی دیگر کشت مخلوط گندم- نخود سبب افزایش حاصلخیزی خاک گردیده و به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست به واسطه کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی توصیه گردیده است (Akhtar et al., 2017). کشت مخلوط ذرت و سویا باعث افزایش عملکرد دانه ذرت و افزایش تولید در سویا شده است که منجر به تعادل بالای تولید محصول و پایداری کشاورزی می‌شود (Du et al., 2018). در تحقیقی دیگر نتایج نشان داد که کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر کلیه صفات عملکرد و اجزای عملکرد مورد بررسی تریپیکاله داشت؛ به طوری که بیشترین عملکرد دانه تریپیکاله از کشت خالص و کمترین عملکرد دانه از کشت مخلوط تریپیکاله با ماشک گل‌خوشه‌ای به دست آمد (Salehi et al., 2018). نتایج یک بررسی حاکی از آن بود که مخلوط لگوم و گراس از طریق کاهش شاخص‌های NDF و ADF^۱ کیفیت علوفه را افزایش می‌دهد (Van der Werf et al., 2021). نتایج تحقیق صالحی و همکاران (Salehi et al., 2018) نشان داد که کشت مخلوط بر تمامی خصوصیات زراعی و کیفی علوفه، مؤثر بوده است و از طریق کاهش NDF و ADF موجب افزایش کیفیت علوفه شد. در تحقیقی دیگر که توسط دهقانیان و همکاران (Dehghanian et al., 2020) روی کشت مخلوط جو، تریپیکاله، یولاف و خلر در سه الگوی کشت ۱۰۰:۲۵، ۱۰۰:۵۰ و ۸۰:۵۰ انجام گرفت، مشاهده شد که بین تیمارهای مخلوط، ترکیب جو+خلر و یولاف+خلر (۸۰:۵۰) بیشترین کمیت و کیفیت علوفه را به خود اختصاص دادند. علاوه بر این، الگوهای کشت مذکور از بیشترین نسبت برابری زمین (LER)^۲ برخوردار بودند. توریفی و همکاران (Toreifi et al., 2018) در بررسی کشت مخلوط شنبليله و جو نشان دادند که بیشترین وزن خشک مخلوط (۱۲۷۷ گرم در مترمربع) و بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۱۵) از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد شنبليله با جو به دست آمد. بالاترین درصد پروتئین خام و قابلیت هضم ماده خشک و خاکستر علوفه از کشت خالص شنبليله به دست آمد. همچنین این محققین گزارش کردند که وجود شنبليله در کشت مخلوط با جو باعث افزایش کیفیت مخلوط می‌شود چون هر چه میزان شنبليله در کشت مخلوط بیشتر باشد میزان پروتئین در آن نسبت مخلوط افزایش و میزان لیاف نامحلول اسیدی و خنثی کم‌تر و به دنبال آن کیفیت و خوش خوراکی آن افزایش می‌یابد. باوجود اقلیم خشک در کشور و کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و نیاز به بهره‌گیری از سیستم‌های کشاورزی حفاظتی در جهت حفظ و ثبات عملکرد و پایداری و تعادل عوامل زیست محیطی امری لازم به نظر می‌رسد. از سوی دیگر با توجه به مرور تحقیقات انجام شده، از آنجائی که اثرات کاربرد ترکیبی کشت مخلوط و خاک‌ورزی حفاظتی بر تولید علوفه کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است و نیز با توجه به اهمیت دو گیاه ماشک و چاودار در تولید علوفه و تغذیه دام، اصلاح حاصلخیزی خاک و ثبات تولید در آگرواکوسیستم‌ها و ارزیابی اثر کشت مخلوط این گیاهان در سامانه‌های خاک‌ورزی مختلف، این آزمایش با اهداف بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد علوفه و خصوصیات کیفی چاودار و ماشک در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ به صورت دیم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه با مشخصات طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۰۵ متر از سطح دریا، واقع در شهرستان سمنان انجام شد. اطلاعات مربوط به میزان بارندگی و درجه حرارت محل اجرای آزمایش و برخی مشخصات خاک زراعی محل اجرای آزمایش به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- بارندگی ماهیانه و حداقل و حداکثر دمای مکان آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

Table 1. Monthly precipitation and minimum and maximum temperatures of the test location in the agricultural year 2018-2019

پارامترهای هواشناسی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
---------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

¹ Neutral detergent fiber

² Acid detergent fiber

³ Land equivalent ratio

بارندگی Precipitation (mm)	145.4	58.5	176.2	114.2	10.5	2.3	0	1.3	0.1	15.2	67.5	120.3
حداقل دما Minimum Temperature (°C)	6.9	8.9	13.8	19.8	28.7	33.7	36.6	37.5	30.7	27.7	14.8	12.9
حداکثر دما Maximum Temperature (°C)	-11.9	-5.9	-5.8	-1.0	6.9	11.9	11.9	11.6	9.9	1.0	-2.9	-7.0

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of farm soil before the experiment

پتاسیم قابل جذب (K) (ppm)	فسفر قابل جذب (P) (ppm)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	pH	EC (ds.m ⁻¹)	Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
170	11	0.093	0.77	7.3	0.9	لومی‌رسی	30	36	34

آزمایش به صورت اسپلیت پلات و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح خاک‌ورزی به عنوان فاکتور اصلی شامل شخم رایج، کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی بود. کشت مخلوط نیز به عنوان فاکتور فرعی در ۵ سطح شامل کشت خالص چاودار، کشت خالص ماشک، ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد چاودار، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد چاودار و ۲۵ درصد چاودار + ۷۵ درصد ماشک بود. زمین مورد آزمایش، سال زراعی قبل زیر کشت نخود بود که بقایای آن حفظ شده بود. فاصله بین تکرارها ۴ متر و در هر تکرار فاصله بین سیستم‌های خاک‌ورزی ۲ متر در نظر گرفته شد. اندازه کرت‌های اصلی ۱۲×۴ منظور شد. در سیستم خاک‌ورزی مرسوم از گاواهن برگردان‌دار و دیسک و در سیستم کم خاک‌ورزی از پنجه غازی برای انجام شخم استفاده شد. با توجه به نتایج آزمایش خاک، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر (P₂O₅) از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم (K₂O) از منبع سولفات پتاسیم قبل از کاشت در زمین پخش شد. همچنین در بهار مقدار ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره به صورت سرک به همی تیمارها داده شد. در هر سه سیستم خاک‌ورزی، کشت دو گیاه به طور هم‌زمان و به صورت دستی در تاریخ ۱۱ مهر ماه ۱۳۹۷ انجام شد. به منظور دستیابی به تراکم مناسب کشت در تیمارهای کشت خالص، ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) رقم گلشن (تیپ رشد پاییزه، سازگاری بالا به اقلیم سرد و معتدل کشور، ارتفاع بوته بیشتر نسب به سایر ارقام، عملکرد علوفه بالا، متحمل به خشکی، داشتن تیپ رونده و مناسب برای کشت مخلوط با غلات) با تراکم ۲۰۰ بوته در متر مربع (Renzi et al., 2016) و چاودار رقم دانکو^۱ (تیپ رشد پاییزه، متوسط ارتفاع بوته ۱۴۰ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۲۶ گرم، رنگدانه تیره، کیفیت نانویی خوب، نیمه مقاوم نسبت به خوابیدگی و ریزش دانه، متحمل به سرما، مقاوم به زنگ‌های زرد و قهوه‌ای) با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع (Schlegel, 2013) کاشته شدند و در تیمارهای ترکیبی با توجه به نسبت هر گیاه تراکم مورد نظر اعمال گردید. در هر کرت ۱۰ ردیف با فاصله ۳۵ سانتی‌متر کشت شدند. طول خطوط کاشت ۴ متر بود. در طول اجرای آزمایش مراقبت‌های زراعی از قبیل کنترل علف‌های هرز اعمال شد.

عملیات برداشت علوفه هنگامی انجام شد که ۵۰ درصد از بوته‌های ماشک به گل رفته بودند. در این زمان بوته‌های چاودار در مرحله شیرری و ابتدای خمیری بودند. بدین صورت که بعد از حذف دو ردیف از هر طرف و نیم‌متر از ابتدا و انتهای تمام ردیف‌ها برای تعیین عملکرد بیولوژیک هر دو گونه گیاهی، دو مترمربع از هر کرت برداشت شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد علوفه‌ی خشک، نمونه‌های تر به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال بر حسب گرم در متر مربع اندازه‌گیری و به کیلوگرم در هکتار تعمیم داده شدند.

