

ارزیابی عملکرد، کیفیت علوفه و سودمندی کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) با کاربرد مایکوریزا

محمد حقانی نیا^۱، عبدالله جوانمرد^{۲*}، سارا ملاعلی عباسیان^۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۲۷

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۲ - دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۳ - استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

*مسئول مکاتبه: Email: A.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی عملکرد و کیفیت علوفه و سودمندی کشت مخلوط جو-خلر با کاربرد قارچ مایکوریزا آرباسکولار (*Glomus intraradices*)، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. تیمارها شامل الگوهای مختلف کشت بصورت کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، نسبت ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو در حالت تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *Glomus intraradices* بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه جو و خلر به کشت‌های خالص مربوط بود. همچنین بالاترین عملکرد کل علوفه به الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تعلق داشت. علاوه بر این، بیشترین میزان خاکستر و پروتئین خام کل علوفه در کشت‌های خالص خلر مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان عملکرد کل پروتئین خام در الگوهای کشت خالص خلر و الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو به دست آمد. در تمامی الگوهای کشت به جزء الگوی تلقیح نشده ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو، نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود. مقادیر غالبیت، نسبت رقابت و ضریب ازدحام نسبی جو بیشتر از خلر بود که نشان‌دهنده توانایی رقابتی بیشتر جو نسبت به خلر می‌باشد. بالاترین مقادیر شاخص افت واقعی عملکرد جو، خلر و کل در الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو به دست آمد. در حالی که کمترین مقادیر افت واقعی عملکرد جو، خلر و کل در الگوی تلقیح نشده ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو مشاهده شد. همچنین بالاترین مقادیر شاخص‌های بهره‌وری سیستم و سودمندی مالی در الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو مشاهده شد که نشان‌دهنده برتری این الگوی کشت می‌باشد. در کل بر اساس صفات کمی و کیفی علوفه و شاخص‌های زراعی و اقتصادی، الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو به عنوان الگوی برتر معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: افت واقعی عملکرد، پروتئین خام، خاکستر علوفه، سودمندی کشت مخلوط، نسبت رقابت

Evaluation of Forage Yield and Quality and Advantages of Barley (*Hordeum vulgare* L.)- Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Intercropping Using Mycorrhiza

Mohammad Haghaninia¹, Abdollah Javanmard², Sara Mollaaliabasiyan³

Received: March 3, 2018 Accepted: July 18, 2018

1- MSc Student of Agroecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

3- Assis. Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

*Corresponding Author Email: A.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

In order to investigate the forage quantity and quality and advantage of barley- grass pea intercropping with application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Glomus intraradices*), a field experiment was conducted as a randomized complete blocks design (RCBD) with 10 treatments and three replications at the faculty of Agriculture, University of Maragheh in 2017. Treatments were included planting patterns (sole planting of grass pea and barley, 75% grass pea+ 25% barley, 50% grass pea+ 50% barley, 25% grass pea+ 75% barley) with and without mycorrhiza inoculation. The results showed that the greatest barley and grass pea forage yield were related to monoculture patterns. Also, the highest total forage yield belonged to inoculated pattern of 75% grass pea+ 25% barley. Moreover, the highest forage ASH and crude protein (CP) was observed in grass pea monocultures. In addition to, the greatest total crude protein yield was achieved in grass pea monocultures and inoculated pattern of 75% grass pea+ 25% barley. Also, in all planting patterns, except for 25% grass pea+ 75% barley non-inoculated pattern, LER was more than 1. The A, CR and RCC values in barley were higher than grass pea, indicating that barley was more competitive and dominant than grass pea. The highest AYL_{barley} , $AYL_{\text{grass pea}}$ and total AYL were obtained from 75% grass pea+ 25% barley inoculated pattern, while the lowest AYL values were noted in 25% grass pea+ 75% barley non- inoculated pattern. Also, the highest MAI and SPI values were recorded for the 75% grass pea+ 25% barley inoculated pattern, indicating that this intercropping system were the most profitable. Generally, in basis of quantity and quality traits and agronomical and economical indices, 75% grass pea+ 25% barley inoculated pattern was recommended as superior pattern.

Keywords: Actual yield loss (AYL), ASH, Crude Protein (CP), Competition Ratio (CR), Intercropping Advantage.

مقدمه

امروزه روند افزایش تخریب منابع آب، خاک و محیط زیست بر اثر کاربرد بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی رایج موجب توجه محققان به کشاورزی پایدار گردیده است. بهبود حاصلخیزی و کنترل فرسایش خاک، کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، تثبیت عملکرد در شرایط نامطلوب و افزایش عملکرد در شرایط مطلوب محیطی، افزایش کارایی استفاده از منابع محیطی و ایجاد تنوع و ثبات در اکوسیستم زراعی از اهداف عمده کشاورزی پایدار می‌باشند (یانگ و همکاران ۲۰۱۴)، لذا پژوهشگران سعی دارند تا با طراحی و اجرای سامانه‌های برخوردار از پایداری، امنیت غذایی را تأمین نمایند. از نکته‌های حائز اهمیت در نظام‌های کشاورزی پایدار، افزایش تولید محصولات کشاورزی در زمان و مکان است که در آن به شکل بهتری از عوامل محیطی بهره‌برداری می‌شود (استولز و نادیاو ۲۰۱۴). کشت مخلوط به‌عنوان یکی از سامانه‌های کشاورزی پایدار در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به‌جهت تنوع محصول، عملکرد بالا و افزایش سود در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاهش وابستگی کشاورزان به آفت‌کش‌ها از اهداف کشت مخلوط هستند (فرناندزآپاراسیو و همکاران ۲۰۰۷). بررسی‌ها نشان داده است کشت گیاهان لگوم از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک موجب افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان همراه می‌شوند (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). با توجه به پروتئین پایین علوفه غلات و نیاز دام به غذای مکمل و باارزش، اهمیت کشت مخلوط غلات و بقولات در تأمین پروتئین، مواد

معدنی و ویتامین‌های کافی در مقایسه با مصرف خالص آن‌ها را نشان می‌دهد (صادق‌پور و همکاران ۲۰۱۳). در مطالعات مختلف به‌منظور ارزیابی سودمندی کشت مخلوط، شاخص‌هایی نظیر نسبت برابری زمین^۱، نسبت رقابت^۲، شاخص بهره‌وری سیستم^۳ و شاخص سودمندی مالی کشت مخلوط^۴ بیشترین کاربرد را دارند و توانایی رقابت گونه‌ها با برآورد ضرایب ازدحام نسبی^۵، افت واقعی عملکرد^۶ و غالبیت^۷ مشخص می‌گردد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶ و دهیما و همکاران ۲۰۰۷). هریک از این شاخص‌ها در ارزیابی کشت مخلوط اطلاعات ویژه‌ای را بازگو می‌کنند. نسبت برابری زمین بیانگر کارایی کشت مخلوط در استفاده از منابع در مقایسه با کشت خالص است. ولی، این نسبت میزان افت یا بهبود عملکرد هر یک از گونه‌ها در مخلوط را مشخص نمی‌کند. بانیک و همکاران (۲۰۰۶) با معرفی شاخص افت واقعی عملکرد بیان کردند که با استفاده از این شاخص افت یا بهبود عملکرد هر گونه در کشت مخلوط نسبت به عملکردش در کشت خالص مشخص شده و نسبت به سایر شاخص‌ها اطلاعات دقیق‌تری در مورد رقابت بین و درون گونه‌ای می‌دهد. ضریب ازدحام نسبی، نسبت رقابت و غالبیت نیز اگرچه میزان اضافه محصول در مخلوط را نشان نمی‌دهند، ولی با اشاره به شدت رقابت بین دو گونه در الگوهای مختلف مخلوط، قضاوت در مورد سودمندی مخلوط را تسهیل خواهند کرد (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱). یلماز و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به مقادیر ضریب غالبیت و نسبت رقابتی، بیان کردند که در مخلوط جو و ماشک، گیاه جو رقابتی‌تر عمل کرده و گیاه غالب شناخته شد و به‌دلیل بالاتر بودن مقادیر نسبت برابری زمین و شاخص افت واقعی عملکرد در الگوی ۸۰ درصد ماشک + ۲۰ درصد جو، مخلوط مناسبی برای دستیابی به حداکثر عملکرد در واحد سطح

4 - Monetary Advantage Intercropping

5 - Relative Crowding Coefficient

6 - Actual Yield Loss

7- Aggressivity

1 - Land Equivalent Ratio

2 - Competition Ratio

3 - System Productivity Index

(لمان و همکاران ۲۰۱۴). همچنین میکوریزا با افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و جذب بالاتر فسفر قابل دسترس باعث رشد رویشی بیشتر گیاه شده و از طرف دیگر با توجه به اثرات مثبتی که بین این دو عنصر وجود دارد باعث بهبود وزن خشک اندام هوایی می‌شود (کازاتو و همکاران ۲۰۱۲). امیرآبادی و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که همزیستی میکوریزایی با گونه *Golustus Intaradices* باعث افزایش رشد، عملکرد و ماده خشک ذرت علوفه‌ای شد و غلظت فسفر در اندام هوایی را نیز افزایش داد. کمائی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی، شیمیایی و آلی بر ویژگی‌های کیفی علوفه ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa L.*) دریافتند که بیشترین درصد پروتئین خام (۳۳/۲۷ درصد)، خاکستر (۹۶/۴ درصد) و گوارش پذیری ماده آلی (۸۶/۷۷ درصد) در تیمار تلفیقی میکوریزا و ریزوبیوم و بیشترین درصد گوارش‌پذیری ماده خشک (۴۴/۷۳ درصد) از تیمار تلفیقی کود میکوریزا و نیتروکسین (حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) حاصل شد. مهرورز و چایی-چی (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ مایکوریزا به صورت منفرد و تلفیقی می‌تواند باعث افزایش قابل توجه درصد پروتئین و درصد خاکستر علوفه در گیاه جو (*vulgare L.*) *(Hordeum)* شود.

