University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

# Investigating the Different Patterns of Forage Maize and Sorghum Intercropping at Different Tillage Levels

**Arman Farrahi[1] | Seyed Mohammad Bagher Hoseini[2]✉ | Ali Ahmadi[3] | Hassan Ghasemi Mobtaker[4]**

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: bhosseini@ut.ac.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.

## Article Info

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
Received: May 13, 2023
Received in revised form: September 2, 2023
Accepted: September 25, 2023
Published online: March 20, 2024

**Keywords**:
Dominance index,
forage,
intercropping,
land equivalent ratio,
no tillage,
system productivity index.

## ABSTRACT

In conditions where don't have enough water for irrigation, intercropping of forage plants is one of the ways to achieve sustainable agriculture. Biochemical and physical properties of soil tillage system can affect the yield of plants in intercropping. Therefore, with the aim of investigating the forage yield and competitive indices of intercropping, this experiment was performed in the cropping seasons of 2020-2021. Treatments included conventional, minimum, and no tillage system. Intercropping patterns also included monoculture of forage sorghum and maize, alternate row cultivation maize and forage sorghum and alternate cultivation on planting rows. The results showed that the highest plant height (295 cm) and leaf area (6.88) was obtained in intercropping and conventional tillage. The highest forage yield was also observed in sorghum monoculture. However, the land equivalent ratio of mix intercropping with 1.17 showed the superiority of intercropping over monoculture. Evaluation of competitive indicators such as dominance index, relative crowding coefficient, and competitive ratio showed that forage maize is the predominant plant in intercropping conditions. The system productivity index with 8.11 showed that intermediate cultivation on planting rows was superior to other treatments in conventional tillage conditions. The results showed that in conventional tillage and intercropping conditions, acceptable yield was obtained; this advantage can increase water efficiency and use of sorghum in intercropping.

**Cite this article:** Farrahi, A., Hoseini, S.M.B., Ahmadi, A., & Ghasemi Mobtaker, H. (2024). Investigating the different patterns of forage maize and sorghum intercropping at different tillage levels. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(1), 75-88. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.359147.655003.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.359147.655003

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

# بررسی الگوهای متفاوت کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در سطوح متفاوت خاک‌ورزی

آرمان فرهی[۱] | سید محمد باقر حسینی[۲]✉ | علی احمدی[۳] | حسن قاسمی مبتکر[۴]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: bhosseini@ut.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴. گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** مقالهٔ پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۲/۲۳

**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۷/۰۳

**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

**کلیدواژه‌ها:**

بدون خاک‌ورزی،

بهره‌وری سیستم،

شاخص غالبیت،

علوفه،

کشت مخلوط،

نسبت برابری زمین.

**چکیده**

در شرایطی که مقدار آب قابل دسترس کافی نباشد کشت مخلوط سورگوم و ذرت علوفه‌ای می‌تواند راهکار مناسبی در رسیدن به کشاورزی پایدار باشد. سیستم‌های خاک‌ورزی نیز با توجه به ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیکی خود می‌توانند بر عملکرد این گیاهان در کشت مخلوط اثرگذار باشد. بنابراین این آزمایش با هدف بررسی عملکرد علوفه و شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارها شامل سطح خاک‌ورزی مرسوم، کم و بی‌خاک‌ورزی بود. الگوهای کشت مخلوط نیز شامل کشت خالص سورگوم و ذرت علوفه‌ای، کشت یک ردیف در میان ذرت و سورگوم علوفه‌ای و کشت یک‌درمیان روی ردیف‌های کاشت بود. نتایج نشان داد بالاترین ارتفاع بوته (۲۹۵ سانتی‌متر) در کشت مخلوط یک ردیف در میان و سطح برگ (۶/۸۸) در کشت مخلوط یک‌درمیان روی ردیف و خاک‌ورزی مرسوم به‌دست آمد؛ درحالی‌که بیشترین عملکرد علوفه تر (۱۱/۰۸ کیلوگرم در متر مربع) در کشت خالص سورگوم در خاک‌ورزی مرسوم مشاهده شد. LER کشت مخلوط یک‌درمیان روی ردیف با ۱/۱۷ نشان از برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص داشت. شاخص‌های رقابتی همچون شاخص غالبیت، ضریب ازدحام نسبی و نسبت رقابتی نشان داد گیاه ذرت علوفه‌ای در شرایط کشت مخلوط گیاه غالب می‌باشد. شاخص بهره‌وری سیستم نیز با ۸/۱۱ نشان داد که کشت مخلوط یک‌درمیان روی ردیف در شرایط خاک‌ورزی مرسوم نسبت به دیگر تیمارها برتر بود. به‌طور کلی نتایج حاکی از آن بود که در شرایط خاک‌ورزی مرسوم و کشت مخلوط، عملکرد قابل قبولی به‌دست آمد، این برتری می‌تواند منجر به افزایش کاربرد سورگوم در کشت مخلوط و کاهش آب مصرفی باشد.

**استناد:** فرهی، آ.، حسینی، س.م.ب.، احمدی، ع.، و قاسمی مبتکر، ح. (۱۴۰۳). بررسی الگوهای متفاوت کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در سطوح متفاوت خاک‌ورزی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۱)، ۷۵-۸۸.

DOI: 10.22059/ijfcs.2023.359147.655003

© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

کشور ایران با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر، یک‌سوم متوسط بارندگی جهان را داشته و بر اساس گزارش فائو حدود ۹۰ درصد از مساحت آن در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2015). بروز خشکسالی‌های متعدد در سال‌های اخیر، محدودیت منابع آبی در کشور، کم‌بودن نزولات آسمانی و پراکنش زمانی و مکانی نامناسب آن از واقعیت‌های غیر قابل اجتناب تولید محصولات زراعی ایران است (Ahmadvand & Hajinia, 2018; Moghadam *et al*., 2022).

از راهکارهای زارعی در شرایط تغییر اقلیم و تنش‌های محیطی همچون کاهش آب آبیاری در بخش زراعی و گیاهان علوفه‌ای، کشت گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در شرایط آب و هوایی ایران است، چرا که سورگوم نسبت به ذرت علوفه‌ای میزان آب مصرفی کمتری نیاز دارد و علاوه بر آن نسبت به خشکی و کم‌آبی مقاوم‌تر است، بنابراین می‌توان در برنامه‌های تولید گیاهان علوفه‌ای، گیاه سورگوم را در شرایط کم‌آبی جایگزین یا مکمل ذرت علوفه‌ای دانست (Eliaspour & Seyed Sharifi, 2019; Karimi & Amirnia, 2019). سورگوم با دارا بودن خصوصیاتی چون عملکرد بالا، پنجه‌زنی زیاد، رشد سریع و ارزش غذایی مناسب اهمیت بالایی در برنامه توسعه کشت گیاهان علوفه‌ای دارد (Eliaspour & Seyed Sharifi, 2019; Karimi & Amirnia, 2019). ذرت (*Zea mays* L.) نیز به عنوان گیاه دومنظوره (دانه‌ای و علوفه‌ای) سومین گیاه زراعی مهم جهان است که در تغذیه انسان و دام نقش اساسی دارد (Sayfzadeh *et al*., 2022).

نظام‌های کشت فشرده به از بین رفتن تنوع زیستی و آلودگی‌های زیست‌محیطی منجر شده است؛ به‌طوری‌که سهم کشاورزی در انتشار گازهای گلخانه‌ای حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد کل انتشارات گازهای جهان گزارش شده است (Khoshnevisan *et al*., 2013). با افزایش جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای غذا در مقیاس جهانی، بسیاری از کشاورزان تک‌کشتی را ساده‌ترین راه حل برای تأمین نیاز دائماً رو به رشد به غذا می‌دانند. علی‌رغم تولید بالا و سهولت در تولید به دلیل اثرات زیان‌بار تک‌کشتی علاقه مجددی به سیستم‌های چندکشتی ایجاد شده است که کشت مخلوط یکی از امیدوارکننده‌ترین شیوه‌های کشت در این زمینه است که می‌تواند جایگزین تک‌کشتی محصولات شود (Bourke *et al*., 2021).

