



Investigating the Effect of Intercropping of Sesame, Mung Bean, and Cowpea on Crop Profitability Indices

Akram Koorawand¹ | Esfandiar Fateh^{2✉} | Amir Aynehband³

1. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2. Corresponding author, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: e.fateh@scu.ac.ir
3. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: aynehband@scu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: February 28, 2023

Received in revised form:

April 25, 2023

Accepted: May 14, 2023

Published online: September

23, 2023

Keywords:

Competition,
Land Equivalent Ratio,
planting pattern,
replacement,
yield.

ABSTRACT

In order to study the effect of planting pattern on yield and benefit indices of sesame, mung bean, and cowpea intercropping, an experiment was conducted on the Research Farm of Production Engineering and Plant Genetic Department at Shahid Chamran University of Ahvaz in 2017. This experiment was conducted as a completely randomized block design with three replications. This treatments included different plant patterns in 15 levels: Sesame sole cropping, mung bean sole cropping, cowpea sole cropping, triple intercropping ratios: 1-2-2 (1mung bean, 2sesame, and 2cowpea), 2-1-2, 1-3-1, 2-2-1, 2-3-2 and dual intercropping ratios: 3sesame-3mung bean, 3sesame-3cowpea, 3mung bean-3cowpea, 2sesame-4cowpea, 2sesame-4mung bean, 4sesame-2cowpea, 4sesame-2mung bean. The results of this study showed that the higher total LER (1.56) was found at 3mung bean-3cowpea. In addition, based on the results of this research the intercropping planting patterns include 4sesame-2mung bean (1.21), 2mung bean-3sesame-2cowpea (1.19), 2sesame-4mung bean (1.18), and 2sesame-4cowpea (1.09) had total LER more than unity (1.0). Among the planting patterns, sesame had the highest aggressive degree (1.03), the highest relative crowding coefficient (4.64), and the highest relative intensity of competition (10.82) in the 2mung bean-3sesame-2cowpea, which indicate the superiority of sesame than two other studied plants in this planting pattern. Moreover, the results of this research showed that the two plant intercropping patterns of 3mung bean-3cowpea and 4sesame-2cowpea were significantly superior compared to the sole cropping and three plants intercropping patterns in terms of yield indices. In general, based on the results of this research, it was observed that the simultaneous intercropping of sesame with mung bean or cowpea as an example of sustainable system in agriculture that pursues goals such as creating ecological balance, more exploitation of resources, quantitative and qualitative increase in yield, and it was significantly superior to other cultivation patterns. This can be due to the positive effect of these plants together, especially in connection with the power of nitrogen fixation by legumes.

Cite this article: Kouravand, A., Fateh, E., & Aynehband, A. (2023). Investigating the effect of intercropping of sesame, mung bean and cowpea on crop profitability indices. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 177-190. DOI: [10.22059/ijfcs.2023.355594.654985](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.355594.654985).





بررسی تاثیر کشت مخلوط کنجد، ماش و لوبیا چشم‌بلبلی بر شاخص‌های سودمندی کشت

اکرم کوراوند^۱ | اسفندیار فاتح^۲ | امیر آینه‌بند^۳

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: e.fateh@scu.ac.ir

۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ayneband@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۰۵</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱</p>	<p>به‌منظور مطالعه‌ی تاثیر الگوی کشت بر عملکرد و شاخص‌های سودمندی کنجد، ماش، و لوبیا چشم‌بلبلی در کشت مخلوط، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. این آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل الگوهای مختلف کشت در ۱۵ سطح شامل تک‌کشتی کنجد، تک‌کشتی ماش، تک‌کشتی لوبیا چشم‌بلبلی، نسبت‌های مخلوط سه‌گانه: ۱-۲-۱ (لوبیا، کنجد و ماش)، ۲-۱-۲، ۱-۳-۱، ۲-۲-۱ و ۳-۲-۲ و نسبت‌های مخلوط دوگانه: ۳-کنجد-لوبیا، ۳-کنجد-ماش، ۳-لوبیا-ماش، ۲-کنجد-ماش، ۲-کنجد-لوبیا، ۴-کنجد-ماش و ۴-کنجد-لوبیا، بود. نتایج این پژوهش نشان داد که نسبت برابری کلی زمین در الگوی کشت مخلوط ۳-ماش-لوبیا با میانگین ۱/۵۶ بیشترین میزان را داشت. الگوهای کشت ۴-کنجد-لوبیا (با میانگین ۱/۲۱)، ۲-لوبیا-۳-کنجد-ماش (با میانگین ۱/۱۹)، ۲-کنجد-لوبیا (با میانگین ۱/۱۸) و ۲-کنجد-ماش (با میانگین ۱/۰۹) دارای نسبت برابری کلی بیشتر از یک بودند. در بین الگوهای کشت، کنجد در الگوی ۲-لوبیا-۳-کنجد-ماش دارای بیشترین درجه تهاجمی (با میانگین ۱/۰۳)، ضریب ازدحام نسبی (با میانگین ۴/۶۴) و بیشترین شدت نسبی رقابت (با میانگین ۱۰/۸۲) را داشت که حاکی از برتری کنجد در این الگوی کشت نسبت به دو گیاه دیگر یعنی ماش سبز و لوبیا چشم‌بلبلی بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که الگوهای کشت دوگانه ۳-ماش-لوبیا و ۴-کنجد-لوبیا به‌جهت شاخص‌های عملکردی دارای برتری معنی‌داری نسبت به الگوهای تک‌کشتی و کشت مخلوط چندگانه بودند. به‌طور کلی براساس نتایج این پژوهش مشاهده شد که کشت مخلوط توأم کنجد با ماش و یا لوبیا به‌عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی که اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیش‌تر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد را دنبال می‌کند، نسبت به سایر الگوهای کشت برتری قابل توجهی را داشت که این امر می‌تواند به‌علت تاثیر مثبت این گیاهان در کنار یکدیگر در یک قطعه زمین به‌ویژه در ارتباط با قدرت تثبیت‌کنندگی نیتروژن توسط لگوم‌ها باشد.</p>
<p>کلیدواژه‌ها:</p> <p>الگوی کاشت، جایگزینی، رقابت، عملکرد، نسبت برابری زمین.</p>	

استناد: کوراوند، ا.، فاتح، ا.، و آینه‌بند، ا. (۱۴۰۲). بررسی تاثیر کشت مخلوط کنجد، ماش و لوبیا چشم‌بلبلی بر شاخص‌های سودمندی کشت.

علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۴ (۳)، ۱۷۷-۱۹۰. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.355594.654985



۱. مقدمه

کشت مخلوط عبارتست از کشت دو یا چند گیاه زراعی به‌طور همزمان و در یک قطعه زمین به‌نحوی که با یکدیگر برهم‌کنش داشته باشند. هدف از کشت مخلوط در سیستم‌های زراعی، بهینه‌سازی استفاده از فضا، زمان و منابع فیزیکی، از طریق به‌حداکثر-رساندن ارتباطات مثبت و به‌حداقل‌رساندن ارتباطات منفی در بین اجزا می‌باشد (Ndakidemi, 2006). سودمندی کشت مخلوط تنها زمانی حاصل می‌شود که بین اجزای مخلوط برای منابع یکسان در مکان و زمان، رقابت وجود نداشته باشد (Ren et al., 2016). برخی محققان با رویکرد به مباحث اکولوژی کشت مخلوط اظهار داشته‌اند که هرگاه دو گونه زراعی در مجاورت یکدیگر رشد کنند وقوع رقابت بین گونه‌ای اجتناب‌ناپذیر است و در نتیجه رشد و نمو یکی یا هر دو کاهش می‌یابد، ولی چنانچه شدت رقابت چندان زیاد نباشد که منجر به حذف یکی از اجزای مخلوط شود، ممکن است که بر اساس اصل تولید رقابتی یا اصل مساعدت، منجر به افزایش عملکرد مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از گونه‌ها شود (Finley & Ryan, 2018). از آنجایی که اثرات متقابل و کارایی بخش زیرزمینی در ارتباط با موجودات زنده متاثر از سیستم‌های کشت و شرایط محیطی رشد می‌باشد، لذا کاربرد گیاه لگوم در کشت مخلوط می‌تواند ضمن افزایش کارایی تثبیت بیولوژیکی، رویکردی پایدار برای برطرف کردن نیازهای نیتروژن گیاه زراعی باشد (Yu et al., 2015). نتایج مطالعه (Angland et al., 2015) همبستگی شدید و معنی‌داری بین تجمع نیتروژن کل در وزن خشک ساقه و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در علوفه و دانه لگوم را نشان داد. به‌طور کلی استفاده از گیاهان لگوم در تناوب و یا کشت مخلوط امروزه به‌عنوان یک راه جایگزین و پایدار برای معرفی نیتروژن به سیستم‌های تولید کم‌نهاد در نظر گرفته می‌شود. علاوه‌بر آن افزایش خصوصیات کیفی و جذب عناصر غذایی گیاه همراه نیز در کشت مخلوط با گیاهان لگوم توسط برخی از محققان گزارش شده است (Eskandari & Jawanmard, 2014; Saedi et al., 2018). به‌عنوان مثال کشت مخلوط گیاهان خانواده بقولات با سایر گیاهان علاوه‌بر بهبود حاصلخیزی خاک، موجب استفاده بهینه از زمین نیز می‌شود. در این سیستم کاشت، نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله بقولات به گیاهان همراه آن‌ها منتقل شده که این امر می‌تواند به پایداری عملکرد در کشاورزی کم‌نهاد کمک کند (Du et al., 2019, Esmaeilian et al., 2022).