با توجه به اهمیت گیاهان علوفه‌ای در تغذیه دام و اهمیت کشت مخلوط برای توسعه پایدار تولید غذا مخصوصاً در سامانه‌های کشت با نهاده‌های خارجی محدود و با توجه به رویکرد جهانی در استفاده از نهاده‌های آلی به جای نهاده‌های شیمیایی، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر قارچ مایکوریزا آرباسکولار بر برخی صفات کمی و کیفی علوفه و سودمندی کشت مخلوط جو با خلر اجرا شد.

معرفی کردند. علاوه بر این، دباغ محمدی‌نسب و همکاران (۲۰۱۵) نیز با بررسی سودمندی کشت مخلوط ذرت و لوبیا به همراه کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از کود زیستی به جای کود شیمیایی سبب افزایش مجموع عملکرد نسبی و نسبت برابری زمین گردید که بیانگر افزایش کارایی کشت مخلوط ذرت و لوبیا با استفاده از کودهای زیستی است. چپاگین و رایزمن (۲۰۱۴) گزارش کردند با کشت مخلوط کارآیی استفاده از زمین در مقایسه با کشت خالص ۳۲-۱۲ درصد افزایش یافت. همچنین مشاهده کردند تعداد گره و میزان تثبیت نیتروژن نخود فرنگی (*Pisum sativum L.*) در کشت مخلوط با جو (*Hordeum vulgare L.*) به ترتیب ۲۷-۴۵ و ۹-۱۷ درصد بالاتر از کشت خالص نخود فرنگی بود، که این امر منجر به استفاده بیشتری از منابع نیتروژن در کشت مخلوط (۳۱-۱۷ درصد بیشتر از کشت خالص) شد.

در چند دهه اخیر مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی جهت افزایش عملکرد، مشکلات بسیاری را از جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی به وجود آورده است. یکی از راه‌های رفع این مشکل، راهکارهایی مبتنی بر استفاده از اصول درازمدت کشاورزی اکولوژیک در بوم نظام‌های زراعی می‌باشد (دباغ محمدی‌نسب و همکاران ۲۰۱۵). آرودا و همکاران (۲۰۱۳) عنوان کردند یکی از ارکان اساسی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی با هدف حذف یا کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است. قارچ‌های مایکوریزا آرباسکولار، یکی از انواع کودهای زیستی بوده و جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم‌نظام‌های طبیعی می‌باشند. کازاتو و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند کیفیت علوفه تریتیکاله بر اثر تلقیح با قارچ میکوریزا، بهبود چشمگیری نسبت به شاهد داشته است. علاوه بر این شواهد واضحی وجود دارد که قارچ AMF می‌تواند به گیاهان برای بدست آوردن عناصری همچون روی، فسفر، آمونیوم، نیترات، مس و پتاسیم کمک کند

مواد و روش

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۶ به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با ارتفاع از سطح دریا ۱۴۷۷ متر، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی اجرا شد. در این آزمایش به‌طور همزمان جو (*Hordeum vulgare* L) رقم والفجر و خلر (*Lathyrus sativus* L) رقم محلی، با روش کشت درهم و نسبت‌های مختلف بذر دو گیاه (به صورت جایگزینی) در اول اردیبهشت‌ماه کشت شدند. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک (جدول ۱) تهیه و نسبت به اندازه‌گیری عناصر غذایی ماکرو و میکرو در آن اقدام شد. براساس نتایج تجزیه خاک، توصیه کودی شامل ۲۱ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از کود سوپرفسفات تریپل با ۴۶ درصد اکسید فسفر، ۸ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن بود. کود سوپرفسفات تریپل در پاییز همزمان با شخم عمیق به زمین داده شد و کود اوره هم در زمان کشت به عنوان استارتر مصرف شد. تیمارها شامل الگوهای مختلف کشت (کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، نسبت ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو) در حالت تلقیح با قارچ *Glomus intraradices* و عدم تلقیح بودند. گونه قارچ مایکوریزایی مورد استفاده در این تحقیق از کلینیک گیاه‌پزشکی اسدآباد همدان تهیه شد. برای تلقیح جو و خلر با قارچ مایکوریزا قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ مایکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود، در زیر بذر به مقدار ۸۰ گرم در هر خط کاشت استفاده شد. تراکم جو و خلر به ترتیب ۳۰۰ و ۲۵۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. در هر کرت ۱۰ خط به فواصل ۲۰ سانتی‌متر و با طول ۴ متر کشت شد. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گرفت. آبیاری‌های بعدی برحسب شرایط منطقه و هر ۱۰ روز یک‌بار به

طریق قطره‌ای صورت گرفت. برای اطمینان از کلونیزه شدن قارچ، بیست روز بعد از کشت به‌طور تصادفی در تیمارهای حاوی قارچ، ریشه‌های گیاهان را خارج و به آهستگی تکان داده تا اینکه ریشه‌ها کاملاً عاری از خاک شدند. سپس جهت تعیین میزان کلونیزاسیون ریشه، از روش فیلپس و هایمن (۱۹۷۰) استفاده شد. جو و خلر به ترتیب در مراحل خمیری و اواسط گلدهی در دهم تیرماه در سطحی معادل ۴ مترمربع برداشت و بعد از تفکیک، تا ثابت شدن وزن، گیاهان در سایه نگهداری شدند و سپس عملکرد علوفه خشک هر یک از گیاهان و عملکرد کل علوفه خشک تعیین گردید. جهت سنجش پروتئین خام و خاکستر علوفه تولیدی هر کرت (خالص و مخلوط)، ۱۰ گرم از هر کرت به نسبت وزن خشک تولیدی انتخاب، مخلوط و سپس آسیاب شد. میزان خاکستر علوفه با استفاده از روش طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک براساس روش ارائه شده توسط جعفری و همکاران (۲۰۰۳) در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و با استفاده از دستگاه Perten مدل Inframatic 8620 (ساخت کشور سوئد) اندازه‌گیری شد. همچنین درصد نیتروژن با دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری و سپس با ضرب درصد نیتروژن در عدد ۶/۲۵ میزان پروتئین خام علوفه تعیین شد (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۰۶). عملکرد پروتئین خام کل از حاصل‌ضرب درصد پروتئین خام هر یک از گیاهان در عملکرد ماده خشک آن‌ها به دست آمد.

همچنین به منظور ارزیابی کشت مخلوط از شاخص‌های زیر استفاده شد.

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین بر اساس سطح زیر کشت مشخص می‌کند که برای بدست آوردن محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار از زمین به صورت خالص مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱).

کاهش یا افزایش واقعی عملکرد

برای ارزیابی هر یک از گیاهان در کشت مخلوط و همچنین رقابت بین و درون‌گونه‌ای اجزای مخلوط از شاخص کاهش یا افزایش واقعی عملکرد استفاده گردید. این شاخص میزان کاهش یا افزایش واقعی عملکرد هر یک از اجزای مخلوط را در مقایسه با کشت خالص مربوطه براساس نسبت‌های کشت نشان می‌دهد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱).

$$AYL = AYL_b + AYL_g \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$AYL_b = ((Y_{bg}/Z_{bg})/(Y_{bb}/Z_{bb})) - 1 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$AYL_g = ((Y_{gb}/Z_{gb})/(Y_{gg}/Z_{gg})) - 1 \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

در این رابطه AYL_b و AYL_g به ترتیب کاهش یا افزایش واقعی عملکرد کل، کاهش یا افزایش واقعی عملکرد جو و خرد در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد. مقادیر مثبت و منفی شاخص سودمندی و یا عدم مزیت کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص گیاهان را نشان می‌دهد. به نوعی افزایش و یا کاهش محصول هر یک از گیاهان را در مقایسه با محصول پیش‌بینی شده ارزیابی می‌کند و گیاهان غالب و مغلوب را در کشت مخلوط مشخص می‌سازد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱).

جهت تعیین سودمندی اقتصادی کشت‌های مخلوط از شاخص‌های بهره‌وری سیستم و سودمندی مالی طبق روابط زیر استفاده شد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱ و لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱)

$$SPI = (Y_{bb}/Y_{gg}) \times (Y_{bg} + Y_{gb}) \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$MAI = (Y_{bg} \times P_b + Y_{gb} \times P_g) \times (LER - 1/LER) \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

$$LER = (Y_{bg}/Y_{bb}) + (Y_{gb}/Y_{gg}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه Y_{bg} و Y_{gb} به ترتیب عملکرد جو و خرد در کشت مخلوط و Y_{bb} و Y_{gg} به ترتیب عملکرد جو و خرد در کشت خالص می‌باشند.

نسبت رقابت

شاخصی مهم برای شناسایی درجه رقابت یک گیاه در مقابل گیاه دیگر است (بانیک و همکاران ۲۰۰۶).

$$CR_b = (LER_b/LER_g) \times (Z_{gb}/Z_{bg}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$CR_g = (LER_g/LER_b) \times (Z_{bg}/Z_{gb}) \quad (\text{رابطه ۳})$$

Y_{bg} و Y_{gb} به ترتیب عملکرد جو و خرد در کشت مخلوط، Y_{gg} و Y_{bb} به ترتیب عملکرد جو و خرد در کشت خالص، Z_{bg} و Z_{gb} به ترتیب نسبت جو و خرد در کشت مخلوط.

ضریب ازدحام نسبی

همچنین برای تعیین میزان رقابت بین گیاهان و غالبیت نسبی یک گونه بر گونه دیگر در کشت مخلوط، از شاخص ضریب ازدحام نسبی استفاده شد (دباغ محمدی-نسب و همکاران ۲۰۱۱).

$$K = K_b \times K_g \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$K_b = (Y_{bg} \times Z_{gb}) / (Y_{bb} - Y_{bg}) \times (Z_{bg}) \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$K_g = (Y_{gb} \times Z_{bg}) / (Y_{gg} - Y_{gb}) \times (Z_{gb}) \quad (\text{رابطه ۶})$$

K_b و K_g به ترتیب ضریب ازدحام نسبی جو و خرد.

غالبیت

ضریب غالبیت، میزان غالبیت گیاهان را نسبت به همدیگر در کشت مخلوط نشان می‌دهد (هاگارد نیلسن و همکاران ۲۰۰۹).

$$A_b = (Y_{bg}/Y_{bb} \times Z_{bg}) - (Y_{gb}/Y_{gg} \times Z_{gb}) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$A_g = (Y_{gb}/Y_{gg} \times Z_{gb}) - (Y_{bg}/Y_{bb} \times Z_{bg}) \quad (\text{رابطه ۸})$$

در این رابطه A_b و A_g به ترتیب ضریب غالبیت برای جو و خرد در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد.

