مقاله پژوهشی

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد سوم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ۲۵۲-۲۳۷

شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum –gereasum* L.) در شرایط مختلف رطوبتی خاک

ابوالقاسم قراخانی بنی[۱]، عبدالله قاسمی پیر بلوطی[۲*]، حمیدرضا جوانمرد[۳]، علی سلیمانی[۳]، احمدرضا گلپرور[۳]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
۲- مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران
۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
* مسئول مکاتبه: Ghasemi@qodsiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰ /۰۹/۰۵ **DOI: 10.22034/CSRAR.2021.298016.1114**

چکیده

به منظور بررسی شاخص‌های رقابتی و عملکرد دو گونه گیاهان دارویی زوفا و شنبلیله در کشت مخلوط و شرایط رطوبتی مختلف خاک، آزمایشی با آرایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا گردید. کرت اصلی شامل دو سطح رطوبتی مختلف خاک شامل آبیاری در ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از ظرفیت زراعی، کرت فرعی شامل پنج سطح کشت زوفا ۱۰۰٪ : شنبلیله ۰، زوفا ۰ : شنبلیله ۱۰۰٪، مخلوط ردیفی زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪، زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ و زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ به صورت جایگزینی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد مقدار نسبت برابری زمین در شرایط تنش خشکی و کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بالاتر بود؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش ملایم و کشت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله، ۲۵/۶ درصد افزایش نسبت به کشت خالص مشاهده گردید. میانگین ضریب ازدحام نسبی کل (K) در همه نسبت‌های مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش معنی‌داری ($p \leq 0.05$) داشت. هم‌چنین عملکرد از دست رفته کل (ALY_t) در همه نسبت‌های مخلوط مثبت شد که این امر بیانگر سودمندی کشت مخلوط دو گیاه است. بیش‌ترین مقدار شاخص تولید سیستم (SPI) در شرایط کشت مخلوط زوفا ۷۵٪: شنبلیله ۲۵٪ به دست آمد. به‌طور کلی نتایج نشان داد کشت مخلوط زوفا تحت کشت ردیفی با شنبلیله باعث بهبود کارآیی تولید یا بهره‌وری از منابع به خصوص در شرایط تنش خشکی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تیره نعنائیان، شاخص تولید سیستم، کارآیی تولید، لگوم، نسبت برابری زمین

مقدمه

رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی و باغی است. این عامل نقش عمده‌ای بر رشد، نمو و تولید گیاهان دارویی و معطر دارد (Ghahremani *et al.*, 2020). تغییرات میزان آب ضمن کاهش محتوای آب در بافت های گیاهی، باعث محدود شدن رشد و برخی تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی در آن‌ها می‌گردد و می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری به رشد و نمو و هم‌چنین بر مواد مؤثره‌ی دارویی گیاهان وارد نماید (Babaei *et al.*, 2021). امکان رشد و نمو در شرایط محیطی دارای تنش به ویژه خشکی از جمله مهم‌ترین خصوصیات بسیاری از گیاهان دارویی و معطر می‌باشد که آن‌ها را به گیاهانی سازگار برای بوم‌نظام‌های مناطق نیمه‌خشک تبدیل کرده است.

ایران به دلیل قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارای بحران کمبود آب است؛ به‌طوری‌که خشک‌سالی‌های چند دهه اخیر بیانگر تشدید اثرات نامطلوب آن بر کشاورزی و تولید محصولات زراعی و باغی است. البته محدودیت اراضی مناسب کشاورزی و کاهش کیفیت خاک‌های زراعی به دلیل فرسایش منجر به محدودیت خاک به عنوان یکی دیگر از منابع در کشاورزی ایران و جهان شده است. در چند دهه اخیر تلاش می-شود تا با بهره‌گیری هم‌زمان از اراضی با کشت مخلوط شرایط برای ثبات و پایداری در بوم‌نظام‌های کشاورزی حفظ شود. کشت مخلوط می‌تواند به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (Ibrahim *et al.*, 2014). در صورتی‌که اجزای کشت مخلوط از نظر استفاده از منابع متفاوت باشند می‌توانند استفاده مؤثرتری از

نور، آب و مواد غذایی نسبت به کشت خالص داشته باشند (Amini Machiani *et al.*, 2018). یکی از موفق‌ترین سیستم‌های کشت مخلوط سیستمی است که در آن بقولات در مخلوط با یک گیاه غیربقولات کشت شده باشد (Rahmati *et al.*, 2020; Moghbeli *et al.*, 2019).

گیاه دارویی زوفا [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)] متعلق به خانواده نعناعیان (Lamiaceae)، گیاهی چندساله، بوته‌ای با ساقه‌های متعدد چوبی است و یکی از گیاهان مورد استفاده در صنایع داروسازی می‌باشد. این گیاه به عنوان طعم دهندهٔ غذا و انواع سس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین اسانس این گیاه دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی است (Aghaei *et al.*, 2019). این گیاه در طب سنتی و مدرن کاربردهای متعددی به عنوان خلط‌آور، مدر و اشتهاآور داشته و هم‌چنین در درمان ناراحتی‌های گوارشی، التهاب حنجره، آسم، برونشیت، تب‌خال و تسریع بهبود زخم تأثیر مطلوبی دارد (Ghasemi Pirbalouti *et al.*, 2019).

شنبلیله با نام علمی (*Trigonella foenum–gereasum* L.) یکی از گیاهان تیره بقولات (Fabaceae) است که به عنوان یک گیاه دارویی و علوفه‌ای به دلیل پوشش مناسب بر روی خاک به عنوان یکی از گیاهان مناسب کشت مخلوط با سایر گیاهان زراعی و باغی معرفی شده است. این گیاه دارای ارتفاع ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر و برگ‌های متناوب و مرکب از سه برگچه می‌باشد. دانه‌های این گیاه در درمان دیابت و قند خون در طب سنتی و گیاه‌درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین اندام‌های هوایی شنبلیله به عنوان منبع ارزشمندی از پروتئین در تغذیه انسان و دام مورد استفاده قرار می‌گرفته است. ریشه آن نیز دارای مواد دگرآسیب می‌باشد که این مواد از جوانه‌زنی بذور علف‌های هرز جلوگیری می‌کند (Salehi *et al.*, 2018; Salehi Surmaghi, 2008).