کشت مخلوط کشت دو یا چند گونه زراعی با عادات رشدی متفاوت در ردیف‌ها یا نوارهای جداگانه در یک مزرعه برای قسمتی یا کل دوره رشد آن‌ها است (Hu *et al*., 2017). با اینکه کشت مخلوط یک عملیات کشاورزی قدیمی است؛ اما امروزه در بسیاری از کشورهای جهان مانند چین، هند، آلمان، برزیل و پاکستان متداول است (Asgharshah *et al*., 2016; Li-li *et al*., 2017; Munz *et al*., 2014). کشت مخلوط بسته به دیدگاه فرد، هم می‌تواند یک سیستم کشت مدرن و هم سنتی باشد که این دیدگاه بر اساس موقعیت جغرافیایی و اینکه در آن منطقه تک‌کشتی غالب است یا خیر متفاوت است (Bourke *et al*., 2021). تک‌کشتی مدام به ناپایداری و افزایش فشار بیماری‌ها، علف‌های هرز و کاهش مواد مغذی خاص در خاک منجر می‌شود (Amani Machiani *et al*., 2021; Döring & Elsalahy, 2022; Jalilian *et al*., 2018; Salaheen & Biswas, 2019). بسیاری از مطالعات تأثیر مثبت تنوع گیاهی بر کنترل پاتوژن‌ها و افزایش میکروارگانیسم‌های مفید در اکوسیستم‌های کشاورزی را گزارش کرده‌اند که یکی از راهکارهای افزایش تنوع گیاهی می‌تواند کشت مخلوط باشد که این راهکار در جهت پایداری تولید نیز می‌باشد (He *et al*., 2019; Khosravi *et al*., 2021). افزایش عملکرد محصول در واحد سطح در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از مهم‌ترین مزیت‌های کشت مخلوط است (Cuartero *et al*., 2022; Karami *et al*., 2022). به‌طور کلی کشت مخلوط از نظر اقتصادی نسبت به کشت خالص عملکرد بهتری دارد، چرا که با استفاده بهینه از کل فضای قابل دسترس، صرفه‌جویی در کاربرد ماشین‌ها و خاک‌ورزی، استفاده از مواد مغذی و رطوبت در فضای استفاده نشده (نسبت به کشت خالص) می‌تواند بهره‌وری را در مقایسه با کشت خالص افزایش دهد (Cuartero *et al*., 2022). مطالعه محققان دیگر نشان داده که کشت مخلوط باقلا با ذرت ارزش نسبی بالاتری نسبت به تک‌کشتی آن دارد (Hamzei & Ghamari Rahim, 2016). در شرایط کشت مخلوط ذرت دانه‌ای و سورگوم علوفه‌ای عملکرد کشت خالص سورگوم بالاتر از کشت مخلوط بود، با این حال LER کشت مخلوط بالاتر از یک گزارش شده است (Hasanvand *et al*., 2019).

خاک‌ورزی و همچنین شیوه‌های مدیریت حاصلخیزی خاک می‌تواند بر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیرگذار باشد و در نتیجه پایداری سیستم‌ها را تغییر دهد (Khodabin *et al*., 2022). خاک‌ورزی مرسوم می‌تواند به تخریب خاک و اثرات منفی بر ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی منجر شود، در حالی که بی‌خاک‌ورزی ساختار و پایداری خاک را تقویت می‌کند (Nunes *et al*., 2020). با این حال اثرات طولانی‌مدت بی‌خاک‌ورزی می‌تواند به افزایش چگالی ظاهری خاک و مقاومت در برابر نفوذ ریشه منجر شود که این امر می‌تواند عملکرد محصول را کاهش دهد (Ren *et al*., 2018). اثرات طولانی‌مدت بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش عمق نفوذ آب و توسعه ریشه می‌شود که در این شرایط رسیدن به مزایای طولانی‌مدت در بی‌خاک‌ورزی با چالش همراه می‌شود (Chen *et al*., 2005). کاربرد خاک‌ورزی می‌تواند باعث کاهش مقاومت خاک در برابر نفوذ آب و ریشه شود (Abu-Hamdeh, 2003; Chen *et al*., 2005; Li *et al*., 2015; Ren *et al*., 2018; Säle *et al*., 2015).

نتایج دیگری در منطقه بصره عراق با خاک لومی‌رسی نشان داده است عملکرد سورگوم در شرایط بی‌خاک‌ورزی نسبت به دیگر شرایط خاک‌ورزی کمتر است (Ramadhan & Muhsin, 2021). همچنین در تحقیق دیگری نشان داده شده که ذرت علوفه‌ای در خاک‌ورزی مرسوم عملکرد بالاتری دارد (Ranjbar *et al*., 2017). با توجه به مسائل مطرح‌شده، این مطالعه با هدف بررسی عملکرد و شاخص‌های رقابتی الگوهای کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در شرایط خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی با سابقه شش‌ساله در استان البرز اجرا شد.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهرستان کرج با ۱۳۲۱ متر ارتفاع از سطح دریا، طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی اجرا شد. بر اساس گزارش ایستگاه هواشناسی این منطقه دارای آب و هوای سرد و خشک می‌باشد و میانگین ۳۰ ساله بارندگی آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بود. تیمارهای آزمایش شامل کشت به صورت بی‌خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و کشت مرسوم (تفاوت سیستم‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده است) به عنوان کرت‌های اصلی و کشت خالص ذرت علوفه‌ای (رقم ۷۰۴)، کشت خالص سورگوم (رقم اسپیدفید)، کشت ۵۰ درصد ذرت+۵۰ درصد سورگوم به صورت یک خط کشت در میان (۱:۱) و کشت ۵۰ درصد ذرت+ ۵۰ سورگوم به صورت کشت یک‌درمیان روی ردیف (کشت یک ذرت و یک سورگوم روی ردیف به طور منظم) که به عنوان کرت‌های فرعی بودند. تراکم کاشت ذرت علوفه‌ای و سورگوم ۱۲ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد؛ به‌طوری‌که فاصله بین ردیف‌های کاشت ۶۰ سانتی‌متر و روی ردیف نیز ۱۴ سانتی‌متر بود (Nikniaei *et al*., 2017). هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کاشت به طول هفت متر بود. کاشت با دستگاه ردیف‌کار ذرت انجام شد؛ به‌طوری‌که در کشت یک ردیف در میان، با تعویض صفحه موزع با سایز ۴/۵ میلی‌متر، با دستگاه ردیف‌کار کشت ذرت و سورگوم هم‌زمان انجام شد. در کشت روی ردیف نیز با افزایش فاصله کاشت ذرت با دستگاه کشت از ۱۴ به ۲۸ سانتی‌متر، سورگوم به صورت دستی بین ذرت‌های کاشته‌شده کشت شد. در سیستم بدون خاک‌ورزی، از دستگاه ردیف‌کار کشت مستقیم استفاده شد، تا با شیار بازکن‌های دیسکی خاک برش داده شده و سپس بذر زیر خاک قرار گیرد. تاریخ کاشت در یکم تیرماه بود. با توجه به علوفه‌ای‌بودن هردو گیاه زراعی و برداشت مکانیزه آن توسط چاپر، برداشت محصول در همـه کرت‌ها هم‌زمان و در مرحله خمیری دانه بـرای ذرت و در مرحله تمام گلدهی برای سورگوم و حدود ۹۰ روز پس از سبزشدن انجام شد (Beheshti *et al*., 2019). ویژگی‌های خاک محل آزمایش در هر سه شرایط خاک‌ورزی اندازه‌گیری شد که در جدول ۱ قابل مشاهده است. در سطح خاک‌ورزی مرسوم عملیات شخم با گاوآهن برگردان دار و دو بار دیسک انجام شد. در سطح کم‌خاک‌ورزی نیز خاک‌ورزی با سوپر چیزل و دو بار دیسک انجام گرفت. تیمارهای خاک‌ورزی در مجاورت یکدیگر قرار داشتند. میزان کود اوره ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار، فسفات ۱۲۰ و پتاسیم ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. کوددهی اولیه همراه با کاشت و کودهای تقسیط‌شده با کودکار فاروئر اعمال شد. آبیاری با سیستم کلاسیک با دور آبیاری هفت روز یک‌بار انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت مکانیکی صورت گرفت.

