Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 4, 2024, p. 643-663

Evaluation of Water Use Efficiency in Intercropping of Sunflower (*Helianthus annuus* L.), Cotton (*Gossypium* spp.), and fodder Beet (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) based on the Traditional Pattern of Planting in Khorasan

Alireza Koocheki[1*], Mehdi Nassiri Mahallati[2], Maryam Javadi[3] and Seyyed Jalil Davarpanah[4]

1- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
3- Ph.D. Student of Agro-Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
4- Ph.D. Student of Agro-Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Iran.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

Received: 20-01-2021
Revised: 10-07-2021
Accepted: 12-07-2021
Available Online: 25-01-2021

How to cite this article:
Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Javadi M., & Davarpanah, S.J. (2024). Evaluation of water use efficiency in intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.), cotton (*Gossypium* spp.) and fodder beet (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) based on the traditional pattern of planting in Khorasan. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 643-663. (in Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/agry.2021.68427.1014

Introduction

At present, farmers are facing problems of shrinking landholding size, degradation of natural resources, climatic vulnerabilities, and low financial returns due to escalating costs of cultivation and inefficient utilization of agro-inputs. Thus, production per unit area of land, time, and inputs needs to be improved by efficiently capturing the solar energy and carbon dioxide for conversion into economic products. In recent years, there has been increased interest in agricultural production systems in order to achieve high productivity and promote sustainability over time. Intercropping, as a common method in sustainable agricultural systems, plays an important role in increasing productivity and yield stability to improve the utilization of resources. One of the most important benefits of intercropping is increasing production per unit area compared with sole cropping. The reason for increasing the yield in the intercropping is the better use of environmental factors such as water, nutrients, and light. The present study was designed to investigate the effects of mixed and row intercropping on yield and yield components of sunflower, cotton, and fodder beet.

Materials and Methods

In order to study the effects of mixed and row intercropping of cotton, sunflower, and fodder beet on yield and yield components in three species, a split-plot experiment based on randomized complete blocks design with three replicates was performed in research farm of Ferdowsi University of Mashhad in 2017-2018. Cropping pattern (mixed or row intercropping) was allocated to the main plots and different planting ratios (50% Cotton +37.5% Sunflower +12.5% fodder beet, 50% Cotton +37.5% fodder beet +12.5% Sunflower, 33.3% Cotton +33.3% Sunflower +33.3% fodder beet, sole cropping of Cotton, sole cropping of Sunflower and sole cropping

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https:// doi.org/10.22067/agry.2021.68427.1014

of fodder beet) were assigned to the sub-plots. Yield and yield components, as well as indices such as Land Equivalent Ratio (LER) and Water Use Efficiency (WUE), were measured. SAS ver.9.1 was used to analyze data, and mean comparison was performed based on the Duncan test.

Results and Discussion

The results indicated that in the intercropping of cotton, fodder beet, and sunflower and in all plant ratios, the total LER was more than one. The highest LER was obtained in 50% cotton + 37.5% sunflower + 12.5% fodder beet ratio and in both mixed and row intercropping patterns. The lowest LER was observed in the ratio of 50% cotton + 37.5% fodder beet + 12.5% sunflower and the mixed intercropping pattern. The highest amount of LER in cotton was obtained in the ratio of 50% cotton + 37.5% fodder beet + 12.5% sunflower and in both methods of mixed and row intercropping and in the ratio of 50% cotton + 37.5% sunflower + 12.5 % fodder beet was obtained in row intercropping pattern. In 33.3% cotton + 33.3% fodder beet + 33.3% sunflower ratio, cotton had the lowest partial LER in both mix and row intercropping patterns. Among different ratios of cotton planting, sole cropping, with 0.32 kg / m^3, had the highest and ratio of 33.3% cotton + 33.3% fodder beet + 33.3% sunflower, with 0.13 kg / m3, had the lowest water use efficiency.

Conclusions

Due to the different morphology, phenology, and growth type of plants used in the present study, it seems that the intercropping of cotton-sunflower and fodder beet can increase the efficiency of using resources, especially water. So, intercropping is one of the highly promising approaches for enhancing agricultural productivity and profitability that can provide sustainability in the agricultural ecosystem. Intercropping reduces the risk of crop failure, improves productivity per unit area, improves profitability, and can provide a pathway to food security in vulnerable production systems.

Acknowledgments

This research (Grant No. 47291) was funded by Vice Chancellor for Research of the Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Sustainability, harvest index (HI), yield and yield components, land equivalent ratio (LER).

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص ٦٦۳-٦٤۳

ارزیابی کارایی مصرف آب در کشت مخلوط سه گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، پنبه (*Gossypium* spp.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp.vulgaris L.)

علیرضا کوچکی[۱*]، مهدی نصیری محلاتی[۲]، مریم جوادی[۳] و سید جلیل داورپناه[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۲

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد پنبه (*Gossypium* spp.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ انجام شد. دو الگوی کاشت درهم و ردیفی در کرت‌های اصلی و نسبت‌های مختلف کاشت (شامل ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای، ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و کشت خالص هر یک از گونه‌ها) در کرت‌های فرعی تصادفی شدند. نتایج نشان داد که در کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان و در تمامی نسبت‌های مخلوط، مقدار LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط مورد نظر از نظر کارایی استفاده از زمین، نسبت به کشت خالص می‌باشد. بیشترین نسبت برابری کل، در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی بود و کمترین مقدار آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و در الگوی کشت درهم مشاهده شد. در بررسی LER جزئی نیز، گیاه پنبه در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی و در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در الگوی کشت ردیفی بیشترین مقدار و در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی کمترین LER جزئی را داشت. در بین نسبت‌های مختلف کاشت پنبه نیز، کشت خالص با ۰/۳۲ مترمکعب در هکتار بیشترین و نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه+ ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۳۳/۳ درصد آفتابگردان با ۰/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب، کمترین مقدار کارایی مصرف آب را داشتند.

واژه‌های کلیدی: پایداری، شاخص برداشت، عملکرد و اجزای عملکرد، نسبت برابری زمین

۱- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکترای بوم‌شناسی زراعی (اگرواکولوژی)، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴- دانشجوی دکترای بوم‌شناسی زراعی (اگرواکولوژی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)

https:// doi.org/10.22067/agry.2021.68427.1014

مقدمه

حذف تدریجی تنوع از بوم‌نظام‌های زراعی موجب کاهش کارایی و بهره‌وری در این بوم نظام‌ها شده است. این در حالی است که مدیریت اکولوژیک در دراز مدت می‌تواند باعث پایداری تولید در بوم نظام‌های زراعی شود و علاوه‌بر جلوگیری از زوال سلامت محیط و تنوع زیستی، منابع پایه را برای تداوم بهره‌برداری حفظ کند (Rafei et al., 2017). کشت مخلوط راهکاری مناسب برای دسترسی به عملکرد بهینه با کمترین مصرف یا بدون مصرف نهاده‌های خارجی می‌باشد که در درازمدت می‌تواند افزایش پایداری را برای بوم‌نظام‌های زراعی به همراه داشته باشد (Koocheki et al., 2013). از طرفی، کشت مخلوط نقش مهمی در ایجاد تنوع، افزایش کارآیی استفاده از منابع و کاهش تداخل علف‌های هرز، حشرات و آفات دارد و در نهایت، سبب افزایش پایداری عملکرد می‌شود (Zaefarian & Bagheri, 2014). همچنین کشت مخلوط یکی از مؤثرترین راه‌ها برای بهبود بهره‌وری در سیستم‌های زراعی بوده (Chao Dai et al., 20122012; Poveda et al.,) و از مهم‌ترین مزیت‌های آن، بالاتر بودن کارایی استفاده از منابع به‌ویژه نور، آب و نیتروژن در مقایسه با کشت‌های خالص می‌باشد (YiKai et al., 2012). حضور چند گیاه در کشت مخلوط نسبت به یک گیاه در کشت خالص می‌تواند در صورت انتخاب درست گیاهان، میزان بیشتری از نور رسیده به زمین را جذب کرده تا افزایش تولید ماده خشک در واحد سطح را به دنبال داشته باشد (Keating et al., 1993). در تعریفی مناسب، کشت مخلوط به کشت دو یا تعداد بیشتری از محصولات زراعی با یکدیگر در یک قطعه زمین در یک زمان گفته می‌شود (Xin & Tong, 1986). لذا، شرط موفقیت در این نوع کشت این است که گونه‌های موجود در آن به‌شکل متفاوتی از منابع استفاده و به عبارت دیگر، آشیان‌های بوم‌شناختی متفاوتی داشته باشند، به‌گونه‌ای که این رشد واگرا موجب شود، گونه‌ها به‌شکل مکمل عمل کرده و بیشترین استفاده را از منابع محیطی داشته باشند. بنابراین، در طراحی کشت مخلوط، انتخاب گونه‌های گیاهی با خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی متفاوت بسیار مؤثر خواهد بود (Moradi et al., 2015).

پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، یکی از مهم‌ترین گیاهان لیفی جهان می‌باشد که به‌دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک متفاوت قدرت سازگاری مناسبی در اقلیم‌های مختلف دارد (Dehghani et al., 2015). ارزش اقتصادی بالا و تقاضای زیاد برای فرآورده‌های پنبه، این گیاه را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان اقتصادی مورد کشت و کار در جهان مطرح کرده است. با این وجود، بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۹)، در فاصله زمانی بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ سطح زیر کشت پنبه روند کاهشی داشته و از ۱۶۷ هزار به ۷۰ هزار هکتار رسیده است. همچنین میزان تولید (آبی و دیم) این محصول در این فاصله زمانی از ۴۲۰ به ۱۶۵ هزار تن کاهش یافته است. بنابراین خطر حذف این گیاه از برنامه کشت، خصوصاً در مناطقی مانند خراسان رضوی که در سال ۱۳۹۷ با ۲۳ هزار هکتار از نظر سطح زیر کشت در رتبه اول کشور قرار داشته، وجود دارد. بررسی بیشتر آمارها همچنین نشان می‌دهد که سطح کشت پنبه دیم در استان خراسان رضوی از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۷ به صفر رسیده است. بنابراین، با توجه به اهمیت پنبه در تنوع زیستی بوم‌نظام‌های کشاورزی، ترسیب کربن، افزایش نفوذپذیری خاک (با توجه به ریشه راست و عمیق) و همچنین برای صنایع وابسته (Dadmand et al., 2019)، به نظر می‌رسد به تلاش و تحقیقات بیشتری برای جلوگیری از کاهش سطح زیر کشت و تولید این محصول نیاز باشد.

یکی از راه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب به‌خصوص در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، افزایش کارایی مصرف آب می‌باشد که در کشت مخلوط گیاهان مختلف گزارش شده است (Tsubo et al., 2005). آزمایش‌های متعددی در زمینه بررسی عملکرد، اجزای عملکرد وکارایی مصرف منابع در کشت مخلوط پنبه با گیاهان مختلف انجام شده است. به‌طور مثال، طی آزمایشی که دادمند و همکاران (Dadmand etal., 2019) به‌منظور ارزیابی اثر کشت مخلوط بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات زراعی پنبه و ذرت (*Zea mays*) انجام دادند، مشاهده کردند که وزن غوزه، عملکرد وش و عملکرد بیولوژیک در کشت خالص پنبه به‌طور معنی‌داری از الگوهای کشت مخلوط دو ردیف پنبه + یک ردیف ذرت و سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت کمتر بود. همچنین، بیشترین کارایی مصرف آب با مقدار ۲/۲۱ کیلوگرم وش در مترمکعب آب در تیمار کشت سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت مشاهده شد که نسبت به کشت خالص، ۱/۲ برابر بیشتر بود. بیشترین سودمندی کشت مخلوط برای پنبه نیز در

کشت خالص پنبه و نسبت سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت و بیشترین مقدار نسبت برابری زمین (LER) در الگوی سه ردیف پنبه + یک ردیف ذرت مشاهده شد. سینگ و همکاران (Singh et al., 2007) نیز با انجام آزمایشی در کشور هند، به بررسی کارایی مصرف منابع در کشت مخلوط پنبه و بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) پرداختند. نتایج این آزمایش نشان داد که در مقایسه با کشت خالص، کشت مخلوط پنبه و بادام زمینی، موجب افزایش بهره‌وری آب به میزان ۱۹ درصد و کارایی استفاده از عناصر به‌میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد گردید. همچنین در این آزمایش میزان سودمندی اقتصادی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در کشت مخلوط با گندم (*Triticum aestivum* L.) نیز ملاحظه شد که با افزایش تراکم گندم، میزان عملکرد اقتصادی و بیولوژیک پنبه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Zhang et al., 2007). به‌طوری‌که بعد از کشت خالص، بیشترین میزان عملکرد اقتصادی و بیولوژیک پنبه در نسبت سه ردیف گندم + دو ردیف پنبه و کمترین مقدار آن نیز در نسبت‌های سه ردیف گندم + یک ردیف پنبه و شش ردیف گندم + دو ردیف پنبه حاصل شد. به نظر می رسد به‌دلیل قرار گرفتن پنبه در سایه گندم در مرحله گیاهچه‌ای، این گیاه فرصت تأمین نور کافی برای توسعه برگ‌ها و در نتیجه، رشد مناسب را نداشته است. نتایج تحقیق بسم‌الله خان و همکاران (Bismillah khan et al., 2001)، نیز نشان داد که کشت مخلوط پنبه با ماش (*Vigna radiate* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.)، سویا (*Glycine max* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L.)، ذرت و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، موجب کاهش ارتفاع این گیاه در تمامی تیمارهای مخلوط نسبت به کشت خالص شد و کمترین ارتفاع پنبه در کشت مخلوط با کنجد به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین تعداد غوزه و عملکرد وش پنبه در کشت خالص و کشت مخلوط پنبه با ماش و سویا به‌دست آمد و کمترین عملکرد پنبه در کشت مخلوط با کنجد حاصل شد که نسبت به کشت خالص ۶۷ درصد کاهش یافت.

نگاهی به تاریخچه کشت پنبه در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که کشاورزان سنتی در مناطق خشک استان نظیر شهرستان سبزوار در گذشته از سیستم‌های کشت مخلوط پنبه استفاده می‌کرده‌اند که یکی از انواع آن‌ها کشت سه گانه پنبه –آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) – چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) می‌باشد. بنابراین، با عنایت به مطالب فوق و با الگوبرداری از سیستم‌های کشت سنتی پنبه در منطقه خراسان و به منظور ارائه راهکارهایی برای افزایش عملکرد و پایداری در سیستم‌های زراعی، تحقیق حاضر جهت ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد گونه‌ها در مخلوط، مزیت مخلوط نسبت به خالص و نیز کارایی استفاده از آب در سیستم‌های کشت مخلوط پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷– ۱۳۹۶به‌صورت کرت‌های خرد شده و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) انجام شد. عامل کرت اصلی، شامل الگوی کاشت به دو صورت ردیفی و درهم و عامل کرت فرعی شامل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و نیز کشت خالص سه گونه بود. الگوبرداری این طرح از سیستم‌های کشت مخلوط سنتی پنبه در خراسان صورت گرفت. بنابراین به‌دلیل اینکه در الگوی کشت مخلوط سنتی این گیاهان، گیاه پنبه به‌عنوان گیاه اصلی در نظر گرفته می‌شود، جهت ارزیابی کشت مخلوط، نسبت‌های مختلف کشت سه گونه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) رقم خرداد، آفتابگردان(*Helianthus annuus* L.) رقم آلستار و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) رقم کارا شامل؛ ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و کشت خالص هر سه گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

قبل از شروع آزمایش و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک انجام گرفت. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Some physical and chemical properties of experimental site soil (depth 0-30 cm)

بافت Texture	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)
لومی رسی Clay loam	0.069	81.3	315	0.49	7.78	0.78

عملیات آماده‌سازی زمین و تهیه بستر کاشت به‌روش رایج و با اجرای شخم و دیسک انجام شد. کاشت بذرهای هر سه گونه به صورت همزمان و در اوایل اردیبهشت ماه به‌صورت دستی انجام گرفت. ابعاد هر کرت فرعی ۵ × ۵ متر، فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ و فاصله بین تکرارها یک متر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن میانگین تراکم مناسب برای سه گیاه (۱۰ بوته در مترمربع)، فاصله روی ردیف برای هر سه گونه ۲۰ سانتی‌متر (Koocheki et al., 2019; Karimzade Asl et al., 20032017; Dadmand et al.,) و فاصله بین ردیف‌ها نیز ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و هر کرت فرعی شامل شش ردیف به‌طول پنج متر بود. لازم به ذکر است که برای کاشت گیاهان در کشت مخلوط درهم، با در نظر گرفتن ترکیب مخلوط و محاسبه نسبت وزنی، میزان بذر لازم از هر گونه برآورد و با دست در سطح کرت پخش و با لایه‌ای از خاک نرم پوشانده شد. (میزان بذر لازم برای کشت خالص درهم به‌ترتیب برای آفتابگردان، پنبه و چغندر علوفه‌ای معادل ۱/۵، ۱/۱ و ۰/۲ گرم در مترمربع بود که در نسبت‌های مختلف مخلوط نیز با توجه به سهم گیاه مورد نظر در مخلوط محاسبه و استفاد گردید).

اولین آبیاری نیز بلافاصله پس از کاشت با هدف تسهیل در خروج گیاهچه‌ها از خاک و آبیاری‌های بعدی به‌فاصله هر هشت روز یک بار به‌شیوه نشتی انجام شد. وجین علف‌های هرز در طی دوره رشد و در دو نوبت، به‌صورت دستی انجام شد و در مخلوط‌های ردیفی برای رسیدن به تراکم مورد نظر، گیاهان در مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند. بر اساس آزمایش خاک و به‌منظور جلوگیری از کمبود عناصر غذایی، میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) هم‌زمان و ۵۰ روز بعد از کاشت، مورد استفاده قرار گرفت و از سایر کودهای شیمیایی استفاده نشد.

در پایان فصل رشد (اواسط شهریور و اواخر مهر و آبان ماه به ترتیب برای آفتابگردان، پنبه و چغندر علوفه‌ای) در هنگام برداشت، خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد پنبه شامل ارتفاع بوته‌ها، تعداد غوزه در بوته، عملکرد اقتصادی، عملکرد بیولوژیک و برای گیاه آفتابگردان نیز صفاتی مانند ارتفاع بوته‌ها، قطر طبق، متوسط تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد اقتصادی و بیولوژیک اندازه‌گیری و در نهایت، شاخص برداشت برای هر دو گونه محاسبه شد. در خصوص گیاه چغندر علوفه‌ای نیز صفاتی مانند وزن تر برگ، ریشه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری و ثبت گردید. لازم به ذکر است که تعیین عملکرد نهایی برای هر گیاه، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای (حذف ۶۰ سانتی‌متر از طرفین و ابتدا و انتهای هر کرت) انجام شد.