با بررسی اثر تنش کم‌آبی انتهای فصل بر شاخص‌های رقابتی و عملکرد در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) با نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش شد که تنش کم‌آبی باعث افزایش ۵۸ و ۲۵ درصدی نسبت برابری زمین نخود و کل نسبت به شرایط آبیاری مطلوب شد (Mohavieh Asadi *et al.*, 2019). نتایج مطالعه‌ای در خصوص تأثیر قطع آبیاری بر عملکرد، شاخص‌های رقابتی و اقتصادی کشت مخلوط جو با حبوبات نشان داد که اعمال تنش آبی باعث کاهش ۲۰، ۴۳ و ۴۰ درصدی به ترتیب عملکرد دانه جو، نخود و باقلا و افزایش ۱/۹، ۴۲ و ۲۰/۲ درصدی نسبت برابری زمین جزئی به ترتیب ارقام جو و حبوبات و نسبت برابری زمین کل شد. شاخص‌های غالبیت و نسبت رقابت نشان دادند که در شرایط آبیاری مطلوب، ارقام جو جزء غالب بودند و در شرایط تنش آبی، قدرت رقابتی حبوبات افزایش یافت (Niksirat *et al.*, 2018).

یکی از راهکارهای بررسی بهره‌وری کشت مخلوط، استفاده از شاخص‌های سودمندی است. در بوم‌نظام کشت مخلوط، هر دو جمعیت گیاهی برای بهره‌برداری از منابع یکسان یا مشابه رقابت دارند (Moghbeli *et al.*, 2019). در این خصوص مفاهیم ریاضی می‌توانند به پژوهش‌گران در خلاصه‌بندی، تفسیر و تشریح نتایج رقابت‌های گیاهی کمک کنند و امکان مقایسه نتایج تحقیقات مختلف را فراهم سازند. چندین شاخص معتبر از جمله نسبت برابری زمین، بهره‌وری سیستم، غالبیت و عملکرد از دست رفته واقعی جهت برآورد میزان رقابت و مزیت نسبی کشت مخلوط به کار برده شده است (Lithourgidis *et al.*, 2011). در این میان نسبت برابری زمین در ارزیابی مزیت سیستم کشت مخلوط به تک‌کشتی، بیش‌ترین کاربرد را دارد (Dhima *et al.*, 2007). در مطالعه‌ای گزارش شد که کارآیی استفاده از زمین در مقایسه با کشت خالص، در حدود ۳۲-۱۲ درصد افزایش یافت و بالاترین راندمان کل زمین (۵/۹ تن در هکتار) و نسبت برابری زمین (۱/۳۲) در ترکیب ۲:۱ جو با نخود فرنگی (*Pisium sativum* L.) حاصل شد (Chapagainand Riseman, 2014). در بررسی اثر کشت مخلوط زعفران (*Crocus sativus* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) بر رشد، کیفیت و نسبت برابری زمین در شرایط نیمه‌خشک، بهترین تیمار کشت مخلوط سیستم کاشت ۵۰٪ زعفران : ۵۰٪ زیره سبز بود و این تیمار بالاترین مقدار نسبت برابری زمین (LER) را داشت (Koocheki *et al.*, 2016). نتایج حاصل از تحقیقات، نشان داد که تیمار کشت بین ردیفی، ۲۵٪ گشنیز (*Coriandrum sativum* L.): ۷۵٪ شنبلیله، بیش‌ترین ارتفاع و عملکرد زیست‌توده شنبلیله، بیش‌ترین نسبت برابری زمین، کم‌ترین درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد زیست‌توده گیاه گشنیز را به خود اختصاص دادند (Bigonah *et al.*, 2014).

هم‌چنین در یک پژوهش گزارش گردید که کشت مخلوط ۷۵٪ نخود : ۲۵٪ جو دارای بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۱۱)، شاخص بهره‌وری سیستم (۲/۹۲) و ضریب تراکم نسبی (۱/۵۵) بود (Lamei Harvani, 2013).

بنابراین با توجه به اهمیت موضوع شرایط کمبود آب در چند سال اخیر و هم‌چنین استفاده بهینه از منابع و تنوع زیستی به نظر می‌رسد استفاده از سیستم کشت مخلوط در کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی می‌تواند در ثبات و پایداری بوم‌نظام کشاورزی مؤثر باشد. محاسبه شاخص‌های اکولوژیکی و اقتصادی در رابطه با کشت مخلوط ارزیابی دقیقی از برتری کشت مخلوط و مزیت‌های آن نسبت به کشت خالص ارائه می‌دهد؛ لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی شاخص‌های رقابتی و اقتصادی کشت مخلوط گیاه دارویی و معطر زوفا و شنبلیله به عنوان لگوم در شرایط مختلف رطوبتی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

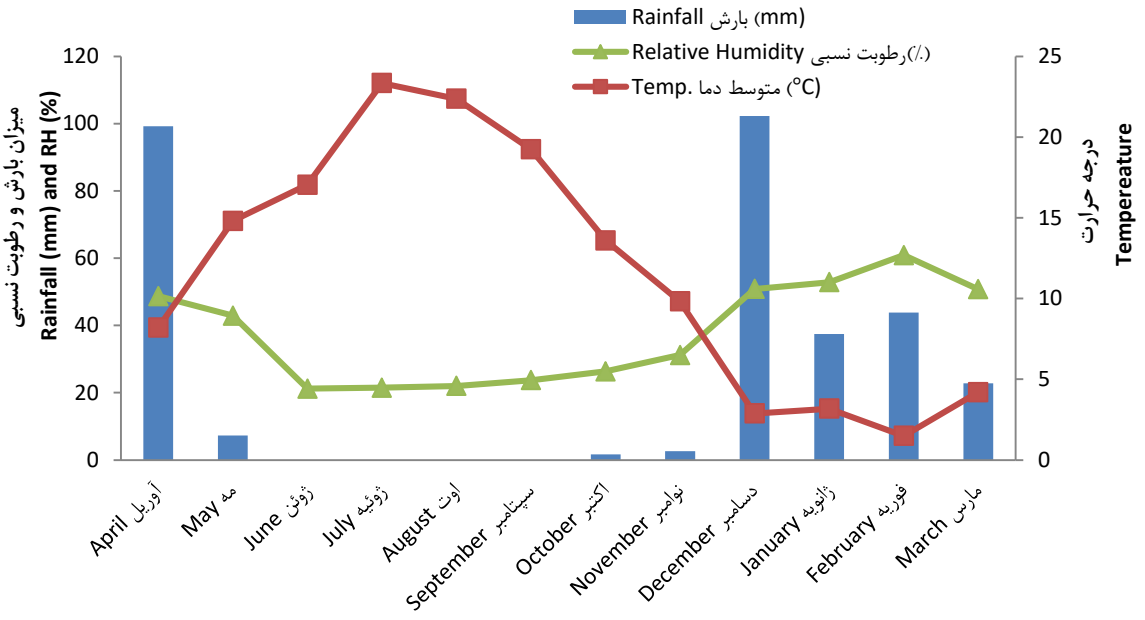
این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی) و ارتفاع ۲۰۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا گردید. منطقه مورد مطالعه دارای متوسط بارندگی ۳۴۰ میلی‌متر با دمای روزانه حداقل ۱۰ و حداکثر ۳۰ درجه سانتی‌گراد است و براساس طبقه‌بندی اقلیم به روش کوپن (Koppen)، منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوا سرد، خشک و نیمه‌خشک و مرطوب است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده (اسپیلت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل دو سطح مختلف رطوبت خاک با استفاده از رطوبت-سنج و آبیاری بر مبنای ظرفیت زراعی (۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از ظرفیت زراعی)، کرت فرعی، سطوح کشت مخلوط ردیفی شامل کشت خالص زوفا، کشت خالص شنبلیله و سه نسبت مخلوط زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪، زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ و زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ (به صورت جایگزین به‌طوری‌که در چهار ردیف کشت در هر کرت به تناسب درصدها جایگزینی کشت انجام شد. مثلاً در زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ سه ردیف زوفا و یک ردیف وسطی شنبلیله کشت شد) در نظر گرفته شد. قبل از انجام آزمایش از خاک مزرعه نمونه‌گیری انجام شد و سپس در آزمایشگاه خاک‌شناسی خصوصیات آن تعیین گردید (جدول ۱). با توجه به خصوصیات خاک و گیاه مورد نظر مدیریت کودی (صرفاً مصرف کود حیوانی) اعمال گردید.