**جدول ۱.** خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

| Deep (cm) | pH | EC (ds $m^{-1}$) | Organic carbon (%) | N (%) | P (mg/kg) | K (mg/kg) | Clay (%) | Silt (%) | Sand (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-30 | 7.9 | 1.32 | 0.85 | 0.090 | 9.20 | 128 | 31 | 44 | 25 |

در این آزمایش صفاتی همچون وزن تر و خشک علوفه، ارتفاع گیاه (در زمان برداشت)، قطر ساقه (در زمان برداشت) و حداکثر شاخص سطح برگ (سطح برگ در مرحله تاسل‌دهی) در هر سه حالت خالص ذرت، خالص سورگوم و مجموع کشت مخلوط آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از رسیدن به مرحله برداشت علوفه، ۱۲ بوته معادل یک متر مربع از کلیه کرت‌ها نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری‌ها با رعایت فاصله حاشیه از وسط هر کرت انجام گرفت. ارتفاع بوته در شرایط مزرعه و سطح خاک تا بالاترین بخش گیاه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ارتفاع یک‌بار به‌صورت میانگین کل کرت و یک‌بار هر یک از اجزای کشت مخلوط بود. پس از نمونه‌برداری و انتقال به آزمایشگاه، قطر ساقه از ۱۲ بوته به‌وسیله کولیس ورنیه لینکز با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر و وزن علوفه با ترازوی حساس اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها ثبت شد. برگ‌های بوته‌های توزین‌شده پس از جداسازی با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل دلتا اندازه‌گیری شد. حداکثر سطح برگ در گیاه ذرت همزمان با بسته‌شدن کانوپی و پر شدن دانه است (Sun *et al.*, 2019)، از این رو برگ‌های جداشده از هر دو گیاه به عنوان حداکثر سطح برگ در نظر گرفته شد. سطح برگ در کشت مخلوط مجموع سطح برگ اندازه‌گیری‌شده ذرت و سورگوم می‌باشد.

جهت مقایسه سیستم کشت مخلوط از شاخص‌های نسبت برابری زمین (رابطه ۱)، نسبت رقابتی (رابطه ۲)، ضریب ازدحام نسبی (۳)، شاخص غالبیت (۴) و شاخص بهره‌وری سیستم (رابطه ۵) استفاده شد (Salehi Sheikhi *et al.*, 2021):

رابطه ۱ $$LER= (Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb})$$

رابطه ۲ $$CR_S = (LER_b/LER_a)\,(Z_{ab}/Z_{ba}) \quad \& \quad CR_M = (LER_a/LER_b) \times (Z_{ba}/Z_{ab})$$

رابطه ۳ $$K = K_m \times K_s \quad \& \quad K_S= (Y_{ba}\times Z_{ab})/((Y_{bb}-Y_{ba})(Z_{ba})) \quad \& \quad K_M= (Y_{ab}\times Z_{ba})/((Y_{aa}-Y_{ab})(Z_{ab}))$$

رابطه ۴ $$A_S= (Y_{ba}/Y_{bb}\times Z_{ba})-(Y_{ab}/Y_{aa}\times Zab) \quad \& \quad A_M= (Y_{ab}/Y_{aa}\times Z_{ab})-(Y_{ba}/Y_{bb}\times Z_{ba})$$

رابطه ۵ $$SPI= (Y_{aa}/Y_{bb}) \times Y_{ba}+Y_{ab}$$

در این فرمول‌ها، Y نشان‌دهنده عملکرد، $Y_{ab}$ عملکرد ذرت در کشت مخلوط با سورگوم، Yaa عملکرد ذرت در کشت خالص، $Y_{ba}$ عملکرد سورگوم در کشت مخلوط با ذرت، $Y_{bb}$ عملکرد سورگوم خالص، $Z_{ab}$ نسبت تراکم ذرت در مخلوط با سورگوم و $Z_{ba}$ نسبت تراکم سورگوم در مخلوط با ذرت است. در این رابطه اگر LER=1 باشد کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی برتری ندارد. اگر LER>1 باشد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دارای برتری می‌باشد و در حالتی که LER<1 باشد کشت مخلوط در مقایسه با سیستم تک‌کشتی از عملکرد کمتری برخوردار است. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 تجزیه و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ ترسیم شدند.

## ۳. یافته‌های پژوهش و بحث

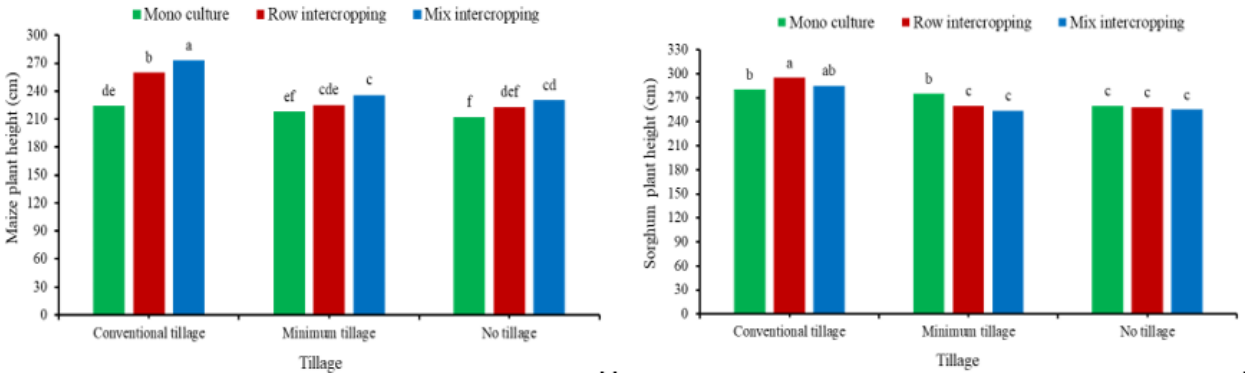
### ۱-۳. صفات کمی ذرت و سورگوم علوفه‌ای

#### ۱-۱-۳. ارتفاع بوته

نتایج این بررسی نشان داد اثرات ساده تیمار خاک‌ورزی و الگوی کشت مخلوط بر میانگین ارتفاع بوته معنی‌دار بود، همچنین اثرات ساده و متقابل تیمارها بر صفات ارتفاع بوته ذرت و سورگوم علوفه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح خاک‌ورزی نشان داد بالاترین میانگین ارتفاع بوته (۲۶۵/۱۲ سانتی‌متر) در سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کمترین آن (۲۳۸/۷۵ سانتی‌متر) در بی‌خاک‌ورزی مشاهده شد (جدول ۴). نتایج الگوی کشت مخلوط نشان داد بالاترین میانگین ارتفاع بوته (۲۷۱/۶۶ سانتی‌متر) در کشت خالص سورگوم و کمترین آن (۲۱۸/۰۰ سانتی‌متر) در کشت خالص ذرت به‌دست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد در شرایط کشت مرسوم به دلیل شخم بیشتر، توسعه ریشه بهتر صورت گرفته است و با توجه به عدم محدودیت در مصرف آب و دیگر عناصر

غذایی ارتفاع بوته نسبت به دیگر سیستم‌ها بالاتر بوده است (Ren *et al*., 2018). همچنین با توجه به نسبت کشت برابر در مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای، تراکم بوته نسبت به کشت خالص تفاوتی نداشت و در شرایط کشت خالص سورگوم علوفه‌ای از ارتفاع بالاتری برخوردار بود. در شرایط کشت مخلوط نیز با توجه به اینکه ارتفاع بوته‌ها میانگین هر دو گیاه علوفه‌ای می‌باشد و ارتفاع ذرت پایین‌تر بود، میانگین ارتفاع کشت مخلوط کمتر از کشت خالص سورگوم شد.