همچنین اندازه‌گیری نسبت برابری زمین (LER)^۲ در هر سه سیستم خاک‌ورزی و در تمام ترکیب‌های کشت مخلوط با استفاده از روابط زیر انجام شد (Yilmaz et al., 2008):

¹ Danko

² Land equivalent ratio

$$\text{LER}_t = \text{LER}_a + \text{LER}_b \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{LER}_t = Y_{ab}/Y_a + Y_{ab}/Y_b \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه‌ی ۱، LER_a و LER_b به ترتیب، بیانگر نسبت برابری زمین برای گونه‌ی a و گونه‌ی b می‌باشد. همچنین Y_a و Y_b به ترتیب نشان‌دهنده‌ی عملکرد گونه‌ی a و b در کشت مخلوط هستند. از سوی دیگر Y_a بیانگر عملکرد گونه‌ی a در کشت خالص و Y_b به مفهوم عملکرد گونه b در کشت خالص می‌باشد. LER_t نیز نشان‌دهنده مجموع کل نسبت برابری زمین برای دو گونه مورد مطالعه می‌باشد. در این آزمایش شاخص‌های مرتبط با کیفیت علوفه شامل درصد خاکستر (AOAC, 1990)، هضم پذیری ماده خشک قابل هضم (DMD) به روش اودی و همکاران (Oddy et al., 1983)، لیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)^۲ و لیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)^۳ به روش وان سوست و همکاران (Van Soest et al., 1991) اندازه‌گیری شدند. قبل از تجزیه واریانس آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD استفاده گردید. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد گره در ریشه ماشک

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) بیانگر آن بود که اثر خاک‌ورزی و اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و الگوی کشت بر تعداد گره در ریشه ماشک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتورها نشان داد در روش کم‌خاک‌ورزی، اختلاط تراکمی ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار با ۱۹ عدد گره در ریشه بیشترین تعداد گره را داشت ولی با سایر سطوح کشت مخلوط در تیمار کم‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌دار نداشت. در روش خاک‌ورزی متداول نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از کمترین تعداد گره در ریشه برخوردار بودند و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). به نظر می‌رسد به هم‌خوردگی خاک و تخریب ساختمان خاک در روش‌های متداول خاک‌ورزی، از بین رفتن مواد آلی و کاهش عناصر غذایی موجود در خاک را به همراه خواهد داشت. این رفتار کلی به طور مستقیم با اختلافات مکانیکی ایجاد شده توسط خاک‌ورزی مرتبط است که ممکن است بر گسترش گره‌های ریشه و در نتیجه امکان ارتباط باکتری ریزوبیوم با گیاهان تأثیر بگذارد (Oehl and Koch, 2018). در آزمایشی روی کشت مخلوط تریتیکاله و باقلا مشاهده شد که بیشترین تعداد گره به تیمار کشت مخلوط این دو گیاه مربوط بوده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Sori et al., 2020).

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد علوفه تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط چاودار و ماشک
Table 3. ANOVA for forage yield affected by tillage methods and intercropping ratios of rye and vetch

منابع تغییر SOV	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)		
		تعداد گره ریشه ماشک Number of root nods in vetch	عملکرد علوفه خشک چاودار Yield of dry rye forage	عملکرد علوفه خشک ماشک Yield of dry vetch forage
بلوک Replication	2	3.9 ^{ns}	23557.2*	636.7 ^{ns}
سیستم خاک‌ورزی Tillage systems (T)	2	19.5**	45885.4*	69027.1*
خطای ۱ Error 1	4	2.1	2621.4	4670.3
الگوی کشت Planting pattern (P)	3	2.7 ^{ns}	3009209.4**	5289065.5**
خاک‌ورزی × الگوی کشت T×P	6	5.7**	12415.5**	20893.3**

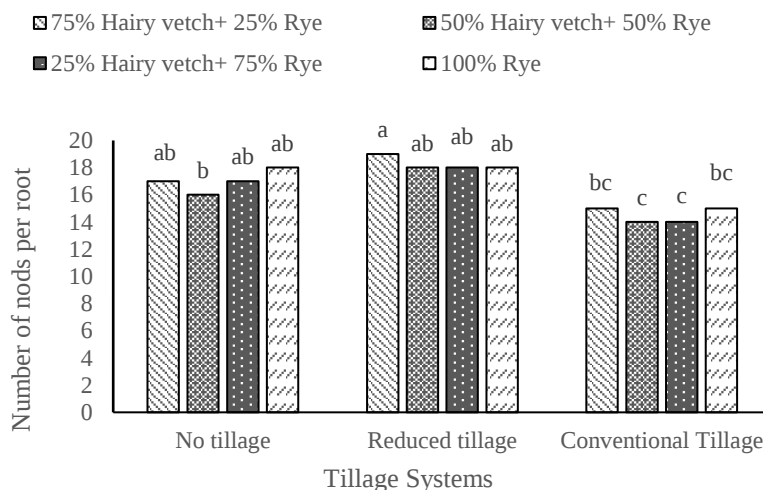
¹ Digestible dry matter

² Acid detergent fiber

³ Neutral detergent fiber

خطای ۲ Error 2	18	1.6	2132.9	6408.8
ضریب تغییرات C.V (%)	-	6.9	5.6	7.4

ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.
ns and ** are non-significant and significant at 1% probability levels, respectively.



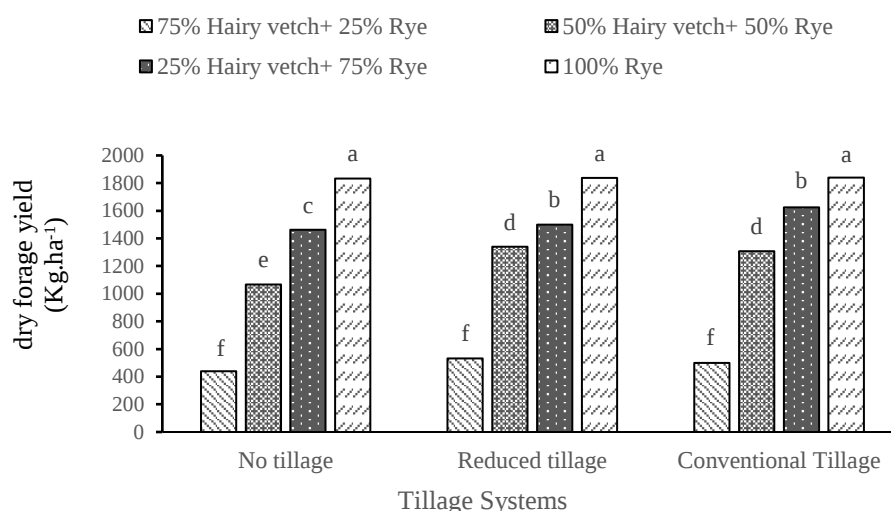
شکل ۱- مقایسه‌ی میانگین تعداد گره در ریشه ماشک تحت تاثیر روش‌های خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط
(حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 1. Mean comparison of number of nodes per root in hairy vetch under tillage systems and intercropping ratios (Similar letters indicate statistically insignificant differences.)

عملکرد علوفه خشک چاودار

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) بیانگر آن بود که اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و الگوی کشت بر عملکرد علوفه خشک چاودار در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های خاک‌ورزی در نسبت‌های تراکمی نشان داد که کشت خالص چاودار با میانگین ۱۸۴۰ کیلوگرم در هکتار در روش خاک‌ورزی متداول بیشترین مقدار علوفه خشک را داشت که با همین الگوی کشت در سطوح خاک‌ورزی بدون شخم (۱۸۳۳ کیلوگرم در هکتار) و شخم کاهش یافته (۱۸۳۳ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. در بین الگوهای کشت مخلوط، تیمار جایگزینی ۷۵ درصد چاودار و ۲۵ درصد ماشک در سیستم خاک‌ورزی متداول بیشترین عملکرد علوفه خشک را داشت که اختلاف آن با تیمار ۷۵ درصد چاودار و ۲۵ درصد ماشک در خاک‌ورزی کاهش یافته معنی‌دار نبود. عملکرد علوفه خشک چاودار در تیمار ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار در هر سه سیستم خاک‌ورزی در سطح مشابه آماری قرار داشت (شکل ۲). احسانی‌فر و همکاران (Ehsanifar et al., 2015) در آزمایشی روی کشت مخلوط ارزن و گاوآینه نشان دادند که سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی از لحاظ عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند اما نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از لحاظ این صفت از اختلاف معنی‌داری برخوردار بودند. پوریوسف و علیزاده (Pooryousef & Alizadeh, 2018) بیان کردند که بیشترین عملکرد علوفه خشک جو نیز در کشت خالص آن بدست آمد که اختلاف معنی‌داری با کشت مخلوط دو سهم جو و یک سهم ماشک نداشت. نتایج تحقیق صالحی و همکاران (Salehi et al., 2018) نشان داد که کاهش عملکرد علوفه خشک تریتیکاله در الگوهای مختلف کشت مخلوط، در مقایسه با کشت خالص ممکن است به دلیل بالا بودن رقابت لگوم‌ها با تریتیکاله و یا عدم انتقال نیتروژن کافی باشد. محققان اظهار داشتند که کمتر بودن عملکرد علوفه خشک تریتیکاله در کشت مخلوط با ماشک گل‌خوشه‌ای نسبت به سایر تیمارها، به دلیل رشد سریع و بیشتر ماشک گل‌خوشه‌ای در مقایسه با سایر لگوم‌ها و افزایش رقابت برون‌گونه‌ای باشد. نتایج پژوهش دیگری نشان داد که در کشت مخلوط نخود فرنگی با تریتیکاله، گندم و چاودار بیشترین میزان عملکرد علوفه خشک، از کشت خالص تریتیکاله حاصل شد (Lithourgidis et al., 2021). در پژوهش دیگری افزایش عملکرد علوفه خشک تریتیکاله در تیمار ۳۰ درصد ماشک + ۷۰ درصد