در این ارتباط و برای بررسی رقابت و با هدف ارزیابی کمی (و نه کیفی) رقابت در شرایط مخلوط، شاخص‌های مختلفی طراحی شده‌اند که برخی از مهم‌ترین آن‌ها شامل نسبت برابری زمین (LER)، شدت نسبی رقابت (RCI)، ضریب ازدحام نسبی (K)، نسبت رقابت‌کنندگی (CR)، درجه تهاجمی بودن (A)، کاهش واقعی عملکرد (AYL)، سودمندی مالی مخلوط (LA) و تولید نسبی زمین (RLO) می‌باشند. این شاخص‌های محاسباتی در حقیقت به محقق در خلاصه‌سازی، تفسیر و نمایش نتایج ناشی از شرایط رقابتی گیاهان در مخلوط مانند شدت رقابت، اثرات رقابت و نتیجه نهایی رقابت کمک می‌کنند (Dahima et al., 2007). در یک بررسی روی کشت مخلوط سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) و سویا (*Glycin max*) مشخص شد که کشت مخلوط در تمامی تیمارها سبب افزایش نسبت برابری زمین شد (Beheshti et al., 2010). در مطالعه شاخص‌های رشد شاهدانه (*Cannabis* sp.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) در دو نوع کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی بیان شد که بیش‌ترین سرعت رشد گیاه در شاهدانه و کنجد به‌ترتیب در سری جایگزینی ۵۰ درصد کنجد و ۵۰ درصد شاهدانه و کشت خالص به‌دست آمد (Koochaki et al., 2010). ترکیب گونه‌های گیاهی مناسب برای کشت مخلوط بایستی دارای اثرات مکملی و تسهیل‌کنندگی را در مخلوط داشته باشند. در این حالت اگرچه عملکرد گیاهان در مخلوط نسبت به تک‌کشتی تغییر می‌یابد؛ اما با انتخاب نسبت تراکمی مناسب، میزان کاهش عملکرد کاهش خواهد یافت (Jawanmard et al., 2019). به‌علاوه (Kremer & Kussman, 2008) ذکر کردند زمانی که گیاهان غیر بقولات همراه با بقولات بدون توجه به نوع ترکیب آن‌ها در کشت مخلوط قرار گرفتند، سودمندی گیاهان غیر بقولات در رابطه با وضعیت عملکرد آن‌ها نسبت به شرایط تک‌کشتی اساساً تحت تاثیر میزان اثرات مکملی بقولات به‌ویژه در رابطه با نیتروژن بود. در آزمایشی به‌منظور برآورد کارکرد مخلوط کنجد-لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) با استفاده از شاخص‌های رقابت، ارزیابی شاخص کاهش واقعی عملکرد در نسبت‌های کاشت نشان داد که این شاخص تنها در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ کنجد:لوبیا چشم‌بلبلی و دو نسبت کاشت ۲۵:۷۵ کنجد:لوبیا چشم‌بلبلی و ۷۵:۲۵ کنجد:لوبیا چشم‌بلبلی دارای شاخص منفی بودند. در حالی که مثبت بودن این شاخص بدان معناست که در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ کنجد:لوبیا چشم‌بلبلی افزایش عملکرد

وجود داشته و دو نسبت کاشت دیگر که شاخص در آن‌ها منفی بود، کاهش عملکرد به همراه داشته است. به عبارت دیگر نسبت کاشت ۵۰:۵۰ کنجد:لوبیا چشم‌بلیلی، شش درصد افزایش عملکرد کل به همراه داشته است. در واقع در این نسبت کاشت، کنجد هشت درصد افزایش عملکرد و لوبیا چشم‌بلیلی دو درصد کاهش عملکرد نشان داد که در مجموع سیستم کاشت ۶ درصد افزایش عملکرد در پی داشته است. به نظر می‌رسد که در این نسبت کاشت کنجد از کارایی بالاتری برخوردار بود (Aminifar et al., 2006). در حقیقت سودمندی عملکرد زمانی روی می‌دهد که اجزای کشت مخلوط رقابت جزئی، آن هم برای برخی منابع محیطی با یکدیگر داشته باشند (Ahmadi et al., 2019).

همچنین در مطالعه روی کشت مخلوط گیاه خردل (*Sinapis arvensis* L.) با عدس (*Lens culinaris* L.) مشخص شد که در کلیه‌ی نسبت‌های تراکمی مخلوط به واسطه‌ی ارتفاع بیشتر و نحوه‌ی گسترش اندام‌های هوایی در سایه‌انداز گیاهی از درجه ته‌اجمی بیشتری نسبت به عدس برخوردار بوده، لذا گیاه غالب در مخلوط بود (Banik et al., 2006). نتایج ارزیابی کشت مخلوط کنجد با لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris*) با استفاده از شاخص‌های رقابتی نشان داد که ضریب ازدحامی نسبی کنجد در گستره ۲/۲ تا ۳/۳ تحت تاثیر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط قرار نگرفت. ضریب ازدحامی کل (RCC) در تمام نسبت‌های کشت مخلوط بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری میزان محصول به دست آمده در کشت مخلوط و سودمندی این نظام کشت در مقایسه با (۲/۴۶ تا ۳/۵۰) که نشان‌دهنده برتری میزان محصول به دست آمده در کشت مخلوط و سودمندی این نظام کشت در مقایسه با کشت خالص دو گیاه بود (Esmaeili et al., 2014).

لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی اثر کشت مخلوط سه‌جانبه گیاه ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلیلی بر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط طراحی شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

به منظور بررسی اثر الگوهای مختلف کشت گیاهان کنجد، ماش و لوبیای چشم‌بلیلی بر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط، آزمایشی در تابستان ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل الگوهای مختلف کشت در ۱۵ سطح (تک‌کشتی کنجد، تک‌کشتی ماش و تک‌کشتی لوبیای چشم‌بلیلی، نسبت‌های مخلوط سه‌گانه شامل: ۱-۲-۲، ۱-۲-۱، ۲-۱-۲، ۱-۱-۳، ۲-۳-۲ و ۲-۲-۱ که به ترتیب نشان‌دهنده ماش، کنجد و لوبیا است، الگوهای مخلوط دوگانه شامل ۳ کنجد-۳ لوبیا، ۳ کنجد-۳ ماش، ۳ ماش-۳ لوبیا، ۲ کنجد-۴ ماش، ۲ کنجد-۴ لوبیا، ۴ کنجد-۲ ماش و ۴ کنجد-۲ لوبیا) بود. ارقام استفاده شده برای گیاهان کنجد، ماش و لوبیای چشم‌بلیلی به ترتیب اولتان، سخاوت و رقم محلی شوشتر بودند. تراکم لوبیای چشم‌بلیلی و ماش ۲۰ بوته در متر مربع، فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و تراکم کنجد ۳۰ بوته در متر مربع، فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. تاریخ کاشت اواسط تیر و تاریخ برداشت آبان ماه بود. عملیات داشت شامل آبیاری، واکاری، تنک‌کردن، وجین علف‌های هرز و پخش کود بود. باتوجه به نتایج آزمایش خاک، ۶۰ کیلوگرم کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل استفاده شد که تمام کود پتاس و فسفر مورد نیاز به صورت پایه به زمین داده شد. ۴۵ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره مصرف شد که ۱۵ کیلوگرم آن به صورت پایه، و باقیمانده در دو قسط دیگر به گیاه داده شد (نتیجه میزان N، P و K خاک طبق آزمون خاک به ترتیب ۰/۰۶، ۱۶۰ و ۱۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود). آبیاری به وسیله سیفون و بر اساس نیاز گیاه و در مراحل مهم فنولوژیکی گیاه انجام شد. واکاری، تنک‌کردن و وجین علف‌های هرز به صورت دستی و در یک مرحله انجام شد. در این آزمایش از هیچ‌نوع سموم شیمیایی، علف‌کش و آفت‌کش استفاده نشد. زمان برداشت نهایی ماش و لوبیا در تاریخ دوم و سوم آبان و زمان برداشت نهایی کنجد سوم و چهارم آذر بود. روش اجرای مخلوط به صورت مخلوط نواری بود. هر کرت باتوجه به نوع الگوی کاشت شامل سه پشته و مساحت ۶/۷۵ (۲/۲۵×۳) متر مربع بود.