عملیات تهیه بستر و کاشت در اواخر فروردین سال ۱۳۹۷ انجام شد. کاشت شنبلیله در تاریخ ۱۰ اردیبهشت‌ماه به‌صورت کشت مستقیم در زمین و در ردیف‌هایی با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و بوته‌ها با فاصله ۱۰ سانتی‌متر از هم به صورت ردیفی در کرت‌هایی با ابعاد ($۲^m \times ۲^m$) کشت شدند و بلافاصله آبیاری انجام گردید. در مرحله دوم نشاءهای زوفا در اوایل خرداد در کرت‌ها در روی ردیف‌هایی با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هم و به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بر روی ردیف‌ها کاشته شد و آبیاری انجام گردید. ابتدا با تراکم بالا کشت شنبلیله انجام شد و بعد از ۲ تا ۳ هفته استقرار عملیات تنک کردن مطابق با تراکم مورد نظر انجام شد. تراکم ۴۰ بوته شنبلیله در متر مربع و ۱۶ بوته زوفا در متر مربع در کشت خالص و در کشت‌های مخلوط زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪ به تعداد ۸ بوته زوفا و ۲۰ بوته شنبلیله در متر مربع، زوفا ۷۵٪: شنبلیله ۲۵٪ با تراکم ۱۲ بوته زوفا و ۱۰ بوته شنبلیله و برای زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ تعداد ۴ بوته در مربع زوفا و ۳۰ بوته شنبلیله در نظر گرفته شد. برداشت هر دو گیاه که به صورت هم‌زمان بین ۱۰۰ تا ۱۱۰ روز بعد از کاشت انجام گردید.

مراقبت‌های لازم در مزرعه به صورت مداوم تا استقرار نشاءها صورت گرفته و در صورت نیاز به واکاری دو هفته بعد از کشت واکاری انجام گردید. دور آبیاری با توجه به بررسی منابع (Aghaei *et al.*, 2019) و رطوبت خاک (۷۵٪ ظرفیت زراعی و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) و با اندازه یکسان برای تیمارها انجام شد. کل آب قابل استفاده (TAW) و رطوبت سهل‌الوصول (RAW) از روابط زیر محاسبه شد (Ramamohan *et al.*, 2014).

معادله (۱) $TAW = [(FC–PWP) / 100] \times y \times Zr \times 1000$

که در آن FC: رطوبت وزنی ظرفیت زراعی مزرعه (درصد)، PWP : رطوبت وزنی نقطه پژمردگی دائم (درصد)، y : وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و Zr : عمق ریشه (متر).



شکل ۱- متوسط دما، بارش و رطوبت نسبی سال ۹۷-۱۳۹۶ منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Monthly temperature, precipitation, and average humidity during 2017-2018

معادله (۲) $RAW = TAW \times P$

که در آن P ضریب سهل‌الوصول بوده و کم‌تر از یک می‌باشد که به نوع گیاه و مرحله رشدی گیاه بستگی دارد. در این آزمایش ۰/۶ در نظر گرفته شده است (Richard *et al.*, 1998).

بر اساس روابط ۱ و ۲ برای تیمار آبیاری ۲۵٪ تخلیه رطوبتی خاک از ظرفیت زراعی، ۱۰۰ لیتر آب در هر کرت و برای تیمار ۵۰٪ تخلیه رطوبتی خاک از ظرفیت زراعی معادل ۶۷ لیتر آب آبیاری در هر کرت توسط کنتور استفاده گردید. زمان آبیاری توسط دستگاه رطوبت‌سنج خاک (Lutron PMS-714, Taiwan) تعیین شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Some physical and chemical properties from the field soil

بافت خاک Soil texture	نیتروژن N	پتاسیم K	فسفر P	درصد آهک T.N.V	کربن آلی O.C	شوری EC	اسیدیته pH	ظرفیت زراعی F.C	نقطه پژمردگی دائم P.W.P	وزن مخصوص ظاهری BD
-	(%)	($mg.kg^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)	(%)	(%)	($dS.m^{-1}$)	-	(%)	(%)	($g.cm^{-3}$)
لوم رسی Clay loam	0.05	313	22.1	25.5	0.62	0.495	8.09	19.1	5.2	1.15

سایر مراقبت‌های زراعی مانند مبارزه با علف‌های هرز (وجین دستی) و غیره به صورت مستمر در صورت نیاز انجام شد. برداشت هر دو گیاه به طور هم‌زمان در اواخر مرداد انجام گرفت. با حذف اثرات حاشیه‌ای، نمونه‌ها با داس توسط دست برداشت شدند و برای به دست آوردن وزن خشک نمونه‌ها، گیاه شنبلیله در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در دستگاه آون به مدت ۷۲ ساعت و گیاه زوفا به مدت یک هفته در سایه و در شرایط تهویه مناسب خشک شدند (Aghaei *et al.*, 2019).