تریتیکاله نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط گزارش شده است (Rabiee & Farahdahr, 2020). این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش تراکم و همچنین الگوهای مکمل استفاده از منابع و اثرات متقابل تسهیل کنندگی بین دو گونه باشد. به نظر می‌رسد که در این ترکیب، از عوامل محیطی مؤثر در رشد از جمله نور خورشید، استفاده بهتری گردیده است (Ansar et al., 2010). براساس بررسی محققان، بیشترین وزن خشک کل علفه سویا (*Glayscale max*) و ذرت (*Zea mays* L.) از کشت مخلوط و نسبت‌های مختلف اختلاط به دست آمد، به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک علفه ذرت از تیمار ۲۵:۷۵ ذرت- سویا حاصل شد، که این تیمار از نظر آماری تفاوتی با تیمار کشت ۵۰:۵۰ ذرت- سویا نداشت (Baghdadi et al., 2016). در کشت مخلوط ماشک و تریتیکاله عملکرد کل علفه خشک حاصل از کشت مخلوط ۵۰:۵۰ ماشک- تریتیکاله، نسبت به سایر تیمارها برتری داشت.



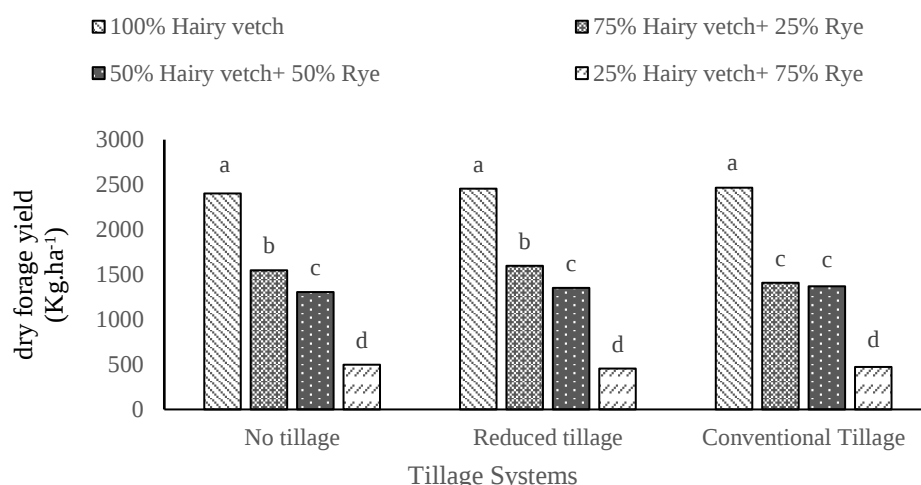
شکل ۲- مقایسه‌ی میانگین عملکرد علفه خشک چاودار تحت تاثیر روش‌های خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط (حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 2. Mean comparison of yield of rye dry forage under tillage systems and intercropping ratios (Similar letters indicate statistically insignificant differences.)

عملکرد علفه خشک ماشک گل‌خوشه‌ای

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی و الگوی کشت بر عملکرد علفه خشک ماشک گل‌خوشه‌ای در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل فاکتورهای مورد مطالعه نشان داد که بیشترین عملکرد علفه خشک ماشک متعلق به تیمار کشت خالص ماشک و خاک‌ورزی متداول با ۲۴۶۶/۹ کیلوگرم در هکتار مربوط بود که با تیمارهای ۱۰۰ درصد ماشک و خاک‌ورزی کاهش یافته و ۱۰۰ درصد ماشک و بدون خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری نداشت. در بین تیمارهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد علفه خشک به تیمار ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار در خاک‌ورزی کاهش یافته مربوط بود. کمترین عملکرد علفه خشک ماشک متعلق به تیمار ترکیب ۲۵ درصد ماشک و ۷۵ درصد چاودار به‌ترتیب معادل ۴۹۸/۷، ۴۵۳/۶ و ۴۷۴/۱ کیلوگرم در هکتار در سیستم خاک‌ورزی بدون شخم، کاهش یافته و رایج بود (شکل ۳). بالا بودن عملکرد علفه در الگوی کشت خالص در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط ممکن است به دلیل بالا بودن رقابت بین گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون گونه‌ای باشد. در آزمایشی که بر روی کشت مخلوط بقولات یک‌ساله (خلر، نخود علفه‌ای، ماشک گل‌خوشه‌ای و ماشک مجاری) با جو انجام شد گزارش گردید که بیشترین عملکرد علفه خشک جو از کشت خالص جو به دست آمده است (Lamei Hervani, 2013). همچنین طی مطالعه‌ای گزارش گردید که ذرت در کشت مخلوط با لگومها (شبدر برسيم، ماشک گل‌خوشه‌ای، لوبیا و گاودانه) به ویژه ماشک گل‌خوشه‌ای و گاودانه علفه خشک کمتری در مقایسه با کشت خالص دارا بود که به دلیل رشد سریع این گیاهان در مقایسه با ذرت و افزایش رقابت برون گونه‌ای در مراحل اولیه رشد ذرت بود (Javanmard et al., 2009). افزایش عملکرد در کشت مخلوط می‌تواند ناشی از تفاوت سیستم ریشه‌ای دو گیاه باشد. گیاه چاودار دارای سیستم ریشه‌ای افشان و گیاه ماشک دارای سیستم ریشه‌ای عمیق می‌باشد که باعث می‌شود آب و مواد غذایی در لایه‌های

مختلف خاک به راحتی توسط هر دو گیاه جذب شود. تثبیت بیولوژیک ازت موجود در هوا به وسیله ریشه ماشک می تواند یکی دیگر از عوامل موفقیت کشت مخلوط قلمداد شود. ویژگی های زراعی واریته های مختلف غلات دانه ریز و گیاهان علوفه ای، نسبت های کشت و رقابت بین اجزای ترکیب در کشت مخلوط، بر عملکرد و کیفیت علوفه تولیدی تأثیر می گذارد (Lamei, 2013). در آزمایشی مشاهده شد که کشت مخلوط اثر معنی داری بر صفات مورد مطالعه گیاه تریتیکاله داشت، بیشترین عملکرد دانه تریتیکاله از کشت خالص و کمترین عملکرد دانه از کشت مخلوط تریتیکاله با ماشک گل خوشه ای به دست آمد (Salehi et al., 2018). در ارزیابی زراعی، اکولوژیکی و اقتصادی کشت مخلوط گندم با نخود در شرایط دیم مراغه گزارش شد که تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه نخود و تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه گندم تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند. به طوری که بیشترین عملکرد دانه در هر دو گونه به کشت خالص تعلق داشت (Javanmard et al., 2016). در بررسی افزایش رشد و عملکرد گندم و باقلا نشان داده شد که تعامل مثبت بین غلات و حبوبات می تواند باعث افزایش بهره وری سیستم کشت مخلوط شود (Xiao et al., 2018). در پژوهش دیگری که با هدف بررسی آرایش های مختلف کشت مخلوط جو و نخود فرنگی بر عملکرد علوفه و شاخص های رقابت مورد مطالعه قرار گرفت بیشترین عملکرد نخود فرنگی و جو در تیمار خالص مشاهده شد (Nakhzari Moghaddam, 2016). کشت مخلوط لگوم با غله باعث افزایش عملکرد علوفه غله و کاهش عملکرد علوفه لگوم شد. عملکرد بالاتر در کشت خالص غله نسبت به لگوم و کشت مخلوط توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Awal et al., 2017).



شکل ۳- مقایسه ی میانگین عملکرد علوفه خشک ماشک تحت تأثیر روش های خاک ورزی و نسبت های کشت مخلوط (حروف همسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است)

Figure 3. Comparison of the average yield of dry vetch forage under tillage systems and intercropping ratios (Similar letters indicate statistically insignificant differences.)