فاصله بین پشته‌ها در تمام تیمارها ۷۵ سانتی‌متر بود. بدین صورت که هر کرت شامل شش خط کشت بوده که در پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری در دو طرف پشته کشت شدند. باتوجه به اینکه فاصله بین ردیف گیاهان ذکر شده ۵۰ سانتی‌متر بود و اینکه در این

پژوهش کشت در دو طرف پشته‌های ۷۵ سانتی‌متری انجام شد. لذا فاصله بین ردیف‌ها به جای ۵۰ سانتی‌متر به ۳۷/۵ سانتی‌متر کاهش یافت، بنابراین باتوجه‌به تراکم‌های مد نظر، فاصله روی ردیف‌های کاشت برای کنجد به نه سانتی‌متر و برای ماش و لوبیا چشم‌بلبلی به ۱۳ سانتی‌متر تغییر پیدا کرد. در تیمارهایی که هفت خط کاشت داشتند از چهار پشته ۷۵ سانتی‌متری با عرض کرت سه متر استفاده شد و در بقیه تیمارها عرض کرت ۲/۲۵ متر بودند. برای تعیین عملکرد در زمان رسیدگی کامل در هر کرت در شرایط تک‌کشتی و مخلوط، برداشت به‌صورت کف‌بر و پس از حذف خطوط حاشیه و حذف نیم‌متر از طرفین بالا و پایین هر کرت از خطوط میانی انجام شد. برای بررسی اثرات رقابتی بین گیاهان در شرایط مخلوط از شاخص‌های مختلف رقابت به‌شرح روابط زیر استفاده شد (Banik et al., 2006; Dhima et al., 2007; Ghosh, 2004).

۱-۲. شاخص‌های رقابت

۱-۱-۲. نسبت برابری زمین

رایج‌ترین و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط، نسبت برابری سطح زمین است که بر اساس سطح زمین زیر کشت محاسبه می‌شود و به‌وسیله آن مشخص می‌شود که برای به‌دست‌آوردن مقدار محصولی که از یک هکتار کشت مخلوط حاصل می‌شود چه مقدار از زمین به‌صورت زراعت تک‌کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول به‌صورت مخلوط برداشت شود. زمانی که مقدار آن بیش‌تر از یک باشد، کشت گیاهان در الگوی مخلوط بهتر از تک‌کشتی است. در مقابل کمتر از یک بودن این شاخص حاکی از عدم سودمندی اجرای مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی گونه‌های گیاهی است (Dahima et al., 2007; Nakhzari Moghaddam, 2016; Kochehi et al., 2010).

$$LERT = LERa + LERb + LERc$$

$$LERa = \frac{Yia}{Ysa} \quad \text{معادله شماره ۱}$$

$$LERb = \frac{Yib}{Ysb} \quad \text{معادله شماره ۲}$$

$$LERc = \frac{Yic}{Ysc} \quad \text{معادله شماره ۳}$$

که در این رابطه Yia ، Yib و Yic به‌ترتیب عملکرد گیاهان ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در مخلوط و Ysa ، Ysb و Ysc به‌ترتیب عملکرد تک‌کشتی گیاهان ذکر شده و $LERa$ ، $LERb$ و $LERc$ نسبت برابری زمین گیاهان ذکر شده می‌باشد.

۲-۱-۲. کاهش واقعی عملکرد (AYL)

یکی دیگر از شاخص‌های ارزیابی رقابت در کشت مخلوط، شاخص کاهش واقعی عملکرد است. در این فرمول Z نسبت تراکمی هر یک از گیاهان در مخلوط است. به‌عبارت دیگر این شاخص نسبت کاهش یا افزایش عملکرد مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی است. به‌علاوه کاهش عملکرد واقعی جزئی نشان‌دهنده میزان افزایش یا کاهش عملکرد هر یک از گونه‌های گیاهی در زمانی است که شرایط مخلوط آن‌ها با شرایط تک‌کشتی مقایسه شود. مقدار این شاخص مثبت یا منفی بوده که نشان‌دهنده سودمندی یا نامطلوب بودن کشت مخلوط در زمانی است که هدف اصلی آن مقایسه عملکرد بر مبنای تک‌بوته است (Dhima et al., 2007; Jawanmard et al., 2019).

$$AYLt = AYLa + AYLb + AYLc \quad \text{معادله شماره ۴}$$

$$AYLa = ((Yabc / Zabc) / (Yaa / Zaa)) - 1 \quad \text{معادله شماره ۵}$$

$$AYLb = ((Ybac / Zbac) / (Ybb / Zbb)) - 1 \quad \text{معادله شماره ۶}$$

$$AYLc = ((Ycab / Zcab) / (Ycc / Zcc)) - 1 \quad \text{معادله شماره ۷}$$

$Ycab$ و $Ybac$ به‌ترتیب مفهوم عملکرد ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در مخلوط و $Zcab$ و $Zbac$ و به‌ترتیب نسبت ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در مخلوط Yb به‌مفهوم عملکرد گونه b در کشت خالص می‌باشد. همچنین در این رابطه Yab و Yba به‌ترتیب، بیان‌کننده عملکرد گونه a و گونه b در کشت مخلوط هستند و در این فرمول X نسبت تراکمی هر یک از گیاهان در مخلوط است. AYL همان کاهش واقعی عملکرد است (Dhima et al., 2007; Kochehi et al., 2010).

۳-۱-۲. درجه تهاجمی

یکی دیگر از انواع شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط، شاخص درجه تهاجمی است که با استفاده از آن می‌توان اضافه محصول هر گیاه را نسبت به گیاه دیگر تعیین کرد. این شاخص اغلب بیان‌گر این است که افزایش عملکرد نسبی یک گیاه در شرایط مخلوط به چه میزان بیش‌تر از گیاه دیگر است. چنانچه مقدار این شاخص مساوی صفر باشد نشان می‌دهد که هر دو گیاه توان رقابتی یکسانی دارند. مثبت یا منفی بودن این شاخص به ترتیب بیان‌گر غالب یا مغلوب بودن گونه‌های گیاهی مورد نظر در مخلوط خواهد بود (Dhima et al., 2007, Kocheiki et al., 2010).

$$Aa = \left(\frac{yabc}{Ya * Xabc} \right) - \left(\frac{ybac}{Yb * Xbac} \right) - \left(\frac{ycba}{Yc * Xcba} \right) \quad \text{معادله شماره ۸}$$

$$Ab = \left(\frac{ybac}{Yb * Xbac} \right) - \left(\frac{yabc}{Ya * Xabc} \right) - \left(\frac{ycba}{Yc * Xcba} \right) \quad \text{معادله شماره ۹}$$

$$Ac = \left(\frac{ycba}{Yc * Xcba} \right) - \left(\frac{yabc}{Ya * Xabc} \right) - \left(\frac{ybac}{Yb * Xbac} \right) \quad \text{معادله شماره ۱۰}$$

Aa، Ab، Ac، به ترتیب درجه تهاجمی برای ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی، Ycab، Ybac، Yabc و عملکرد ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در مخلوط Ya، Yb، Yc به مفهوم عملکرد ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در کشت خالص می‌باشد. در این فرمول X نسبت تراکمی هر یک از گیاهان در مخلوط است (Dhima et al., 2007, Nakhzari Moghaddam, 2016, Kocheiki et al., 2010).

۲-۱-۲. ضریب نسبی شلوغی

این ضریب، مشخص‌کننده میزان رقابت بین گیاهانی است که با استفاده از روش جایگزینی به صورت مخلوط کشت شده‌اند (Ghosh et al., 2004). در رابطه زیر Ka، Kb، Kc و K به ترتیب ضریب نسبی شلوغی برای ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی و ضریب نسبی شلوغی کل می‌باشد. Ycab، Ybac، Yabc و عملکرد ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در مخلوط Xcab، Xabc و Xbac و به ترتیب نسبت ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در مخلوط Ya، Yb، Yc به مفهوم عملکرد ماش، کنجد و لوبیا چشم‌بلبلی در کشت خالص می‌باشد. در این فرمول X نسبت تراکمی هر یک از گیاهان در مخلوط است (Dhima et al., 2007, Namdari et al., 2022 & 2016, Kocheiki et al., 2010). این شاخص معیاری از غالبیت نسبی یک گونه بر گونه دیگر در مخلوط است. در گونه‌هایی که مقدار k بیش‌تر از یک باشد نشان‌دهنده آن است که این گونه گیاهی بسیار رقابت‌کننده است. مساوی بودن این شاخص با یک نیز حاکی از عدم رقابت‌کنندگی یک گونه گیاهی است. چنانچه مقدار این شاخص کم‌تر از یک باشد به این مفهوم است که آن گونه گیاهی در مخلوط با کارایی پایینی از منابع محیطی استفاده کرده که نتیجه‌اش کاهش عملکرد آن گیاه خواهد بود (Yilmaz et al., 2008).

$$K = (Ka * Kb * Kc) \quad \text{معادله ۱۱}$$

$$Ka = \frac{Yabc * Xabc}{(Ya - Yabc) * Xabc} \quad \text{معادله ۱۲}$$

$$Kb = \frac{Ybac * Xbac}{(Yb - Ybac) * Xbac} \quad \text{معادله ۱۳}$$

$$Kc = (Ycab * Xcab) / ((Yc - Ycab) * Xcab) \quad \text{معادله ۱۴}$$

۲-۱-۵. شدت نسبی رقابت

این شاخص در حقیقت محاسبه مستقیم نسبت تولید در تک‌کشتی و مخلوط یا به عبارتی، درصد تولید در تک‌کشتی در برابر مخلوط است. شاخص شدت نسبی رقابت به صورت زیر محاسبه می‌شود. در رابطه زیر RCI همان شاخص نسبی رقابت بوده و سایر ویژگی‌های فرمول قبلاً تعریف شده است.