جدول ۱- نتیجه آزمون خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	سیلت (%)	شن (%)	رس (%)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	اسیدیته	نیترژن (%)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی (%)	منگنز (mg.kg ⁻¹)	آهن (mg.kg ⁻¹)	روی (mg.kg ⁻¹)
رسی سیلتی	۵۰	۱۰	۴۰	۰/۸۱	۸/۱۱	۰/۰۸	۷/۵۶	۳۴۲	۰/۹۴	۷/۷۶	۷/۴۶	۱/۲۰

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک جو و نسبت آن

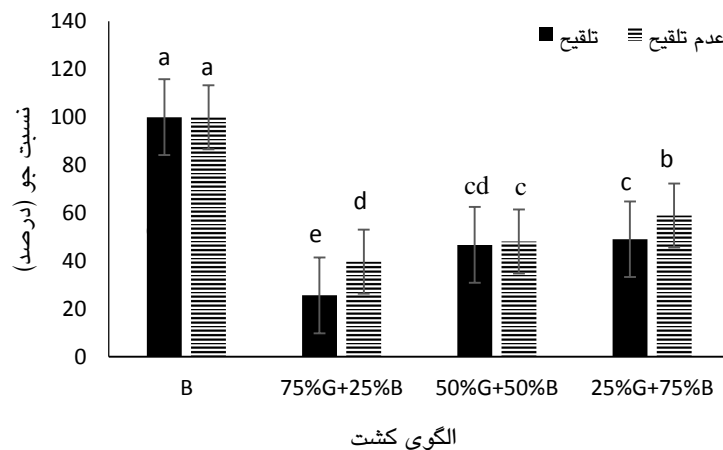
عملکرد علوفه خشک جو و سهم آن در کشت مخلوط تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که هر چه سهم جو در الگوهای کشت افزایش یابد عملکرد علوفه خشک آن نیز افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱). به طوری که بیشترین میزان عملکرد علوفه خشک جو به تیمارهای کشت خالص تلقیح شده (۴۲۵ گرم در متر مربع) و تلقیح نشده (۳۹۴/۳ گرم در متر مربع) آن مربوط بود. الگوهای تلقیح شده ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو (۲۷۷/۸ گرم در متر مربع)، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو (۲۷۷/۸۳ گرم در متر مربع) و تیمار تلقیح نشده ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو (۲۷۵/۰۳ گرم در متر مربع) در رتبه بعدی واقع شدند. کمترین میزان علوفه خشک جو نیز به الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۱۷۵/۰۳) تعلق داشت (شکل ۲). قارچ‌های مایکوریزا پس از همزیست شدن با گیاهان میزبان بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه اثر می‌گذارند و موجب افزایش رشد و نمو می‌شوند. یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاهانی که با مایکوریزا تلقیح می‌شوند، این است که این قارچ‌ها موجب افزایش فتوسنتز در گیاه میزبان می‌شوند. دلیل این امر را به افزایش غلظت نیترژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی و افزایش راندمان فسفر فتوسنتزی، افزایش فعالیت آنزیم‌های مانند نیترات ریداکتاز، نیترژناز و گلوتامین سینتتاز در گیاه میزبان نسبت دادند (استردا-لونا و دیویس ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد قارچ مایکوریزا

آربوسکولار به واسطه انشعابات میسیلیومی خود سطحی اضافه را برای جذب آب و مواد غذایی بوجود آورده و در نتیجه دریافت آب و مواد غذایی افزایش و به تبع آن فرآیند فتوسنتز و تولید ماده خشک نیز بهبود می‌یابد (ویسانی و همکاران ۲۰۱۶). همچنین بومسما و وین (۲۰۰۸) افزایش عملکرد علوفه ذرت را به افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام‌های گیاهی و همچنین افزایش فتوسنتز گیاه که منجر به ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتری می‌شود، نسبت دادند. ویسانی و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند کاربرد گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا ممکن است از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها (نفوذ میسلیوم قارچ‌ها و افزایش سطح تماس با خاک) موجب افزایش دسترسی گیاهان لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و شوید (*Anethum graveolens* L.) به آب و مواد غذایی شده و از این طریق، افزایش وزن خشک اندام‌های مختلف و عملکرد گیاه را باعث گردیده باشد. حمزه‌بی و صادقی (۲۰۱۳) بیان کردند که قارچ مایکوریزا از طریق برقراری همزیستی با ریشه گیاه سورگوم، میتواند فسفر و آب را از خاک جذب و آن را در اختیار گیاه قرار دهد و در نتیجه رشد گیاه بهبود یابد. علاوه بر این، هنگامی که لگوم‌ها همراه با گیاهان دیگر به صورت مخلوط کشت می‌شوند، نیترژن تثبیت شده توسط این دسته از گیاهان در خاک می‌تواند به گیاه همراه در کشت مخلوط منتقل و در نتیجه منجر به افزایش محصول آن گردد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس و مقایسات گروهی نسبت و عملکرد علوفه در کشت مخلوط جو- خربار
کاربرد قارچ مایکوریزا

میانگین مربعات		درجه آزادی		منابع تغییر
سهم خربار	سهم جو	عملکرد علوفه خربار	عملکرد علوفه جو	
۲۳/۳۳ ^{ns}	۲۳/۳۳ ^{ns}	۱۰۲۵۶/۰۵ ^{ns}	۱۷۵۷/۵ ^{ns}	تکرار
۱۵۵۱/۶۹ ^{**}	۲۲۳۳۵/۱۲ ^{**}	۷۰۳۴۳۱/۶ ^{**}	۲۱۰۱۷/۰۰ ^{**}	تیمار
۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{**}	۸۵۰/۳ [*]	۱۴۱۰/۶ ^{ns}	T1 vs T5
۳۶۸۳/۲ ^{**}	۷۹۷۶/۲ ^{**}	۱۳۱۰۳۸۳/۹ ^{**}	۷۴۰۷۴/۶ ^{**}	T1 vs T2+T3+T4
۵۳۸۲/۱ ^{**}	۵۸۷۳/۱ ^{**}	۲۳۵۱۸۴۷/۱ ^{**}	۴۵۰۶۴/۲ ^{**}	T5 vs T6+T7+T8
۲۹۹/۹ ^{**}	۲۹۹/۹ ^{**}	۳۹۹۲۳۴/۳ ^{**}	۲۲۶۹/۸ ^{ns}	T2 vs T6
۲/۹ ^{ns}	۲/۹ ^{ns}	۶۰۳۴/۴ ^{ns}	۱۱/۷ [*]	T3 vs T7
۱۴۴/۳ [*]	۱۴۴/۳ [*]	۱۰۹۱۹۳/۴ [*]	۱۰۴/۱ ^{ns}	T4 vs T8
۳۲۱/۲ ^{**}	۳۲۱/۲ [*]	۳۶۰۵۱۶/۵ ^{**}	۳۸۵/۴ ^{ns}	T2+T3+T4 vs T6+T7+T8
۱۷/۲۰۷	۱۷/۲۰۷	۱۸۴۴۷/۷۱	۱۱۵۹/۲۷	خطای آزمایش
۶/۲۴	۷/۰۹	۱۱/۹۱	۱۱/۸	ضریب تغییرات (درصد)

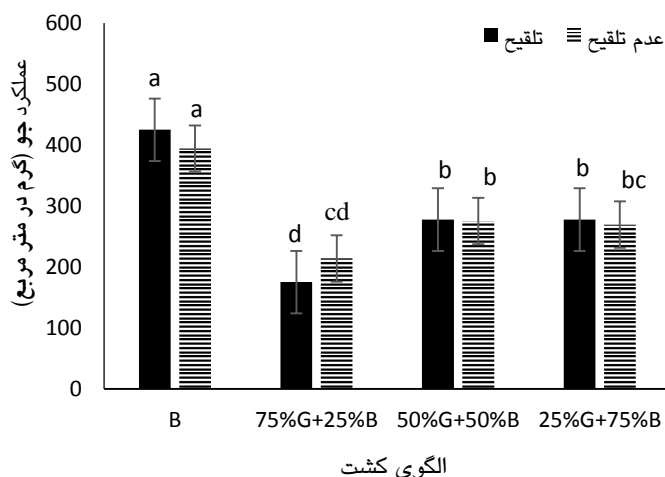
ns, ** و * به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد. T1: کشت خالص جو با مایکوریزا، T2: کشت خالص خربار با مایکوریزا، T3: ۷۵ درصد خربار + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا، T4: ۵۰ درصد خربار + ۵۰ درصد جو با مایکوریزا، T5: ۲۵ درصد خربار + ۷۵ درصد جو با مایکوریزا، T6: کشت خالص جو بدون مایکوریزا، T7: کشت خالص خربار بدون مایکوریزا، T8: ۷۵ درصد خربار + ۲۵ درصد جو بدون مایکوریزا، T9: ۵۰ درصد خربار + ۵۰ درصد جو بدون مایکوریزا، T10: ۲۵ درصد خربار + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا.