کارایی مصرف آب از نسبت عملکرد اقتصادی (عملکرد وش، دانه و علوفه تر به‌ترتیب برای پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای) به مجموع آب مصرفی در طول دوره رشد (معادله ۱) محاسبه شد (Tavassoly et al., 2010).

$$WUE = Yg / W \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، WUE: کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Yg: عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و W: مجموع آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در طی فصل رشد شامل آب آبیاری و بارندگی (۱۰۱ میلی متر) است که در این تحقیق مقدار آن برای همه کشت‌های خالص و مخلوط (درهم و ردیفی) یکسان در نظر گرفته شد. در طول فصل رشد و به‌منظور اندازه‌گیری حجم آب مصرفی در کرت‌های مورد نظر، در هر بار آبیاری از کنتور حجمی نصب شده در مسیر آبیاری استفاده شد. به‌دلیل یکسان بودن تعداد لوله‌های توزیع آب در تمامی کرت‌ها، آب به‌صورت یکنواخت در کرت‌ها توزیع گردیده و بنابراین، سهم هر گونه گیاهی بر اساس میزان سطح اشغال شده محاسبه گردید. برای تعیین میزان بارندگی در طول فصل رشد گیاهان مورد نظر نیز از داده‌های ایستگاه هواشناسی مشهد استفاده گردید.

برای ارزیابی کشت مخلوط پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای در مقایسه با کشت خالص آن‌ها از شاخص نسبت برابری زمین (معادله ۲) استفاده شد (Mead & Willey, 1980).

$$LER = (Y_1/B_1)+(Y_2/B_2)+(Y_3/B_3) \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، LER: نسبت برابری زمین، Y_1,Y_2 و Y_3: به‌ترتیب عملکرد گونه‌های پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای در کشت مخلوط درهم و ردیفی و B_1، B_2 و B_3: نیز به‌ترتیب عملکرد این سه گونه در کشت خالص (درهم و ردیفی) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver.9.1 و مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد به‌وسیله آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع، عملکرد و اجزای عملکرد پنبه

نتایج آزمایش نشان داد که اثر الگوی کاشت بر ارتفاع گیاه پنبه معنی‌دار است (جدول ۲)، به‌طوری‌که در کشت درهم نسبت به کشت ردیفی، ارتفاع پنبه ۱۶/۴ درصد کاهش یافت (جدول ۳). با توجه به حساسیت بالای گیاه پنبه در مرحله سبز شدن، به نظر می‌رسد عدم وجود آرایش مناسب گیاهی و همچنین قرار گرفتن بذور در شرایط نامناسب جوانه‌زنی در الگوی کشت درهم (Nurbakhsh et al., 2015)، موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه پنبه شده و در نتیجه، ارتفاع این گیاه را نیز تحت تأثیر قرار داده است. تغییر نسبت‌های کاشت نیز، ارتفاع پنبه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. در بین نسبت‌های مورد استفاده در مخلوط، بیشترین ارتفاع بعد از کشت خالص، مربوط به نسبت‌های با ۵۰ درصد پنبه (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای) بود و با کاهش نسبت پنبه در مخلوط، ارتفاع آن کاهش پیدا کرد (جدول ۳). به نظر می‌رسد، با افزایش تراکم آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای در مخلوط مورد نظر، سایه‌اندازی این گیاهان بر پنبه به‌خصوص در مراحل اولیه رشد افزایش یافته و در نتیجه، به‌دلیل عدم وجود نور کافی و حساسیت گیاه پنبه در مراحل اولیه رشد و همچنین رقابت بر سر منابع غذایی، ارتفاع آن کاهش یافته است. اثر متقابل الگو و نسبت‌های کاشت، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع پنبه نداشت (جدول ۲). نتایج تحقیق بارزالی (Barzali., 2012) بر روی کشت مخلوط پنبه با گیاهان سویا، سورگوم و کنجد نیز نشان داد که با کاهش تراکم پنبه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی، ارتفاع گیاه پنبه نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند.

الگوی کاشت به‌طور معنی‌داری تعداد غوزه در بوته پنبه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲)، به‌طوری‌که در کشت ردیفی در مقایسه با کشت درهم، تعداد غوزه در بوته ۲۰/۳ درصد بیشتر بود که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت ردیفی نسبت به درهم می باشد (جدول ۳). در تمامی نسبت‌های مخلوط نیز، تعداد غوزه در بوته نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بعد از کشت خالص، بیشترین تعداد غوزه در پنبه مربوط به مخلوط‌هایی با ۵۰ درصد پنبه (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای) و کمترین مقدار آن مربوط به‌نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان) بود (جدول۳). اقبال و همکاران (Iqbal et al., 2007)، نیز با انجام آزمایشی روی کشت مخلوط پنبه با سویا و سورگوم، به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم هرکدام از این گیاهان در کشت مخلوط، تعداد و وزن غوزه در پنبه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد، حساسیت گیاه پنبه به سایه‌اندازی گونه‌های همراه در مراحل ابتدایی رشد، موجب بهره‌برداری کمتر این گیاه از منابع محیطی شده و این امر ارتفاع و همچنین تعداد غوزه در این گیاه را تحت تأثیر قرار داده است.

عملکرد اقتصادی پنبه در دو الگوی کشت ردیفی و درهم به‌طور معنی‌داری متفاوت بود (جدول ۲). به‌طوری‌که در الگوی کشت درهم نسبت به ردیفی ۲۷/۳ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). پایین بودن عملکرد کشت درهم در مقایسه با ردیفی در نتایج آزمایشات دیگر محققین نیز گزارش شده است و آن‌ها دلیل امر را آرایش بهتر گیاهان در الگوی کشت ردیفی در مقایسه با درهم و استفاده بهتر گیاهان از منابع به‌ویژه آب و نور دانسته‌اند (Ghaderi et al., 2001). نسبت‌های مختلف مخلوط نیز عملکرد اقتصادی پنبه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. در بین نسبت‌های کاشت، کمترین مقدار عملکرد اقتصادی مربوط به تیمار با ۳۳/۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان) و بیشترین آن مربوط به کشت خالص این گیاه بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد، دلیل پایین بودن عملکرد اقتصادی پنبه در نسبت‌های مخلوط در مقایسه با خالص، کاهش تراکم این گیاه در نسبت‌های مخلوط باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و افتابگردان بر عملکرد و اجزای عملکرد پنبه

Table 2- Results of analysis of variance (mean of squares) for planting pattern and different planting ratios of cotton, sunflower and fodder beet intercropping on yield and yield components of cotton

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	تعداد غوزه No. bolls per plant	عملکرد اقتصادی Economic yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	5.66^{ns}	0.541^{ns}	5728.5^{ns}	118849.0^{ns}	0.620^{ns}	0.00012^{ns}
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	1048.0**	32.6**	1353940.0**	11611094.3**	20.7*	0.0293**
خطای (a) Error (a)	2	7.14	0.291	11951.3	449554.1	2.38	0.00026
نسبت‌های کاشت Planting ratios (R)	3	78.4**	6.38*	1672722.5**	29344134.5**	2.66^{ns}	0.0361**
الگوی کاشت× نسبت‌های کاشت P × R	3	6.86^{ns}	0.444^{ns}	49095.0^{ns}	692149.3^{ns}	4.69^{ns}	0.0010^{ns}
خطای (b) Error (b)	6	25.9	0.763	68842.8	1180106.6	1.94	0.0014

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, ** and *: are non -significant and significant at α=0.05 and α=0.01, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان

Table 3- Mean comparison of yield and yield components of cotton in intercropped cotton, sunflower and fodder beet

	ارتفاع Height (cm)	تعداد غوزه در بوته No. bolls per plant	عملکرد اقتصادی Economic yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
الگوی کاشت Planting pattern					
کشت ردیفی Row intercropping	80.4 ^{a}	11.8^{a}	1738.2 ^{a}	6563.8 ^{a}	26.8 ^{a}
کشت درهم Mixed intercropping	67.2 ^{b}	9.4 ^{b}	1263.2 ^{b}	5172.7 ^{b}	24.9 ^{b}
نسبت‌های کاشت Planting ratios					
Ia	74.3 ^{ab}	11.2 ^{a}	1476.6^{b}	5594.5 ^{b}	26.6 ^{a}
Ib	73.2^{bc}	10.5^{ab}	1428.8 ^{b}	5523.4 ^{b}	25.9 ^{a}
Ic	69.5^{c}	9.2^{b}	906.1^{c}	3504.9 ^{c}	25.9^{a}
Is	78.3 ^{a}	11.5^{a}	2191.4 ^{a}	8850.3 ^{a}	25 ^{a}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵٪ آفتابگردان. Ib: ۵۰٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵٪ چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳٪ پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet and 12.5% sunflower, Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower and 12.5% fodder beet, Ic: 33% cotton, 33% fodder beet and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