شاخص نسبت برابری زمین

کشت مخلوط ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار در همه ی سیستم های خاک ورزی از نسبت برابری زمین (LER) بیشتر از یک برخوردار بود و نسبت های تراکمی دیگر مقادیر عددی پایین تری نسبت به ترکیب ذکر شده نشان دادند. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین به کشت مخلوط ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار در سیستم خاک ورزی کاهشی معادل ۱/۲۸ مربوط بود. کمترین LER کل مربوط به سیستم خاک ورزی رایج و تیمار ۷۵ درصد ماشک علوفه ای + ۲۵ درصد چاودار و معادل ۰/۸۴ بود (جدول ۴). با توجه به بیشتر بودن LER جزئی چاودار در ترکیب های تراکمی برابر دو گیاه (کشت مخلوط ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار) می توان نتیجه گرفت گیاه چاودار تأثیر مثبت بیشتری از کشت مخلوط گرفته است (جدول ۴). نسبت برابری زمین معیاری است که اغلب جهت ارزیابی در مؤثر بودن کشت مخلوط مورد استفاده قرار می گیرد. این معیار مساحت زمین تک کشتی لازم برای تولید عملکرد برابر با یک هکتار کشت مخلوط را نشان می دهد. زمانی که LER بیشتر از یک می شود بدین معنی است که در کشت مخلوط، سودمندی وجود دارد و این موضوع نشان می دهد که تسهیل بین گونه ای بیشتر از رقابت

بین‌گونه‌ای بوده است. در نقطهٔ مقابل، اگر LER کمتر از یک باشد می‌توان نتیجه گرفت کشت خالص سودمندی بیشتری دارد، و زمانی که این شاخص برابر یک باشد هیچ‌کدام از این دو سیستم نسبت به یکدیگر برتری ندارند (Metwally et al., 2020). اختلافات مورفولوژیک گندمیان و لگوم‌ها در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفادهٔ مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از نور و یا افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل نسبت برابری زمین بزرگتر از یک باشد (Xiao et al., 2018). علاوه بر این، نتایج تحقیقات نشان داده است که برتری اکولوژیک کشت مخلوط، نتیجه استفاده کارآمد از منابع رشد است. اجزای مخلوط ممکن است از نظر استفاده از منابع رشد تفاوت داشته باشند و در صورتی که با هم کاشته شوند استفاده موثرتری از منابع موجود نسبت به کشت جداگانه خواهند داشت. به عبارت دیگر برتری بیولوژیک زراعت مخلوط به کشت خالص وقتی است که رقابت بین گونه‌ای برای منابع رشد نسبت به رقابت درون گونه‌ای کمتر باشد. اگر رقابت بین گونه‌ها شدید نباشد کشت مخلوط بر تک کشتی برتری دارد (Metwally et al., 2020). تفاوت در میزان توسعه عمقی و جانبی و همچنین افزایش تراکم ریشه‌ها در کشت مخلوط، باعث افزایش میزان جذب عناصر غذایی در مقایسه با کشت خالص می‌شود (Budakli and Celik, 2014) و این مسئله سبب افزایش تولید و به دنبال آن افزایش نسبت برابری زمین می‌شود. همچنین علت افزایش LER را می‌توان به اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین گونه‌ها، تثبیت نیتروژن در خاک توسط گیاه لگوم و بهبود شرایط محیطی برای جزء دیگر مخلوط، استفاده بهتر از منابع محیطی، بهبود کارایی مصرف نور، کاهش فشار رقابتی بین دو گونه و زیست توده علف‌های هرز نسبت داد (Fateh et al., 2018). افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Xiao et al., 2018). پوریوسف و علیزاده (Pooryousef & Alizadeh, 2018)، نخزری مقدم (Nakhzari Moghaddam, 2016)، عاشوری و همکاران (Ashoori et al., 2021)، ربیعی و فرح‌دهر (Rabiee & Farahdahr, 2020) نیز سودمندی کشت مخلوط را به کشت خالص گزارش نموده‌اند.

جدول ۴- مقایسه تیمارهای کشت مخلوط در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی با استفاده از شاخص نسبت برابری زمین
Table 4. Comparison of intercropping treatments in different tillage systems using the index of land equivalent ratio

Treatments		LER _{Rye} (سهم چاودار)	LER _{Vetch} (سهم ماشک)	LER _{Total} (کل)
No Tillage	Vetch 75%+Rye 25%	0.24	0.64	0.88
	Vetch 50%+Rye 50%	0.58	0.54	1.12
	Vetch 25%+Rye 75%	0.80	0.21	1.01
Reduced Tillage	Vetch 75%+Rye 25%	0.29	0.65	0.94
	Vetch 50%+Rye 50%	0.73	0.55	1.28
	Vetch 25%+Rye 75%	0.81	0.18	0.99
Conventional Tillage	Vetch 75%+Rye 25%	0.27	0.57	0.84
	Vetch 50%+Rye 50%	0.71	0.55	1.26
	Vetch 25%+Rye 75%	0.88	0.19	1.07

مقایسه میانگین صفات مرتبط با کیفیت علوفه

درصد خاکستر کل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد روش‌های مختلف خاک‌ورزی از لحاظ درصد خاکستر کل علوفه دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد روش کم‌خاک‌ورزی دارای بیشترین (۵/۷۹ درصد) و تیمار بدون خاک‌ورزی دارای کمترین (۵/۷۵ درصد) درصد خاکستر بودند (شکل ۴). به نظر می‌رسد سیستم خاک‌ورزی حداقل از طریق افزایش مواد آلی سبب بالا رفتن سطح عناصر غذایی در خاک می‌شود که به تبع آن میزان خاکستر علوفه افزایش یافته است. نتایج یک بررسی نشان داد که علوفه‌های تولید شده در شرایط خاک‌ورزی کاهش‌یافته دارای تعادل عناصر معدنی مطلوب‌تری هستند که منجر به افزایش محتوای خاکستر در مقایسه با علوفه‌هایی که تحت سیستم‌های خاک‌ورزی رایج رشد می‌کنند، می‌شود (Nurjaya and Agung, 2012).

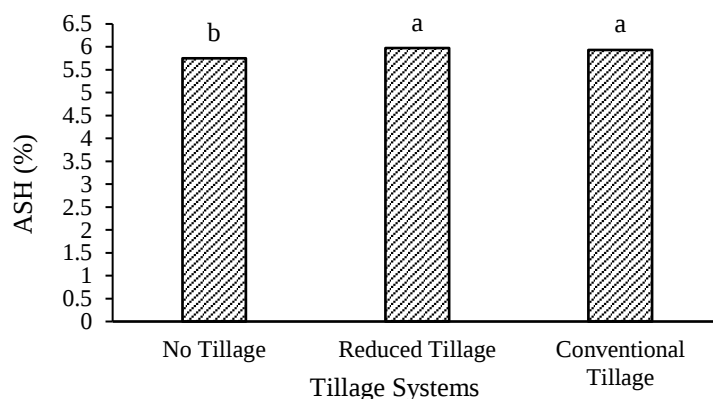
نتایج مقایسه میانگین نشان داد درصد خاکستر در ترکیب تراکمی ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار نسبت به سایر ترکیب‌ها با مقدار ۶/۰۳ گرم بیشترین مقدار بود که با ترکیب تراکمی ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار اختلاف معنی‌داری نداشت ولی با سایر ترکیبات تراکمی از اختلاف معنی‌داری برخوردار بود (شکل ۵). درصد خاکستر علوفه، میزان مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی را نشان می‌دهد و از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت علوفه است. هرچه جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، بیشتر باشد، این عناصر سبب رشد بهتر ریشه و گسترش بیشتر آن در خاک می‌گردند که این امر سبب جذب بیشتر مواد معدنی و افزایش خاکستر کل می‌شود (Fateh et al., 2018). به‌نظر می‌رسد درصد خاکستر در کشت مخلوط به دلیل مکمل بودن اجزای کشت مخلوط در جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد. فاتح و همکاران (Fateh et al., 2018) نشان دادند که کشت مخلوط جو و شنبلیله، میزان خاکستر علوفه را نسبت به کشت خالص گیاه دارای خاکستر کم، افزایش و نسبت به کشت خالص گیاه دارای خاکستر زیاد، کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2019) بیان کردند که با افزایش درصد ماشک گل‌خوشه‌ای در نسبت‌های کاشت بر میزان خاکستر علوفه افزوده می‌شود. نتایج آزمایش عموری و همکاران (Amori et al., 2017) نشان داد که هر چه سهم یولاف در کشت مخلوط بیشتر بود از درصد خاکستر علوفه کاسته شد، ولی این حالت برای گیاه ماشک بالعکس بود؛ به طوری که با افزایش سهم ماشک در کشت مخلوط، درصد خاکستر علوفه افزایش یافت. در برخی بررسی‌های صورت گرفته با مقایسه جداگانه میزان خاکستر هر یک از گیاهان خانواده غلات و بقولات موجود در مخلوط، با افزایش درصد غله، میزان خاکستر علوفه کاهش و در بقولات افزایش یافته است. در کشت مخلوط غلات و بقولات اکثراً با افزایش میزان بقولات در ترکیب، روند کاهش میزان خاکستر علوفه قابل مشاهده است که از جمله دلایل ذکر شده محققان می‌توان به استفاده بهتر غلات از منابع و عناصر غذایی در کشت مخلوط اشاره کرد (Pakgohar et al., 2014). در کشت مخلوط افزایشی سورگوم و ارزن مرواریدی، کاهش درصد خاکستر علوفه را نشان داد که این نتیجه بیانگر اهمیت نوع گیاهان انتخابی در کشت مخلوط می‌باشد، زیرا پایین بودن میزان مواد معدنی موجود در غلات دانه‌ریز، عامل مؤثر در کم شدن میزان خاکستر علوفه حاصل از کشت مخلوط افزایشی این دو گیاه از خانواده غلات است (Ditsch and Bitzer, 2015).