شکل ۱- نسبت جو در الگوهای مختلف کشت

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

B: جو، G: خربار



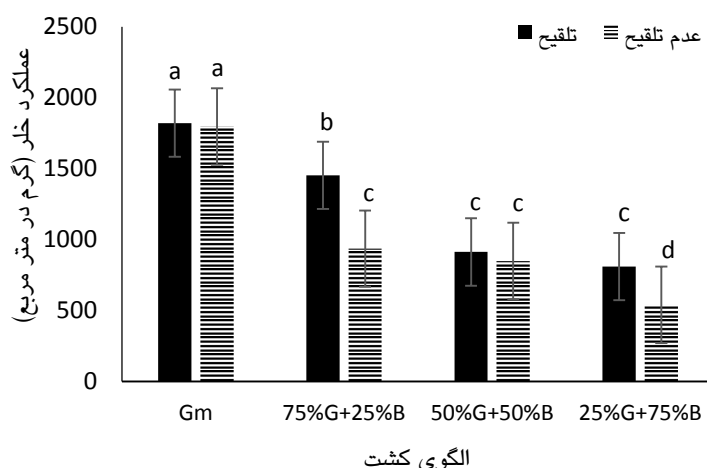
شکل ۲- عملکرد علوفه خشک جو در الگوهای مختلف کشت

حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می باشد. B: جو، G: خلر

عملکرد علوفه خشک خلر و نسبت آن

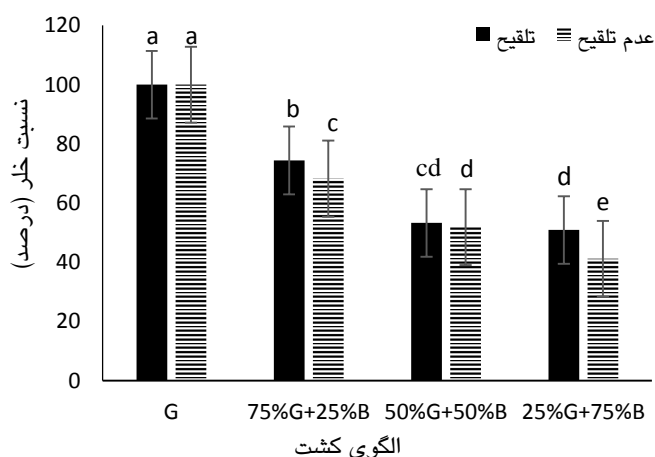
عملکرد علوفه خشک خلر و سهم آن در کشت مخلوط تحت تأثیر معنی دار الگوهای مختلف کشت واقع شدند (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین علوفه خشک خلر در الگوهای خالص خلر تلقیح شده (۱۸۲۱/۴) گرم در متر مربع) و عدم تلقیح (۱۷۹۷/۶۲) گرم در متر مربع) و بعد از آن در الگوی ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۱۴۵۲/۴۷) گرم در متر مربع) مشاهده شد. کمترین میزان عملکرد علوفه خلر نیز به الگوی ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۵۳۹/۸۱) گرم در متر مربع) تعلق داشت (شکل ۳). همچنین نتایج نشان داد که با کاربرد مایکوریزا، سهم خلر در کشت مخلوط افزایش و به تبع آن عملکرد علوفه نیز افزایش پیدا کرد (شکل ۴). از آنجایی که قارچ مایکوریزا باعث تحریک ترشح هورمون‌ها و افزایش جذب فسفر گیاه می‌شود و با توجه به نقش اکسین در انگیزش ریشه‌های نابجا و نقش فسفر در بهبود ریشه‌زایی و افزایش عمق ریشه‌ها، افزایش عملکرد علوفه خشک خلر در نتیجه تلقیح قارچ مایکوریزا قابل پیش‌بینی است (دروگه و همکاران ۲۰۰۷).

همچنین می‌توان بیان کرد مایکوریزا از طریق بهبود گره‌زایی در نتیجه تأمین فسفر مورد نیاز باعث افزایش تثبیت نیتروژن و به تبع آن موجب افزایش رشد و نمو گیاه خلر شده است (استردا- لونا و دیویس ۲۰۰۳). در تطابق با این نتایج، تانگ ژیان و همکاران (۲۰۱۰) افزایش عملکرد ماش (*Vigna radiate* L.) در کشت مخلوط با برنج را به افزایش تعداد و وزن خشک گره‌های آن بر اثر تلقیح مایکوریزایی نسبت دادند. به طوری که میزان نیتروژن، فسفر و آهن در گره‌های ماش تلقیح شده با قارچ مایکوریزا به ترتیب ۸۰/۱۴، ۶۹/۵۴ و ۳۶/۶۲ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت. قارچ مایکوریزا ارتباط آب با گیاه میزبان را با افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، کاهش مقاومت روزنه‌ای با تغییر در تعادل هورمون‌های گیاهی بهبود می‌بخشد. بنابراین، از این طریق محدودیت‌های حاصل از خشکی را می‌تواند برطرف و باعث افزایش عملکرد شود (باوم و همکاران ۲۰۱۵). کمائی و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند اثر کاربرد انواع میکروارگانیسم و کود بر عملکرد علوفه خشک ماشک گل خوشه‌ای معنی دار بود و تلقیح دوگانه کود زیستی ریزوبیوم و مایکوریزا نسبت به شاهد ۳۷/۸۹ درصد افزایش عملکرد داشت.



شکل ۳- عملکرد خلر در الگوهای مختلف کشت

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. B: جو، G: خلر



شکل ۴- نسبت خلر در الگوهای مختلف کشت

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. B: جو، G: خلر

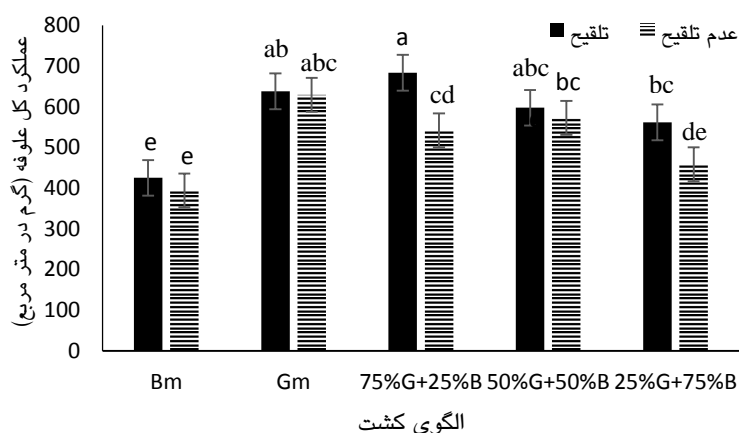
عملکرد کل علوفه

نشده (۳۹۴/۳۳ گرم در متر مربع) و جو تلقیح شده با مایکوریزا (۴۲۵ گرم در متر مربع) تعلق داشت (شکل ۵). همچنین نتایج نشان داد که تلقیح با مایکوریزا باعث افزایش عملکرد کل علوفه شده، به طوری که تلقیح با مایکوریزا در الگوهای کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو به ترتیب موجب افزایش ۷، ۱/۲۷، ۲۶، ۴/۳۷ و ۲۲ درصد عملکرد کل علوفه نسبت به الگوهای بدون تلقیح شده است. کاربرد گونه‌های مختلف قارچ مایکوریزا از طریق افزایش

عملکرد کل علوفه تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کاشت قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد کل علوفه (۶۸۳/۴ گرم در متر مربع) در الگوی ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده بدون تفاوت معنی‌دار با الگوهای خالص خلر تلقیح شده (۶۳۷/۵ گرم در متر مربع)، خالص خلر بدون تلقیح (۶۲۹/۱۶ گرم در متر مربع) و الگوی ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو تلقیح شده (۵۹۷/۳ گرم در متر مربع) مشاهده شد. کمترین عملکرد کل علوفه نیز به الگوهای کشت خالص جو تلقیح

سورگوم را به افزایش سرعت فتوسنتزی در گیاهان میکوریزایی نسبت دادند. افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی به دلیل افزایش وزن مخصوص برگ، فعالیت بیشتر آنزیم روبیسکو و میزان انتقال الکترون نسبت داده می‌شود (لمان و همکاران ۲۰۱۴). علاوه بر این، عملکرد در کشت مخلوط به دلیل استفاده مؤثرتر از نور، اثرات آللوپاتیک بر روی علف‌های هرز و انتقال نیتروژن تثبیت شده به گیاه همراه (استولز و نادیاو ۲۰۱۴) افزایش می‌یابد. از دلایل افزایش رشد در سیستم‌های کشت مخلوط لگوم با غیرلگوم انتقال مستقیم و غیرمستقیم نیتروژن تثبیت شده توسط گونه لگوم به غیرلگوم می‌باشد (هاگارد نیلسن و همکاران ۲۰۰۹). همچنین افزایش تولید گیاهان علوفه‌ای در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را می‌توان به کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و تفاوت در شبکه ریشه این گیاهان در استفاده مطلوب از شرایط محیطی نسبت داد. گیاه جو با ریشه‌های سطحی و افشان در مجاورت گیاهان علوفه‌ای دارای ریشه‌های عمیق باعث می‌شود که ریشه این گیاهان در طبقات مختلف خاک پراکنده و در مجموع آب و مواد غذایی بیشتری از یک حجم معینی خاک جذب کنند (لامعی هروانی ۲۰۱۳). همچنین لاتاتی و همکاران (۲۰۱۶) افزایش بیوماس ریشه و اندام هوایی نرت در کشت مخلوط را به اثر مساعدتی و مکملی باقلا نسبت دادند.

سطح جذب ریشه‌ها (نفوذ میسلیم قارچ‌ها و افزایش سطح تماس با خاک) موجب افزایش دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی شده و از طریق تأثیر بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه، افزایش وزن خشک و عملکرد گیاه را باعث می‌شوند (ویسانی و همکاران ۲۰۱۶). علاوه بر این، قارچ میکوریز جذب عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر و عناصر کم‌مصرف نظیر روی و مس را بهبود می‌بخشد و باعث تحریک رشد و کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاه میزبان می‌شوند و از طریق افزایش زیست توده با فراهم کردن عناصر غذایی توسط هیف‌ها و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلیاسیون مواد فتوسنتزی در ساقه به دلیل افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی، می‌توانند با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن، عملکرد گیاه را بهبود ببخشند (بومسما و وین ۲۰۰۸). حمزه‌ئی و صادقی‌می‌آبادی (۲۰۱۳) با تلقیح سورگوم با دو گونه قارچ موسه و اینترادیسز عنوان کردند که بیشترین وزن خشک (۱۷۶۲ گرم بر متر مربع) به تیمار تلقیح شده با قارچ گونه موسه تعلق داشت. همچنین آنان بیان کردند که گونه‌های قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار بدون تلقیح وزن خشک کل را افزایش دادند، ولی بین گونه موسه و اینترادیسز از نظر وزن خشک کل تفاوتی وجود نداشت. آنان بهبود عملکرد علوفه



شکل ۵- عملکرد کل علوفه در الگوهای مختلف کشت

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خمر.