$$RCIa = \left(\frac{Ya - Yabc}{Ya} \right) * 100 \quad \text{معادله ۱۵}$$

$$RCIb = \left(\frac{Yb - Yabc}{Yb} \right) * 100 \quad \text{معادله ۱۶}$$

$$RCIc = \left(\frac{Yc - Yabc}{Yc} \right) * 100 \quad \text{معادله ۱۷}$$

۲-۱-۶. نسبت رقابت‌کنندگی

یکی دیگر از شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط است که به‌طور ساده، نسبت برابری زمین را در اجزای کشت مخلوط نشان می‌دهد. این نسبت همچنین ملاک بهتری در بیان توانایی رقابت گیاهان زراعی و همچنین سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با ضریب نسبی تراکم است که از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود: اگر $CRa > 1$ باشد، نشان‌دهنده قدرت رقابتی بیش‌تر گیاه a در کشت مخلوط است. اگر $CRb > 1$ باشد، نشان‌دهنده قدرت رقابتی بیش‌تر گیاه b در کشت مخلوط است. CR همان نسبت رقابت‌کنندگی است. Xca ، Xba و به‌ترتیب نسبت‌های گیاهان ماش، لوبیا چشم‌بلبلی و کنجد در مخلوط می‌باشد. بقیه اجزای فرمول در معادله‌های قبل نامگذاری شده است. اگر $CR=1$ باشد، بیان‌گر برقراری تعادل رقابت بین گیاهان a و b در سیستم کشت مخلوط است. این شاخص برای ارزیابی رقابت بین دو گونه مختلف بوده و در حقیقت معیار مطلوبی از توان رقابت‌کنندگی گیاهان زراعی است که به‌سادگی از حاصل ضرب تقسیم LER جزئی هر یک از گیاهان در مخلوط در نسبت تراکمی آن‌ها به‌دست می‌آید (Namdari et al., 2022).

$$CRa = \left(\frac{LERa}{LERb} \right) * \left(\frac{Xba}{Xab} \right)$$

معادله ۱۸

$$CRb = \left(\frac{LERb}{LERa} \right) * \left(\frac{Xab}{Xba} \right)$$

معادله ۱۹

$$CRc = \left(\frac{LERc}{LERa} \right) * \left(\frac{Xac}{Xca} \right)$$

معادله ۲۰

۲-۱-۷. شدت مطلق رقابت

$$ACI = Y_{mono} - Y_{min}$$

معادله ۲۱

که در این معادله، ACI، شدت مطلق رقابت، Y_{mono} عملکرد تک‌کشتی و Y_{min} حداقل عملکرد است. در نهایت تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS و Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها به‌وسیله آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد بود.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث**۳-۱. عملکرد دانه**

نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی مربوط به الگوی تک‌کشتی با میانگین عملکرد ۱/۱۸ تن در هکتار بود. این میزان عملکرد در الگوهای کاشت ۲کنجد-۴لوبیا و ۳ماش-۳لوبیا به‌مقادیر ۰/۶۹ و ۰/۶۶ رسید که از این نظر کاهش ۶۱ و ۶۳ درصدی نشان داد. در مقابل عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در الگوهای کاشت ۱لوبیا-۲کنجد-۲ماش (۰/۱۳) تن در هکتار و ۱لوبیا-۳کنجد-۱ماش (۰/۱۲) تن در هکتار) به‌ترتیب با ۹۲ درصد و ۹۳ درصد کاهش، بیشترین میزان افت عملکرد را نسبت به شرایط شاهد داشت (جدول ۱). طی ارزیابی کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی با گیاهانی نظیر کنجد و ذرت بیان شده است که جداسازی آشیان‌های اکولوژیکی در جذب منابع را می‌توان به‌عنوان یک توجیه علمی برای سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی مطرح کرد (Rastgoo et al., 2015). در الگوی کاشت ماش و لوبیا چشم‌بلبلی، به‌دلیل ساختار کوچک‌تر ماش، کمترین تداخل با چرخه رشدی لوبیا ایجاد می‌شود که باعث رشد بهتر لوبیا تحت این شرایط خواهد شد؛ اما در مقابل با حضور کنجد در الگوی کاشت و کاهش سهم لوبیا در کشت مخلوط، از مقدار وزن زیست‌توده و عملکرد دانه لوبیا کاسته شد، زیرا از دو جانب امکان سایه‌اندازی کنجد بر بوته‌های لوبیا افزوده می‌شود و در نتیجه به‌علت غالبیت شدید ذرت در مخلوط، امکان توسعه شاخ و برگ طبیعی لوبیا کمتر شده و لذا تیمارهایی که هر دو اثر تشدیدکنندگی سایه‌اندازی کنجد (افزایش سهم کنجد در الگوی کاشت) را با خود دارند حداقل عملکردهای لوبیا را داشتند (Rastgoo et al., 2015).

همچنین نتایج نشان داد که در حالت تک‌کشتی میزان عملکرد دانه کنجد با میانگین ۱/۰۹ تن در هکتار بیشترین میزان خود را داشت. الگوهای کاشت ۴کنجد-۲لوبیا (۰/۸۸) تن در هکتار، ۴کنجد-۲ماش (۰/۸۶) تن در هکتار و ۱لوبیا-۳کنجد-۱ماش (۰/۶۹) تن در هکتار، به‌ترتیب کاهش ۳۰، ۳۱ و ۴۳ درصدی را نسبت به تک‌کشتی کنجد نشان دادند (جدول ۱). در بین الگوهای کاشت، ۲کنجد-۴ماش با میانگین ۰/۲۱ تن در هکتار، کمترین میزان عملکرد دانه کنجد را داشت. لوبیا چشم‌بلبلی و ماش سبز دو گیاه

مهم از خانواده لگوم هستند که به دلیل قدرت تثبیت کنندگی بالای نیتروژن می‌توانند گیاهان مکمل خوبی همراه با سایر گیاهان غیر خانواده لگوم از جمله کنجد باشند. در یک الگوی کاشت مطلوب در صورت انتخاب مناسب گیاهان زمینه بهبود شاخص‌های رشدی گیاهان و افزایش کمیت و کیفیت محصول فراهم خواهد شد. این‌گونه گیاهان با خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی متفاوت چنانچه در مجاورت یکدیگر کشت شوند، قادر خواهند بود که از عوامل محیطی استفاده بهینه کنند، از نظر رقابت چنین استنباط می‌شود که گونه‌های مختلف گیاهی در مجاورت یکدیگر برای جذب عنصر بخصوصی رقابت نمی‌کنند. یا به عبارت دیگر اثر رقابت برون‌گونه‌ای مساوی و یا کمتر از رقابت درون‌گونه‌ای است. در چنین حالتی گیاهان نه تنها با یکدیگر رقابت نمی‌کنند بلکه مکمل یکدیگر هم هستند (Rastgoo et al., 2015). حضور گیاه ماش در مخلوط با گیاه کنجد ضمن بهبود خصوصیات شیمیایی خاک، عملکرد دانه کنجد را بیشتر از عملکرد دانه ماش بهبود داده است. (Bhatti et al., 2008) نشان دادند که بیشترین میزان عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی مربوط به الگوی تک‌کشتی با میانگین عملکرد ۱/۱۸ تن در هکتار بود. این میزان عملکرد در الگوهای کاشت ۲کنجد-۳لوبیا و ۳ماش-۳لوبیا به مقادیر ۰/۶۹ و ۰/۶۶ رسید که از این نظر کاهش ۶۱ و ۶۳ درصدی نشان داد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در حالت تک‌کشتی ماش با میزان عملکرد دانه با میانگین ۰/۹۲ تن در هکتار بیشترین میزان خود را داشت. براساس نتایج این پژوهش، عملکرد ماش در الگوهای کشت ۲کنجد-۳ماش، ۳ماش-۳لوبیا، ۳کنجد-۳ماش نسبت به تک‌کشتی این محصول، به ترتیب کاهش ۴۱، ۵۳ و ۷۳ درصد را نشان داد (جدول ۱). کاهش معنی‌دار الگوهای کاشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی ماش را می‌توان به کاهش نسبت تراکی ماش، افزایش رقابت گیاهان همراه به واسطه سایه-اندازی و داشتن کانوبی بزرگتر نسبت داد. مطالعات نشان می‌دهد با ایجاد تنوع از طریق کشت مخلوط، نظام‌های زراعی به منابع درونی و قابل تجدید خود وابستگی بیشتری پیدا می‌کنند و پایداری آن‌ها افزایش می‌یابد. محققان بر این باورند که عملکرد در کشت مخلوط افزایش می‌یابد، زیرا منابع رشدی مانند نور، آب و موادغذایی به مقدار بیشتری جذب کانوبی گیاهی شده و به بیوماس تبدیل می‌شود (Feike et al., 2010).