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مرتبط با کیفیت علوفه تحت اثر روش‌های خاک‌ورزی و الگوی کشت دو گیاه چاودار و ماشک
Table 5. ANOVA for traits related to forage quality affected by tillage systems and the planting pattern of rye and vetch

منابع تغییر SOV	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)			قابلیت هضم DMD
		خاکستر ASH	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF	الیاف نامحلول در شوینده خنثی NDF	
بلوک Replication	2	6.15*	41.8 ^{ns}	11.4 ^{ns}	301.4 ^{ns}
سیستم خاک‌ورزی Tillage systems (T)	2	18.02**	23.8**	61.5*	1494.7*
خطای ۱ Error 1	4	0.72	6.36	4.6	177.2
الگوی کشت Planting pattern (P)	3	8.86*	59.39*	38.8*	752.1*
خاک‌ورزی × الگوی کشت T×P	6	4.44 ^{ns}	9.2 ^{ns}	6.22 ^{ns}	279.2 ^{ns}
خطای ۲ Error 2	18	2.14	20.53	11.00	262.4
ضریب تغییرات C.V (%)	-	2.5	2.5	1.8	3.7

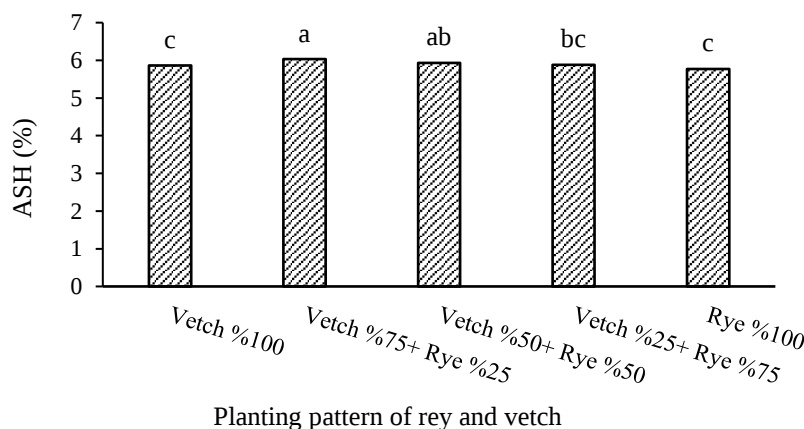
ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns and ** are non-significant and significant at 1% probability levels, respectively.



شکل ۴- مقایسه‌ی میانگین درصد خاکستر کل متأثر از مختلف روش‌های خاک‌ورزی
(حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 4. Comparison of the average percentage of total ash affected by different tillage methods
(Similar letters indicate statistically insignificant differences.)



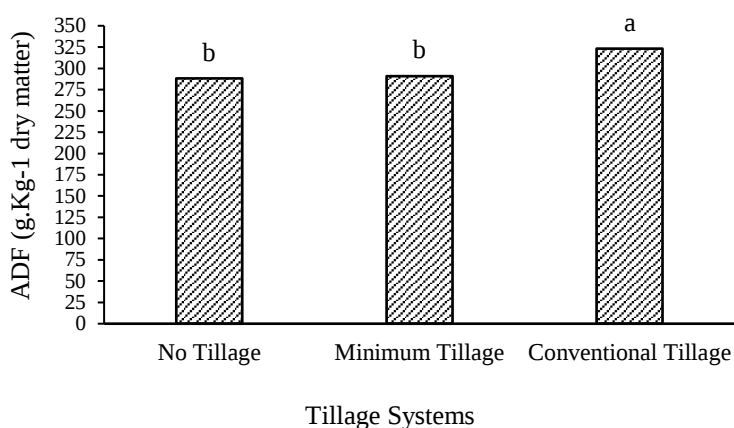
شکل ۵- مقایسه‌ی میانگین درصد خاکستر در نسبت‌های اختلاط ماشک و چاودار
(حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 5. Mean comparison of ash percentage in mixing ratios of vetch and rye
(Similar letters indicate statistically insignificant differences.)

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

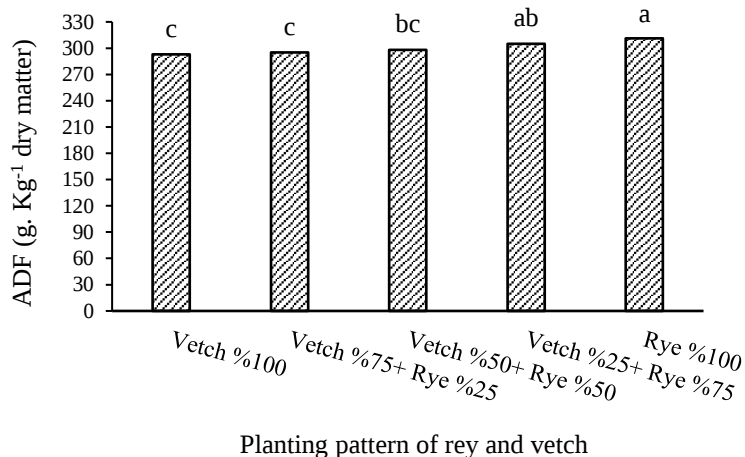
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از صفات مهم کیفی علوفه هستند. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به عنوان یک معیار شکم پرکن دام، برای پیش‌بینی مصرف اختیاری غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد و نشان دهنده پتانسیل مصرف علوفه توسط دام است (Salehi et al., 2018). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی روش‌های خاک‌ورزی از لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال یک درصد بودند (جدول ۵). مقایسه میانگین نیز حاکی از آن بود که روش خاک‌ورزی متداول با میانگین ۳۳۳/۳ گرم بر کیلوگرم ماده خشک دارای بیشترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی بود و کمترین مقدار آن به روش بدون خاک‌ورزی مربوط بود که با روش کم‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر الگوی کشت بر این صفت نشان داد که کشت خالص چاودار دارای بیشترین مقدار الیاف نامحلول با ۳۱۱/۴ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بود. کمترین مقدار الیاف محلول نیز به کشت‌های خالص ماشک و کشت مخلوط ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ چاودار تعلق داشت (شکل ۷). ارزیابی مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در کشت مخلوط تربیتیکاله با چند لگوم علوفه‌ای یک ساله شامل باقلا، نخودفرنگی، ماشک گل‌خوشه‌ای و گاودانه نشان داد که الگوهای مختلف کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص تربیتیکاله مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کمتری داشتند و بنابراین از کیفیت علوفه‌ی بالاتری برخوردار بودند (Salehi et al., 2018). نتایج تحقیق احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2019) نشان داد که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در الگوهای مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشت. به‌طوری که بیشترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در الگوی کشت افزایشی ۱۰۰ درصد جو: ۱۰ درصد ماشک گل‌خوشه‌ای و کمترین میزان آن در کشت خالص ماشک گل‌خوشه‌ای به‌دست آمد که تفاوت آن‌ها ۱۵/۲ درصد بود. آن‌ها با مقایسه الگوهای مختلف کشت مشاهده کردند هر چه میزان جو

در الگوهای کشت بیشتر باشد، ADF آن نیز بیشتر است. به طور کلی با کاهش درصد جو در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از مقدار این شاخص نیز کاسته شد، علت این کاهش را می‌توان به جایگزینی جو به جای ماشک گل‌خوشه‌ای به دلیل بیشتر بودن چرخه زندگی آن در مقایسه با ماشک گل‌خوشه‌ای نسبت داد. نتایج مطالعه‌ی دیگری بیانگر آن بود که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در مخلوط ذرت – لوبیاچیتی نسبت به کاشت خالص ذرت کمتر بود که دلیل آن، محتوای کمتر ADF در لوبیاچیتی است (Moradi et al., 2015). کاهش این صفت در تیمارهای مخلوط با لگوم‌ها، می‌تواند از زیاد بودن سطح برگ و تعداد برگ لگوم‌ها در شرایط سایه ناشی شده باشد، زیرا این گیاهان در شرایط سایه برای افزایش جذب نور، مواد فتوسنتزی بیشتری را به تولید برگ و رشد آن‌ها اختصاص می‌دهند. بنابراین، بر اثر افزایش نسبت برگ به ساقه مقدار ADF کاهش می‌یابد (Ditsch and Bitzer, 2015).