خاکستر علوفه

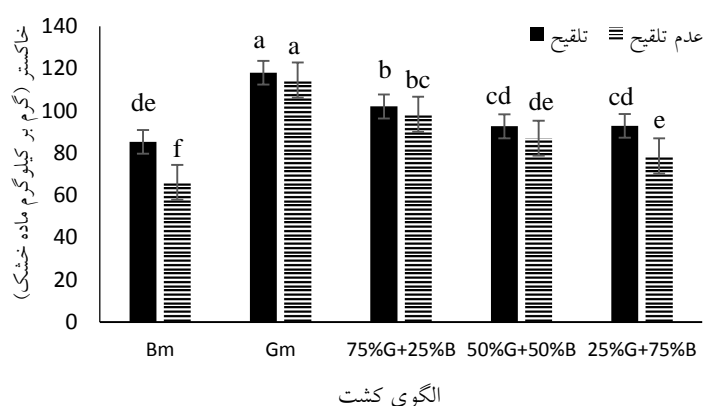
درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد معدنی موجود (کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم، روی و منگنز) در بافت-های گیاهی است هر چه درصد خاکستر بیشتر باشد گیاه مواد معدنی بیشتری را در اختیار دام قرار می‌دهد و لذا ارزش غذایی علوفه برای دام بیشتر می‌شود (یلماز و همکاران ۲۰۱۵). نتایج تجزیه واریانس و مقایسات گروهی (جدول ۳) نشان داد که بین تیمارهای مختلف آزمایش از لحاظ میزان خاکستر تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بیشترین میزان خاکستر به الگوی کشت خالص خلر تلقیح شده (۱۱۸ گرم در متر مربع) و خلر تلقیح نشده (۱۱۴/۵ گرم در متر مربع) تعلق داشت. سپس الگوهای ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۱۰۲ گرم در متر مربع) و ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو بدون تلقیح (۹۸/۲۷ گرم در متر مربع) قرار داشتند. کم‌ترین میزان خاکستر به کشت خالص جو تلقیح نشده (۶۶/۱۳ گرم در متر مربع) و الگوی کشت ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون تلقیح (۷۸/۵۷ گرم در متر مربع) تعلق داشت (شکل ۶). همچنین مشاهده شد تلقیح با مایکوریزا در الگوهای کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو نسبت به عدم تلقیح، به ترتیب ۲۸/۸۷، ۳/۵، ۵/۷۴ و ۱۷/۹۴ درصد میزان خاکستر علوفه را افزایش داد. اورتاس و همکاران (۲۰۱۱) افزایش خاکستر را به جذب بهتر عناصر غذایی، افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، تعداد بیشتر و بزرگتر دستجات غلاف آوندی کلروپلاست در برگ و کاهش مقاومت روزنه‌ای با تغییر در تعادل هورمونی در نتیجه تلقیح مایکوریزایی نسبت دادند. قارچ‌های مایکوریزا با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم تحرک فسفر، روی، مس و سایر عناصر معدنی افزایش داده و در نتیجه میزان

خاکستر گیاه افزایش پیدا می‌کند (بومسما و وین ۲۰۰۸). همچنین میکروارگانیزم‌ها با استقرار در منطقه ریزوسفر از ترشحات ریشه استفاده نموده و با تغییر pH و یا ترشح آنزیم‌ها، شرایط را برای تبدیل فسفر نامحلول به-شکل قابل استفاده فراهم می‌سازند (باوم و همکاران ۲۰۱۵). به‌علاوه این ریزوسازواره‌ها نقش مهمی در بالابردن همبستگی بین جذب عناصری مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم و نیتروژن دارند که باعث افزایش میزان خاکستر علوفه خواهند شد. مهرورز و چایی‌چی (۲۰۰۸) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ‌های مایکوریزا به‌صورت منفرد و تلفیقی می‌توانند باعث افزایش درصد خاکستر شوند. علاوه بر این با افزایش سهم خلر در الگوهای کشت، درصد خاکستر نیز افزایش یافت. استولز و نادیاو (۲۰۱۴) در کشت مخلوط ذرت با باقلا گزارش کردند که بیشترین (۵۴/۲) گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کمترین (۳۵/۲) گرم بر کیلوگرم ماده خشک) میزان خاکستر علوفه به ترتیب به کشت خالص باقلا بدون مصرف کود نیتروژن و کشت خالص ذرت با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن مربوط بود. علوفه حاصل از مخلوط ذرت و باقلا با کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه با میانگین ۴۴/۱ گرم بر کیلوگرم ماده خشک در رتبه وسط قرار گرفت. همچنین کیانی و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که بیشترین و کمترین میزان خاکستر به ترتیب در کشت‌های خالص رازیانه (۹/۸۸ درصد) و جو (۷/۴ درصد) حاصل شد. آن‌ها علت را این‌گونه بیان کردند که در بین دو گیاه جو و رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.)، میزان خاکستر رازیانه بیشتر بود به نوعی که با افزایش نسبت رازیانه در کشت مخلوط، بر میزان خاکستر علوفه افزوده شد. نخزری مقدم و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که کشت مخلوط، درصد خاکستر علوفه را نسبت به کشت خالص گیاه دارای خاکستر کم افزایش و نسبت به کشت خالص گیاه دارای خاکستر زیاد، کاهش می‌دهد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس و مقایسات گروهی عملکرد کل علوفه خشک، عملکرد کل پروتئین خام، خاکستر و پروتئین خام در کشت مخلوط جو- خلر با کاربرد قارچ میکوریزا

میانگین مربعات		درجه آزادی		منابع تغییر
خاکستر	پروتئین خام	عملکرد کل پروتئین خام	عملکرد کل علوفه خشک	
۲۰/۱۱ ^{ns}	۵/۵۰۸ ^{ns}	۲۲/۷۴۵ ^{ns}	۸۹۱/۱۵ ^{ns}	۲ تکرار
۷۴۰/۱۶ ^{**}	۹۱۶۶/۱ ^{**}	۵۶۴۱/۶۱ ^{**}	۲۷۶۳۱/۴ ^{**}	۹ تیمار
۵۵۱ ^{**}	۲۶۶/۶ ^{ns}	۸۷/۹ ^{ns}	۱۴۱۰/۶ ^{ns}	۱ T ₁ vs T ₆
۱۸ ^{ns}	۴۶۲/۸ ^{ns}	۲۵۴/۲ ^{ns}	۱۰۴/۱ [*]	۱ T ₂ vs T ₇
۲۱/۲ ^{ns}	۱۰/۶ ^{ns}	۱۳۷۰/۴ ^{**}	۳۰۱۰۴/۱ ^{**}	۱ T ₃ vs T ₈
۴۶/۴ ^{ns}	۱۳۴/۴ ^{ns}	۱۴۰/۱ ^{ns}	۹۳۷/۴ ^{ns}	۱ T ₄ vs T ₉
۳۰۳/۸ ^{**}	۶۳۰/۳ [*]	۹۵۳/۵ ^{**}	۱۵۸۴۱/۴ ^{ns}	۱ T ₅ vs T ₁₀
۲۴۸/۵ ^{**}	۲۳۸۳۴/۲ ^{**}	۱۳۹۰۰ ^{**}	۸۰۳۳۴/۴ ^{**}	۱ T ₁ vs T ₃ +T ₄ +T ₅
۱۰۷۱/۴ ^{**}	۲۴۹۸۵/۱ ^{**}	۹۳۷۶ ^{**}	۳۷۹۱۴/۵ ^{**}	۱ T ₆ vs T ₈ +T ₉ +T ₁₀
۱۱۰۷/۷ ^{**}	۷۲۳۶/۳ ^{**}	۳۴۶۵/۸ ^{**}	۱۲۴۷/۲ ^{ns}	۱ T ₂ vs T ₃ +T ₄ +T ₅
۱۵۸۹/۳ ^{**}	۵۶۳۰ ^{**}	۵۱۶۸/۸ ^{**}	۲۴۸۱۶/۷ [*]	۱ T ₇ vs T ₈ +T ₉ +T ₁₀
۲۷۷/۶ ^{**}	۵۳۲/۴ ^{ns}	۲۱۱۹/۴ ^{**}	۳۶۲۹۷/۱ ^{**}	۱ T ₃ +T ₄ +T ₅ vs T ₈ +T ₉ +T ₁₀
۲۸/۵۵	۱۴۳/۵۵	۱۰۹/۳۱	۳۱۱۳/۵۴	۱۸ اشتباه آزمایشی
۵/۷۱	۷/۲۴	۱۰/۹۶	۱۰/۱۴	ضریب تغییرات (درصد)

ns, ** و * به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد. T1: کشت خالص جو با میکوریزا، T2: کشت خالص خلر با میکوریزا، T3: ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با میکوریزا، T4: ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو با میکوریزا، T5: ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو با میکوریزا، T6: کشت خالص جو بدون میکوریزا، T7: کشت خالص خلر بدون میکوریزا، T8: ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو بدون میکوریزا، T9: ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو بدون میکوریزا، T10: ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون میکوریزا.