برای ارزیابی کارآیی و سودمندی کشت مخلوط از معیارهای نسبت برابری زمین (Dhima *et al.*, 2007)، غالبیت (Agegnehu *et al.*, 2006)، ضریب ازدحام نسبی (Banik *et al.*, 2006)، عملکرد از دست رفته واقعی (Banik *et al.*,

2006)، شاخص تولید سیستم (Agegnehu*et al.*, 2006) و سودمندی کشت مخلوط (Banik *et al.*, 2006) از معادلات ۳ تا ۱۷ استفاده گردید.

معادله (۳) نسبت برابری زمین مجموع

$$LER= (LER_a + LER_b)$$

معادله (۴) نسبت برابری زمین زوفا

$$LER_a=Y_{ai}/Y_a$$

معادله (۵) نسبت برابری زمین شنبلیله

$$LER_b=Y_{bi} /Y_b$$

معادله (۶) غالبیت گیاه زوفا

$$A_a=(Y_{ai}/Y_aZ_{ai}) – (Y_{bi}/Y_bZ_{bi})$$

معادله (۷) غالبیت گیاه شنبلیله

$$A_b = (Y_{bi}/Y_bZ_{bi}) – (Y_{ai}/Y_aZ_{ai})$$

معادله (۸) ضریب ازدحام نسبی

$$K = K_aK_b$$

معادله (۹) ضریب ازدحام نسبی زوفا

$$K_a = Y_{ai}Z_{bi}/(Y_a – Y_{ai})Z_{ai}$$

معادله (۱۰) ضریب ازدحام نسبی شنبلیله

$$K_b = Y_{bi}Z_{ai}/(Y_b – Y_{bi})Z_{bi}$$

معادله (۱۱) عملکرد از دست رفته واقعی مجموع

$$AYL = AYL_a + AYL_b$$

معادله (۱۲) عملکرد از دست رفته واقعی زوفا

$$AYL_a = \{[(Y_{ai}/Z_{ai}) \div (Y_a/Z_a)] -1\}$$

معادله (۱۳) عملکرد از دست رفته واقعی شنبلیله

$$AYL_b = \{[(Y_{bi}/Z_{bi}) \div (Y_b/Z_b)] -1\}$$

معادله (۱۴) شاخص تولید سیستم

$$SPI=(Y_a/Y_b)\ Y_{bi}+Y_{ai}$$

معادله (۱۵) سودمندی نسبی کشت مخلوط

$$IA=IA_a + IA_b$$

معادله (۱۶) سودمندی زوفا در کشت مخلوط

$$IA_a = AYL_ap_a$$

معادله (۱۷) سودمندی شنبلیله در کشت مخلوط

$$IA_b = AYL_bp_b$$

که در این معادلات Y_{ai}، Y_a، Y_{bi} و Y_b به ترتیب عملکرد گیاه زوفا در کشت مخلوط، عملکرد گیاه زوفا در کشت خالص، عملکرد گیاه شنبلیله در کشت مخلوط و عملکرد گیاه شنبلیله در کشت خالص می‌باشد. هم‌چنین Z_{ai}، Z_{bi}، p_a و p_b به ترتیب فراوانی گیاه زوفا و گیاه شنبلیله در کشت مخلوط، قیمت هر کیلوگرم محصول زوفا و قیمت هر کیلوگرم محصول شنبلیله می‌باشد.

داده‌های حاصل از آزمایش و میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS (V9.4) مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است نسبت برابری زمین یا LER مجموع دو گیاه به طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر برهم‌کنش تنش خشکی و نسبت‌های مخلوط قرار گرفته است (جدول ۲). بیش‌ترین نسبت برابری زمین (۱/۲۵۶) در شرایط تنش ملایم و نسبت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله به دست آمد و کم‌ترین نسبت برابری زمین (۱/۰۷۲) در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله حاصل شد. برهم‌کنش تیمارهای تنش ملایم و کشت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله، ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله و ۲۵٪ زوفا : ۷۵٪ شنبلیله باعث افزایش به ترتیب ۲۵/۶، ۲۵/۴ و ۷/۷ درصدی نسبت برابری کل نسبت به کشت خالص گردید. هم‌چنین برهم‌کنش تیمارهای تنش شدید و کشت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله، ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله و ۲۵٪ زوفا : ۷۵٪ شنبلیله باعث افزایش به ترتیب ۹، ۷/۲ و ۲۰ درصدی نسبت برابری کل نسبت به کشت خالص شد (جدول ۳). برتری نسبت برابری زمین در نسبت‌های مخلوط تحت شرایط تنش ملایم و شدید نسبت به کشت خالص نشان‌دهنده بهره‌وری بهتر از رطوبت در کشت مخلوط و تا حدودی کاهش اثرات تنش خشکی می‌باشد (جدول ۳). این امر نشان می‌دهد در شرایطی که نسبت‌های مساوی از دو گیاه در مخلوط به کار برده می‌شوند با متعادل شدن شرایط رشد، هر دو گیاه با ایجاد رقابت کم‌تر، از منابع موجود بهره بهتری می‌برند و اثر مطلوب بیش‌تری بر رشد یکدیگر دارند (Aminifar *et al.*, 2016). با این وجود اثر دو گیاه زوفا و شنبلیله بر نسبت برابری زمین برابر نبوده به‌طوری‌که زوفا با نسبت برابری زمین (۰/۷۲) نسبت به شنبلیله با نسبت برابری زمین (۰/۵۳) سهم بیشتری داشت و شاید دلیل بالاتر

بودن نسبت برابری زمین زوفا، برتری این گیاه در رقابت با شنبلیله باشد. افزایش جذب عناصر غذایی و آب به‌وسیله سیستم ریشه‌ای متفاوت در کشت مخلوط (Stolz and Nadean, 2014) و از طرفی افزایش LER زوفا در شرایط تنش ملایم باعث شد تا LER کل افزایش یابد. در آزمایشی که بر روی کشت مخلوط ذرت و سویا تحت سطوح مختلف تنش خشکی انجام شد، نسبت برابری زمین در تمامی کشت‌های مخلوط بالاتر از یک بود ولی این میزان با افزایش سطوح تنش خشکی کاهش یافت (El-sharif and Ali, 2015). هم‌چنین بالاتر بودن نسبت برابری زمین در نسبت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله می‌تواند ناشی از اثر مثبت گیاه لگوم در تثبیت نیتروژن و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای برای کسب منابع رشدی باشد (Amini Machiani *et al.*, 2018; Moghbeli *et al.*, 2019).