زیرا در بررسی بیشتر نتایج و در نسبت‌های ۵۰ (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان) و ۳۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان)، به‌ترتیب با کاهش تراکم ۵۰ و ۶۶ درصد این گیاه نسبت به خالص، عملکرد اقتصادی ۳۵ و ۵۹ درصد کاهش یافته است. رافعی و همکاران (Rafei et al., 2017) نیز با انجام آزمایشی بر روی کشت مخلوط پنبه، ذرت و لوبیا به نتایج مشابهی دست یافتند. بدین ترتیب که کاهش تراکم پنبه به‌میزان ۵۰ درصد نسبت به کشت خالص، عملکرد پنبه را ۳۷ درصد کاهش داد. از میان دو شیوه کاشت، کشت ردیفی باعث بهبود عملکرد بیولوژیک گیاه پنبه به‌میزان ۲۱/۲ درصد نسبت به کشت درهم شد (جدول ۳). بررسی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز نشان داد که عملکرد بیولوژیک در این گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت. بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه (۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان) به‌دست آمد (جدول ۳). بررسی بیشتر نتایج همچنین نشان داد که کاهش تراکم پنبه به‌میزان ۵۰ و ۶۶ درصد، عملکرد بیولوژیک این گیاه را به‌ترتیب ۳۷ و ۶۰ درصد کاهش داد که این امر نشان می‌دهد کاهش عملکرد بیولوژیک در کشت مخلوط پنبه بیشتر به‌دلیل کاهش تراکم آن در نسبت‌های مورد نظر می‌باشد. در آزمایشی روی سطوح مختلف کود نیتروژن و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در گیاه پنبه نیز ملاحظه شد که با کاهش تراکم پنبه به‌میزان ۵۰ درصد و جایگزینی آن با گیاه ذرت در کشت مخلوط، عملکرد بیولوژیک پنبه ۴۸ درصد کاهش یافت (Koocheki et al., 2016). بررسی اثرات متقابل الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز نشان داد که این اثرات متقابل، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک پنبه نداشت (جدول ۲).

شاخص برداشت پنبه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوی کاشت این گیاه قرار گرفت (جدول ۲). در مقایسه دو الگوی کاشت مورد استفاده، الگوی کشت درهم نسبت به ردیفی باعث کاهش شاخص برداشت به‌میزان ۷/۱ درصد گردید (جدول ۳). طی آزمایشی، بررسی عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در کشت مخلوط ردیفی و درهم با کنجد نشان داد که شاخص برداشت این گیاه در کشت مخلوط درهم

نسبت به ردیفی ۲۷ درصد کاهش پیدا کرد (Nurbakhsh et al., 2015). به نظر می‌رسد، آرایش فضایی مناسب گیاهان در کشت مخلوط ردیفی برخلاف کشت درهم، موجب به حداقل رساندن تداخلات درون و بین گونه‌ای در کشت مخلوط شده که این امر بهره برداری بیشتر از منابع موجود توسط گیاه را امکان‌پذیر کرده است. اثر نسبت‌های مختلف کشت و همچنین اثر متقابل الگو و نسبت‌های مختلف کشت بر شاخص برداشت پنبه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

ارتفاع، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

الگوی کاشت و اثر متقابل الگو و نسبت‌های کشت مخلوط، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه آفتابگردان نداشت (جدول ۴). بین نسبت‌های مختلف کاشت مخلوط نیز از نظر ارتفاع بوته آفتابگردان، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و ارتفاع گیاه در همه نسبت‌های مورد نظر تفاوت چندانی با کشت خالص نداشت (جدول ۵). نتایج تحقیق موسویان و سید محمدی (Mosavian & Seyed Mohamadi., 2015)، نیز نشان داد که ارتفاع گیاه آفتابگردان تحت تأثیر کشت مخلوط با ذرت قرار نگرفت و نسبت‌های مختلف کاشت، این شاخص را تحت تأثیر قرار نداد.

قطر طبق، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد دانه در طبق، تحت تأثیر هیچکدام از تیمارهای الگو و نسبت‌های مختلف کاشت و اثرات متقابل آن قرار نگرفت (جدول ۴). نتایج تحقیق نصرالله‌زاده و همکاران (Nasrollah zadeh et al., 2017) نیز نشان داد که وزن ۱۰۰ دانه در گیاه آفتابگردان تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط این گیاه با لوبیا چیتی قرار نگرفت.

عملکرد اقتصادی تحت تأثیر هیچکدام از الگوهای کاشت ردیفی و درهم قرار نگرفت، امّا نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر آن داشت. بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی در کشت خالص آفتابگردان و کمترین آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۱۲/۵ درصد آفتابگردان به‌دست آمد (جدول ۵). نسبت‌های ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نیز بعد از کشت خالص، دارای بیشترین عملکرد اقتصادی بودند. به نظر می‌رسد دلیل پایین بودن عملکرد در نسبت‌های کمتر آفتابگردان، فقط پایین بودن تراکم این گیاه در مخلوط باشد. زیرا در نسبت‌های ۳۷/۵ و ۳۳/۵ درصد آفتابگردان و با کاهش تراکم این گیاه به ۶۲/۵ و ۶۶ درصد، عملکرد آن به‌ترتیب ۳۰ و ۳۲/۵ درصد کاهش یافته و در نسبت ۱۲/۵ درصد آفتابگردان که تراکم گیاه ۸۷/۵ درصد کاهش یافته، عملکرد ۶۵ درصد کمتر از کشت خالص بود. بنابراین، به نظر می‌رسد با کاهش تراکم آفتابگردان در نسبت‌های مخلوط، رقابت درون گونه‌ای این گیاه نسبت به خالص کاهش یافته و گیاه اثر تکمیل‌کنندگی بهتری با گیاهان مورد استفاده در مخلوط داشته است. قلی پور و شریفی (Gholipour & Sharifi., 2016) نیز با انجام آزمایشی بر روی کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا به نتایج مشابهی دست یافتند. در تحقیق نام‌برده نیز بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی در کشت خالص آفتابگردان و کمترین مقدار آن در نسبت کشت ۷۵ درصد لوبیا + ۲۵ درصد آفتابگردان مشاهده شد که دلیل کمتر بودن عملکرد اقتصادی در این نسبت، کاهش تراکم گیاه در مخلوط مورد نظر بود. کاندهرو و همکاران (Kandhro et al., 2007) نیز بیان کردند که ۵۰ درصد افزایش تراکم گیاه ماش در کشت مخلوط با آفتابگردان، عملکرد اقتصادی آفتابگردان را ۲۲ درصد کاهش داد.

اثر الگوی کاشت بر عملکرد بیولوژیک گیاه آفتابگردان معنی‌دار نبود. امّا اثر نسبت‌های کاشت بر این شاخص معنی‌دار بود و با کاهش تراکم این گیاه به‌میزان ۸۷/۵ درصد در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای+ ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص، عملکرد بیولوژیک ۶۷ درصد کاهش یافت (جدول ۵). در نسبت‌های مخلوط ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نیز عملکرد بیولوژیک در مقایسه با خالص ۳۸ درصد کاهش یافت که دلیل آن کاهش تراکم گیاه در نسبت‌های مورد نظر بود. نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al. 2020) نشان داد که عملکرد بیولوژیک آفتابگردان در کشت مخلوط با لوبیا چیتی تحت تأثیر قرار نگرفت و ۵۰ درصد کاهش تراکم آفتابگردان نسبت به خالص، عملکرد بیولوژیک این گیاه را کاهش نداد. چنین به نظر می‌رسد که کاهش رقابت درون گونه‌ای در کشت مخلوط نسبت به خالص، توانسته است، کاهش تراکم گیاه را جبران نموده و بنابراین، عملکرد بیولوژیک در کشت مخلوط بیشتر ازمقدار مورد انتظار آن بوده است.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و افتابگردان بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

Table 4- Analysis of variance for planting pattern and different planting ratios of cotton, sunflower and fodder beet on yield and yield components of sunflower

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع Height	قطر طبق Head diameter	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	تعداد دانه در طبق No. seeds per head	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	28.5 ^{ns}	1.31 ^{ns}	0.136 ^{ns}	4117.9 ^{ns}	133354.4 ^{ns}	9919681.4 ^{ns}	70.8 ^{ns}	0.001 ^{ns}
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	28.8 ^{ns}	0.260^{ns}	1.81^{ns}	8217.7 ^{ns}	454520.3 ^{ns}	2856600.0 ^{ns}	7.70^{ns}	0.035**
خطای (a) A error	2	6.07	0.261	0.713	6380.1	30407.2	1613251.8	32.9	0.001
نسبت‌های کاشت Planting ratios (R)	3	69.4 ^{ns}	1.35 ^{ns}	0.522 ^{ns}	3178.7^{ns}	9095714.9**	114450775.5**	16.8^{ns}	0.072**
الگوی کاشت× نسبت‌های کاشت P × R	3	2.22 ^{ns}	0.463 ^{ns}	0.458^{ns}	510.8^{ns}	60728.7 ^{ns}	816431.5^{ns}	2.25 ^{ns}	0.003^{ns}
خطای (b) B error	6	80.3	0.462	1.09	4214.2	276247.3	4947517.9	12.0	0.002

^{ns}، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

^{ns}, **and *: are non -significant and significant at α=0.05 and α=0.01 respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان

Table 5- Mean comparison of yield and yield components of sunflower in intercropped cotton, sunflower and fodder beet