شکل ۶- میانگین خاکستر علوفه در الگوهای مختلف کشت

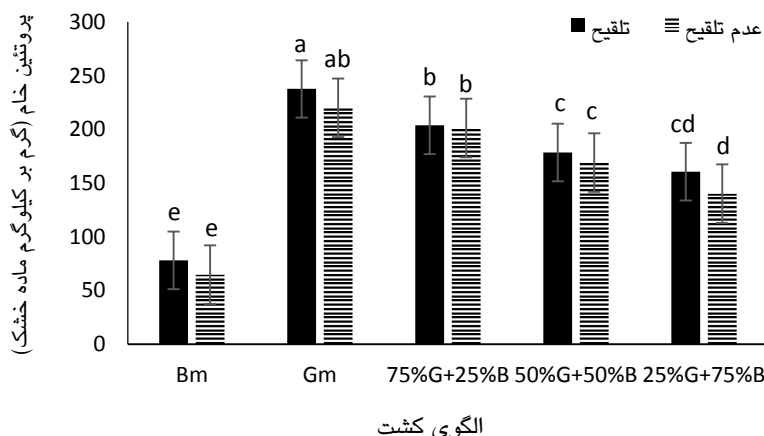
حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار بین الگوهای کشت بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می باشد. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر

پروتئین خام کل

تجمع پروتئین خام در بافت‌های گیاهی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی گیاهان علوفه‌ای می‌باشد که همواره برای ارزیابی کیفیت علوفه به‌ویژه در نظام‌های کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج بدست آمده از جدول تجزیه واریانس و مقایسات گروهی (جدول ۳) نشان داد که بین الگوهای مختلف کشت از لحاظ پروتئین خام در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بالاترین میزان پروتئین خام به الگوهای کشت خالص خمر تلقیح (۲۳۷/۷ گرم در متر مربع) و خمر تلقیح نشده (۲۲۰/۱ گرم در متر مربع) مربوط بود. پس از آن الگوهای ۷۵ درصد خمر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۲۰۳/۹ گرم در متر مربع) و ۷۵ درصد خمر + ۲۵ درصد جو بدون تلقیح (۲۰۱/۲ گرم در متر مربع) قرار داشتند. کم‌ترین میزان پروتئین خام نیز به کشت خالص جو تلقیح نشده (۶۴/۷۳ گرم در متر مربع) و کشت خالص جو تلقیح شده با مایکوریزا (۷۸/۰۷ گرم در متر مربع) تعلق داشت (شکل ۷). به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت قارچ مایکوریزا میزان پروتئین خام علوفه را افزایش داده است، به‌طوری‌که تلقیح با مایکوریزا در الگوهای کشت خالص جو، خالص خمر، ۷۵ درصد خمر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خمر + ۵۰ درصد جو، و ۲۵ درصد خمر + ۷۵ درصد جو، میزان پروتئین خام را به‌ترتیب ۲۱/۸۷، ۷/۷۲، ۰/۹۹، ۵/۳۲ و ۱۴/۲۸ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش داده است. علاوه بر این، در نسبت‌های کاشت با افزایش سهم جو و در نتیجه افزایش میزان فیبر خام، درصد پروتئین خام علوفه کاهش می‌یابد. زیرا بین درصد پروتئین خام و درصد فیبر رابطه معکوسی وجود دارد (صادق‌پور و همکاران ۲۰۱۳). نقی-زاده و گلوی (۲۰۱۳) نتیجه گرفتند با کاهش سهم ذرت و

افزایش سهم خمر در مخلوط تا رسیدن به ۱۰۰ درصد خمر، عملکرد کیفی علوفه از طریق افزایش میزان پروتئین خام افزایش یافت. استولز و نادیاو (۲۰۱۴) مشاهده کردند که میزان پروتئین خام علوفه حاصل از کشت خالص باقلا و مخلوط باقلا و ذرت با کاربرد ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن به‌ترتیب ۲۲۰/۶۳ و ۶۹/۸۴ درصد بیشتر از کشت خالص ذرت با کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن بود. همچنین نظری و همکاران (۲۰۱۴) نیز کمترین پروتئین خام را در کشت خالص ذرت بدون گیاه پوششی مشاهده کردند و دلیل آن را به افزایش زیست توده علف‌های هرز در این تیمار و نبود یک گیاه لگوم که سبب افزایش نیتروژن خاک گردد، نسبت دادند. زیرا با افزایش جذب نیتروژن، سطح برگ و نسبت برگ به ساقه افزایش در نتیجه میزان پروتئین و بخش‌های خشبی و لیگنینی علوفه به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد (هاوگارد نیلسن و همکاران ۲۰۰۹ و لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۰۶). در تطابق با این نتایج، سایبا و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که علوفه جو تلقیح شده با مایکوریزا دارای پروتئین خام بیشتر و ADF^۱ و ADL^۱ کمتری نسبت به عدم تلقیح بود. دلیل آن‌را به افزایش هدایت الکتریکی ریشه، بهبود تنظیم روزنه‌ای، تنظیم اسمزی گیاه میزبان و تماس بیشتر ریشه با منافذ خاک از طریق ریشه‌ها نسبت دادند. همچنین از آنجایی‌که غلظت پروتئین با غلظت نیتروژن گیاه ارتباط مستقیم دارد، جذب بیشتر نیتروژن در کشت مخلوط می‌تواند موجب افزایش غلظت پروتئین در کشت مخلوط گردد. هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی کشت مخلوط جو و نخود (*Pisum sativum* L.) در حدود ۳ برابر میزان تجمع نیتروژن در کشت خالص جو می‌باشد و افزایش تجمع نیتروژن به افزایش درصد پروتئین خام منجر می‌گردد.

^۱ - Acid Detergent Fiber



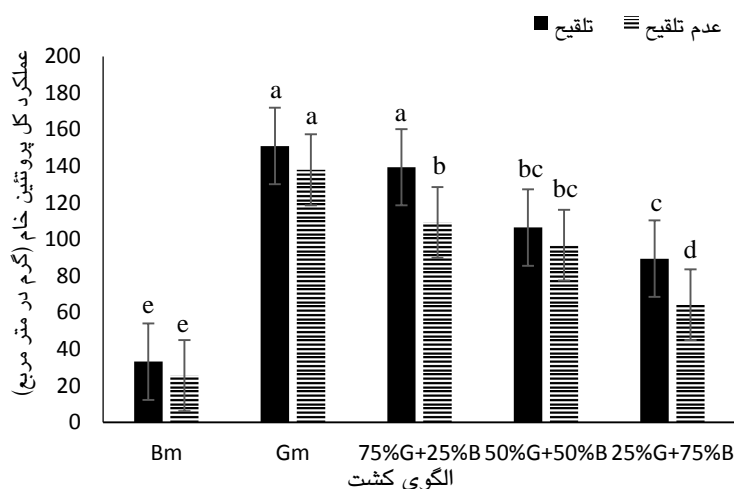
شکل ۷- میانگین پروتئین خام علوفه در الگوهای مختلف کشت

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر

می‌شود. درصد پروتئین به‌تنهایی نمی‌تواند معرف کیفیت علوفه باشد زیرا ممکن است درصد پروتئین بالا بر اثر پایین بودن عملکرد تولیدی، چندان قابل توجه نباشد و یا ممکن است گیاهی با درصد پروتئین کم ولی تولید ماده خشک بالاتر، پروتئین بیشتری تولید کرده و در نتیجه اهمیت بیشتری داشته باشد. بنابراین عملکرد پروتئین در هکتار که برآیندی از عملکرد ماده خشک و درصد پروتئین می‌باشد، دارای اهمیت زیادی در تعیین ارزش کیفی گیاهان علوفه‌ای است (لاتاتی و همکاران ۲۰۱۶). گزارش شده است که فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک نظیر قارچ‌های میکوریزی و میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب افزایش پروتئین و بهبود عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (بومسما و وین ۲۰۰۸). با توجه به همبستگی مثبت بین عملکرد کل ماده خشک و عملکرد پروتئین خام و با توجه به افزایش عملکرد کل ماده خشک در کشت مخلوط، افزایش عملکرد کل پروتئین خام قابل انتظار است (لیتورگایدیس و همکاران ۲۰۰۶). اختلاف در عملکرد پروتئین خام گیاهان علوفه‌ای را می‌توان به تفاوت در عملکرد علوفه خشک و همچنین میزان غلظت نیتروژن در بافت اندام‌های هوایی این گیاهان نسبت داد (لامعی

عملکرد کل پروتئین خام

نتایج تجزیه واریانس و مقایسات گروهی (جدول ۳) بیانگر تفاوت معنی‌دار بین الگوهای مختلف کشت از لحاظ عملکرد کل پروتئین خام در سطح احتمال یک درصد می‌باشد. بیشترین میزان عملکرد کل پروتئین خام به الگوهای کشت خالص خلر تلقیح شده (۱۵۱/۰۶۳ گرم در متر مربع)، ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۱۳۹/۴۷۷ گرم در متر مربع) و خالص خلر بدون تلقیح (۱۳۸/۰۴ گرم در متر مربع) تعلق داشت. کم‌ترین میزان عملکرد کل پروتئین خام نیز مربوط به الگوهای کشت خالص جو تلقیح نشده (۲۵/۵۶ گرم در متر مربع) و جو تلقیح شده با مایکوریزا (۳۳/۲۱۷ گرم در متر مربع) بود (شکل ۸). مشاهده می‌شود با افزایش سهم خلر در کشت مخلوط و همچنین تلقیح با مایکوریزا میزان عملکرد کل پروتئین خام افزایش یافته است. به‌طوری‌که تلقیح با مایکوریزا در الگوهای کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو به‌ترتیب موجب افزایش ۲۶/۰۶، ۹/۴۳، ۲۷/۶۶، ۹/۹۸ و ۳۹/۲۹ درصد عملکرد کل پروتئین خام نسبت به عدم تلقیح شده است. درصد پروتئین در علوفه از نظر قابلیت هضم زیاد آن، غالباً به‌عنوان شاخصی از قابلیت هضم در نظر گرفته



شکل ۸- عملکرد پروتئین خام علوفه در الگوهای مختلف کشت

حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. **Bm**: کشت خالص جو، **Gm**: کشت خالص خلر

۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو (۱/۱۷-۱/۱۵) تعلق داشت. این بدان معنی است که دو گیاه در این الگوهای کشت مخلوط توانسته‌اند با کارایی بیشتری از امکانات موجود بهره‌برداری کرده و بیوماس علوفه‌ای و سودمندی زراعی بیشتری نسبت به کشت خالص هر یک از گیاهان حاصل شود. دلیل آن به احتمال زیاد به مهیا بودن آشیان‌های اکولوژیکی مناسب، تفاوت سیستم ریشه‌ای و تفاوت مورفولوژی دو گیاه و در نتیجه استفاده حداکثری از منابع محیطی نسبت داده می‌شود (کیانی و همکاران ۲۰۱۴). ویسانی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که اختلافات مورفولوژیک شوید (*Anethum graveolens*) و لوبیا و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از نور و یا اقله‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل مجموع عملکرد نسبی بزرگ‌تر از یک باشد. بانیک و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند استفاده کارآمد از منابع محیطی، تبادل مواد غذایی، افزایش توانایی رقابتی در کنترل علف‌های هرز، تثبیت نیتروژن، وجود اختلاف در سیستم ریشه‌ای اجزای مخلوط و جذب بیشتر تشعشع دلیل افزایش LER در

هروانی (۲۰۱۳). نتایج مشابهی مبنی بر افزایش چشمگیر عملکرد پروتئین خام علوفه بر اثر ترکیب لگوم با گراس توسط پلیکانو و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شده است.