درکشت مخلوط لگوم‌های علوفه‌ای با گرامینه‌ها نسبت برابری زمین بالاتر از یک به‌دست آمد. تیمار کشت مخلوط ۷۰ درصد تریتیکاله : ۳۰ درصد ماشک علوفه‌ای با نسبت برابری زمین ۱/۵۴ نسبت به سایر نسبت‌های کشت از برتری قابل ملاحظه‌ای برخوردار بود (Rabiee and Farahdahr, 2020). علت بالا بودن نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک را می‌توان تثبیت و جذب نیتروژن در بقولات دانست (Monti *et al.*, 2016). در کشت مخلوط بادرنجبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) و سویا (Fallah *et al.*, 2018) و کشت ردیفی بادرنجبویه با باقلا (Vafadar-Yengeje *et al.*, 2019) مشخص شد که کشت مخلوط گیاهان دارویی با لگوم‌ها نسبت به کشت خالص آن‌ها برتری دارد، به‌طوری‌که بالاترین نسبت برابری زمین بیش از یک گزارش کردند.

ضریب ازدحام نسبی (K)، قدرت رقابت یک گونه را نسبت به گونه دیگر نشان می‌دهد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل تنش خشکی و کشت مخلوط بر ضریب ازدحام نسبی زوفا، شنبلیله و ضریب ازدحام نسبی مجموع در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد حداکثر ضریب ازدحام نسبی زوفا (۳/۳۱) مربوط به تیمارهای تنش ملایم و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله بود. هم‌چنین بالاترین ضریب ازدحام نسبی کل (۴/۶۲) در شرایط تنش ملایم و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله دیده شد (جدول ۵). با افزایش سهم نسبی هر جزء در مخلوط، ضریب ازدحام نسبی نیز افزایش می‌یابد. هر اندازه مقدار ضریب ازدحام نسبی بیش‌تر باشد بدان معنی است که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کم‌تری بر هم‌دیگر دارند و در مجموع کارآیی سیستم افزایش می‌یابد. در کشت مخلوط گیاه برخوردار از ضریب ازدحام نسبی کم‌تر به عنوان گیاه مغلوب و گیاه دیگر به عنوان جزء غالب تلقی می‌گردد (Agegnehu *et al.*, 2006). از طرفی مشاهده شد که میانگین ضریب ازدحام نسبی کل در همه نسبت‌های مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش داشت که این امر بیانگر سودمندی کشت مخلوط گیاه نخود با غلات (گندم، تریتیکاله و چاودار) بود (Litourgidis *et al.*, 2011).

در مطالعه‌ای در خصوص کشت مخلوط سیاه‌دانه و شنبلیله مشخص شد که کشت مخلوط ۲۵ درصد سیاه‌دانه : ۷۵ درصد شنبلیله در شرایط عدم کنترل علف‌های هرز، دارای بیش‌ترین ضریب ازدحام نسبی بود (Mehni *et al.*, 2020). در تحقیقی دیگر بر روی شاخص‌های اکولوژیکی کشت مخلوط آفتابگردان و سویا ارزش این ضریب (k) برای آفتابگردان بسیار بیش‌تر از یک بود و نشان‌دهنده مزیت آفتابگردان نسبت به سویا در الگوهای مخلوط با مقادیر بالاتر در مقایسه با سویا بود (Javanmard *et al.*, 2018).

عملکرد از دست رفته واقعی (AYL) زوفا، شنبلیله و مجموع دو گیاه برای نسبت‌های مخلوط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود؛ این در حالی بود که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر روی این صفات نداشت. با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و نسبت‌های مخلوط بر عملکرد از دست رفته زوفا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۶). بیش‌ترین میزان میانگین AYL زوفا (۴/۱۳) در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۲۵٪ زوفا : ۷۵٪ شنبلیله مشاهده شد و کم‌ترین میزان این شاخص (۰/۲۹) در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله حاصل شد. هم‌چنین بالاترین میزان میانگین AYL شنبلیله (۴/۴۸) در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله و پایین‌ترین میزان این شاخص (۰/۳۷) در شرایط تنش ملایم و نسبت مخلوط ۲۵٪ زوفا : ۷۵٪ شنبلیله مشاهده شد. AYL کل نشان داد هیچ یک از سطوح تنش خشکی و نسبت‌های مخلوط افت عملکرد نداشته و تمامی مقادیر AYL عددی مثبت داشتند (جدول ۷). با توجه به مثبت بودن مقادیر

AYL_t در تمامی نسبت‌های مخلوط، کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از دو گیاه سودمندتر بوده است و نشان می‌دهد هر دو گیاه در رقابت با یکدیگر سود برده و این رقابت باعث افزایش عملکرد شده است (Ahmadi *et al*., 2010). در بررسی عملکرد و شاخص‌های سودمندی درکشت مخلوط شوید با شنبلیله گزارش نمودند با محاسبه AYL کل هیچ‌کدام از نسبت‌های مخلوط افت عملکرد نداشته و تمامی مقادیر مثبت بوده و دلیل آن را به استفاده بهینه از منابع موجود با حداقل رقابت بین گونه‌ای و درون گونه‌ای نسبت دادند (Rezaei chiyaneh *et al*., 2016).

نتایج تجزیه واریانس شاخص SPI نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و نسبت‌های مخلوط اثر معنی‌داری بر این صفت داشت (جدول ۶). بیش‌ترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم (۲۰۹۲/۳۴) در شرایط تنش ملایم و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله حاصل شد و کم‌ترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم (۵۲۷/۵۸) در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله به‌دست آمد (جدول ۷). بالا بودن شاخص نسبت برابری زمین در تیمارهای کشت مخلوط عامل اصلی در بالا بودن شاخص SPI در این تیمارها می‌باشد. محققین گزارش نمودند در کشت مخلوط نخود با جو در شرایط تنش کم‌آبی، بیش‌ترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم به ترتیب با ۳۵۴۰/۷ و ۳۵۲۵/۳ در تیمارهای کشت مخلوط جو در آذر + نخود در دی و جو + نخود در دی‌ماه در شرایط کم‌آبیاری مطلوب و کم‌ترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم به ترتیب با ۷۳۸/۱، ۱۰۴۸/۸ و ۵۸۷/۹ در تیمارهای جو در آذر + نخود در دی، جو + نخود در آذر و جو + نخود در دی‌ماه در شرایط تنش آبی به‌دست آمد (Mohavieh Asadi *et al*., 2019).

نتایج تجزیه واریانس شاخص غالبیت نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و نسبت‌های مخلوط اثر معنی‌داری بر شاخص غالبیت گیاه زوفا و شنبلیله داشت (جدول ۶).