	ارتفاع Height (cm)	قطر طبق Head diameter (cm)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	تعداد دانه در طبق No. seeds per head	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
الگوی کاشت Planting pattern							
کشت ردیفی Row intercropping	180.3 a	9.9 a	14.4 a	887.5 a	3299.4 a	10608a	32 a*
کشت درهم Mixed intercropping	178.1 a	9.7a	14.9a	850.5 a	3024.2 a	9918 a	30.1a
نسبت‌های کاشت Planting ratios							
Ia	174.01 a	9.4 b	14.7 a	845.6 a	1628.5 c	5306c	30.5 a
Ib	181.2 a	9.6 ab	15.0 a	889.7 a	3241b	9883 b	33.2a
Ic	180.6a	9.8 ab	14.7 a	887.8 a	3136.1 b	9909b	32.4a
Is	180.7a	10.5 a	14.2 a	852.9 a	4641.6 a	15954 a	29.6a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪ آفتابگردان. Ib: ۵۰٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳ ٪ پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet, and 12.5% sunflower; Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower, and 12.5% fodder beet, Ic: 33% cotton, 33% fodder beet and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

بررسی شاخص برداشت گیاه آفتابگردان در کشت مخلوط نیز نشان داد که اثر روش، نسبت‌های مخلوط و اثرات متقابل این دو تأثیر معنی‌داری بر این شاخص نداشت (جدول ۴). در بررسی شاخص برداشت گیاه آفتابگردان در کشت مخلوط این گیاه با گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) نیز نتایج نشان داد که این شاخص تحت تأثیر هیچکدام از نسبت‌های مخلوط ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان، ۵۰ درصد گوار + ۵۰ درصد آفتابگردان و ۲۵ درصد گوار + ۷۵ درصد آفتابگردان قرار نگرفت (Momen Keykha et al., 2018). برخی محققین دلیل این امر را تغییرات هماهنگ عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح می‌دانند (Rahimi et al., 2002).

عملکرد چغندر علوفه‌ای

اثر الگو و نسبت‌کاشت، بر وزن تر برگ در گیاه چغندر علوفه‌ای معنی‌دار بود (جدول۶) . در بین الگوهای کاشت، الگوی کشت ردیفی بیشترین و الگوی درهم کمترین مقدار وزن تر برگ را داشتند (جدول ۷). در بین نسبت‌های مخلوط نیز، بیشترین مقدار وزن تر برگ در کشت خالص و کمترین آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای بود که نسبت به تیمار خالص ۳۶/۸ درصد کاهش یافت. در بررسی اثر متقابل الگو و نسبت‌های کاشت بر وزن تر برگ نیز ملاحظه شد که بیشترین مقدار وزن تر برگ در کشت خالص ردیفی و کمترین مقدار آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در هر دو الگوی کاشت ردیفی و درهم به‌دست آمد. بررسی بیشتر نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً تنها دلیل کاهش وزن تر برگ در این نسبت از مخلوط، کاهش تراکم گیاه باشد زیرا ۸۷/۵ درصد کاهش تراکم گیاه در این نسبت، موجب کاهش وزن تر برگ به‌میزان ۵۹/۵ و ۵۵/۵ درصد به‌ترتیب در الگوی کشت ردیفی و درهم نسبت به خالص شده است. نتایج تحقیق چوب فروش و همکاران (Chobforoosh et al., 2019) نیز نشان داد که کاهش ۵۰ درصد تراکم چغندر قند در کشت مخلوط این گیاه با سویا، بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) و ارزن پروسو (*Panicum millaceum* L.) در مقایسه با کشت خالص، تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ این گیاه نداشت و سطح برگ این گیاه را نیز ۱۰ درصد کاهش داد.

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگو و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و افتابگردان بر عملکرد و اجزای عملکرد چغندر علوفه‌ای

Table 6- Analysis of variance for planting pattern and different planting ratios of cotton, sunflower, and fodder beet on yield and yield components of fodder beet

منابع تغییرات S.O.V.	در جه آزادی d.f	عملکرد برگ Leaf yield	عملکرد ریشه Root yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کارایی مصرف آب WUE
تکرار Replication	2	1.14 ns	2.36 ns	11.8ns	0.438 ns
الگوی کاشت Planting pattern (P)	1	4.16*	138.2**	189.2 **	6.89**
خطای (a) A error	2	0.557	0.585	0.321	0.281
نسبت‌های کاشت Planting ratios (R)	3	95.6**	929.2 **	1586.2 **	23.0**
الگوی کاشت× نسبت‌های کاشت P × R	3	0.674 *	70.0**	75.4**	6.61**
خطای (b) B error	6	0.966	6.59	4.58	0.652

ns، ** و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, **and*: are non -significant and significant at α=0.05 and α=0.01 respectively.

وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک چغندر علوفه‌ای تحت تأثیر الگو و نسبت کاشت و همچنین اثرات متقابل این دو معنی‌دار شد (جدول ۷). در مقایسه دو الگوی کاشت بیشترین مقدار وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک در الگوی کشت ردیفی حاصل شد. در بین نسبت‌های کاشت نیز کشت خالص بیشترین و نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای کمترین وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک را داشت. بررسی اثرات متقابل الگو و نسبت کاشت نیز نشان داد که بیشترین مقدار وزن تر ریشه و عملکرد بیولوژیک در کشت خالص ردیفی و کمترین مقدار آن در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای و در الگوی کشت ردیفی به‌دست آمد. بررسی بیشتر نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً اصلی‌ترین دلیل پایین بودن عملکرد چغندر علوفه‌ای در کشت مخلوط در مقایسه با خالص، کاهش تراکم این گیاه و جایگزینی آن با گونه‌های همراه باشد. زیرا ۸۷/۵ درصد کاهش تراکم گیاه در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان+ ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نسبت به کشت خالص، عملکرد بیولوژیک این گیاه را به‌ترتیب در الگوی کشت ردیفی و درهم به‌میزان ۵۹ و ۵۸ درصد کاهش داد و کاهش ۶۲ تا ۶۶ درصد تراکم این گیاه در نسبت‌های۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان، عملکرد را حدود ۳۸ درصد در الگوی کشت ردیفی و ۴۰ درصد در الگوی کشت درهم تحت تأثیر قرار داد که این میزان، از کاهش عملکرد مورد انتظار بسیار کمتر بوده و بنابراین، این مسئله نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط این گیاه نسبت به خالص می‌باشد. به نظر می‌رسد به‌دلیل تیپ رشدی متفاوت چغندر علوفه‌ای و همچنین برداشت دیرتر آن نسبت به گونه‌های همراه در کشت مخلوط، این گیاه توانسته است حداکثر استفاده از منابع محیطی را انجام دهد. بررسی عملکرد ریشه در کشت مخلوط تأخیری چغندر قند با نسبت‌های مختلف گندم نیز نشان داد که در نسبت ۲:۴ گندم- چغندر قند، وزن تر ریشه در گیاه چغندر قند تفاوت معنی‌داری با کشت خالص نداشت (Koocheki et al., 2017). نتایج آزمایش خزاعی (Khazaei., 2014) بر روی کشت مخلوط ذرت و چغندر قند نیز نشان داد که در نسبت ۷۵ درصد چغندر قند + ۲۵ درصد ذرت، عملکرد ریشه با مقدار آن در کشت خالص تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد چغندر علوفه‌ای در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان

Table 7- Mean comparison of yield and yield components of fodder beet in intercropped cotton, sunflower and fodder beet

	عملکرد برگ Leaf yield (ton.ha^{-1})	عملکرد ریشه Root yield (ton.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (ton.ha^{-1})	کارایی مصرف آب WUE (kg.m^{3})
الگوی کاشت Planting pattern				
کشت ردیفی Row intercropping	12.2^{a}	43.3^{a}	55.5^{a}	13.1^{a*}
کشت درهم Mixed intercropping	11.4^{a}	38.5^{b}	49.9^{b}	12.0^{b}
نسبت‌های کاشت Planting ratios				
Ia	11.4^{b}	36.1^{b}	47.5^{b}	11.9^{b}
Ib	7.2^{c}	31.3^{c}	38.5^{c}	15.4^{a}
Ic	11.7^{b}	37.0^{b}	48.6^{b}	12.2^{b}
Is	16.9^{a}	59.2^{a}	76.1^{a}	10.9^{c}
اثرات متقابل Interactions				
کشت ردیفی Row intercropping				
Ia	11.6^{c}	41.2^{b}	52.8^{c}	13.2^{b}
Ib	7.2^{d}	29.0^{c}	36.2^{e}	14.5^{b}
Ic	12.1^{c}	41.7^{b}	53.8^{c}	13.5^{b}
Is	17.8^{a}	61.3^{a}	79.1^{a}	11.3^{c}
کشت درهم Mixed intercropping				
Ia	11.1^{c}	31.0^{c}	42.1^{d}	10.5^{c}
Ib	7.1^{d}	33.7^{c}	40.8^{d}	16.3^{a}
Ic	11.2^{c}	32.3^{c}	43.5^{d}	10.9^{c}
Is	16.0^{b}	57.1^{a}	73.1^{b}	10.5^{c}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰ ٪پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪آفتابگردان. Ib: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳ ٪ پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet, and 12.5% sunflower, Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower, and 12.5 % fodder beet; Ic: 33% cotton, 33% fodder beet, and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