شکل ۶- مقایسه‌ی میانگین میزان الیاف نامحلول در شوینده‌ی اسیدی تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی (حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 7. Mean comparison of ADF affected by different tillage systems (The same letters indicate statistically insignificant differences.)



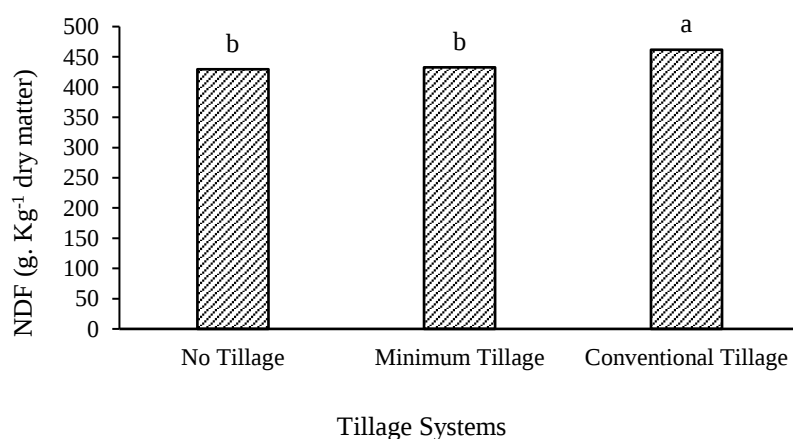
شکل ۷- مقایسه‌ی الیاف نامحلول در شوینده اسیدی متأثر از نسبت‌های اختلاط تراکمی ماشک و چاودار (حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 8. Mean comparison of ADF affected by mixing ratios of vetch and rye (The same letters indicate statistically insignificant differences.)

الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی (NDF)

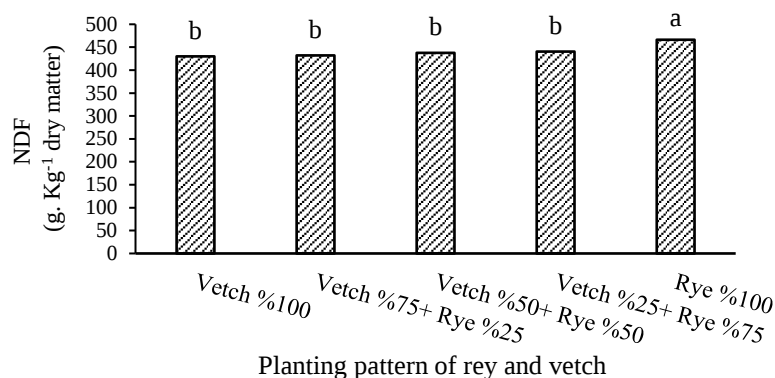
الیاف نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر سطوح مختلف خاک‌ورزی و الگوی کشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که روش خاک‌ورزی متداول با ۴۶۱/۵ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بیشترین مقدار این صفت را داشت و

سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی به طور معنی‌داری مقادیر کمتری نشان دادند و با هم در یک گروه آماری جداگانه قرار گرفتند (شکل ۸). نتایج مقایسات میانگین اثر الگوی کشت بر الیاف نامحلول در شوینده خنثی نشان داد که کشت خالص چاودار با مقدار ۴۶۶/۵ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بیشترین مقدار این صفت را داشت و با سایر نسبت‌های تراکمی اختلاف معنی‌دار آماری داشت. تیمارهای اختلاط تراکمی و کشت خالص ماشک در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۹). در خاک‌ورزی رایج به‌واسطه‌ی سست شدن خاک سطحی، بهبود تهویه خاک، تسریع در تجزیه مواد آلی و رهاسازی عناصر غذایی مانند کلسیم و افزایش رشد جانبی و شاخه‌دهی سبب افزایش بافت‌های ساختاری می‌شود و گیاه فرصت بیشتری برای انباشت الیاف سلولزی و نامحلول پیدا می‌کند که به تبع آن کیفیت علوفه کاهش پیدا می‌کند (Idowu et al., 2019). بر خلاف این نتیجه، در پژوهش انجام شده در هندوستان مشاهده شد که روش خاک‌ورزی رایج، از طریق کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش رشد رویشی گیاه می‌شود که در نتیجه‌ی آن کیفیت علوفه بهبود می‌یابد (Saha et al., 2010). به‌نظر می‌رسد دلیل این اختلاف در اثرات خاک‌ورزی رایج به میزان بارندگی زیاد در هندوستان مربوط باشد به‌طوری که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌واسطه‌ی افزایش بیش از حد رطوبت در خاک، شرایط رشد گیاه را نامناسب می‌سازند. صالحی و همکاران (Salehi et al., 2018) در بررسی کشت مخلوط تریتیکاله با چند لگوم علوفه‌ای یک‌ساله بیان داشتند که کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص تریتیکاله، از طریق کاهش NDF و ADF کیفیت علوفه را بهبود بخشیده است. نتایج سایر محققین نیز حاکی از پایین بودن میزان NDF در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بوده است (Favre et al., 2019). فاتح و همکاران (Fateh et al., 2018) با مقایسه نسبت‌های مختلف کشت نشان دادند که هر چه میزان جو در نسبت‌های کشت بیشتر باشد NDF آن بیشتر است که نشان‌دهنده کاهش کیفیت علوفه مخلوط بوده و هرچه درصد جو در مخلوط کاهش پیدا کند، کیفیت علوفه افزایش پیدا می‌کند. با افزایش محتوی فیبر در علوفه، میزان خشی بودن بیشتر و قابلیت هضم و خوشخوراکی آن کمتر می‌شود (Bakhtivari et al., 2020). افزایش نسبت شبدر به سورگوم در کشت مخلوط، باعث کاهش محتوی همی‌سلولز و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در علوفه شد که می‌تواند با بالاتر بودن محتوی الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در گیاه سورگوم نسبت به شبدر مرتبط باشد (Ashoori et al., 2021). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که محتوی الیاف نامحلول در شوینده خنثی در شبدر کمتر از گندم و در کشت مخلوط آن‌ها متوسط بود (Contreras-Govea, 2016). محققان گزارش کردند که کشت مخلوط شبدر قرمز با علف گندمی در مقایسه با کشت خالص باعث کاهش محتوی الیاف نامحلول در شوینده خنثی و در نتیجه افزایش پتانسیل مصرف علوفه توسط دام شد (Favre et al., 2019).



شکل ۸- مقایسه‌ی میانگین الیاف نامحلول در شوینده خنثی متأثر از روش‌های مختلف خاک‌ورزی (حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 9. Mean comparison of NDF affected by different tillage systems (Similar letters indicate statistically insignificant differences.)

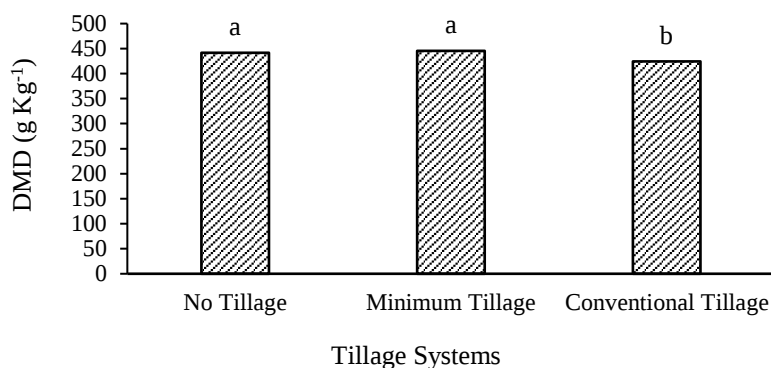


شکل ۹- مقایسه‌ی میانگین الیاف نامحلول در شوینده‌ی خنثی در نسبت‌های اختلاط تراکمی ماشک و چاودار (حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 10. Mean comparison of NDF affected by mixing ratios of vetch and rye (Similar letters indicate statistically insignificant differences.)