برهمکنش تیمارهای مورد بررسی بر صفت ارتفاع بوته ذرت نشان داد در کشت یک‌درمیان روی ردیف در هر سه شرایط خاک‌ورزی نسبت به دیگر الگوی کشت ارتفاع بوته بالاتر است، همچنین کمترین مقدار ارتفاع تک بوته ذرت علوفه‌ای نیز در کشت خالص آن به‌دست آمد (شکل ۱). ارتفاع بوتهٔ سورگوم علوفه‌ای نشان داد بالاترین ارتفاع در کشت یک ردیف در میان و خاک‌ورزی مرسوم (۲۹۵ سانتی‌متر) با ذرت علوفه‌ای به‌دست آمد (شکل ۱). برش‌دهی اثرات متقابل در صفت ارتفاع بوته ذرت علوفه‌ای در هر سه شرایط خاک‌ورزی تفاوت‌ها معنی‌دار بود؛ در حالی که در سورگوم علوفه‌ای در سطح بی‌خاک‌ورزی تفاوت‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳). به نظر می‌رسد ارتفاع بوته ذرت علوفه‌ای در شرایط کشت مخلوط به دلیل تفاوت‌ها از نظر ساختار فنولوژیکی (ارتفاع و زاویه برگ متفاوت) و همچنین توانایی رشد و توسعه بهتر ریشه نسبت به سورگوم افزایش یافت (Sarto *et al*., 2021; Singh *et al*., 2010). دیگر بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد در شرایط کاهش تابش نور صفات طول ویژه ریشه ذرت افزایش یافته که این عمل نشان از سازگاری بهتر با تابش کم خورشید در شرایط مختلف می‌باشد (Guo *et al*., 2022)؛ این شرایط در کشت مخلوط نیز می‌تواند روی دهد. بررسی سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت نشان داد در شرایط خاک‌ورزی کامل نسبت به کم و بدون خاک‌ورزی، چگالی ظاهری خاک و مقاومت در برابر نفوذ ریشه کاهش‌یافته و این امر باعث افزایش ماده خشک و طول ریشه ذرت می‌شود، از این رو عملکرد گیاه نسبت به دیگر سیستم‌های خاک‌ورزی بهتر بود (Ren *et al*., 2018).




**شکل ۱.** اثر برهمکنش تیمارهای الگوی کشت در سطوح خاک‌ورزی بر صفت ارتفاع بوته.

### ۲-۱-۳. قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد میانگین قطر ساقه و قطر ساقه بوته ذرت صرفاً تحت تأثیر تیمار الگوی کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین میانگین قطر ساقه (۳۰/۲۷ میلی‌متر) در کشت خالص ذرت بود، کمترین آن (۱۷/۰۱ میلی‌متر) نیز در کشت خالص سورگوم به‌دست آمد (جدول ۴). در شرایط کشت مخلوط روی ردیف و بین ردیف‌ها نیز میانگین قطر ساقه نسبت به کشت خالص ذرت کاهشی و نسبت به سورگوم افزایشی بود که این امر به دلیل میانگین‌گیری کل بوته‌ها در کشت مخلوط است (جدول ۴). بالاترین قطر ساقه بوته ذرت در کشت خالص (۳۰/۲۷ میلی‌متر) و کمترین آن (۲۵/۰۸ میلی‌متر) در کشت مخلوط یک‌درمیان روی ردیف بود (جدول ۴). با توجه به افزایش ارتفاع بوته ذرت در کشت مخلوط قطر ساقه آن کاهش یافت. کاهش قطر ساقه می‌تواند در افزایش کیفیت علوفه تأثیرگذار باشد، از این رو ترکیب ذرت و سورگوم علوفه‌ای می‌تواند نسبت به کشت خالص ذرت به‌طور میانگین و تک‌بوته، قطر ساقه کمتری داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در شرایط کاهش و افزایش

تراکم و رقابت درون‌گونه‌ای قطر ساقه سورگوم افزایش و کاهش یافت، به‌طوری‌که در تراکم ۱۳ بوته در متر مربع ۲/۰۳ سانتی‌متر بود و با افزایش به ۲۶ بوته در متر مربع به ۱/۳۱ سانتی‌متر رسید (Damavandi *et al*., 2015).

**جدول ٤.** مقایسه میانگین الگوی کاشت و سیستم خاک‌ورزی متفاوت بر صفات ذرت و سورگوم علوفه‌ای.

| Treatment | Level | Plant height (cm) | Stem diameter (mm) | Maize stem diameter (mm) |
|---|---|---|---|---|
| Tillage | Conventional tillage | 265.12 a | - | - |
| | Minimum tillage | 245.12 b | - | - |
| | No tillage | 238.75 b | - | - |
| Cultivation pattern | Maize mono culture | 218.00 c | 30.27 a | 30.27 a |
| | Sorghum mono culture | 271.66 a | 17.01 c | - |
| | Row intercropping | 253.49 b | 21.90 b | 26.70 b |
| | Mix intercropping | 255.50 b | 21.19 b | 25.08 c |

Means followed by similar letters in columns are not significantly different at 5% probability level by LSD test.

### ۳-۱-۳. حداکثر شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد اثرات ساده و برهمکنش تیمارهای خاک‌ورزی و الگوی کشت بر صفت حداکثر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). برش‌دهی اثرات متقابل نیز نشان می‌دهد در هر سه سطح خاک‌ورزی، برهمکنش‌ها معنی‌دار و متفاوت می‌باشد (جدول ۳). برهمکنش تیمارها نشان داد بالاترین سطح برگ (۶/۸۸) در شرایط کشت مرسوم و مخلوط یک‌درمیان روی ردیف و کمترین سطح برگ نیز (۴/۸۰) در کشت خالص سورگوم علوفه‌ای و بی‌خاک‌ورزی بود (جدول ۵). در هر سه سطح از خاک‌ورزی، سطح برگ کشت مخلوط نسبت به کشت‌های خالص آن‌ها بالاتر بود، همچنین سطح برگ خالص سورگوم نیز در هر سه سطح نسبت به ذرت کمتر بود (جدول ۵). افزایش ارتفاع ذرت در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و همچنین کاهش ارتفاع سورگوم در شرایط کشت مخلوط می‌تواند از دلایل اصلی نتایج این بخش باشد. همچنین نتایج نشان داد کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، شاخص سطح برگ را در تیمارهای کشت مخلوط روی ردیف و یک ردیف در میان به‌ترتیب ۵/۵۲، ۵/۵۲ ، ۹/۱۰ و ۹/۸۸ درصد کاهش داد (جدول ۵). این کاهش می‌تواند به دلیل افزایش مقاومت نفوذ خاک و کاهش توسعه رشد ریشه در این شرایط باشد؛ چرا که خاک‌ورزی مرسوم نسبت به دیگر شیوه‌های خاک‌ورزی میزان نفوذ ریشه بیشتر، چگالی ظاهری خاک و مقاومت به نفوذ کمتری دارد (Ren *et al*., 2018). بررسی‌ها نشان می‌دهد بالاترین سطح برگ ذرت در سیستم کشت مرسوم است (Ranjbar *et al*., 2017).

### ۴-۱-۳. وزن تر و خشک علوفه

تجزیه واریانس آزمایش نشان داد اثرات ساده و برهمکنش تیمارها بر صفت وزن تر و خشک علوفه معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲)، برش‌دهی اثرات متقابل نیز نشان از معنی‌داری تیمار الگوی کشت در هر سطح از خاک‌ورزی دارد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد بالاترین وزن تر علوفه (۱۱/۰۸ کیلوگرم در متر مربع) در کشت مرسوم و خالص سورگوم بهدست آمد (جدول ۵). کمترین وزن تر علوفه نیز با ۷/۶۶ کیلوگرم در متر مربع در شرایط بی‌خاک‌ورزی و کشت خالص ذرت مشاهده شد (جدول ۵). در هر سه سطح از خاک‌ورزی، کشت مخلوط عملکرد بالاتری نسبت به کشت خالص داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش ارتفاع بوته ذرت (شکل ۱) در شرایط مخلوط و همچنین افزایش سطح برگ (جدول ۵) در کنار عملکرد بالای سورگوم باعث افزایش علوفه تر در کشت مخلوط نسبت به خالص شد. در شرایط کم‌خاک‌ورزی عملکرد وزن تر علوفه در کشت مخلوط یک ردیف در میان و کشت یک‌درمیان روی ردیف نسبت به کشت مرسوم به ترتیب ۴/۷۵ و ۷/۱۱ درصد کاهش یافت، این تیمارها در شرایط بی‌خاک‌ورزی به ترتیب با کاهش ۷/۱۷ و ۱۰/۱۳ درصدی همراه بودند (جدول ۵). نتایج نشان داد بالاترین وزن خشک علوفه با ۲/۶۴ کیلوگرم در متر مربع در کشت مخلوط ذرت و سورگوم در شرایط خاک‌ورزی مرسوم به‌دست آمد، عملکرد وزن خشک علوفه در سطح کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم به‌ترتیب با کاهش ۶/۴۳ و ۷/۵۷ درصدی همراه بود (جدول ۵).