۳-۲. شاخص کاهش واقعی عملکرد کل و جزئی

نتایج جدول ۱ نشان داد که الگوی کشت ۳ماش-۳لوبیا و ۲لوبیا-۳کنجد-۲ماش به ترتیب با مقادیر ۳۴/۶ و ۳۱/۳ بیشترین میزان شاخص کاهش واقعی عملکرد کلی مخلوط را داشتند که از این نظر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل، الگوهای کشت ۴کنجد-۲ماش، ۳کنجد-۳ماش و ۳کنجد-۳لوبیا با میانگین ۱۵ کمترین میزان شاخص کاهش واقعی عملکرد کلی مخلوط را داشتند. مقایسه میانگین شاخص کاهش عملکرد واقعی لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که الگوهای کشت ۳ماش-۳لوبیا و ۲لوبیا-۳کنجد-۲ماش به ترتیب با میانگین ۱۶ و ۱۳/۸۳ بیشترین میزان این صفت را داشتند و از این نظر اختلاف معنی‌داری با سایر الگوهای کشت نشان دادند. کمترین میزان این شاخص نیز در الگوی کشت ۱لوبیا-۳کنجد-۱ماش با مقدار ۶/۶ مشاهده و ثبت شد. بنابر نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان شاخص کاهش واقعی عملکرد جزئی کنجد در الگوی کشت ۲لوبیا-۳کنجد-۲ماش با میانگین ۱۴ مشاهده شد که از این نظر اختلاف معنی‌داری با سایر الگوهای کشت مورد بررسی داشت؛ در مقابل کمترین میزان این شاخص در الگوهای کشت ۳لوبیا-۳کنجد با میانگین ۴/۸ مشاهده شد. هر چند تفاوت معنی‌دار آماری با تیمارهای ۴لوبیا-۲کنجد، ۳لوبیا-۳کنجد، ۳ماش و ۲لوبیا-۲کنجد-۱ماش نداشت (جدول ۱). در الگوی کشت ماش نیز، الگوی کشت ۳لوبیا-۳ماش با میانگین ۱۸/۶ بیشترین میزان شاخص کاهش واقعی عملکرد جزئی ماش را داشت که حاکی از سودمندی اجرای این الگوی کشت مخلوط بود. به نظر می‌رسد که یک خط لوبیا و دو خط ماش، اثرات مثبت و تسهیل‌کننده‌ای بر رشد و عملکرد دو خط کنجد داشته است. شاخص کاهش واقعی عملکرد اطلاعات دقیقی درمقایسه سایر شاخص‌ها در رابطه با رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای برای گیاهان زراعی در مخلوط و همچنین رفتار هر یک از گونه‌ها در شرایط مخلوط را ارائه می‌دهد، به عبارتی این شاخص نسبت کاهش یا افزایش عملکرد مخلوط درمقایسه با تک‌کشتی است که در این صورت مثبت و یا منفی بودن آن نشان‌دهنده سودمندی یا نامطلوب بودن کشت مخلوط می‌باشد. (Esmailian et al., 2022) در بررسی کاهش واقعی عملکرد (AYL) در بین تیمارهای کشت مخلوط سه گیاه جو، سیر و شنبلیله نشان‌دهنده مثبت بودن آن در تمام نظام‌های کشت مخلوط گیاه جو بود. بالاترین عدد منفی این شاخص (۰/۵۹-) برای شنبلیله در نتیجه کشت مخلوط سه گونه گیاهی به دست آمد که نشان می‌دهد که دو گیاه

دیگر (به‌ویژه جو) برای استفاده از منابع محیطی و همچنین اشغال فضا با این گیاه با شدت بالایی رقابت کرده‌اند. شاخص ذکر شده برای گیاه دارویی سبیر در کشت مخلوط سبیر و شنبليله مثبت و برای دو الگوی کشت مخلوط جو+سبیر و جو+شنبليله+سبیر منفی بود که بالاترین عدد منفی (۰/۳۳-) از سیستم کشت جو+شنبليله+سبیر حاصل شد. این شاخص رقابت بین گونه‌ای را به‌خوبی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که گیاه جو به‌عنوان یک گونه از خانواده گندمیان در نظام کشت مخلوط خود را به‌عنوان گیاه غالب و رقابت‌کننده نشان داد. درحالی‌که شاخص AYL شنبليله و سبیر نزدیک به صفر بود که نشان می‌دهد در این سیستم کشت مخلوط نسبت به هم غالبیت و چیرگی نداشتند.

۳-۳. شدت مطلق رقابت

در الگوی کشت لوبیا چشم‌بلبلی نیز بیشترین میزان این شاخص مربوط به الگوهای کشت ۱ لوبیا-۲ کنجد-۲ ماش و ۱ لوبیا-۳ کنجد-۱ ماش به ترتیب با میانگین ۰/۶۶ و ۰/۶۵ بود (جدول ۲). بیشترین شدت مطلق رقابت کنجد مربوط به الگوهای کشت ۲ کنجد-۱ ماش و ۲ لوبیا-۱ کنجد-۲ ماش به ترتیب با میانگین ۰/۸۷ و ۰/۸۳ بود که از این نظر با سایر الگوهای کشت اختلاف معنی‌داری داشتند. از لحاظ شدت مطلق رقابت کنجد، الگوی کشت ۴ کنجد-۲ لوبیا با میانگین ۰/۲۰ دارای کمترین شدت مطلق رقابت بود. هر چند تفاوت معنی‌دار آماری با تیمار ۴ کنجد-۴ ماش با مقدار ۰/۲۲ نداشت (جدول ۲). برخلاف کنجد، در الگوی کشت مخلوط ماش سبز، کمترین میزان شدت مطلق رقابت مربوط به الگوهای کشت ۲ کنجد-۴ ماش و ۳ ماش-۳ لوبیا به ترتیب با میانگین ۰/۱۰ و ۰/۲۷ بود؛ ولی سایر الگوهای کشت مورد بررسی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر از نظر این شاخص رقابتی نداشتند (جدول ۲). Sobkowicz (2006) در پژوهشی روی برخی شاخص‌های سیستم‌های مخلوط به این نتیجه رسید که هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، افت عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بیشتر خواهد بود.

۳-۴. شدت نسبی رقابت

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، در میان الگوهای کشت لوبیا چشم‌بلبلی، الگوی کشت ۲ لوبیا-۳ کنجد-۲ ماش با میانگین ۹/۸ دارای بیشترین شدت رقابت نسبی بود (جدول ۲). در مورد کنجد، در الگوی کشت ۲ لوبیا-۳ کنجد-۲ ماش با میانگین ۱۰/۸۲ بیشترین شدت نسبی رقابت را داشت که حاکی از برتری کنجد در این الگوی کشت نسبت به دو گیاه دیگر یعنی ماش سبز و لوبیا چشم‌بلبلی بود (جدول ۲)؛ این امر باتوجه‌به اینکه کانوپی کنجد دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با کانوپی لوبیا و ماش سبز می‌باشد و می‌تواند رقیب قوی‌تری در جذب نور و سایر منابع برای دو گیاه دیگر به‌شمار رود، قابل توجیه است. کمترین میزان این شاخص نیز در الگوهای کشت ۳ کنجد-۳ لوبیا (۰/۵۴) و ۳ کنجد-۳ ماش (۰/۳۹) مشاهده و ثبت شد. در الگوی کشت ماش ۳-۳ لوبیا با میانگین ۴/۸۳ دارای بیشترین میزان شدت نسبی رقابت بود (جدول ۲). به‌طور کلی باتوجه‌به حضور گیاهان در کنار یکدیگر در کشت‌های مخلوط رقابت امری اجتناب‌ناپذیر است که باتوجه‌به نوع گیاه و شرایط کشت مخلوط شدت‌های متفاوتی خواهد داشت؛ ولی در هر حال میزان عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Babakhani et al., 2022). Moradi et al. (2016) نیز گزارش کردند که در مخلوط ذرت-لوبیاچیتی در کلیه تراکم‌ها نسبت رقابت بیش از یک و غالبیت مثبت، نشان‌دهنده غلبه ذرت بر لوبیا بود. در این مخلوط، افزایش در تراکم لوبیاچیتی تا حدی غالبیت ذرت را کاهش داد و نسبت رقابت به یک نزدیک شد، بنابراین می‌توان گفت در تراکم‌های بالا بین ذرت و لوبیاچیتی حالت موازنه و تعادل برقرار شد. در مخلوط ذرت-کدوی تخمه‌کاغذی روند برعکس مخلوط ذرت - لوبیاچیتی بود. در تراکم بیشتر و بهینه (M1/P1, M2/P2) غالبیت منفی و نسبت رقابت کمتر از یک بود و همین امر نشان‌دهنده رقابت بیشتر و غلبه کدوی تخمه‌کاغذی بر ذرت بود؛ اما در تراکم کمتر مخلوط ذرت و کدوی تخمه‌کاغذی نسبت رقابت (۱/۱۳) بود که مؤید برتری و غالبیت ذرت در این تراکم بود.