کارایی مصرف آب

نتایج بررسی کارایی مصرف آب در گیاهان مورد استفاده در تحقیق حاضر نشان داد که در هر سه گیاه مورد بررسی، کشت ردیفی در مقایسه با درهم موجب بهبود کارایی مصرف آب در مخلوط شد (جدول ۸)، به‌طوری‌که در کشت ردیفی در مقایسه با درهم، کارایی مصرف آب در گیاه پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای به‌ترتیب ۲۷، ۹/۲ و ۸/۴ درصد بیشتر بود. بررسی اثر نسبت‌های مخلوط بر کارایی مصرف آب نشان‌دهنده عکس‌العمل متفاوت گیاهان به شرایط ایجاد شده در مخلوط بود. در پنبه، بیشترین کارایی مصرف آب در کشت خالص مشاهده شد و با کاهش تراکم پنبه در مخلوط، کارایی مصرف آب نیز کاهش یافت (جدول ۸). کمترین کارایی مصرف آب پنبه در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای به‌دست آمد که در نسبت به کشت خالص ۵۹/۵ درصد کاهش نشان داد. نسبت‌های ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان نیز بعد از کشت خالص بیشترین کارایی مصرف آب را داشتند. نتایج حاصل از آزمایش رافعی و همکاران (Rafei et al., 2017) بر روی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط پنبه با گیاه ذرت و لوبیا نشان داد که با کاهش تراکم گیاه پنبه و افزایش تراکم گیاه ذرت و لوبیا در مخلوط، کارایی مصرف آب پنبه

نسبت به کشت خالص کاهش پیدا کرد.

بیشترین کارایی مصرف آب در گیاه آفتابگردان در نسبت‌های ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای به‌دست آمد (جدول ۸). بررسی بیشتر نتایج همچنین نشان داد، در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص، کارایی مصرف آب ۱۶ درصد بیشتر بود که این امر نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص از نظر کارایی مصرف آب می‌باشد. به عقیده بعضی از محققین (Walker & Ogindo, 2003; Mannion, 1995)در طی دوره‌ها و فصول خشک، متنوع‌ترین بوم‌نظام‌ها، تولید بیشتری در مقایسه با بوم‌نظام‌های با تنوع کمتر دارند. که دلیل این امر می‌تواند کارایی بهتر استفاده از منابع محیطی مانند آب باشد (Hulugulle & Lal, 1986) نتایج آزمایش نجفی و همکاران (Najafi et al. 2015)، بر روی کشت مخلوط ارزن و لوبیا چشم بلبلی نشان داد که کارایی مصرف آب در تیمارهای ۱۰۰ درصد ارزن + ۲۵ و۵۰ درصد لوبیا چشم بلبلی نسبت به کشت خالص آن افزایش یافت. نام‌بردگان دلیل این امر را کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای ناشی از تراکم مطلوب به‌علت تسخیر آشیان‌های اکولوژیکی متفاوت توسط دو گونه گیاهی و همچنین همراهی گیاه لوبیا در تثبیت زیستی نیتروژن و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه در این نسبت‌ها دانستند. بنابراین سیستم‌های چندکشتی از طریق تأثیر بر عملکرد یا تبخیر و تعرق و یا هر دو بر کارایی مصرف آب اثر می‌گذارند (Soltani & Faraji, 2008).

در گیاه چغندر علوفه‌ای نیز بیشترین کارایی مصرف آب در بین نسبت‌های مورد نظر مربوط به نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای بود (جدول ۸). همچنین کارایی مصرف آب در نسبت‌های ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای در مقایسه با کشت خالص چغندر علوفه‌ای، بیشتر بود.

جدول ۸- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) گیاهان در کشت مخلوط سه گانه، پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان (کارآیی مصرف آب چغندر بر اساس وزن تر محاسبه شده است)

Table 8- Mean comparison of water use efficiency ($kg.m^{-3}$) of species in intercropped cotton, sunflower, and fodder beet (for fodder beet, WUE is calculated based on fresh weight)

	پنبه Cotton	آفتابگردان Sunflower	چغندر علوفه‌ای Fodder beet
الگوی کاشت Planting pattern			
کشت ردیفی Row intercropping	0.26 a	0.87a	13.1a
کشت درهم Mixed intercropping	0.19 b	0.79b	12.0 b
نسبت‌های کاشت Planting ratios			
Ia	0.22b	0.81b	11.9 b
Ib	0.21b	0.93a	15.4 a
Ic	0.13c	0.90a	12.2b
Is	0.32a	0.68c	10.9 c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مربوط به هر فاکتور آزمایش، بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Ia: ۵۰ ٪پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵٪ آفتابگردان. Ib: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Ic: ۳۳ ٪پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان. Ic: کشت خالص پنبه

* Similar letters in each column and for each experimental factor show non-significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at 5% probability level.

Ia: 50% cotton, 37.5% fodder beet, and 12.5% sunflower, Ib: 50% cotton, 37.5% sunflower, and 12.5 % fodder beet; Ic: 33% Cotton, 33% fodder beet and 33% sunflower, Is: Pur cotton.

به نظر می‌رسد، به‌دلیل برداشت دیرتر چغندر علوفه‌ای نسبت به پنبه و آفتابگردان، امکان استفاده این گیاه از بارندگی‌های پاییزه در مراحل انتهایی رشد بیشتر بوده و همچنین به‌دلیل وجود بقایای گیاهان مورد استفاده، میزان تبخیر و تعرق در تیمارهای کشت مخلوط چغندر علوفه‌ای در مقایسه با خالص کاهش یافته است که این مسئله موجب افزایش کارایی مصرف آب در تیمارهای مخلوط نسبت به خالص شده است. نتایج تحقیق روی و همکاران (Roy et a., 2015)نیز نشان داد که کارایی مصرف آب ذرت در کشت مخلوط با ماش، در نسبت ۲:۳ ذرت: ماش نسبت به کشت خالص بیشتر بود.