**جدول ۲.** تجزیه واریانس الگوی کاشت و سیستم خاک‌ورزی متفاوت بر صفات ذرت و سورگوم علوفه‌ای.

| S.O.V. | df | Probability level | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Plant height | Stem diameter | Leaf area index | Fresh forage yield | Dry hay yield | df | Maize plant height | Sorghum plant height | Maize stem diameter | Sorghum stem diameter |
| Block | 2 | 0.9648 | 0.2282 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 2 | 0.4862 | 0.8530 | 0.3304 | 0.5560 |
| Tillage (T) | 2 | 0.0015 | 0.3223 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0004 | 2 | 0.0070 | 0.0167 | 0.4600 | 0.4731 |
| $E_a$ | 4 | 0.8118 | 0.2093 | 0.8019 | 0.8552 | 0.8619 | 4 | 0.0985 | 0.0147 | 0.1528 | 0.0003 |
| Intercropping pattern (P) | 3 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 2 | <.0001 | 0.0442 | <.0001 | 0.6399 |
| T × P | 6 | 0.1164 | 0.9874 | 0.0443 | 0.0275 | 0.0041 | 4 | 0.0053 | 0.0059 | 0.7965 | 0.9381 |
| $E_c$ | 18 | - | - | - | - | | 12 | - | - | - | - |
| C.V. | - | 4.31 | 7.70 | 5.46 | 8.90 | 7.41 | - | 5.48 | 6.14 | 5.71 | 3.96 |

**جدول ۳.** برش‌دهی الگوی کشت مخلوط در سطوح خاک‌ورزی بر صفات ذرت و سورگوم علوفه‌ای.

| Tillage | df | Plant height | Stem diameter | Leaf area index | Fresh forage yield | Dry hay yield | df | Maize plant height | Sorghum plant height | Maize stem diameter | Sorghum stem diameter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Conventional tillage | 2 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 2 | <.0001 | 0.0221 | 0.0256 | 0.9947 |
| Minimum tillage | 2 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 2 | 0.0202 | 0.0022 | 0.0033 | 0.5582 |
| No tillage | 2 | 0.0004 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | 2 | 0.0202 | 0.5758 | 0.0013 | 0.7986 |

بررسی‌های دیگر نیز نشان داده است کشت طولانی‌مدت در شرایط بی‌خاک‌ورزی منجر به کاهش عمق نفوذ آب و ریشه خواهد شد که این امر با کاهش عملکرد همراه خواهد بود، در این شرایط خاک‌ورزی باعث افزایش عملکرد می‌شود (Li *et al*., 2015; Ren *et al*., 2018; Säle *et al*., 2015). نتایج مطالعه دیگری نیز نشان داد عملکرد سورگوم در شرایط خاک‌ورزی مرسوم نسبت به کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بالاتر است (Ramadhan & Muhsin, 2021). مطالعه دیگری نیز نشان داد که عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط خاک‌ورزی متداول بالاتر است (Ranjbar *et al*., 2017).

**جدول ۵.** مقایسه میانگین برهمکنش الگوی کاشت و سیستم خاک‌ورزی متفاوت بر صفات ذرت و سورگوم علوفه‌ای.

| Treatment | Level | Leaf area index max | Fresh forage yield (kg m$^{-2}$) | Dry hay yield (kg m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|---|
| Conventional tillage | Maize mono culture | 6.23 $^{de}$ | 8.14 $^{g}$ | 2.21$^{f}$ |
| | Sorghum mono culture | 5.12 $^{g}$ | 11.08 $^{a}$ | 2.50$^{cde}$ |
| | Row intercropping | 6.70 $^{ab}$ | 9.89 $^{d}$ | 2.64$^{a}$ |
| | Mix intercropping | 6.88 $^{a}$ | 10.26 $^{c}$ | 2.61$^{ab}$ |
| Minimum tillage | Maize mono culture | 6.17 $^{def}$ | 8.06 $^{g}$ | 2.13$^{g}$ |
| | Sorghum mono culture | 4.95 $^{gh}$ | 10.86 $^{a}$ | 2.53$^{bcd}$ |
| | Row intercropping | 6.33 $^{cd}$ | 9.42 $^{ef}$ | 2.47$^{de}$ |
| | Mix intercropping | 6.50 $^{bc}$ | 9.53 $^{e}$ | 2.58$^{abc}$ |
| No tillage | Maize mono culture | 6.02 $^{f}$ | 7.66 $^{h}$ | 2.05$^{g}$ |
| | Sorghum mono culture | 4.80 $^{h}$ | 10.53 $^{b}$ | 2.26$^{f}$ |
| | Row intercropping | 6.09 $^{ef}$ | 9.18 $^{f}$ | 2.44$^{e}$ |
| | Mix intercropping | 6.20 $^{def}$ | 9.22 $^{f}$ | 2.45$^{e}$ |

Means followed by similar letters in columns are not significantly different at 5% probability level by LSD test.

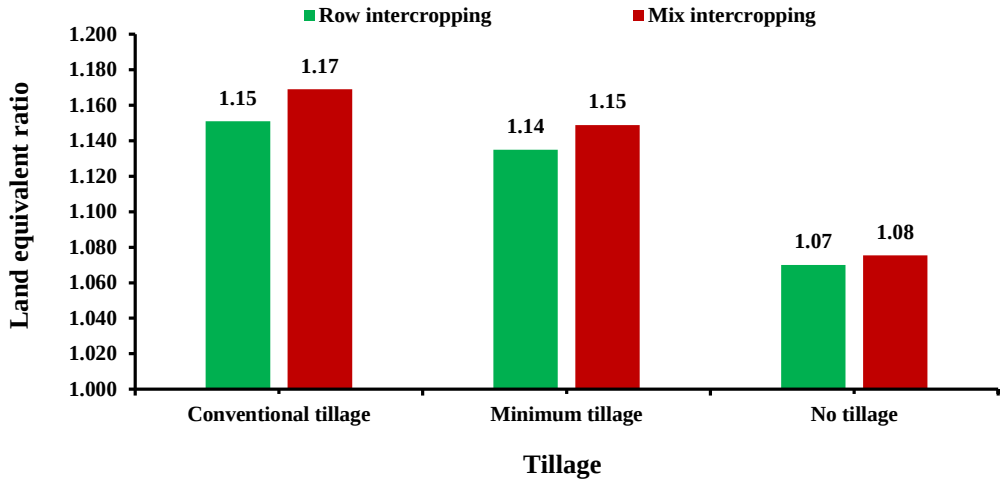
## ۲-۳. شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