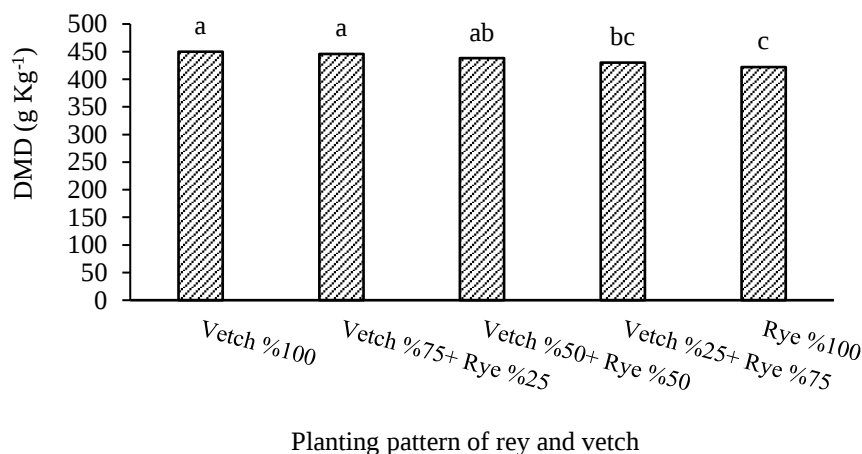
ماده خشک قابل هضم

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که قابلیت هضم گیاهان چاودار و ماشک تحت تأثیر اثرات اصلی سیستم خاک‌ورزی و الگوی کشت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سیستم کم خاک‌ورزی با ۴۴۵/۶ گرم بر کیلوگرم دارای بیشترین مقدار قابلیت هضم گیاهان چاودار و ماشک بود که با مقدار این صفت در تیمار بدون خاک‌ورزی در سطح مشابه آماری قرار داشتند (شکل ۱۰). بالاترین قابلیت هضم به تیمارهای کشت خالص ماشک و اختلاط تراکمی ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار (۴۵۰ گرم بر کیلوگرم) مربوط بود که با تیمار اختلاط تراکمی ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۰). در تحقیقی مشخص گردید که روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی خصوصیات مورفولوژیک محصول تأثیر معنی‌داری دارند و در سیستم کم خاک‌ورزی خصوصیات مورفولوژیک گیاه نسبت به روش معمول خاک‌ورزی بهبود می‌یابد ([Rashidi et al., 2007](#)). نتایج مطالعه‌ی خان و همکاران ([Khan et al., 2021](#)) نشان داد سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند شخم حداقل در مقایسه با خاک‌ورزی متداول به بهبود کیفیت علوفه منجر می‌شوند. آن‌ها بهبود کیفیت علوفه را به حفظ رطوبت بیشتر در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت دادند که به رشد بیشتر برگ‌ها منجر می‌شود. از هضم‌پذیری اغلب به عنوان ارزشمندترین سنجش کیفیت علوفه نامبرده می‌شود، زیرا ارتباط نزدیکی با عملکرد دام دارد. قابلیت هضم علوفه به ترکیبات شیمیایی علوفه بستگی دارد. متغیرهای افزایش کیفیت علوفه (نیترژن، پروتئین خام و مواد معدنی) و متغیرهای کاهنده کیفیت علوفه الیاف خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) بر هضم پذیری علوفه تأثیر دارند. در آزمایشی با هدف بررسی کیفیت و کمیت علوفه در سیستم کشت مخلوط ماشک و تریتیکاله انجام شد، نتایج نشان داد که ترکیب ۲۵ درصد تریتیکاله و ۷۵ درصد ماشک و همچنین ترکیب ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد تریتیکاله دارای بیشترین کیفیت علوفه و بیشترین مقدار علوفه قابل هضم بودند ([Shahbazi et al., 2022](#)). نتایج پژوهشی نشان داد که ماده خشک قابل هضم در تیمارهای کشت خالص جو و کشت مخلوط و همچنین بین تیمارهای کشت خالص خردل و کشت مخلوط فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بودند. با افزایش نسبت خردل در تیمارهای کشت مخلوط جایگزین، درصد ماده خشک قابل هضم به دلیل پایین بودن نسبت عملکرد جو به عملکرد خردل کاهش جزئی یافت ([Nakhzari Moghaddam, 2014](#)). با وجود گزارش‌های متداول مبنی بر هضم‌پذیری بیشتر بقولات نسبت به غلات، تفاوت میزان هضم‌پذیری انواع بقولات نیز توسط برخی محققان گزارش شده است. محققان در مطالعه‌ی کشت مخلوط بقولات و گندمیان، به بالا بودن میزان قابلیت هضم غلات نسبت به برخی از بقولات مانند ماشک معمولی اشاره کرده‌اند که از دلایل آن می‌توان به کمتر بودن میزان لیگنین موجود در غلات مورد مطالعه نسبت به لیگنین ماشک معمولی و در نتیجه، پائین بودن میزان الیاف نامحلول در شوینده‌های اسیدی غلات اشاره کرد ([Lithourgidis et al., 2021](#)). محققان دیگری در بررسی تأثیر کشت مخلوط ذرت و سویا بر میزان ماده خشک و جذب عناصر غذایی علوفه، افزایش میزان قابلیت هضم ماده خشک علوفه با افزایش سویا در سیستم کشت مخلوط با ذرت را گزارش کردند که از دلایل آن به افزایش میزان غلظت پروتئین حاصل از افزودن سویا در مخلوط، اشاره شده است ([Baghdadi et al., 2016](#)).



شکل ۱۰- مقایسه‌ی میانگین ماده خشک قابل هضم در روش‌های مختلف خاک‌ورزی
(حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.)

Figure 9. Mean comparison of DMD (Digestible Dry Matter) in different tillage systems
(The same letters indicate statistically insignificant differences.)



شکل ۱۱- مقایسه‌ی میانگین ماده خشک قابل هضم در نسبت‌های اختلاط تراکمی ماشک و چاودار
(حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.)

Figure 10. Mean comparison of DMD (Digestible Dry Matter) affected by mixing ratios of vetch and rye
(The same letters indicate statistically insignificant differences.)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط ماشک و چاودار نشان داد که بالاترین عملکرد علوفه خشک چاودار در تیمار ۷۵ درصد چاودار و ۲۵ درصد ماشک در سیستم‌های خاک‌ورزی متداول و کاهش یافته حاصل شد. بیشترین نسبت برابری زمین در همه تیمارهای خاک‌ورزی در تیمار ۵۰ درصد چاودار و ۵۰ درصد ماشک حاصل گردید. کیفیت علوفه حاصل نیز تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط قرار گرفت. بیشترین مقادیر خاکستر علوفه، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی به سیستم خاک‌ورزی رایج مربوط بود. همچنین بیشترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی در کشت خالص چاودار حاصل شد و با افزایش نسبت ماشک مقدار الیاف نامحلول کاهش یافت. خاکستر علوفه در تیمار کشت مخلوط با ترکیب ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار بیشتر از سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود. باتوجه به نتایج آزمایش حاضر به‌منظور حصول حداکثر عملکرد و افزایش کیفیت علوفه، برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی را در رابطه با محصولات مورد مطالعه به وضوح نشان داد.