شاخص غالبیت نشان‌دهنده این است که افزایش عملکرد نسبی یک گونه در کشت مخلوط بیش‌تر از گونه دیگر است (Litourgidis *et al*., 2011). در این مطالعه، غالبیت گیاه زوفا در تمامی تیمارهای تنش و نسبت‌های مخلوط، بیش‌تر از غالبیت گیاه شنبلیله بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس نسبت برابری زمین در تیمارهای کشت مخلوط زوفا و شنبلیله تحت شرایط مختلف رطوبتی

Table 2- Analysis of variance for land equivalent ratio (LER) of hyssop and fenugreek intercropping treatments under different moisture conditions

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	نسبت برابری زمین زوفا Land equivalent ratio of hyssop	نسبت برابری زمین شنبلیله Land equivalent of fenugreek	نسبت برابری زمین کل Total land equivalent ratio
تکرار Replication	3	0.00322^{ns}	0.00054^{ns}	0.00487^{*}
تنش Stress (A)	1	0.0553^{*}	0.0098^{ns}	0.01845^{**}
خطای a Error a	3	0.00265	0.00225	0.000255
نسبت‌های مخلوط Intercropping ratio (B)	4	1.3008^{**}	1.263^{**}	0.06293^{**}
تنش × نسبت‌های مخلوط Stress × Intercropping ratio	4	0.0244^{**}	0.00428^{**}	0.03304^{**}
خطای b Error b	24	0.00146	0.00097	0.00318
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.88	5.78	5.14

n.s، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین نسبت برابری زمین زوفا، شنبلیله و کل تحت شرایط مختلف رطوبتی و الگوهای کاشت

Table 3- The mean comparison for land equivalent ratio of hyssop, fenugreek and total under different moisture and cropping patterns

تیمارها Treatments		نسبت برابری زمین زوفا Land equivalent ratio of hyssop	نسبت برابری زمین شنبلیله Land equivalent of fenugreek	نسبت برابری زمین کل Total land equivalent ratio
٪۷۵ ظرفیت زراعی %75 F.C.	٪۱۰۰ زوفا %100 Hyssop	1.00 a†	-	1.00 c
	٪۱۰۰ شنبلیله %100 Fenugreek	-	1.00 a	1.00 c
	٪۵۰ زوفا : ٪۵۰ شنبلیله Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	0.72 c	0.53 d	1.256 a
	٪۷۵ زوفا : ٪۲۵ شنبلیله Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	0.94 b	0.31 e	1.254 a
	٪۲۵ زوفا : ٪۷۵ شنبلیله Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	0.30 e	0.77 c	1.077 bc
٪۵۰ ظرفیت زراعی %50 F.C.	٪۱۰۰ زوفا %100 Hyssop	1.00 a	-	1.00 c
	٪۱۰۰ شنبلیله %100 Fenugreek	-	1.00 a	1.00 c
	٪۵۰ زوفا : ٪۵۰ شنبلیله Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	0.54 d	0.54 d	1.09 b
	٪۷۵ زوفا : ٪۲۵ شنبلیله Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	0.72 c	0.34 e	1.072 bc
	٪۲۵ زوفا : ٪۷۵ شنبلیله Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	0.32 e	0.88 b	1.20 a

†میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

†Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

جدول ۴- تجزیه واریانس ضریب ازدحام نسبی در تیمارهای کشت مخلوط زوفا با شنبلیله تحت شرایط مختلف رطوبتی

Table 4- Analysis of variance for relative crowding coefficient of hyssop and fenugreek intercropping treatments under different moisture conditions

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی جزء Partial d.f	درجه آزادی کل Total d.f	ضریب ازدحام نسبی زوفا Relative crowding coefficient of hyssop	ضریب ازدحام نسبی شنبلیله Relative crowding coefficient of fenugreek	ضریب ازدحام نسبی کل Total relative crowding coefficient
تکرار Replication	3	3	14.96^{ns}	0.0542^{ns}	$0.7769^{n.s}$
تنش Stress (A)	1	1	6.29^{**}	1.560^{ns}	2.534^{*}
خطای a Error a	3	3	0.119	0.2486	0.1119
نسبت‌های مخلوط Intercropping ratio (B)	3	4	2.338^{**}	1.1976^{**}	7.514^{**}
تنش × نسبت‌های مخلوط Stress × Intercropping ratio	3	4	2.581^{**}	0.9430^{**}	6.043^{**}
خطای b Error b	18	24	0.098	0.1360	0.5697
ضریب تغییرات CV (%)	-	-	19.27	26.51	38.06

n.s، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین ضریب ازدحام نسبی گیاه زوفا، شنبلیله و مجموع دو گیاه تحت شرایط مختلف رطوبتی و الگوهای کاشت

Table 5- The mean comparison for relative crowding coefficient of hyssop, fenugreek and sum of two plants under different moisture and cropping patterns

	تیمارها Treatments	ضریب ازدحام نسبی زوفا Relative crowding coefficient of hyssop	ضریب ازدحام نسبی شنبلیله Relative crowding coefficient of fenugreek	ضریب ازدحام نسبی کل Total relative crowding coefficient
٪۷۵ ظرفیت زراعی %75 F.C.	زوفا ٪۱۰۰ Hyssop (%100)	1.00 c†	-	1.00 c
	شنبلیله ٪۱۰۰ Fenugreek (%100)	-	1.00 c	1.00 c
	زوفا ٪۵۰ : شنبلیله ٪۵۰ Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	2.64 b	1.14 bc	3.01 b
	زوفا ٪۷۵ : شنبلیله ٪۲۵ Hyssop: Fenugreek (%75:%25)	3.31 a	1.37 bc	4.62 a
	زوفا ٪۲۵ : شنبلیله ٪۷۵ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	1.31 c	1.15 bc	1.54 c
٪۵۰ ظرفیت زراعی %50 F.C.	زوفا ٪۱۰۰ Hyssop (%100)	1.00 c	-	1.00 c
	شنبلیله ٪۱۰۰ Fenugreek (%100)	-	1.00 c	1.00 c
	زوفا ٪۵۰ : شنبلیله ٪۵۰ Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	1.21 c	1.24 bc	1.48 c
	زوفا ٪۷۵ : شنبلیله ٪۲۵ Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	1.08 c	1.57 b	1.82 c
	زوفا ٪۲۵ : شنبلیله ٪۷۵ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	1.42 c	2.62 a	3.34 b

†میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

†Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

جدول ۶- تجزیه واریانس غالبیت، شاخص بهره‌وری سیستم و عملکرد از دست رفته واقعی در تیمارهای کشت مخلوط زوفا با شنبلیله تحت شرایط مختلف رطوبتی