### ۱-۲-۳. نسبت برابری زمین (LER)

نتایج شاخص LER نشان داد کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در الگوی کشت یک‌درمیان روی ردیف در کشت مرسوم با ۱/۱۷ بالاترین LER و کشت مخلوط یک‌ردیف در میان در شرایط بی‌خاک‌ورزی کمترین LER (۱/۰۷) را داشت (شکل ۲). نتایج این بررسی نشان داد در تمامی الگوهای کشت و شرایط خاک‌ورزی میزان LER بالاتر یک از است، از این رو کشت مخلوط نسبت به خالص از مزیت بالاتری برخوردار است (شکل ۲). کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی LER کشت مخلوط یک‌ردیف در میان و یک‌درمیان روی ردیف را نسبت به کشت مرسوم به‌ترتیب ۰/۸۶، ۱/۷۰ و ۶/۹۵ ۷/۶۹ درصد کاهش داد (شکل ۲). به نظر می‌رسد کاهش شاخص LER در شرایط کم و بدون خاک‌ورزی، به دلیل کاهش عملکرد بوته و تأثیر شرایط خاک بر رشد گیاه باشد. در هر سه سطح از خاک‌ورزی نیز کشت یک‌درمیان روی ردیف LER بالاتری داشت که می‌تواند به دلیل افزایش ارتفاع بوته (شکل ۱) و سطح برگ (جدول ۵) در این شرایط باشد. کشت یک‌درمیان روی ردیف نسبت به یک ردیف در میان، دو گیاه را بیشتر درگیر می‌کند، این تداخل باعث افزایش ارتفاع ذرت و سطح برگ آن در شرایط رقابت برون‌گونه‌ای شده است (شکل ۱ و جدول ۵). همچنین شباهت فنولوژیکی گیاه ذرت و سورگوم باعث شده است این تداخل اثر منفی بر عملکرد نداشته باشد، به‌طوری‌که LER آن‌ها بالاتر از یک بود (شکل ۲). بررسی کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای نشان داد عملکرد خالص سورگوم بالاتر از کشت مخلوط آن می‌باشد، با این حال LER کشت مخلوط آن ۱/۲ بود (Samarappuli & Berti, 2018). نتایج دیگر تحقیقات نشان داد کشت مخلوط ذرت دانه‌ای و سورگوم علوفه‌ای در نسبت کشت ۵۰:۵۰ نسبت به کشت خالص برتری داشت و LER آن ۱/۴ بود (Hasanvand *et al*., 2019).

### ۲-۲-۳. شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)

این شاخص نشانگر بهره‌وری سیستم‌های کشت مخلوط است. در این آزمایش میزان SPI در کشت مخلوط در شرایط کشت یک‌درمیان روی ردیف و خاک‌ورزی مرسوم همچون LER نسبت به دیگر تیمارها بالاتر بود، کمترین میزان SPI (۶/۹۸) نیز در شرایط بی‌خاک‌ورزی بود، میان دو الگوی کشت مخلوط در این سطح از خاک‌ورزی تفاوت اندک بود (جدول ۶). کشت مخلوط یک ردیف در میان و یک‌درمیان روی ردیف در شرایط بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم باعث کاهش ۱۲/۴۸ و ۱۳/۷۷ درصدی شاخص SPI شد، این کاهش در کم‌خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲/۵۵ و ۲/۴۲ درصد بود (جدول ۶). کاهش عملکرد گیاه در شرایط




**شکل ۲.** شاخص نسبت برابری زمین کشت‌های مخلوط در سیستم‌های خاک‌ورزی.

بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم (جدول ۵) از دلایل کاهش میزان SPI می‌باشد که دلیل کاهش صفات فوق است. میزان این شاخص در الگوی کشت یک‌درمیان روی ردیف نسبت به یک ردیف در میان بالاتر بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد میان مقدار شاخص SPI و بهره‌وری سیستم کشت مخلوط رابطه خطی معنی‌داری وجود دارد (Ghanbari *et al.*, 2017). Ghanbari *et al.* (2017) در مطالعه خود SPI کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) را ۲۹۳۳/۲۹ به‌دست آوردند. Sadra & Hamzei (2021) نیز در کشت مخلوط تریتیکاله (X *Triticosecale* Witt.) و ماشک (*Vicia sativa*) نتایج مشابهی را گزارش کردند. نتایج دیگر مطالعات نیز نشان داد کشت مخلوط با توجه به میزان SPI بالای آن سودمندی قابل توجهی دارد (Hodiani Mehr *et al.*, 2021; Mojtabaie Zamani & Norouzi, 2017; Nakhzari Moghaddam, 2016).

### ۳-۲-۳. نسبت رقابتی (CR)

شاخص نسبت رقابتی نشان‌دهنده توانایی رقابت هر گیاه در شرایط کشت مخلوط است، در این آزمایش در تمامی سطوح تیمارها گیاه ذرت نسبت به گیاه سورگوم از نسبت رقابتی بالاتری برخوردار بود (جدول ۶). بالاترین CR ذرت علوفه‌ای در شرایط کم‌خاک‌ورزی به‌دست آمد، در مقابل کمترین مقدار آن نیز در شرایط بی‌خاک‌ورزی بود، از طرفی در گیاه سورگوم نیز بالاترین CR در بی‌خاک‌ورزی و کمترین آن در شرایط کم‌خاک‌ورزی بود (جدول ۶). به نظر می‌رسد گیاه ذرت علوفه‌ای به دلیل عملکرد بالاتر و ویژگی‌هایی همچون سطح برگ بالاتر در شرایط مخلوط (جدول ۵) از توانایی رقابت بالاتری برخوردار بوده است. در چنین شرایطی هرکجا توان رقابتی گیاه ذرت کمتر باشد، در مقابل توان رقابتی سورگوم افزایش پیدا کرده است، به همین دلایل در سطح بدون خاک‌ورزی نسبت به دیگر سطوح، توان رقابتی سورگوم افزایش یافت. بررسی‌ها نشان می‌دهد در شرایط کشت جایگزینی و یا افزایشی کشت مخلوط نسبت رقابتی در گیاهان متفاوت است؛ به‌طوری‌که در روش جایگزینی نخودفرنگی و در شرایط سری افزایشی گیاه اسفناج نسبت رقابتی بالاتری داشتند (Salehi Sheikhi *et al.*, 2021). Raftari *et al.* (2018) نیز در تحقیق خود به نتایج مشابهی اشاره کردند. بررسی‌ها نشان می‌دهد گیاهی که CR کمتر از یک دارد، قدرت رقابتی کمتری در شرایط کشت مخلوط دارد، با این حال می‌تواند گیاه همراه مطلوبی تلقی شود (Ghanbari *et al.*, 2017). در مطالعه دیگر نیز نشان داده شد در شرایط کشت مخلوط همواره یک گیاه از CR بالاتری برخوردار است، این تفاوت در شرایط تیمارهای خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت متفاوت می‌باشد؛ به‌طوری‌که در کشت جایگزینی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) و ماش (*Vigna radiate* L.) نسبت بالاتر هر گیاه با CR بالاتر آن گیاه رابطه مستقیمی داشت (Hodiani Mehr *et al.*, 2021).

**جدول ٦.** شاخص‌های رقابتی در کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای در الگوی کاشت و سیستم خاک‌ورزی متفاوت.

| Treatment | Level | SPI | $CR_M$ | $CR_S$ | $RCC_M$ | $RCC_S$ | RCC T | $A_M$ | $A_S$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Conventional tillage** | Row intercropping | 7.984 | 1.273 | 0.786 | 0.453 | 0.256 | 0.116 | 0.0691 | -0.0691 |
| | Mix intercropping | 8.116 | 1.261 | 0.793 | 0.468 | 0.268 | 0.125 | 0.0674 | -0.0674 |
| **Minimum tillage** | Row intercropping | 7.780 | 1.285 | 0.778 | 0.441 | 0.247 | 0.109 | 0.0707 | -0.0707 |
| | Mix intercropping | 7.919 | 1.281 | 0.781 | 0.455 | 0.254 | 0.115 | 0.0707 | -0.0707 |
| **No tillage** | Row intercropping | 6.987 | 1.240 | 0.806 | 0.363 | 0.229 | 0.083 | 0.0573 | -0.0573 |
| | Mix intercropping | 6.998 | 1.234 | 0.811 | 0.366 | 0.232 | 0.085 | 0.0563 | -0.0563 |

SPI: System productivity index; CR: Competitive ratio; RCC: Relative crowding coefficient; A: Dominance; M: Maize; S: Sorghum