شاخص‌های زراعی

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین جزئی بیانگر نحوه اثر متقابل هر یک از گیاهان بر یکدیگر و تأثیرپذیری هر یک از آن‌ها در نتیجه کشت مخلوط می‌باشد. نسبت برابری جزئی زمین جو در همه الگوها به استثنای ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده با مایکوریزا (۰/۴۱) بیشتر از نسبت برابری جزئی خلر بود (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد در تمامی الگوهای کشت به جزء تیمار ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۰/۹۸)، نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود که نشان دهنده برتری کشت مخلوط خلر با جو نسبت به کشت خالص آن‌ها می‌باشد (جدول ۴). بیشترین مقادیر نسبت برابری زمین به الگوی ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا (۱/۲۰) و بعد از آن به الگوهای تلقیح و عدم تلقیح الگوی کشت

از این طریق موجب بهبود شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط شده است. هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) گزارش نمودند در کشت مخلوط جو و نخود، محصول به مراتب بیشتر از کشت خالص هر یک از آنها بود و نسبت برابری زمین نشان داد که کارایی کشت مخلوط در استفاده از منابع ۲۵ تا ۳۸ درصد بیشتر از کشت خالص بود.

کشت مخلوط می‌باشد. همچنین ویسانی و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که با توجه به نقشی که آب و مواد غذایی در رشد و نمو گیاه دارند و همچنین با توجه به تأثیری که قارچ میکوریزا در افزایش جذب این عوامل برای گیاه می‌تواند داشته باشد، می‌توان اظهار داشت که قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب آب و مواد غذایی برای گیاه در شرایط کشت مخلوط سبب بهبود عملکرد شده و

جدول ۴- مقادیر نسبت برابری زمین جزیی و کل در الگوهای مختلف کشت مخلوط

نسبت برابری زمین	نسبت برابری زمین		الگوهای کشت
	جزئی جو	جزئی خلر	
۱/۲۰	۰/۷۹	۰/۴۱	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، با میکوریزا
۱/۱۵	۰/۵۰	۰/۶۵	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، با میکوریزا
۱/۰۹	۰/۴۴	۰/۶۵	۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو، با میکوریزا
۱/۰۶	۰/۵۲	۰/۵۴	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، بدون میکوریزا
۱/۱۷	۰/۴۷	۰/۶۹	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، بدون میکوریزا
۰/۹۸	۰/۳۰	۰/۶۸	۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو، بدون میکوریزا

آن گونه در کشت مخلوط از غالبیت برخوردار است (صادق پور و همکاران ۲۰۱۳). چنین استنباط می‌شود که گونه‌های مختلف گیاهی در مجاورت یکدیگر برای جذب عنصر بخصوصی رقابت نمی‌نمایند یا به عبارت دیگر، اگر اثر رقابت برون گونه‌ای مساوی و یا کمتر از رقابت درون گونه‌ای باشد در چنین حالتی گیاهان نه تنها با یکدیگر رقابت نمی‌نمایند بلکه مکمل یکدیگر نیز خواهند بود. غالبیت غلات نسبت به لگوم‌ها به رشد سریعتر و توسعه بهتر ریشه‌دهی نسبت داده می‌شود (پلیکانو و همکاران ۲۰۱۵). هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) غالبیت بیشتر غلات نسبت به بقولات را به قدرت تهاجمی و سرعت رشد بیشتر آن‌ها نسبت دادند. در کشت مخلوط گیاه برخوردار از RCC کمتر و A منفی‌تر، به عنوان گیاه مغلوب و گیاه دیگر در کشت مخلوط به عنوان جزء غالب تلقی می‌گردد (آگنکو و همکاران، ۲۰۰۶). ضریب تراکم نسبی جو در همه نسبت‌های کشت بیشتر از خلر و بالاتر از ۱ بود که بیانگر برتری عملکرد جو نسبت به خلر در

شاخص‌های رقابتی

غالبیت شاخصی است که بیانگر اختلاف عملکرد نسبی دو گونه می‌باشد و این شاخص در حالت کلی شدت رقابت را به صورت کمی نشان می‌دهد (دباغ محمدی‌نسب و همکاران ۲۰۱۱). نتایج حاصل از محاسبه شاخص غالبیت جو نشان داد که گیاه جو غالب و گیاه خلر مغلوب بوده است. زیرا علامت چیرگی برای جو و خلر به ترتیب مثبت و منفی بود (جدول ۵). تعدادی از محققان بیان کرده‌اند که غلات به استثنای گندم در کشت مخلوط با لگوم‌ها اکثراً غالب می‌باشند (دهیما و همکاران ۲۰۰۷). نتایج نسبت رقابت نیز تأیید کننده نتایج حاصل از غالبیت است. به طوری که، در تمامی الگوها نسبت رقابتی جو بیشتر از خلر و بالاتر از یک بود که نشان دهنده غالبیت جو نسبت به خلر می‌باشد. کمتر بودن نسبت رقابت خلر به این معنی است که خلر می‌تواند با گیاه جو به صورت مخلوط کشت شود، ولی اگر نسبت رقابت گونه‌ای بیشتر از یک باشد مفهوم آن این است که

کشت مخلوط می‌باشد. علاوه بر این، ضریب نسبی تراکم خلر فقط در تیمار ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۱/۳۵) بیشتر از یک بود (جدول ۵). پایین بودن ضریب نسبی تراکم خلر نشان‌دهنده این است که خلر در الگوهای مختلف کشت مخلوط بیشتر تحت تأثیر رقابت واقع شده است. همچنین ضریب نسبی تراکم کل در همه الگوها به جزء تیمار ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۰/۹۲) بیشتر از یک به دست آمد. بیشترین مقدار ضریب نسبی تراکم کل به الگوهای ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا (۲/۷۵) و ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو بدون مایکوریزا (۲/۰۶) تعلق داشت (جدول ۵). هر اندازه مقدار RCC بزرگتر باشد بدان معنی است که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر دارند و در نتیجه کارایی کشت مخلوط افزایش خواهد یافت (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱). پایین‌ترین ضریب نسبی تراکم کل در الگوی ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۰/۹۲) مشاهده شد که مقدار آن کمتر از یک بود که بیانگر عدم برتری این الگوی کشت مخلوط به کشت خالص هر یک از گیاهان جو و خلر می‌باشد. غالبیت جو باعث کاهش عملکرد خلر شد به طوری که عملکرد آن از حد انتظار کم‌تر بود.

شاخص کاهش یا افزایش واقعی عملکرد (AYL) اطلاعات دقیق‌تری نسبت به دیگر شاخص‌ها درباره رقابت درون و برون‌گونه‌ای گیاهان و رفتار هر گونه در کشت مخلوط می‌دهد (دباغ محمدی‌نسب و همکاران ۲۰۱۱). مقدار این شاخص برای جو در همه الگوها مثبت و بیشترین آن به ترکیب ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا (۰/۶۰) تعلق داشت و کم‌ترین آن نیز به الگوی ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۰/۱۶) مربوط بود (جدول ۶). مشاهده می‌شود با افزایش سهم خلر، بر میزان این شاخص در جو افزوده شده است. این شاخص برای خلر در همه الگوهای کشت به استثنای ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا (۰/۷۱) منفی بود که این امر نشان می‌دهد که جو عملکرد بیشتری در فضای اشغال شده نسبت به کشت خالص داشت، درحالی‌که خلر در

همه الگوها به استثنای الگوی ذکر شده کاهش عملکرد در فضای اشغال شده نسبت به کشت خالص آن داشته است (جدول ۶). نتایج شاخص غالبیت نیز تأیید کننده این مسئله است. بیشترین افت واقعی عملکرد کل به ترکیب ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو تعلق داشت که ۱۱ درصد نسبت به کشت خالص کاهش عملکرد داشت (جدول ۶). دلیل آن به اثرات منفی رقابت بین‌گونه‌ای نسبت داده می‌شود. به طوری‌که در این ترکیب، عملکرد خلر به علت رقابت بالای جو در نتیجه اشغال فضا توسط آن، بسیار کم (کاهش واقعی عملکرد خلر در این ترکیب ۲۷ درصد نسبت به کشت خالص مشاهده شد) بود. استقرار سریع و بالا بودن سرعت رشد نسبی جو در مراحل اولیه رشد رویشی، باعث می‌شود که این گیاه در جذب رطوبت، نور و مواد معدنی خاک موفق‌تر از گیاهان علوفه‌ای عمل نماید. لامعی‌هروانی (۲۰۱۳) با بررسی کشت مخلوط خلر با جو و تربیتکاله اعلام کردند که در کلیه الگوهای کشت مخلوط مقادیر کاهش واقعی عملکرد گیاهان جو و تربیتکاله مثبت بود که نشان‌دهنده آن است که محصول واقعی این گیاهان در کشت مخلوط بیش از محصول پیش‌بینی شده بود، زیرا از عوامل محیطی مؤثر در رشد استفاده بیشتری کردند. دهیما و همکاران (۲۰۰۷) عنوان کردند منفی بودن AYL عدم سودمندی کشت مخلوط را نشان می‌دهد. با توجه به منفی بودن شاخص افت واقعی عملکرد کل در تیمار ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۰/۱۱) می‌توان بیان کرد که فقط در این الگوی کشت، ۱۱ درصد کاهش عملکرد نسبت به کشت خالص گیاهان وجود داشت. بیشترین مقدار شاخص افزایش واقعی عملکرد کل به الگوهای ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا (۰/۶۸) تعلق داشت که نشانگر افزایش ۶۸ درصدی عملکرد نسبت به کشت خالص است (جدول ۶). لامعی‌هروانی (۲۰۱۳) با بررسی کشت مخلوط خلر با جو و تربیتکاله اعلام کردند که در کلیه الگوهای کشت مخلوط مقادیر کاهش واقعی عملکرد گیاهان جو و تربیتکاله مثبت بود.