۳-۵. نسبت برابری زمین جزئی

بنابراین نتایج مقایسه میانگین، نسبت برابری زمین جزئی کنجد در الگوهای کشت ۴ کنجد-۲ لوبیا و ۴ کنجد-۲ ماش به ترتیب با میانگین‌های ۰/۸۱ و ۰/۷۹ بیشترین میزان نسبت برابر زمین جزئی کنجد را داشتند و کمترین میزان این شاخص نیز مربوط به الگوهای کشت ۲ لوبیا-۱ کنجد-۲ ماش و ۲ کنجد-۴ ماش به ترتیب با میانگین ۰/۲۳ و ۰/۱۹ بود (جدول ۲). در مقابل نسبت برابری زمین جزئی برای الگوی کشت مخلوط ماش سبز در الگوی کشت ۲ کنجد-۴ ماش با میانگین ۰/۸۹ بیشترین میزان را داشت. در

بررسی نسبت برابری جزئی لوبیا چشم‌بلبلی مشخص شد که الگوهای کاشت ۲کنجد-۴لوبیا و ۳ماش-۳لوبیا با میانگین ۰/۸۸ و ۰/۸۵ بیشترین میزان و الگوهای کاشت ۱لوبیا-۲کنجد-۲ماش و ۱لوبیا-۳کنجد-۱ماش با میانگین ۰/۱۷ و ۰/۱۵ کمترین میزان نسبت برابری جزئی لوبیا چشم‌بلبلی را داشتند (جدول ۲). به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که نسبت برابری جزئی زمین با حضور لوبیا چشم‌بلبلی و ماش در الگوهای کشت مورد بررسی منجر به بهبود این شاخص شد که حاکی از نقش مثبت این دو گیاه در کشت مخلوط می‌باشد. نتایج مشابهی توسط Sanjani et al. (2010) گزارش شده است. Seyedi et al. (2021) نشان دادند که کشت مخلوط جو و نخود، ضمن مهار بهتر علف‌های مزرعه نخود، دارای عملکرد کل بیشتری نسبت به کشت خالص هر دو گونه نخود و جو بوده و کارایی استفاده از زمین را افزایش می‌دهد. نتایج Ahmadi et al. (2019) نشان داد که وجود ماشک گل‌خوشه‌ای در کشت مخلوط باعث افزایش کیفیت مخلوط می‌شود. همه تیمارهای مخلوط دارای LER بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده مناسب بودن کشت مخلوط در گیاه می‌باشد. الگوی جایگزینی نسبت به افزایشی تاثیر کمتری داشتند.

۳-۶. نسبت برابری زمین کلی

بنابراین نتایج مقایسه میانگین، نسبت برابری کلی زمین در الگوی کشت مخلوط ۳ماش-۳لوبیا با میانگین ۱/۵۶ بیشترین میزان را داشت. همچنین نتایج مقایسه میانگین این صفت نشان داد که الگوهای کشت ۴کنجد-۲لوبیا (با میانگین ۱/۲۱)، ۲لوبیا-۳کنجد-۲ماش (با میانگین ۱/۱۹)، ۲کنجد-۴لوبیا (با میانگین ۱/۱۸) و ۲کنجد-۴ماش (با میانگین ۱/۰۹) نسبت برابری کلی بیشتر از یک داشتند (جدول ۱) که حاکی از موفق بودن این الگوی کشت مخلوط نسبت به سایر الگوهای کشت بود. در ارزیابی توان رقابتی کنجد و ماش در دو بوم‌نظام تک‌کشتی و کشت مخلوط گزارش شد که در کلیه حالات، اجرای کشت مخلوط کنجد و ماش نسبت به تک‌کشتی هر یک از آنها برتری دارد (Rastgoo et al., 2015). با انتخاب صحیح کشت مخلوط و گیاهان موجود در آن می‌توان عملکردهایی بالاتر از تک‌کشتی و LER بالای یک را به‌ویژه در کشت‌های مخلوط افزایشی مشاهده کرد. به‌طور معمول حضور گیاه لگوم در به‌دست‌آوردن عملکردهای بالاتر در کشت مخلوط بسیار مؤثر می‌باشد.

۳-۷. ضریب ازدحام نسبی (ضریب نسبی تراکم K)

در الگوی کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی نیز از نظر ضریب ازدحام نسبی در الگوهای مختلف کشت نیز تنوع زیادی مشاهده شد. ضریب ازدحام نسبی لوبیا چشم‌بلبلی در الگوی کشت ۳ماش-۳لوبیا بیشترین میزان این شاخص را با میانگین ۴/۸۵ داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین ضریب ازدحام نسبی برای کنجد و ماش در تمامی الگوهای کشت مثبت بود که این میزان برای کنجد در الگوی کشت ۲لوبیا-۳کنجد-۲ماش با میانگین ۴/۶۴ بالاترین میزان خود را داشت (جدول ۳). در مقابل کمترین میزان این شاخص در الگوهای کشت ۲کنجد-۴ماش، ۳کنجد-۳ماش و ۳کنجد-۳لوبیا به‌ترتیب با میانگین ۰/۴۸، ۰/۵۷ و ۰/۵۹ مشاهده و ثبت شد که این مهم نشان‌دهنده‌ی افزایش شدت رقابت برون‌گونه‌ای نسبت به رقابت درون‌گونه‌ای است (جدول ۳). در الگوی کشت مخلوط ماش سبز نیز الگوی کشت ۲کنجد-۴ماش و ۳ماش-۳لوبیا به‌ترتیب با میانگین ۶/۱۴ و ۴/۱۶ بالاترین ضریب ازدحام نسبی را داشتند. در مقابل، اختلاف آماری معنی‌داری بین سایر الگوهای کشت مشاهده نشد (جدول ۳). Nourbakhsh et al. (2015) در بررسی عملکرد و ارزیابی شاخص‌های کشت مخلوط کنجد و لوبیا تحت شرایط آب و هوایی مشهد گزارش دادند که در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، ضریب ازدحام نسبی (RCC) در نسبت ۵۰٪ کنجد + ۵۰٪ لوبیا، با میانگین ۱۹/۲ بالاترین میزان را داشت. Gholipour & Sharifi (2018) نیز در این راستا گزارش دادند که ضریب ازدحام یا تراکم نسبی (RCC) در دو نسبت کشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (لوبیا: آفتابگردان) به‌ترتیب برابر با ۱/۷۰ و ۱/۷۹ و در نسبت کشت ۲۵:۷۵ (لوبیا: آفتابگردان) کمتر از یک (۰/۲۸) بود. این شاخص، میزان رقابت بین دو گونه را مشخص می‌کند که به‌روش جایگزینی با یکدیگر مخلوط شده‌اند. بنابراین نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، زراعت مخلوط در نسبت‌های کشت ۲۵:۷۵ (لوبیا: آفتابگردان) به‌دلیل دارا بودن ضرایب تراکم نسبی کمتر از واحد سودمند نخواهد بود، اما بالاتر از یک بودن این ضریب در دو نسبت کشت دیگر، بیانگر سودمند بودن زراعت مخلوط در دو نسبت کشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (لوبیا: آفتابگردان) بود.

جدول ۱. اثر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات عملکرد دانه، مجموع عملکردهای نسبی، کاهش واقعی عملکرد جزئی و کلی گیاهان کنجد، ماش و لوبیا چشم‌بلبلی در الگوهای تک‌کشتی و مخلوط.

الگوی کاشت	عملکرد دانه (تن در هکتار)			کاهش واقعی عملکرد (کل)		کاهش واقعی عملکرد (جزئی)		
	لوبیا چشم‌بلبلی	کنجد	ماش	لوبیا چشم‌بلبلی	کنجد	ماش	کنجد	ماش
Sesame	-	1.09 ^a	-	-	-	-	-	-
Mung bean	-	-	0.92 ^a	-	-	-	-	-
Cowpea	1.18 ^a	-	-	-	-	-	-	-
C2S2M1	0.28 ^d	0.39 ^{cd}	0.13 ^{ef}	28.6 ^c	7.9 ^d	8.0 ^{bcd}	12.7 ^b	
C2S1M2	0.43 ^c	0.25 ^{cd}	0.18 ^{ef}	27.3 ^b	12.7 ^{bc}	10.6 ^{ab}	3.9 ^d	
C1S3M1	0.12 ^e	0.68 ^b	0.08 ^f	19.9 ^c	6.6 ^d	9.5 ^{bc}	3.7 ^d	
C1S2M2	0.13 ^e	0.45 ^c	0.18 ^e	22.9 ^c	7.7 ^d	9.4 ^{bc}	5.8 ^d	
C3S3M0	0.37 ^{cd}	0.40 ^{cd}	-	14.9 ^d	8.5 ^d	6.4 ^{cd}	-	
C0S3M3	-	0.39 ^{cd}	0.37 ^d	15.3 ^d	-	6.2 ^{cd}	9.1 ^c	
C3S0M3	0.66 ^b	-	2.08 ^c	34.6 ^a	16.0 ^a	-	18.6 ^a	
C0S2M4	-	0.21 ^d	0.82 ^b	17.3 ^d	-	4.8 ^d	12.4 ^b	
C4S2M0	0.69 ^b	0.32 ^{cd}	-	20.3 ^c	12.3 ^{bc}	8.1 ^{bcd}	-	
C0S4M2	-	0.86 ^b	0.12 ^{ef}	14.0 ^d	-	11.0 ^{ab}	3.0 ^d	
C2S4M0	0.32 ^d	0.88 ^b	-	22.4 ^c	11.3 ^c	11.2 ^{ab}	-	
C2S3M2	0.33 ^d	0.69 ^b	0.11 ^{ef}	31.3 ^a	13.8 ^{ab}	14.0 ^a	3.5 ^d	

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف آماری با یکدیگر ندارند (دانکن در سطح پنج درصد) (منظور از C, S و M به ترتیب لوبیا چشم‌بلبلی، کنجد و ماش و اعداد ۰، ۱، ۲ و ۳ تعداد ردیف‌های کاشت گیاه مورد نظر می‌باشد).

جدول ۲. اثر الگوهای مختلف کشت بر صفات شدت نسبی رقابت، شدت مطلق و نسبی رقابت و نسبت برابری زمین جزئی و کل گیاهان لوبیا چشم‌بلبلی، کنجد، ماش.