Table 6- Analysis of variance for aggressively, system productivity index and actual yield loss of hyssop and fenugreek intercropping treatments under different moisture conditions

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	غالبیت Aggressively		شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	عملکرد از دست رفته واقعی Actual yield loss		
		A_h	A_f		ALY_h	ALY_f	AYL_t
تکرار Replication	3	0.0004^{ns}	0.0004^{ns}	22357.7^{ns}	0.240^{ns}	0.220^{ns}	0.822^{*}
تنش Stress (A)	1	0.0482^{ns}	0.0482^{ns}	8969349.1^{**}	0.439^{ns}	0.378^{ns}	002^{ns}
خطای a Error a	3	0.0064	0.0064	27302.4	0.094	0.075	0.063
نسبت‌های مخلوط Intercropping ratio (B)	2	$0.0162^{n.s}$	$0.0162^{n.s}$	308139.01^{**}	25.94^{**}	32.19^{**}	9.72^{**}
تنش × نسبت‌های مخلوط Stress × Intercropping ratio	2	0.0325^{**}	0.0325^{**}	361116.39^{**}	0.492^{*}	0.098^{ns}	0.644^{ns}
خطای b Error b	12	0.0046	0.0046	5678.03	0.096	0.1472	0.2087
ضریب تغییرات CV (%)	-	31.65	31.65	6.55	15.4	19.57	11.51

n.s، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

بیش‌ترین میزان غالبیت زوفا (۰/۳۷) در شرایط تنش ملایم و نسبت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح نسبت‌های مخلوط در شرایط تنش ملایم و تنش شدید داشت (جدول ۸). با توجه به این‌که ضریب غالبیت با علامت مثبت بیانگر غالبیت آن گونه در نسبت‌های مخلوط است (Eslami Khalili *et al*., 2011)، در این آزمایش گیاه زوفا در شرایط تنش ملایم و تنش شدید، به دلیل داشتن ضریب غالبیت مثبت از توان رقابت بالاتری نسبت به شنبلیله برخوردار است (جدول ۸). با توجه به این‌که ممکن است تا حدودی در شرایط تنش ملایم آب کافی برای هر دو گیاه وجود داشته باشد و از طرفی توانایی جذب نیتروژن تثبیت شده در لگوم‌ها از طریق ریشه انجام می‌شود (Parsa and Bagheri, 2008) شاید بتوان گفت که رقابت بین زوفا و شنبلیله بیش‌تر بر سر جذب نور باشد تا آب و مواد غذایی از خاک. بوته‌های زوفا به دلیل ارتفاع بیش‌تر نسبت به شنبلیله، سایه‌اندازی بیش‌تری داشته که یک برتری در جذب نور است (Hamzei and Seyedi, 2013) و این موضوع می‌تواند عامل غالبیت زوفا در شرایط تنش ملایم باشد. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعاتی که بر روی کشت مخلوط جو : نخود تحت تنش کم‌آبی (Mohavieh Asadi *et al*., 2019) و الگوهای مختلف کشت مخلوط جو : باقلا انجام شده، مطابقت داشت (Mojtabaie Zamani and Norouzi, 2017).

جدول ۷- مقایسه میانگین شاخص تولید سیستم و عملکرد از دست رفته واقعی زوفا، شنبلیله و مجموع دو گیاه تحت شرایط مختلف رطوبتی خاک و الگوهای کاشت

Table 7- The mean comparison for system productivity index and actual yield loss of hyssop, fenugreek and sum of two plants under different moisture and cropping patterns

تیمارها Treatments		شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	عملکرد از دست رفته واقعی Actual yield loss		
			AYL_h	AYL_f	AYL_t
۷۵٪ ظرفیت زراعی %75 F.C.	زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪ Hyssop: Fenugreek (%50:%50)	1887.88 b†	1.89 b	1.13 bc	3.02 b
	زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	2092.34 a	0.67 d	3.99 a	4.67 a
	زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	1304.76 c	3.88 a	0.37 d	4.23 a
۵۰٪ ظرفیت زراعی %50 F.C.	زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪ Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	527.58 d	1.18 c	1.19 b	2.38 b
	زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	530.64 d	0.29 d	4.48 a	4.78 a
	زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	558.78 d	4.13 a	0.57 cd	4.70 a

†میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

†Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

شاخص سودمندی مخلوط زوفا، شنبلیله و مجموع دو گیاه برای تیمار کشت مخلوط در سطح یک درصد معنی‌دار شد؛ در حالی‌که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر روی این شاخص نداشت. هم‌چنین اثر متقابل تنش خشکی و نسبت‌های مخلوط برای گیاه زوفا و مجموع دو گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۹). بیش‌ترین میزان شاخص سودمندی مخلوط برای زوفا و مجموع دو گیاه در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۲۵٪ زوفا : ۷۵٪ شنبلیله به‌دست آمد و کم‌ترین میزان این شاخص برای زوفا در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله مشاهده گردید. کم‌ترین میزان این شاخص برای مجموع دو گیاه در شرایط تنش شدید و نسبت مخلوط ۵۰٪ زوفا : ۵۰٪ شنبلیله حاصل شد (جدول ۱۰). به‌نظر می‌رسد افزایش شاخص سودمندی مخلوط در این آرایش کشت به دلیل استفاده بهتر گیاه زوفا از منابع آب، نور و مواد غذایی می‌باشد که در این رابطه برخی محققین نیز بر این موضوع اذعان داشته‌اند و بالا بودن شاخص سودمندی در کشت مخلوط را به استفاده بهینه

از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلاف مورفولوژیک و فیزیولوژیکی بین آن دو گونه که سبب بهبودی جذب و کارایی مصرف نور، تثبیت و جذب نیتروژن، کاهش فشار رقابتی بین دو گونه و کاهش رشد و زیست‌توده علف‌های هرز می‌شود نسبت داده‌اند (Mehni *et al*., 2020). هم‌چنین در مطالعه‌ای گزارش شده که در کشت‌های مخلوط جو + نخود و جو + باقلا در شرایط قطع آبیاری، هر دو جزء با داشتن سودمندی مثبت توانسته‌اند از منابع به‌صورت مکمل استفاده کرده و عملکرد خود را افزایش دهند (Niksirat *et al*., 2018).