### ۴-۲-۳. ضریب ازدحام نسبی (RCC)

ارزیابی ضریب ازدحام نسبی در شرایط کشت مخلوط نشان داد میزان RCC در گیاه ذرت علوفه‌ای در تمامی تیمارها بالاتر از سورگوم علوفه‌ای است و با توجه به RCC بالاتر ذرت علوفه‌ای، این گیاه در شرایط کشت مخلوط سهم بیشتری از تولید را دارد. پتانسیل تولید بالاتر ذرت علوفه‌ای و توان رقابتی بالاتر آن (جدول ۶) در واحد سطح نسبت به سورگوم علوفه‌ای می‌تواند به علت RCC بالاتر آن در کشت مخلوط باشد (جدول ۶). نتایج این بررسی نشان داد میزان RCC ذرت و سورگوم علوفه‌ای در سطح خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی بالاتر از شرایط بی‌خاک‌ورزی بود که این امر به دلیل عملکرد بالاتر هر دو گیاه در این سطوح است. بررسی RCC کل نیز نشان داد بالاترین مقدار (۰/۱۲۵) در کشت یک‌درمیان روی ردیف و خاک‌ورزی مرسوم و کمترین آن (۰/۰۸۳) در سطح بی‌خاک‌ورزی و کشت یک ردیف در میان بود که این نتایج متأثر از عملکرد گیاه است (جدول ۶). در شرایط کشت مخلوط دیگر گیاهان نیز مشاهده شده است که ضریب نسبی هر جزء از کشت مخلوط متفاوت است و تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار می‌گیرد؛ با این حال RCC کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی آن‌ها بالاتر می‌باشد و این امر بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است (Fallah *et al*., 2014)، در این مطالعه نیز RCC کل بالاتر بود که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط است. به‌طور کلی افزایش میزان شاخص RCC اجزای کشت مخلوط نشان‌دهنده کاهش اثرات رقابتی بر یکدیگر می‌باشد و گیاهی که میزان RCC بالاتری دارد، گیاه غالب در کشت مخلوط است؛ چنین نتایجی در دیگر تحقیقات نیز به‌دست آمده است (Ghanbari *et al*., 2017; Mashhadi *et al*., 2014; Sadra & Hamzei, 2021; Salehi Sheikhi *et al*., 2021).

### ۵-۲-۳. شاخص غالبیت (A)

نتایج این شاخص نشان داد در شرایط کشت مخلوط ذرت و سورگوم علوفه‌ای گیاه ذرت از غالبیت بالاتری برخوردار بود (جدول ۶). گیاه ذرت علوفه‌ای در تمامی تیمارها گیاه غالب در کشت مخلوط بود، با این حال بالاترین غالبیت (۰/۰۷) در سطح کم‌خاک‌ورزی و کمترین آن (۰/۰۵) در شرایط بی‌خاک‌ورزی و کشت مخلوط روی ردیف بود (جدول ۶). گیاه سورگوم علوفه‌ای نیز در شرایط کم‌خاک‌ورزی از غالبیت بالاتری برخوردار بود (جدول ۶). میزان غالبیت در الگوی کشت مخلوط نیز بسیار نزدیک بود که به نظر می‌رسد تفاوت معنی‌داری نداشتند. گیاه ذرت با دارا بودن ویژگی‌های برتر از نظر مورفولوژیکی (قطر ساقه، سطح برگ، رشد و توسعه ریشه و ...) نسبت به سورگوم برتری داشت که منجر به غالب‌بودن آن در کشت مخلوط شد. بررسی کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی نخودفرنگی و اسفناج (*Spinacia oleracea*) نیز نشان داد گیاه اسفناج به دلیل رشد بیشتر در اوایل دوره از منابع بهره‌برداری بیشتری داشته و منجر به غالب‌بودن آن در کشت مخلوط شد (Salehi Sheikhi *et al*., 2021). در مطالعه‌ای دیگر نتایج نشان داد لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris*) نیز در کشت مخلوط با ذرت از ضریب غالبیت بالاتری برخوردار بود (Mashhadi *et al*., 2014). نتایج کشت مخلوط جو و نخود نیز نشان داد در تمامی نسبت‌های کشت، جو گیاه غالب بود (Mohavieh Asadi *et al*., 2019).

## ۴. نتیجه‌گیری

بررسی کشت مخلوط سورگوم و ذرت علوفه‌ای نشان داد از نظر شاخص‌های نسبت برابری زمین و بهره‌وری، سیستم کشت مخلوط از عملکرد قابل قبولی برخوردار است. شرایط کشت مخلوط با تراکم برابر از هر دو گیاه نشان داد که در صورت جایگزینی بخشی از کشت به سورگوم نسبت برابری زمین بالاتر از یک است؛ در این شرایط گیاه سورگوم که به آب مصرفی کمتری نیاز دارد، می‌تواند در شرایط کم‌آبیاری به صورت مخلوط استفاده شود. همچنین با توجه به غالبیت ذرت در کشت مخلوط و عملکرد بالاتر کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت، می‌توان کشت مخلوط را جایگزین کشت خالص کرد. با توجه به مشکلات برداشت در روش‌های کشت مخلوط، به نظر می‌رسد هم‌زمانی برداشت، شیوه برداشت و کاربرد یکسان علوفه ذرت و سورگوم می‌تواند مورد استقبال کشاورزان قرار گیرد. همچنین با توجه به عدم تمایل دامداران به مصرف مستقیم سورگوم، مخلوط آن با ذرت می‌تواند موجب افزایش تمایل به مصرف آن شود. خاک‌ورزی مرسوم در عملکرد و شاخص‌های کشت مخلوط بالاتر از دیگر شیوه‌های خاک‌ورزی بود؛ با این حال جهت بررسی کامل‌تر می‌توان شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی را مورد بررسی قرار داد تا با در نظر گرفتن مجموعه عوامل، سیستم کشت بهینه را توصیه کرد. با این حال با توجه به افزایش تنوع زیستی در کشت مخلوط، می‌توان این سیستم را پایدارتر دانست.

## ۵. منابع


Abu-Hamdeh, N.H. (2003). Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research*, *74*(1), 25–35.

Ahmadvand, G., & Hajinia, S. (2018). Effect of fungus *Piriformospora indica* on the grain yield, absorption and radiation use efficiency of millet under different irrigation regimes. *Cereal Research*, *8*(2), 261–276.

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., & Morshedloo, M.R. (2021). Evaluation of essential oil yield and ecological indices in the intercropping of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) with application of arbuscular mycorrhizal fungus. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(3), 31–50.

Beheshti, A., Kiani Feriz, M., Basaf, M., & Nabavi, G. (2019). The impact of maize and sorghum intercropping on water use efficinecy and forage production. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, *7*(2), 187–196. (In Persian).

Bourke, P.M., Evers, J.B., Bijma, P., Van Apeldoorn, D.F., Smulders, M.J.M., Kuyper, T.W., Mommer, L., & Bonnema, G. (2021). Breeding beyond monoculture: Putting the "intercrop" into crops. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 2602.

Chen, Y., Cavers, C., Tessier, S., Monero, F., & Lobb, D. (2005). Short-term tillage effects on soil cone index and plant development in a poorly drained, heavy clay soil. *Soil and Tillage Research*, *82*(2), 161–171.

Cuartero, J., Pascual, J.A., Vivo, J.M., Özbolat, O., Sánchez-Navarro, V., Egea-Cortines, M., Zornoza, R., Mena, M.M., Garcia, E., & Ros, M. (2022). A first-year melon/cowpea intercropping system improves soil nutrients and changes the soil microbial community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *328*, 107856.

Damavandi, A., Latifi, N., & Darbanian, M. (2015). The effect of plant density on morphological traits and yield of four forage sorghum cultivars in Damghan region. *Applied Field Crops Research*, *28*(106), 171–177.

Döring, T.F., & Elsalahy, H. (2022). Quantifying compensation in crop mixtures and monocultures. *European Journal of Agronomy*, *132*, 126408.

Eliaspour, S., & Seyed Sharifi, R. (2019). Evaluation of yield and yield components of forage sorghum using zinc sulfate and nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(4), 145–158.

Fallah, S., Baharlouie, S., & Abbasi Surki, A. (2014). Evaluation of competitive and economic indices in canola and pea intercropping at different rates of nitrogen fertilizer. *Journal of Agroecology*, *6*(3), 571–581.