الگوی کاشت	شدت مطلق رقابت			شدت نسبی رقابت			نسبت برابری زمین جزئی		نسبت برابری زمین کل	
	لوبیا چشم‌بلبلی	ماش	کنجد	لوبیا چشم‌بلبلی	ماش	کنجد	لوبیا چشم‌بلبلی	ماش	کنجد	
C2S2M1	0.51 ^b	0.79 ^a	0.69 ^{ab}	1.29 ^c	1.13 ^d	1.33 ^d	0.35 ^d	0.14 ^d	0.36 ^{de}	0.85 ^d
C2S1M2	0.35 ^c	0.74 ^{ab}	0.83 ^a	3.03 ^d	1.12 ^d	2.80 ^c	0.54 ^b	0.19 ^d	0.23 ^c	0.97 ^{cd}
C1S3M1	0.66 ^a	0.83 ^a	0.39 ^c	1.14 ^e	0.80 ^{de}	1.33 ^d	0.15 ^c	0.09 ^d	0.63 ^c	0.88 ^d
C1S2M2	0.65 ^a	0.73 ^{ab}	0.63 ^b	1.22 ^c	0.74 ^e	1.323 ^d	0.17 ^c	0.20 ^d	0.41 ^d	0.79 ^d
C3S3M0	0.41 ^{bc}	-	0.68 ^{ab}	0.54 ^e	-	0.54 ^e	0.47 ^{bc}	-	0.36 ^{de}	0.84 ^d
C0S3M3	-	0.54 ^b	0.69 ^{ab}	-	0.39 ^f	0.39 ^e	-	0.41 ^c	0.36 ^{de}	0.77 ^d
C3S0M3	0.12 ^d	0.27 ^c	-	8.16 ^b	4.83 ^a	-	0.85 ^a	0.71 ^b	-	1.56 ^a
C0S2M4	-	0.10 ^c	0.87 ^a	-	2.89 ^b	2.89 ^c	-	0.89 ^a	0.19 ^c	1.09 ^{bc}
C4S2M0	0.09 ^d	-	0.76 ^{ab}	6.22 ^c	-	6.22 ^b	0.88 ^a	-	0.30 ^{de}	1.18 ^b
C0S4M2	-	0.80 ^a	0.22 ^{cd}	-	0.60 ^{ef}	0.60 ^{de}	-	0.13 ^d	0.79 ^{ab}	0.93 ^{cd}
C2S4M0	0.46 ^{bc}	-	0.20 ^d	3.05 ^d	-	3.05 ^c	0.41 ^{cd}	-	0.81 ^a	1.21 ^b
C2S3M2	0.45 ^{bc}	0.80 ^a	0.39 ^c	9.80 ^a	2.38 ^c	10.82 ^a	0.42 ^{cd}	0.13 ^d	0.64 ^{bc}	1.19 ^b

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف آماری با یکدیگر ندارند (دانکن در سطح پنج درصد) (منظور از C, S و M به ترتیب لوبیا چشم‌بلبلی، کنجد و ماش و اعداد ۰، ۱، ۲ و ۳ تعداد ردیف‌های کاشت گیاه مورد نظر می‌باشد).

۳-۸. شاخص درجه تهاجمی

نتایج حاصل از بررسی صفت شاخص تهاجمی حاکی از واکنش متفاوت الگوهای کشت کنجد، ماش سبز و لوبیا چشم‌بلبلی تحت الگوهای مختلف کشت بود که به نظر می‌رسد برخی از این واکنش‌های متفاوت در گیاهان کنجد، ماش سبز و لوبیا چشم‌بلبلی از یک سو ناشی از تفاوت در ارتفاع بوته گیاهان و از سوی دیگر به علت تفاوت در محل قرارگیری اندام‌های زایشی (به‌ویژه گیاه کنجد با لوبیا چشم‌بلبلی و ماش سبز) باشد. با این وجود در الگوی کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی، درجه تهاجمی لوبیا چشم‌بلبلی در تمامی الگوهای کشت درجه تهاجمی لوبیا به صورت مثبت بود. تحت این شرایط، الگوی کاشت ۲ لوبیا-۳ کنجد-۲ ماش با میانگین ۱/۱۹ بیشترین و الگوی کاشت ۴ کنجد-۲ لوبیا با میانگین ۰/۰۱، کمترین درجه تهاجمی لوبیا چشم‌بلبلی را داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین درجه تهاجمی کنجد در الگوی کشت ۲ لوبیا-۳ کنجد-۲ ماش با میانگین ۱/۰۳ بیشترین و در الگوی کشت ۲ کنجد-۴ لوبیا با میانگین ۰/۴۲- کمترین میزان را داشت که بیانگر درجه بالای تهاجمی بودن کنجد در این الگوی کشت است و بر این اساس از منابع محیطی بهتر استفاده خواهد کرد (جدول ۳). در الگوی کشت مخلوط ماش سبز نیز، شاخص درجه تهاجمی در الگوهای کشت ۴ کنجد-۲ ماش (۰/۷۹-)، ۲ لوبیا-۳ کنجد-۲ ماش (۰/۳۱-)، ۳ ماش-۳ لوبیا (۰/۲۷-)، ۲ لوبیا-۱ کنجد-۲ ماش (۰/۱۲-)، ۱ لوبیا-۳ کنجد-۱ ماش (۰/۰۶-) و ۱ لوبیا-۲ کنجد-۲ ماش (۰/۰۱-) به صورت منفی و کمترین میزان را در بین الگوهای کشت مورد بررسی داشتند.

Rastgoo et al. (2015) در بررسی درجه تهاجمی گیاهان موجود در کشت مخلوط کنجد و ماش گزارش کردند که مقدار این شاخص برای گیاه کنجد در هر دو آرایش کشت ۵۰ و ۷۵ سانتیمتر صرفاً زمانی که نسبت تراکمی این گیاه ۲۵٪ بود، منفی شد (۰/۳۵- و ۰/۳- به ترتیب برای فواصل ۵۰ و ۷۵ سانتیمتر). در مقابل، برای گیاه ماش تغییرات به‌گونه‌ای است که کمیت این شاخص در هر دو فاصله بین ردیف ۵۰ و ۷۵ سانتیمتر تنها زمانی که نسبت تراکمی ماش ۷۵ درصد بود، مقدار آن مثبت شده و در سایر حالات منفی است. به بیان دیگر، چنانچه نسبت تراکمی کنجد از ۲۵ درصد کل تراکم مخلوط کمتر شود، این گیاه قدرت تهاجمی مطلوبی در مخلوط نخواهد داشت. اما گیاه ماش تنها زمانی از قدرت تهاجمی مناسبی در مخلوط برخوردار خواهد بود که نسبت تراکمی آن در مخلوط ۷۵ درصد به بالا باشد.

جدول ۳. اثر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات ضریب ازدحام نسبی، نسبت رقابت‌کنندگی و درجه تهاجمی گیاهان کنجد، ماش و لوبیا چشم‌بلبلی در الگوهای تک‌کشتی و مخلوط

الگوی کاشت	ضریب ازدحام نسبی			درجه تهاجمی			نسبت رقابت‌کنندگی		
	لوبیا چشم‌بلبلی	ماش	کنجد	لوبیا چشم‌بلبلی	ماش	کنجد	لوبیا چشم‌بلبلی	ماش	کنجد
C2S2M1	0.83 ^c	0.66 ^c	0.87 ^f	0.27 ^c	0.45 ^b	0.50 ^c	1.90 ^{cd}	1.62 ^b	2.23 ^b
C2s1M2	1.91 ^c	0.36 ^c	1.22 ^d	1.01 ^b	-0.12 ^e	0.71 ^b	3.50 ^a	0.81 ^c	2.61 ^b
C1S3M1	0.72 ^c	0.41 ^c	1.16 ^{de}	0.28 ^{ed}	-0.08 ^d	0.75 ^b	1.43 ^{de}	0.87 ^c	3.47 ^a
C1S2M2	0.84 ^c	0.38 ^c	1.07 ^e	0.47 ^c	-0.05 ^c	0.72 ^b	2.34 ^{bc}	0.97 ^c	3.31 ^a
C3S3M0	0.93 ^{de}	-	0.59 ^g	0.21 ^e	-	-0.21 ^e	2.16 ^{bc}	-	1.70 ^c
C0S3M3	-	0.72 ^c	0.57 ^g	-	-0.04 ^c	-0.09 ^d	-	2.04 ^b	1.68 ^c
C3S0M3	4.85 ^a	4.16 ^b	-	0.27 ^{ed}	-0.18 ^f	-	1.24 ^{ef}	2.05 ^b	-
C0S2M4	-	6.14 ^a	0.48 ^g	-	0.41 ^a	0.03 ^d	-	4.08 ^a	0.44 ^d
C4S2M0	2.68 ^b	-	0.86 ^f	0.42 ^{cd}	-	-0.42 ^f	1.19 ^{ef}	-	0.68 ^d
C0S4M2	-	0.31 ^c	1.97 ^c	-	-0.71 ^h	0.79 ^b	-	0.51 ^c	0.29 ^d
C2S4M0	1.39 ^{cd}	-	2.23 ^b	0.01 ^f	-	0.03 ^d	0.82 ^f	-	0.47 ^d
C2S3M2	1.84 ^c	0.37 ^c	4.64 ^a	1.19 ^a	-0.27 ^g	1.03 ^a	2.68 ^b	0.63 ^c	3.22 ^a

ستون‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (دانکن در سطح پنج درصد) (منظور از S، C و M به ترتیب لوبیا چشم‌بلبلی، کنجد و ماش و اعداد ۰، ۱، ۲ و ۳ تعداد ردیف‌های کاشت گیاه مورد نظر می‌باشد).