جدول ۵- مقادیر ضریب ازدحام نسبی، غالبیت و نسبت رقابت در الگوهای مختلف کشت مخلوط جو با خلر

نسبت رقابت خلر	نسبت رقابت جو	غالبیت خلر نسبت به جو	غالبیت جو نسبت به خلر	ضریب ازدحام نسبی کل	ضریب ازدحام نسبی خلر	ضریب ازدحام نسبی جو	الگوهای کشت
۰/۶۶	۱/۵۰	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۲/۷۵	۱/۳۵	۲/۰۳	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، با مایکوریزا
۰/۶۷	۱/۴۹	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۱/۸۹	۰/۸۸	۲/۱۵	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، با مایکوریزا
۰/۶۵	۱/۴۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۱/۵۱	۰/۷۷	۱/۹۵	۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو، با مایکوریزا
۰/۵۵	۱/۷۹	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۱/۲۹	۰/۶۳	۲/۰۳	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، بدون مایکوریزا
۰/۶۲	۱/۵۹	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۲/۰۶	۰/۸۲	۲/۴۸	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، بدون مایکوریزا
۰/۶۲	۱/۵۹	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۹۲	۰/۶۱	۱/۵۰	۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو، بدون مایکوریزا

شاخص‌های اقتصادی

مالی کشت مخلوط به ترتیب به الگوهای ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا (۶۱۲/۶۶)، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو بدون مایکوریزا (۳۴۵/۳۴)، ۲۵ درصد خلر + ۵۰ درصد جو با مایکوریزا (۳۳۸/۳۲)، ۷۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو با مایکوریزا (۲۰۵/۰۱) و ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۱۴۷/۱۱) تعلق داشت (جدول ۶). لایتورگایدیس و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند تیمارهایی که از LER و K بالاتری برخوردار باشند میزان SPI بالاتر و در نتیجه ثبات عملکرد بیشتری داشتند. همچنین بالاتر بودن مقادیر نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی در تیمارهای مذکور سبب افزایش مقادیر MAI شده است.

مشاهده می‌شود با افزایش درصد خلر در نسبت‌های کشت، میزان بهره‌وری سیستم (SPI) افزایش یافته است، به طوری که بیشترین میزان آن به الگوهای ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۶۹۷۴/۸۹) و ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو بدون تلقیح (۵۲۴۵/۱۰) تعلق داشت. کمترین میزان این شاخص نیز به تیمار ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون تلقیح (۳۶۸۹/۴۷) تعلق داشت (جدول ۶).

شاخص مالی (MAI) کشت مخلوط در همه‌ی الگوها به جزء الگوی ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون مایکوریزا (۲۷/۶۸) مثبت بود. بیشترین میزان شاخص

جدول ۶- شاخص‌های افت واقعی عملکرد، بهره‌وری و سودمندی مالی کشت مخلوط

تیمارها	کاهش یا افزایش واقعی عملکرد جو	کاهش یا افزایش واقعی عملکرد خلر	کاهش یا افزایش واقعی عملکرد	شاخص بهره‌وری کشت مخلوط	شاخص مالی کشت مخلوط
۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو با مایکوریزا	۰/۶۰	۰/۰۷	۰/۶۸	۶۹۷۴/۸۹	۶۱۲/۶۶
۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، با مایکوریزا	۰/۴۰	-۰/۰۵	۰/۳۴	۵۱۰۲/۴۴	۳۳۸/۳۲
۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو، با مایکوریزا	۰/۳۳	-۰/۱۲	۰/۲۰	۴۶۶۰/۲۵	۲۰۵/۰۱
۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، بدون مایکوریزا	۰/۳۶	-۰/۲۳	۰/۱۲	۵۲۴۵/۱۰	۱۴۷/۱۱
۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، بدون مایکوریزا	۰/۴۵	-۰/۰۸	۰/۳۶	۵۱۲۵/۸۳	۳۴۵/۳۴
۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو، بدون مایکوریزا	۰/۱۶	-۰/۲۷	-۰/۱۱	۳۶۸۹/۴۷	-۲۷/۸۶

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل، جو گیاهی غالب در کشت مخلوط با خلر بود و غالبیت آن با درجه تهاجمی و نسبت رقابت بیشتر نشان داده شد. غلبه جو بر خلر بر شاخص‌های دیگر نیز تأثیر گذاشت، به طوری که ضریب نسبی تراکم و سودمندی اقتصادی در جو بیش از خلر بود. همچنین شاخص کاهش یا افزایش واقعی عملکرد در جو مثبت و در خلر منفی بود. علاوه بر این، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تلقیح با قارچ مایکوریزا و استفاده

از پتانسیل تثبیت نیتروژن موجود در خلر میزان عملکرد علوفه، خاکستر، پروتئین خام و عملکرد پروتئین خام کل نسبت به کشت خالص و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا را افزایش داده که این امر می‌تواند در کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیل به کشاورزی پایدار بسیار موثر و مفید واقع شود. در نهایت با توجه به شاخص‌های کمی و کیفی مورد ارزیابی، می‌توان الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو را به عنوان الگوی جایگزین روش‌های مرسوم کشاورزی توصیه نمود.

منابع مورد استفاده

- Amirabadi M, Rejali Rasooli Sadaghiyani MF, Ardakani MR and Borji M. 2010. Determination of *Azotobacter* and Mycorrhizal Symbiosis efficiency under different levels of phosphorus on yield and yield components of forage maize (KSC 704). Iranian Journal of Soil and Water Research, 41(1): 49-56.
- Arrudaa L, Beneduzi A, Martins A, Lisboa B, Lopes C, Bertolo F, Passaglia Maria LMP and Vargas KL, 2013. Screening of Rhizobacteria isolated from maize (*Zea mays* L.) in Rio Grande do Sul State (South Brazil) and analysis of their potential to improve plant growth. Applied Soil Ecology, 63: 15- 22.
- Banik P, Midya A, Sarkar BK and Ghose S, 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy, 24: 325- 332.
- Baum C, El-Tohamy W and Gruda N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. Scientia Horticulturae, 187: 131-141.
- Boomsma CR and Vyn TJ, 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through Arbuscular mycorrhizal symbiosis. Field Crops Research, 108: 14-31.
- Cazzato E, Laudadio V and Tufarelli V, 2012. Effects of harvest period, nitrogen fertilization and mycorrhizal fungus inoculation on triticale (*×Triticosecale* Wittmack) forage yield and quality. Renewable Agriculture and Food Systems, 27(4): 278-286.
- Chapagain T and Riseman A, 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. Field Crops Research, 166: 18-25.
- Dabbagh Mohammadi-Nassab A, Amini R and Tamari E, 2015. Evaluation of maize and three cultivars of common bean intercropping with application of biofertilizers and chemical fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25: 99-113. (In Persian).
- Dabbagh Mohammadi-Nassab A, Amon T and Kaul H. 2011. Competition and yield in intercropping of maize and sunflower for biogas. Industrial Crops and Products, 34: 1203-1211.
- Dhima KV, AA Lithourgidis, IB Vasilakoglou and CA Dordas, 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercropping in two seeding ratio. Field Crops Research, 100: 249-256.
- Druege U, Baltruschat H and Franke P, 2007. Piriformospora indica promotes adventitious root formation in cuttings. Scientia Horticulturae, 112: 422-426.
- Estrada-Luna A and Davies A, 2003. Arbuscular Mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. Journal of Plant Physiology, 160: 1073-1083.

- Fernandez Aparicio M, Sillero JC and Rubials D, 2007. Inter cropping with cereals reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop Protection*, 26: 1166-1172.
- Hamzei J and Sadeghi Meabadi F. 2013. Effects of mycorrhizal symbiosis on physiological indices and yield of grain sorghum under different irrigation intervals. *Journal of Crops Improvement*, 15(4): 151-163.
- Hauggaard-Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, Von Fragstein P, Pristeri A, Monti M and Jensen ES, 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*, 113: 64-71.
- Jafari A, V Connolly, Frolich A and Walsh EJ. 2003. A note on estimation of quality in perennial ryegrass by near infrared spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 42(2): 293-299.
- Kiani S, Siadat SA, Moradi-Telavat MR, Abdali Mashhadi AR and Sare M. 2014. Effect of nitrogen rates on yield and quality of forage in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(2):77-90. (In Persian).
- 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.
- Lehmann A, Veresoglou SD, Leifheit EF and Rillig MC, 2014. Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants—A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 69. 123-131.
- Mehrvarz S. and MR Chaichi. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3(6): 855-860.
- Naghizadeh M and M Galavi. 2012. Evaluation of phosphorous biofertilizer and chemical phosphorous influence on fodder quality of corn (*Zea mays* L.) and grass pea (*Lathyrus sativa* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*, 4(1): 52-62.
- Nakhzari Moghaddam A, chaeichi MR, Mazaheri D, Rahimian Mashhadi H, Majnoon Hoseini N and Noorinia AA. 2009. The effects of corn (*Zea mays*) and green (*Vigna radiata*) in intercropping on yield, LER and some quality characteristics of forage. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(4): 151-159. (In Persian).
- Ortas I, Sari N, Akpinar C and Yetisir H. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 128: 92-98.
- Pellicano A, Romeo M, Pristeri A, Preiti G and M Monti. 2015. Cereal-pea intercrops to improve sustainability in bioethanol production. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:827-835.
- Phillips JM and DS Hayman, 1970. Improved procedures clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society Journal* 55: 158-161.
- Sabia E, Claps S, Napolitano F, Annicchiarico G, Bruno A, Francaviglia R, Sepe L and Aleandri R, 2015. In vivo digestibility of two different forage species inoculated with arbuscular mycorrhiza in Mediterranean red goats. *Small Ruminant Research*, 123: 83-87.
- Sadeghpour A, Jahanzad E, Esmaeili A, Hosseini MB and Hashemi M. 2013. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, 148: 43-48.
- Stoltz E and Nadeau E, 2014. Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*, 169: 21-29.
- Tong-jian X, Qing-song Y and Wei R, Guo-hua XU and Qi-rong SH, 2010. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus on nitrogen and phosphorus utilization in upland rice-mungbean intercropping system. *Journal Published by Elsevier Ltd*, 9: 528 -545.

- Weisany W, Raei Y, Zehtab-Salmasi S and Sohrabi Y, 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) in mono and intercropping system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3), 1-19. (In Persian).
- Yilmaz S, Ozel A, Atak M and Erayman M, 2015. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39: 135-143.
- Zhang G, Yang Z and Dong S. 2011. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. *Field Crops Research*, 124: 66-73.