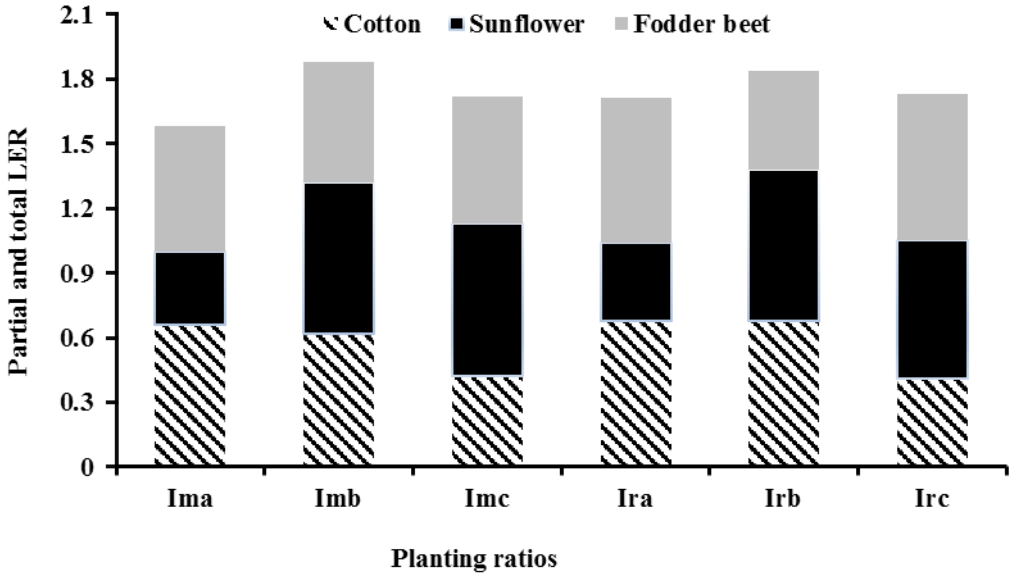
نسبت برابری زمین

بررسی نسبت برابری زمین در کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان نشان داد که در تمامی نسبت‌های مخلوط مقدار LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت‌های مخلوط از نظر کارایی استفاده از زمین، نسبت به کشت خالص می‌باشد (شکل ۱). بیشترین نسبت برابری زمین در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی بود که این مسئله به‌دلیل بالا بودن LER جزئی گیاه آفتابگردان و پنبه در این نسبت از کشت مخلوط بود. کمترین مقدار نسبت برابری زمین نیز در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان و در الگوی کشت درهم مشاهده شد. به نظر می‌رسد، به‌دلیل کاهش عملکرد آفتابگردان در این نسبت از کشت مخلوط، LER جزئی این گیاه نیز به‌طور چشمگیری کاهش یافته که در نهایت، موجب کاهش LER کل شده است. در بررسی LER جزئی نیز، گیاه پنبه در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی و در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای در الگوی کشت ردیفی بیشترین و در نسبت ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان در هر دو الگوی کشت درهم و ردیفی کمترین LER جزئی را داشت. طی آزمایش مشابهی دادمند و همکاران (Dadmand et al., 2019) به بررسی اثرات کشت مخلوط پنبه و ذرت پرداختند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که در تمامی نسبت‌های مخلوط، LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به خالص می‌باشد. در بین نسبت‌های مورد استفاده در تحقیق نام‌برده، بیشترین LER کل با مقدار ۱/۲۷ مربوط به نسبت دو ردیف پنبه + یک ردیف ذرت و کمترین آن در نسبت یک ردیف پنبه + یک ردیف ذرت مشاهده شد. بررسی نسبت برابری زمین در کشت مخلوط آفتابگردان با ذرت و سویا نیز نشان داد که در کشت‌های مخلوط افزایشی آفتابگردان - سویا و آفتابگردان- سویا- ذرت مقدار LER کل از یک بیشتر بود که این امر نشان‌دهنده استفاده بیشتر منابع از واحد سطح زمین در کشت مخلوط می‌باشد. به‌طور کلی، کشت مخلوط با ایجاد تعادل اکولوژیک به‌دلیل پوشش مناسب‌تر زمین در مقایسه با کشت خالص، موجب بهبود کارایی مصرف منابع، کنترل علف‌های هرز، حفظ بهتر رطوبت و کاهش دمای کانوپی و دمای سطح خاک شده و همچنین از بروز تنش‌های محیطی جلوگیری می‌کند و در نهایت، از طریق تأثیر مثبت بر رشد و عملکرد، بهبود نسبت برابری زمین را به دنبال دارد (Nakhzari Moghaddam et al., 2016). همچنین به‌دلیل تفاوت‌های زمانی و مکانی در صفات رشدی و گونه‌های مختلف زراعی، گیاهان در نظام‌های زراعی چندکشتی علاوه‌بر جذب بهتر و کاراتر عناصر غذایی از خاک (Zhang et al., 2003) قادر به بهره‌وری بهتر از سایر منابع مانند آب و نور می‌باشند که همین مسئله موجب افزایش عملکرد در بعضی گیاهان و در شرایط مختلف کشت مخلوط می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج تحقیق نشان داد که روش و نسبت‌های مختلف کاشت، عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مورد بررسی را تحت تأثیر قرار داد. در بین دو الگوی کشت مورد استفاده در تحقیق حاضر نیز، کشت ردیفی نسبت به درهم از نتایج بهتری برخوردار بود. بررسی نسبت برابری زمین در کشت مخلوط پنبه، چغندر علوفه‌ای و آفتابگردان نشان داد که در تمامی نسبت‌های مخلوط مقدار LER کل بیشتر از یک بوده که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط از نظر کارایی استفاده از زمین، نسبت به کشت خالص می‌باشد. بررسی روند عملکرد گیاهان مورد استفاده در نسبت‌های مخلوط نیز به‌خوبی مؤید این مسئله می‌باشد، به‌طوری‌که در گیاه پنبه و در نسبت‌های ۵۰ و ۳۳ درصد (۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد

چغندر علوفه‌ای، ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان، ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان)، که تراکم این گیاه نسبت به خالص به‌ترتیب ۵۰ و ۶۶ درصد کاهش می‌یابد، عملکرد اقتصادی تنها ۳۳ و ۵۸ درصد کاهش یافته است. همچنین در گیاه آفتابگردان و در نسبت‌های ۳۷/۵ و ۳۳/۵ درصد، با کاهش تراکم این گیاه به ۶۲/۵ و ۶۶ درصد، عملکرد آن به‌ترتیب ۳۰ و ۳۲/۵ درصد کاهش یافته و در نسبت ۱۲/۵ درصد آفتابگردان که تراکم گیاه ۸۷/۵ درصد کاهش یافته، عملکرد ۶۵ درصد کمتر از کشت خالص بود. کاهش تراکم چغندر علوفه‌ای به‌میزان ۸۷/۵ درصد در نسبت ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد چغندر علوفه‌ای + ۱۲/۵ درصد آفتابگردان در مقایسه با کشت خالص نیز، موجب کاهش عملکرد بیولوژیک این گیاه به‌میزان ۶۷ درصد شد.



شکل ۱- نسبت برابری زمین جزئی و کل در ترکیب‌های کشت مخلوط پنبه، آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای

Ima: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪ آفتابگردان. Imb: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Imc: ۳۳ ٪پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان (کشت درهم)

Ira: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۱۲/۵ ٪ آفتابگردان. Irb: ۵۰ ٪ پنبه، ۳۷/۵ ٪ آفتابگردان ، ۱۲/۵ ٪ چغندر علوفه‌ای. Irc: ۳۳ ٪پنبه، ۳۳ ٪ چغندر علوفه‌ای، ۳۳ ٪ آفتابگردان (کشت ردیفی)

Fig. 1- Partial and total land equivalent ratio for different arrangements of intercropped Cotton with Sunflower and Fodder beet

Ima: 50% cotton, 37.5% fodder beet, 12.5% sunflower, Imb: 50% cotton, 37.5% sunflower, 12.5 % fodder beet, Imc: 33% cotton, 33% fodder beet, 33% sunflower (Mix intercropping).

Ira: 50% cotton, 37.5% fodder beet,12.5% sunflower, Irb: 50% cotton, 37.5% sunflower, 12.5 % fodder beet, Irc: 33% cotton, 33% fodder beet, 33% sunflower (Row intercropping).

در نسبت‌های مخلوط ۳۳/۳ درصد پنبه + ۳۳/۳ درصد چغندر علوفه‌ای + ۳۳/۳ درصد آفتابگردان و ۵۰ درصد پنبه + ۳۷/۵ درصد آفتابگردان + ۱۲/۵ درصد چغندر علوفه‌ای نیز عملکرد بیولوژیک این گیاه، در مقایسه با خالص فقط ۳۸ درصد کاهش یافت که این مسئله نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با خالص می‌باشد. بررسی کارایی مصرف آب نیز نشان داد که اگرچه گیاه پنبه در تمامی نسبت‌های مخلوط در مقایسه با خالص از کارایی مصرف آب کمتری برخوردار بود، امّا در گیاه آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای کارایی مصرف آب در نسبت‌های مخلوط نسبت به خالص افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده استفاده بیشتر گیاهان از منابع موجود در

کشت مخلوط در مقایسه با خالص می‌باشد و به‌دلیل متفاوت بودن مورفولوژی، فنولوژی و تیپ رشدی گیاهان مورد استفاده در کشت مخلوط حاضر، به نظر می‌رسد کشت مخلوط پنبه- آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای تا حدودی موجب افزایش کارایی استفاده از منابع به‌ویژه آب گردیده است.

سپاسگزاری

بودجه این طرح (به‌شماره:۴۷۲۹۱)، از محل اعتبار پژوهه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Aminifar, J., Ramroudi, M., Galavi, M., & Mohsenabadi, G.R. (2016). Assessment of cotton (*Gossypium* spp.) productivity in rotation with intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *18*(2), 120-134. (In Persian with English Summary)
2. Barzali, M. (2012). Effects of intercropped cotton (*Gossypium* spp.) with sorghum (*Sorghum*), soybean (*Glycine max*), and sesame (*Sesamum indicum*) on yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) growth and cotton yield. 5th Iranian Weed Science Congress. 11-12 August 2012, p. 542-546. (In Persian with English Summary)
3. Bismillah Khan, M., Akhtar, M., & Abdul khaliqh, M. (2001). Effect of planting patterns and different intercropping systems on the productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigated conditions of Faisalabad. *International Journal of Agriculture & Biology*, *4*, 432–435.
4. Chao Dai, C., Chen, Y., Xing-Xiang, W., & Pei-Dong, L. (2012). Effects of intercropping of peanut (*Arachis hypogaea*) with the medicinal plant *Atractylodes lancea* on soil microecology and peanut yield in subtropical China. Agroforestry System. *Springer Science and Business Media*, *87*, 417-426. https://doi.org/10.1007/s10457-012-9563-z.
5. Chobforoosh khoee, B., Amini, R., Dabbagh Mohammadi nasab, A., & Raie, Y. (2019). Effect of soybean, badershbo, and millet intercropping on growth traits and yield of sugar beet. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *30*(2), 42-58. (In Persian with English Summary)
6. Dadmand, M., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Ramezani Moghaddam, M.R. (2019). Evaluation the productivity of input in intercropping of cotton and maize. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
7. Dehghani, M., Aghaee, M.J, & Mohammadi kia, S. (2015). Effect of transplanting on yield and water use efficiency of cotton. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture*, *28*(2), 307-314. (In Persian). https://doi.org/10.22092/jwra.2014.100032.
8. Ghaderi, G.R., Gazanchian, A., & Yousefi, M. (2008). The forage production comparison of alfalfa and wheatgrass as affected by seeding rate on mixed and pure cropping. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, *15*(2), 256-268. (In Persian with English Summary)
9. Gholipour, M., & Sharifi, P. (2016). Yield and productivity indices of common bean and sunflower intercropping in different planting ratios. *Crop Physiology Journal*, *10*(33), 129-137.
10. Hasan Zade Aval, F., Koochaki, A., Khazaei, H., & Nassiri Mahallati, M. (2011). Effect of density on agronomic characteristics and yield of savory and Iranian clover in intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research* *8*(6), 920-929. (In Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V8I6.8038.
11. Hulugulle, N., & Lal, R. (1986). Soil water balance of intercropped maize and cowpea grown in tropical hydromorphic soil western Nigeria. *Agronomy Journal* *75*, 86-90. https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800010019x.
12. Iqbal, J., & Cheema, Z.A. (2007). Effect of allelopathic crops water extracts on glyphosate dose for weed control in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Allelopathy Journal 19*, 403–410.
13. Jahani, M., Kochaki, A., & Nassiri Mohallati, M. (2008). Evaluation of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentils (*Lens culinaris*) in low-input agricultural systems. *Iranian Journal of Crop Research*, *6* (1), 67-78. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V6.I1.1177.
14. Kandhro, M.N., Tunio, S.D., Memon, H.R., & Ansari, M.A. (2007). Growth and yield of sunflower under influence of mungbean intercropping. *Pakistan Journal. Agricultural Research*, *23*, 9-13.