- Afzalnia, S., & Karami, A. (2018). Effect of conservation tillage on soil properties and corn yield in the corn-wheat rotation. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 49(1), 129-137. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.243058.664995>
- Ahmadi, S., Fateh, E., & Aynehband, A. (2019). The effect of different barley and hairy vetch row intercropping sowing pattern and phosphorus fertilizer on dry matter production and forage quality. *Electronic Journal of Crop Production*, 11(4), 89-102. (In Persian with English abstract).
- Akhtar, M.F.U.Z., Jamil, M., Ahamd, M. & Abbasi, G.H. (2017). Evaluation of biofertilizer in combination with organic amendments and rock phosphate enriched compost for improving productivity of chickpea and maize. *Soil and Environment*, 36(1), 59-69. <https://doi.org/10.25252/SE/17/31043>
- Amori, A., Roshanfekar, H., & Hasibi, P. (2017). The study of mixcropping on row of oat and vetch in Ahvaz. *Journal of Crops Improvement*, 19(2), 303-317. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60414>
- Ansar, M., Ahmed, Z.I., Malik, M.A., Nadeem, M., Majeed, A. & Rischkowsky, B.A. (2010). Forage yield and quality potential of winter cereal-vetch mixtures under rainfed conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22(1): 25-36. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v22i1.4904>
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International.
- Asadi, S., Rezaei-Chiyaneh, E. and Amirnia, R. (2019). Effect of planting pattern and fertilizer source on agronomic characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercropping under rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(1): 16-30. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/abj.21.1.16>
- 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>
- Awal, M.A., Pramanik, M.H.R. & Hossen, M.A. (2007). Interspecies competition, growth and yield in barley-peanut intercropping. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(4), 577-584. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.577.584>
- Baghdadi, A., Halim, R.A., Ghasemzadeh, A. & Ebrahimi, M. (2016). Effect of intercropping of corn and soyabean on dry matter yield and nutritive value of forage corn. *Legume Research*, 39(6), 976-981. <https://doi.org/10.18805/lr.v39i6.6643>
- Bagnall, D.K., Jones, E.J., Balke, S., Morgan, C.L. and McBratney, A.B. (2020). An in situ method for quantifying tillage effects on soil structure using multistripe laser triangulation. *Geoderma*, 380, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114642>
- Bakhtiyari, F., Zamanian, M. and Golzardi, F. 2020. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 11(1), 49-65.
- Budakli Carpici, E. and Celik, N. 2014. Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(1), 66-69.
- Chaghazardi, H., Jahansuz, M.R., Ahmadi, A., & Gorji, M. 2016. Study of different tillage methods on some soil properties, seed yield and morphological traits of wheat and chickpea under rainfed conditions of Sarpolezahab region. *Journal of Crops Improvement*, 18(3), 581-594. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56622>
- Contreras-Govea, F E., Albrecht, K.A. & Muck, R.E. (2006). Spring yield and silage characteristics of kura clover, winter wheat, and in mixtures. *Agronomy Journal*, 98(3): 781-787. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0248>
- Dehghanian, H., Barmaki, M., Dabbagh Mohamadi Nasab, A., Seifdavati, J. (2020). Grass pea (*Lathyrus sativus* L.)-cereal intercropping: Evaluation of productivity and some indices of forage quality. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(3), 61-76. (In Persian with English abstract).
- Ditsch, D.D. & Bitzer, M.J. (2020). Managing small grains for livestock forage. Department of Agronomy. University of Kent. Available at: <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/agr/agr160/agr160.htm>.
- Du, J.B., Han, T.F., Gai, J.Y., Yong, T.W., Xin, S. U.N., Wang, X.C. and Yang, W.Y. (2018). Maize-soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 747-754. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61789-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61789-1)
- Ehsanifar, A. R., Dahmardeh, M. and Khammari, I. (2015). Effect of different tillage systems on yield and yield components in cowpea-millet intercropping. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(11), 1-8.
- Fateh, E., Tarighi, S., and 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>
- 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, 114-298. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114298>
- Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A. & Adiguzel, M.C. (2014). Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *Catena*, 118, 195- 205. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.006>
- Heidari, G., Mohammadi, K., & Sohrabi, Y. (2016). Responses of soil microbial biomass and enzyme activities to tillage and fertilization systems in soybean (*Glycine max* L.) production. *Frontiers in Plant Science*, 7, 17-30. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01730>
- 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).
- 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080455>
- Indoria, A.K., Srinivasa Rao, C., Sharma, K.L., & Sammi Reddy, K. (2017). Conservation agriculture—a panacea to improve soil physical health. *Current Science*, 112(52), 52-61.
- Issaka, F., Zhang, Z., Zhao, Z.Q., Asenso, E., Li, J.H., Li, Y.T. & Wang, J.J. (2019). Sustainable conservation tillage improves soil nutrients and reduces nitrogen and phosphorous losses in maize farmland in Southern China. *Sustainability*, 11(8), 1-13. <https://doi.org/10.3390/su11082397>
- Javanmard, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Javanshir, A., Moghaddam, M., & Janmohammadi, H. (2009). Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as double-cropped. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7 (1), 163-166. <https://doi.org/10.1234/4.2009.1459>
- Javanmard, A., Nouri, M., Ostadi, A., Rebati, J., Nouraein, M., & Shabahang J. (2022). The effects of different tillage systems and fertilizer resources on the growth, yield component, and economic efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition. *Journal of Agroecology* 14(2):251-274. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.20326.0>
- Javanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., & Gharekhany, G. (2016). Agronomical, ecological and economical evaluation of wheat-chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(1), 19-37. [In Persian with English Summary].
- Khan, R., Biswas, S., Kundu, C.K., Jana, K., & Bandopadhyay, R.R.P. (2021). Effect of conservation tillage practices on growth attributes of different fodder crops and soil moisture depletion. *International Journal of Chemical Studies*, 9(1), 1846-1852. <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1z.11494>
- Lamei Hervani, 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 Journal*, 29(2), 169-183. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110508>
- Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A. & Damalas, C.A. (2021). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007>
- 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.
- Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., Behpouri, A., & Barati, V. (2020). Effect of relay intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with barley (*Hordeum vulgare* L.) on biochemical traits and yield under late season drought stress. *Iranian Journal Pulses Research*, 11(2), 164-182. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.78361>
- Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G.R., & Samiezadeh, H. (2015). Evaluation of forage quantity and quality in intercropping maize with pinto bean and naked pumpkin. *Journal of Crops Improvement*, 17(3), 683-699. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.54379>
- Nakhzari Moghaddam, A. (2014). The yield and forage quality of intercropping barley and mustard in different planting dates. *Journal of Crop Production*, 5(4), 173-190. (In Persian with English abstract).
- Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effects of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. *Journal Of Agroecology*, 8(1), 47-58. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.12534>
- Neugschwandtner, R.W., & Kaul, H.P. (2015). Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat–pea intercrops. *Field Crops Research*, 179, 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.018>
- Nurjaya, I.G.M.O., & Agung, I.G.A.M.S. 2012. Effects of tillage on forage legumes growth and subsequent dry matter yields of corn planted for livestock feeding. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2(4), 616-625. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2012/1660>

- Oddy, V.H., Robards, G.E. & Low, S.G. (1983). Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fibre and nitrogen content of a feed. In 'Feed Information and Animal Production'. (Eds G.E. Robards, R.G. Packham) pp. 395–398.
- Oehl, F., & Koch, B. (2018). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in no-till and conventionally tilled vineyards. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 56–60. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.008>
- Pakgohar, N., Ghanbari, A. & Farahbakhsh, A. (2014). Investigation of quantitative and qualitative characteristics of green pea (*Lathyrus sativus* L.) and nutritive millet (*Pennisetum* sp.) forage in different cultivation patterns. *Agroecology*, 6(1), 108–117. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v6i1.35678>
- Pinnamaneni, S.R., Mubvumba, P., Anapalli, S., & Reddy, K.N. (2022). Cereal rye cover crop impacts on soybean (*Glycine max* L.) root growth and soil properties. *Frontiers in Soil Science*, 2, 970380. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.970380>
- Pooryousef, M., & Alizadeh, K. (2018). Evaluation of different smooth vetch and winter type barley mix cropping systems under Mahabad cold dryland conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 7(1), 1–13. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijad.2018.115759.183>
- Rabiee, M., & Farahdahr, F. (2020). Evaluation of yield and advantages of forage legumes with cereals intercropping as second crop in paddy fields. *Plant Productions*, 43(3), 363–374. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27838.1689>
- Rashidi, M. & Keshavarzpour, F. (2007). Effect of different tillage methods on soil physical properties and crop yield of watermelon (*Citrullus vulgaris*). *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2, 1–16.
- Renzi, J.P., Chantre, G.R. and Cantamutto, M.A. (2016). Self-regeneration of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) as affected by seedling density and soil tillage method in a semi-arid agroecosystem. *Grass and Forage Science*, 72(3), 524–533. <https://doi.org/10.1111/gfs.12255>
- Saha, S., Chakraborty, D., Sharma, A. R. and Kalra, N. (2010). Effect of tillage and residue management on soil Physical-Indian mustard system. *Indian Journal of Agricultural Science*, 80(8), 679–685.
- Salehi, Z., Amirmia, R., Rezaei-Chiyaneh, E. & Khalilvandi Behrozyar, H. (2018). Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4): 59–76. (In Persian with English abstract).
- Schillinger, W. F., Young, D. L., Kennedy, A. C. and Paulitz, T. C. 2010. Diverse no-till irrigated crop rotations instead of burning and plowing continuous wheat. *Field Crops Research*, 115(1): 39–49.
- Schlegel, R.H.J. (2013) Rye: Genetics, Breeding, and Cultivation. Boca Raton, FL: Taylor and Francis. 359 pages. <https://doi.org/10.1201/b15553>
- Shahbazi, S., Jalilian, J., Alizadeh, K., & Javanmard, A. (2022). Evaluation of chemical and organic-biofertilizer treatments on yield and forage quality of triticale and Maragheh Smooth vetch under sole and intercropping systems in rainfed condition. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 10(2), 199–226. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijad.2022.356297.352>
- Simmons, B.L. & Coleman, D.C. (2008). Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields. *Applied Soil Ecology*, 40, 518–528. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.08.003>
- Sori, S., Amirmia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., Sheikh, F. (2020). Evaluation of yield and yield components of different faba bean (*Vicia faba* L.) varieties in intercropping with triticale (*Triticum secale*). *Journal of Agroecology*, 12(1), 143–159. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v12i1.81918>
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A. & Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(2), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- Toreifi, S.H., Fateh, E. & Aynehband, A. (2018). Effect of different barley (*Hordeum vulgare*) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) intercropping planting ratio and nitrogen fertilizer on dry matter quality and quantity. *Journal of Crop Production*, 11(1), 23–35. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2018.12601.1982>
- Van der Werf, W., Zhang, L., Li, C., Chen, P., Feng, C., Xu, Z., Zhang, C., Gu, C., Bastiaans, L., Makowski, D., & Stomph, T.J. (2021). Comparing performance of crop species mixtures and pure stands. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 8, 481–489. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021413>
- 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), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Xiao, J.X., Yin, X. H., Ren, J. B., Zhang, M., Tang, L., and 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>

Yilmaz, S., Atak, M., & Erayman, M. (2008). Identification of advantages of maize – legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the east Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2), 111-119.

نسخه پیش از انتشار