۳-۹. نسبت رقابت‌کنندگی

در الگوی کشت مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی نیز بیشترین نسبت رقابت‌کنندگی در الگوی کشت ۲ لوبیا-۱ کنجد-۲ ماش با میانگین ۳/۵ و کمترین میزان این صفت در الگوی کشت ۴ کنجد-۲ لوبیا با میانگین ۰/۸۲ مشاهده و ثبت شد (جدول ۳). بالا بودن شاخص توان

رقابتی بیشتر نشان‌دهنده قدرت رقابت‌کنندگی بیشتر گیاه در مقایسه با گیاهان دیگر است. در مقابل کم‌تر بودن مقدار شاخص نشان - دهنده مناسب بودن اجرای کشت مخلوط است (Bhatti et al., 2008). در الگوی کشت کنجد نیز الگوهای کشت (لوبیا-۳کنجد-۱ ماش، لوبیا-۲کنجد-۲ ماش و لوبیا-۳کنجد-۲ ماش به ترتیب با میانگین ۳/۴۷، ۳/۳۱ و ۳/۲۲ بیشترین نسبت رقابت‌کنندگی را داشتند که این میزان در الگوهای کشت ۴کنجد-۲لوبیا، ۴کنجد-۲ماش، ۲کنجد-۴لوبیا و ۲کنجد-۴ماش در کمترین میزان خود قرار داشتند (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، الگوی کشت ۲کنجد-۴ماش با میانگین ۴/۰۸ دارای بیشترین میزان نسبت رقابت ماش بود که از این نظر اختلاف معنی‌داری با سایر الگوهای کشت مورد بررسی داشت (جدول ۳). در این راستا، Namdari & Mahmoodi (2012) گزارش کردند که عملکرد کلزا در تمامی نسبت‌های مختلف کاشت بیشتر از عملکرد پیش‌بینی شده بوده و به‌طور مشخص در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ (نخود-کلزا)، ۴۰/۶ درصد بیشتر از عملکرد پیش‌بینی شده بود. دلیل این موضوع را می‌توان به غالبیت گیاه کلزا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و استفاده بهتر آن از شرایط محیطی نسبت داد.

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی براساس نتایج این پژوهش مشاهده شد که کشت مخلوط توام کنجد با ماش و یا لوبیا به‌عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی که اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیش‌تر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد را دنبال می‌کند، نسبت به سایر الگوهای کشت برتری قابل توجهی را داشت که این امر می‌تواند به‌علت تأثیر مثبت این گیاهان در کنار یکدیگر در یک قطعه زمین به‌ویژه در ارتباط با قدرت تثبیت‌کنندگی نیتروژن توسط لگوم‌ها باشد.

۵. منابع

- Ahmadi, S., Fateh, E., & Ayneband, A. (2019). The effect of different barley (*Hordeum vulgare*) and hairy vetch (*Vicia villosa dasycarpa*) row intercropping planting pattern and phosphorus fertilizer on dry matter production and forage quality. *Crop Production*, 11(4), 89-102. (In Persian).
- Aminifar, J., Ramroudi, M., Galavi, M., & Mohsenabadi, G.H. (2016). Assessment of sesame-cowpea intercrops function by competition indices. *Research In Crop Ecosystems*, 3(1&2), 1-9. (In Persian).
- Angland, J., Billen, G., & Garnier, J. (2015). Relationships for estimating N₂ fixation in legumes: Incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. *Ecosphere*, 6(3), 1-24.
- Babakhani, V., Tohidi-Nejad, E., Khajoei-Nejad, G.H., & Ghanbari, J. (2022). Biomass production and nitrogen use efficiency in dill-fenugreek intercropping in response to biofertilizers and manure. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), 1-18. (In Persian).
- Banik, B., Midya, A., Sarkar, B.K., & Ghose, S.S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24, 325-332.
- Beheshti, S.A., Soltanian, B., & Sadr Abadi Haghghi, R. (2010). Research on density and different cropping ratios on seed and biological yield of sorghum and beans in mixed cultivation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(1), 167-176. (In Persian).
- Bhatti, I.H., Ahmad, R., Jabbar, A., Virk, Z.A., & Aslam, M. (2008). Agro-economic performance of mung bean intercropped in sesame under different planting patterns. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 45(3), 25-28.
- Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., & Dordas, C.A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100, 249-256.
- Du, Q., Zhou, L., Chen, P., Liu, X., Song, C., Yang, F., Wang, X., Liu, W., Sun, X., Du, J., Liu, J., Shu, K., Yang, W., & Yong, T. (2019). Relay-intercropping soybean with maize maintains soil fertility and increases nitrogen recovery efficiency by reducing nitrogen input. *The Crop Journal*, 8(1), 140-152.
- Eskandari, H., & Javanmatd, A. (2014). Evaluation of forage yield and quality in intercropping patterns of maize (*Zea mays*) and cow pea (*Vigna sinensis*). *Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4), 101-110. (In Persian).
- Esmaili, F., Pirdashti, H., Abbasi, R., & Abbasian, A. (2014). Evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) and white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping using competitive indices. *1st national symposium in New Innovations at Agricultural Ecosystem and Environment*. University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian).

- Esmailian, Y., Eshghizadeh, M., & Tavassoli, A. (2022). Agronomic and economic evaluation of intercropping systems of barley (*Hordeum vulgare*) with two medicinal plants, fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and garlic (*Allium sativum*). *Journal of Agroecology*, 14(3), 467-484. (In Persian).
- Feike, T., Chen, Q., Pfenning, J., Graeff-Hönninger, S., Zühlke, G., & Claupein, W. (2010). *How to overcome the slow death of intercropping in China*. In Building sustainable rural futures. Proceedings of the 9th European IFSA Symposium (Pp. 2149-2158).
- Finley, K.A.B., & Ryan, M.R. (2018). Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. *Agriculture*, 8(80), 1-24.
- Gholipour, M., & Sharifi, P. (2018). Yield and productivity indices of common bean and sunflower intercropping in different planting ratios. *Plant Ecophysiology Journal*, 10(32), 127-137. (In Persian).
- Ghosh, P.K. (2004). Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research*, 88, 227-237
- Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Eskandari, H. (2019). Evaluation of forage quantity and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping system in Maragheh rainfed conditions. *Journal of Agroecology*, 11(2), 435-452. (In Persian).
- Koochaki, A., Nasiri Mahalati, M., Khoramdel, S., Anvarkhah, S., Sabet Timooti, M., & Sanjani, S. (2010). Studying the growth indices of hemp and sesame in two types of replacement and addition mixed cultivation. *Journal of Agroecology*, 2(1), 30-40. (In Persian).
- Kremer, R.J., & Kussman, R. (2008). Intercropping with kura clover improves soil quality in a pecan agroforestry system, *Soil and Water Conservation Society Annual Meeting*, Tuscan, AZ. July 26-30.
- Moradi, P., Asghari, J., Mohsenabadi, G., & Samizadeh, H. (2016). Evaluation of the beneficial effects of triple intercropping of maize (*Zea mays* L.), pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 6(19), 176-188. (In Persian).
- Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effect 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).
- Namdari, M., & Mahmoodi, S. (2012). Evaluation of yield and profitability indicators in the proportions of mixed cultivation of chickpeas and canola. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 14(4), 346-357.
- Namdari, M., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Zafarian, F. (2022). Effect of competition on nitrogen status in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and millet (*Panicum miliaceum* L.) intercropping under low input agricultural system. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(2), 31-46. (In Persian).
- Ndakidemi, P.A. (2006). Manipulating legume/cereal mixtures to optimize the above and below ground interactions in the traditional African cropping systems. *African Journal of Biotechnology*, 5, 2526-2533.
- Nurbakhsh, F., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2015). Evaluation of yield, yield components and different intercropping indices in mixed and row intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 6(2), 73-86. (In Persian).
- Rastgo, S., Aynehband, A., & Fateh, E. (2015). Competitiveness of sesame and mung bean crops in both monocropping and intercropping systems. *Journal of Agroecology*, 7(3), 356-367. (In Persian).
- Ren, Y., Liu, J., Wang, Z., & Zhang, S. (2016). Planting density and sowing proportions of maize-soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. *European Journal of Agronomy*, 72, 70-79.
- Saedi, M., Raei, Y., Amini, R., Taghizadeh, A., & Pasban Eslam, B. (2018). Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius*) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 247-260. (In Persian).
- Seyedi, S.M., Eftekhari, M., & Ghadiri, A. (2022). Effect of intercropping with barley (*Hordeum vulgare* L.) on dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield, land use efficiency and weed control. *Crop Production*, 15(1), 1-18. (In Persian).
- Sobkowicz, P. (2006). Competition between triticale (*Triticum secale* Witt.) and field beans (*Vicia faba* var. minor L.) in additive intercrops. *Plant Soil and Environment*, 52(2), 47-54.
- Yilmaz, F., 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, 111-119.
- Yu, Y., Stomph, T.J., Makowski, D., & Werf, W.V. (2015). Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crop Research*, 184, 133-144.