15. Karimzade Asl, K., Mazaheri, D., & Peighambari, S.A. (2003). Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitive characteristics of three sunflower cultivars. *Iranian Journal of Agriculture Science, 34* (2), 293-301. (In Persian with English Summary)
16. Keating, B.A., & Carberry, P.S. (1993). Resource capture and use in intercropping: Solar radiation. *Field Crops Research 34*, 273–301.https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90118-7.
17. Khaki Najafabadi, A., Jahan, M., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2016). Effects of intercropping of common millet (*Panicum miliaceum* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L.), and biological fertilizer inoculation on water and nitrogen use efficiencies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(3), 691-708. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V1513.52944.
18. Khazaei, M. (2014). Investigation of intercropping of corn and sugar beet. *Journal of Crops Improvement*, *16*(4), 987-997. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2015.53593.
19. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hooshmand, M., & Khorramdel, S. (2020). Effect of different arrangements of intercropping for sunflower (*Helianthus annus* L.), common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) on yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *18*(3), 251-266. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V18I3.76748.
20. Koocheki, A., Fallahpoor, F., & Amin Ghafori, A. (2013). Determining the best width of strip in row intercropping of sesame and linen and its effect on yield, yield components, and weed density. *Journal of Agroecology*, *11*(4), 1483-1496. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/JAG.V11I4.29585.
21. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Zarghani, H., & Norooziyan, A. (2017). Evaluation of yield and radiation use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relay intercropping. *Iranian Journal of Crops Research*, *14*(4), 539-557. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V14I4.51159.
22. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., & Alizade, Y. (2016). Effect of different levels of nitrogen on yield and nitrogen use efficiency in intercropping of corn and cotton. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 1-13. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V13I1.48310.
23. Koocheki, A., Zarghani, H., & Norooziyan, A. (2016). Comparison of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.), and red bean (*Phaseolus calcaratus*) under different intercropping arrangements. *Iranian Journal of Field Crops Research 14*(2), 226-243. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V14I2.51158.
24. Mannion, A.M. (1995). Biodiversity, biotechnology, and business. *Environmental Conservation*, *22*, 201-210.
25. Mead, R., & Willey, R.W. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture*, *16*, 217–228. https://doi.org/10.1017/S0376892900010596
26. Ministry of Agriculture Jihad. Available at Web site www.maj.ir/portal/Home/Default.aspx, (verifieded 2020/01/05).
27. Momen Keykha, M., Khammari, I., Dahmardeh, M., & Forouzandeh, M. (2018). Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. *Agroecology*, *9*(4), 1050-1069. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.51084.
28. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G.R., & Samiezadeh, H.A. (2015). The role of triple cultures in weed control and yield of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). *Knowledge of Sustainable Agricultural Production*, *24*(4), 17-31. (In Persian with English Summary)
29. Morales, R.E.J., Escalante, E.J.A., Sosa, C.L., & Volke, H.V.H. (2009). Biomass, yield, and land equivalent ratio of *Helianthus annus* L. in sole crop and intercropped with Phaseolus vulgaris L. in high valleys of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *10*, 431-439.
30. Mosavian, N., & Seyed Mohamadi, A. (2015). Effect of nitrogen and cultivation patterns on morphological traits and growth indices in mixed cultivation of maize and sunflower. *Crop Physiology Journal*, *7*(26), 105-119. (In Persian with English Summary)
31. Najafi, N., Mostafaii, M., Ousting, S., & Dabagh-e- Mohammadi Nasb, A. (2015). Effect of manure application and intercropping of corn, bean, and bitter vetch on macronutrient content in maize shoot. 12th Iranian Crop Sciences Congress. Karaj Brach, Islamic Azad University, Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
32. Nakhzari Moghaddam, A., Dehghanpoor Incheboroon, O., & Rahemi Karizaki, A. (2016). The effect of nitrogen

levels and different ratios of replacement intercropping series on forage yield and competition indices of barley and green pea. *Electronical Journal of Crop Production, 1*, 199-214. (In Persian with English Summary)

33. Nasrollah zadehAsl, A., & Talebi, M. (2017). Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and maize (*Zea mays* L.) cultivars by replacement method in khoy area. *Plant Ecophysiology, 8*(27), 204-215. (In Persian with English Summary)
34. Nielsen, H.H., Ambus, P., & Jensen, E.S. (2001). Interspecific competition N use and interference with weeds in pea-barly intercropping. *Field Crops Research, 70*(2), 101-109. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00126-5.
35. 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 with English Summary). https://doi.org/10.22067/IJPR.V.1394I2.30942.
36. Olowea, V.I.O., & Adebimpeb, O.A. (2009). Intercropping sunflower with soybeans enhances total crop productivity. *Biology. Agriculture. Horticulture*, 26, 365-377. https://doi.org/10.1080/014486.765.2009.9755095.
37. Poveda, K., & Kessler, A. (2012). New Synthesis: Plant volatiles as functional cues in intercropping systems. *Journal of Chemical Ecology. Springer Science and Business Media New York, 38*, 13-41. https://doi.org/10.1007/S10886-12-0203-x.
38. Raei, Y., Ghasemi, K., Javanshir, A., Alyari, H., Mohammadi, S.A., & Nasrolah zade, S. (2007). Assessment of soybean (*Glycine max*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) intercropping by using reciprocal model of yield. *Iranian Journal of Crop Science, 8*(1), 1-13.
39. Rafei, A., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Naseri, M.T. (2017). Evaluation of nitrogen water and radiation use efficiency and productivity in maize-bean -cotton row intercropping. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
40. Rahimi, M.M., Mazaheri, D., Khodabandeh, N., & Heydari SHarifabady, K.H. (2002). Effects of intercropping maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max*) on yield and yield components. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi, 51*, 45-55. (In Persian with English Summary)
41. Ritchie, J.T., & Basso, B. (2007). Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: the role of agronomic management—*European Journal of Agronomy*, *28*(3): 273-281.https://doi.10.1016/j.eja.2007.08.003.
42. Roy, S.M., Barman, A.M., Puste, S.K., Gunri, M., & Jana, K. (2015). Growth, yield, water use efficiency, and competitive functions of intercropping system of maize (*Zea mays* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) as influenced by irrigation. SAARC. *Journal of Agriculture, 13*(2), 94-107. https://doi.10.3329/sja.v13i2.26571.
43. Singh, JK. (2007). Response of sunflower (*Helianthus annuus*) and French bean (*Phaseolus vulgaris*)Intercropping to different row ratios and nitrogen levels under rainfed conditions of temperate Kashmir. *Indian Journal of Agronomy*, *52*, 36-39. https://doi.10.59797/ija.v52i1.4885.
44. Soltani, A., & Faraji, A. (2008). The relationship between water, soil and plants. Jahad Daneshgahi of Mashhad, Iran. Pp, 189-201.
45. Tavassoly, A., Ghanbari, A., & Amiri, A. (2010). Calculation of water use efficiency on sole cropping and intercropping systems of millet and pea in Sistan area. 1st Iranian Conference of Sustainable Agriculture and Healthy Crop Production. Isfahan Agriculture and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran.
46. Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E. (2005). Comparisons of radiation use efficiency of mono intercropping systems with different row orientations. *Field Crops Research, 70*, 17-29. https://doi.10.1016/s0378-4290(01)001432-3.
47. Vaziri, E., Dahmardeh, E., & Khammari, M. (2017). The effect of planting directions (North-South, East-West) on the ecophysiological characteristics of sunflower (*Helianthus annus* L.) in intercropping with local beans (*Phaseolus vulgaris* L.). M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Zabol Graduate School, Iran. (In Persian with English Summary)
48. Walker, S., & Ogindo, H.O. (2003). The water budget of rainfed maize and bean intercrop. *Physics and Chemistry of the Earth, 28*, 919–926. https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.018.
49. Xin, N.Q., & Tong, P.Y. (1986). Multiple cropping systems and its development orientation in China (a review). *Science Agriculture Sinica, 4*, 88–92

50. YiKai, Z., FanJun, C., Long, L., YanHua, C., BingRan, C., YuLing, Z., LiXing, Y., FuSuo, Z., & GuoHua, M. (2012). The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. *Science China. Life Sciences*, *55*(11), 993–1001. https://doi.org/10.1007/s11427-012-4396-6.
51. Zaefarian, F., & Bagheri Shirvan, M. (2014). Effect of intercropping different ratios on yield of soybean, sweet basil, and borage. *Journal of Crops Improvement, 16*(1), 197-214. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2014.51952
52. Zhang, F., & Li, L. (2003). Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient use efficiency. *Plant and Soil, 248*, 305-312. https://doi.org/10.1023/A:1022352229863.
53. Zhang, F., & Li, L. (2007). Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant Soil, 248*, 305-312.
54. Zhang, L., van der Werf, W., Zhang, S., Li, B., & Spiertz, J. H. J. (2007). Growth, yield, and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Research, 103*(3), 178–188. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.06.002.