Ghanbari, S., Moradi Telavat, M., & Siadat, S.A. (2017). Evaluation of competitive indices in barley intercropped with fenugreek under manure applications. *Journal of Crops Improvement*, *18*(4), 821–834. (In Persian).

Guo, X., Yang, Y., Liu, H., Liu, G., Liu, W., Wang, Y., Zhao, R., Ming, B., Xie, R., Wang, K., Li, S., & Hou, P. (2022). Effects of solar radiation on dry matter distribution and root morphology of high yielding maize cultivars. *Agriculture*, *12*(299), 1-18.

Hamzei, J., & Ghamari Rahim, N. (2016). Economical evaluation of faba bean (*Vicia faba*) and maize (*Zea mays* L.) intercropping based on total relative value index and weeds growth reduction. *Journal of Crop Production and Processing*, *6*(19), 97–109. (In Persian).

Hasanvand, M., Hoseini, S.M.B., & Jahansooz, M.R. (2019). Effect of replacing ratios of maize: Sorghum intercropping on yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(3), 109–120. (In

Persian).
He, H.M., Liu, L.N., Munir, S., Bashir, N.H., Yi, W.A.N.G., Jing, Y.A.N.G., & Li, C.Y. (2019). Crop diversity and pest management in sustainable agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, *18*(9), 1945–1952.
Hodiani Mehr, A., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Asgharipoor, M.R. (2021). Evaluation of competitive indices in roselle-mung bean intercropping under various tillage systems. *Crop Science Research in Arid Regions*, *2*(2), 255–265. (In Persian).
Hu, F., Feng, F., Zhao, C., Chai, Q., Yu, A., Yin, W., & Gan, Y. (2017). Integration of wheat-maize intercropping with conservation practices reduces $CO_2$ emissions and enhances water use in dry areas. *Soil and Tillage Research*, *169*, 44–53.
Jalilian, A., Mondani, F., Khorramivafa, M., & Bagheri, A. (2018). Evaluation of CliPest model in simulation of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena ludoviciana* L.) competition in Kermanshah. *Journal of Agroecology*, *10*(1), 248–266. (In Persian).
Karami, E., Almasi, A., Kashi, A., & Etminani, A. (2022). The effect of wind breaking of sweet corn and okra on growth indices and yield of cucumber in strip intercropping system. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(4), 789–798. (In Persian).
Karimi, R., & Amirnia, R. (2019). Effects of chemical and organic fertilizer on some qualitative and quantitative characteristics of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Var. Speed Feed) in various phenological stages. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(3), 27–38. (In Persian).
Khodabin, G., Lightburn, K., Hashemi, S.M., Moghadam, M.S.K., & Jalilian, A. (2022). Evaluation of nitrate leaching, fatty acids, physiological traits and yield of rapeseed (*Brassica napus*) in response to tillage, irrigation and fertilizer management. *Plant and Soil*, *2022*, 1–18.
Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, *52*, 333–338.
Khosravi, M., Tavassoli, A., Piri, I., & Babaeian, M. (2021). Effect of weeds management on yield and nutrient content of sesame (*Sesamum indicum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(4), 1–16.
Li, S., Jiang, X., Wang, X., & Wright, A.L. (2015). Tillage effects on soil nitrification and the dynamic changes in nitrifying microorganisms in a subtropical rice-based ecosystem: A long-term field study. *Soil and Tillage Research*, *150*, 132–138.
Mashhadi, T., Nazhzari Maghadam, A., & Sabouri, H. (2014). The investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption. *Journal of Agroecology*, *7*(3), 344–355.
Munz, S., Feike, T., Chen, Q., Claupein, W., & Graeff-Hönninger, S. (2014). Understanding interactions between cropping pattern, maize cultivar and the local environment in strip-intercropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152–164.
Moghadam, M.S.K., Rad, A.H.S., Khodabin, G., Jalilian, A., & Bakhshandeh, E. (2022). Application of silicon for improving some physiological characteristics, seed yield, and oil quality of rapeseed genotypes under late-season drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1–19.
Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., & Behpoori, A. (2019). Evaluation of seed yield and competitive indices in relay intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Late season low water stress. *Journal of Agroecology*, *11*(3), 1169–1182. (In Persian).
Mojtabaie Zamani, M., & Norouzi, S. (2017). Evaluation of different intercropping patterns of barley (*Hordeum vulgare* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) through competitive and economic indices. *Journal of Crop Production and Processing*, *7*(3), 145–158. (In Persian).
Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effects of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. *Journal of Agroecology*, *8*(1), 47–58. (In Persian).
Nikniaei, A., Akbari, G., Chaeichi, M.R., Rahimian Mashhadi, H., Afzalzadeh, A., & Ghorbani Javid, M. (2017). The effect of additive intercropping of maize and sorghum with legumes on yield, forage quality and weed dry weight. *Journal of Agroecology*, *7*(1), 17–32. (In Persian).
Nunes, M.R., Karlen, D.L., Veum, K.S., Moorman, T.B., & Cambardella, C.A. (2020). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, *369*, 114335.
Raftari, E., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., & Hosseini Moghaddam, H. (2018). The effect of nitrogen fertilizer and planting pattern on yield and competition indices of pea (*Pisum sativum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agroecology*, *10*(2), 504–515. (In Persian).
Ramadhan, M., & Muhsin, S. (2021). Evaluation of the response of sorghum to tillage systems and nitrogen fertilization. *International Journal of Agronomy*, 2021.
Ranjbar, M.H., Gherekhloo, J., & Soltani, A. (2017). Effect of different tillage systems on growth indices and yield

of *Zea mays* (L.) (*Corn Forage*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(2), 267–285. (In Persian).

Ren, B., Li, X., Dong, S., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2018). Soil physical properties and maize root growth under different tillage systems in the north china plain. *The Crop Journal*, *6*(6), 669–676.

Sadra, T., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of the efficiemcy of triticale (*Triticosecale wittmack*) intercropping with winter vetch (*Vicia villosa* L.) by competitive indices under different tillage systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(3), 1–18. (In Persian).

Salaheen, S., & Biswas, D. (2019). Organic farming practices: Integrated culture versus monoculture. *Safety and Practice for Organic Food*, 23–32.

Säle, V., Aguilera, P., Laczko, E., Mäder, P., Berner, A., Zihlmann, U., van der Heijden, M.G.A., & Oehl, F. (2015). Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, *84*, 38–52.

Salehi Sheikhi, M., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A., & Mohamad Eamaeili, M. (2021). Effect of pea cultivar and replacement and additive intercropping ratios of pea and spinach on yield and competition indices. *Journal of Crops Improvement*, *23*(4), 952–939. (In Persian).

Sarto, M.V.M., Borges, W.L.B., Bassegio, D., Rice, C., & Rosolem, C.A. (2021). Maize and sorghum root growth and yield when intercropped with forage grasses. *Agronomy Journal*, *113*(6), 4900–4915.

Sayfzadeh, S., Norouzi, J., Eradatmand Asli, D., Zakerin, H.R., Hadidi Masouleh, I., & Yousefi, M. (2022). Effect of nitrogen fertilizer splitting on eco-physiological traits of two maize cultivars under normal irrigation and stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(1), 115–132. (In Persian).

Samarappuli, D., & Berti, M.T. (2018). Intercropping forage sorghum with maize is a promising alternative to maize silage for biogas production. *Journal of Cleaner Production*, *194*, 515-524.

Sun, J., Gao, J., Wang, Z., Hu, S., Zhang, F., Bao, H., & Fan, Y. (2018). Maize canopy photosynthetic efficiency, plant growth, and yield responses to tillage depth. *Agronomy*, *9*(1), 1-18.

Shah, M.A., Farooq, M., & Hussain, M. (2016). Productivity and profitability of cotton–wheat system as influenced by relay intercropping of insect resistant transgenic cotton in bed planted wheat. *European Journal of Agronomy*, *75*, 33–41.

Singh, V., van Oosterom, E.J., Jordan, D.R., Messina, C.D., Cooper, M., & Hammer, G.L. (2010). Morphological and architectural development of root systems in sorghum and maize. *Plant and Soil*, *333*(1), 287–299.