جدول ۸- مقایسه میانگین غالبیت زوفا و شنبلیله تحت شرایط رطوبتی مختلف و الگوهای کاشت

Table 8- The mean comparisons for aggressively of hyssop and fenugreek under different moisture condition and cropping patterns

تیمارها Treatments		غالبیت زوفا Aggressively of Hyssop	غالبیت شنبلیله Aggressively of fenugreek
۷۵٪ ظرفیت زراعی %75 F.C.	زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪ Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	0.3784 a†	-0.3784 b
	زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	0.1678 b	-0.1678 a
	زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	0.2336 b	-0.2336 a
۵۰٪ ظرفیت زراعی %50 F.C.	زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪ Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	0.1439 b	0.1439 a
	زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	0.1743 b	0.1743 a
	زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	0.1927 b	-0.1927 a

†میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

†Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

جدول ۹- تجزیه واریانس سودمندی نسبی در تیمارهای کشت مخلوط زوفا با شنبلیله تحت شرایط مختلف رطوبتی

Table 9- Analysis of variance for advantage indices of hyssop and fenugreek intercropping treatments under different moisture conditions

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	شاخص سودمندی نسبی Intercropping Advantage Index		
		LA_h	LA_f	LA_t
تکرار Replication	3	11622.14^{ns}	2204.97^{ns}	21791.49^{ns}
تنش Stress (A)	1	21258.64^{ns}	3783.42^{ns}	7105.45^{ns}
خطای a Error a	3	4587.06	755.63	2984.32
نسبت‌های مخلوط Intercropping ratio (B)	2	1255912.01**	321921.28**	512643.89**
تنش × نسبت‌های مخلوط Stress × Intercropping ratio	2	23850.10*	981.02^{ns}	26007.93*
خطای b Error b	12	4683.55	1472.69	5379.33
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.49	19.57	11.50

n.s، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و معنی‌داری در سطح یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین سودمندی نسبی زوفا و شنبلیله و کل، تحت شرایط رطوبتی مختلف و الگوهای کاشت

Table 10- The mean comparison for advantage indices of hyssop, fenugreek and total under different moisture and cropping patterns

تیمارها Treatments		شاخص سودمندی نسبی Intercropping Advantage Index		
		LA_h	LA_f	LA_t
۷۵٪ ظرفیت زراعی %75 F.C.	زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪ Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	425.93 b†	113.38 bc	529.30 b
	زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	184.72 d	399.47 a	548.19 b
	زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	849.33 a	37.54 d	886.88 a
۵۰٪ ظرفیت زراعی %50 F.C.	زوفا ۵۰٪ : شنبلیله ۵۰٪ Hyssop : Fenugreek (%50:%50)	261.04 c	119.53 b	380.57 c
	زوفا ۷۵٪ : شنبلیله ۲۵٪ Hyssop : Fenugreek (%75:%25)	65.42 d	448.92 a	514.35 b
	زوفا ۲۵٪ : شنبلیله ۷۵٪ Hyssop : Fenugreek (%25:%75)	908.94 a	57.27 cd	966.21 a

†میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

†Means with similar letter had not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مشخص شد که کشت مخلوط دو گیاه زوفا و شنبلیله، به دلیل بالا بودن ضریب ازدحام نسبی کل در همه نسبت‌های مخلوط نسبت به تک‌کشتی سودمند است. هم‌چنین به‌واسطه مثبت بودن شاخص AYL محاسبه‌شده در این مطالعه مشخص گردید که هیچ‌یک از سطوح رطوبتی خاک به خصوص کاهش رطوبت خاک در شرایط کشت مخلوط با نسبت‌های متفاوت منجر به افت عملکرد نشد. در ضمن، بالاترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم در شرایط تنش ملایم و نسبت مخلوط ۷۵٪ زوفا : ۲۵٪ شنبلیله به‌دست آمد. در این آزمایش ضریب غالبیت مثبت زوفا در هر دو سطح تنش و تمامی نسبت‌های مخلوط، حاکی از توان رقابتی بالاتر زوفا بود. در نهایت می‌توان گفت شاخص‌های رقابتی و اقتصادی سیستم کشت مخلوط دو گیاه زوفا و شنبلیله نسبت به تک‌کشتی بالاتر می‌باشد که کشت مخلوط این دو گیاه تحت شرایط مختلف رطوبتی، هر دو گیاه استفاده مطلوب‌تری از منابع موجود کرده و این موضوع منجر به برتری نسبت برابری زمین در شرایط تنش رطوبتی و کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شد. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که سیستم کشت گیاه دارویی زوفا با گیاه شنبلیله با افزایش تنوع زیستی، افزایش راندمان استفاده از منابع (نظیر زمین، آب، خاک و نور) و احتمالاً با بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک می‌تواند ما را در رسیدن به یک نظام کشاورزی پایدار سوق دهد. پیشنهاد می‌شود سایر اثرات مفید کشت مخلوط ردیفی از نوع سری‌های جایگزینی یا افزایشی گیاه زوفا با شنبلیله یا سایر لگوم‌ها بر ویژگی فیزیکوشیمیایی خاک مورد بررسی قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، به دلیل حمایت و از همکاری مدیریت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان و هیأت رئیسه دانشکده کشاورزی دانشگاه دولتی شهرکرد و مرکز تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد تقدیر و تشکر می‌نمایند.

References

Aghaei, K., Ghasemi Pirbalouti, A., Mousavi, A., Naghdi Badi, H. and Mehnatkesh, A. 2019. Effects of foliar spraying of L-phenylalanine and application of bio-fertilizers on growth, yield, and essential oil of

hyssop [*Hyssopus officinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21: 101318.

Agegnehu, G., Ghizaw, A. and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and fababean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25: 202-207.

Ahmadi, A., DabbaghMohammdiNasab, A., ZehtabSalmasi, S., Amini, R. and Janmohammadi, H. 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. *Agriculture Sciences and Sustainable Production*, 20(2): 76-87. (In Persian).

Aminifar, G., Ramrodi, M., Gelavi, M. and Mohsenabadi, M. 2016. Assessment of Sesame-Cowpea intercrops function by competition indices. *Research in Crop Ecosystems*, 3(1): 1-9. (In Persian).

Amini Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R. and Maggi, F. 2018. Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products*, 111: 743-754.

Babaei, K., Moghaddam, M., Farhadi, N. and Ghasemi Pirbalouti, A. 2021. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae*, 284: 110-116.

Banik, P., Mydia, A., Sarkar, B.K. and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping system in an additive series experiment: advantage and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24: 325-333.

Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P. and Jahan, M. 2014. Effect of intercropping on biological yield percentage nitrogen, and morphological traits coriander (*Coriandrum sativum* L.) with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12: 369-377. (In Persian).

Chapagain, T. and Riseman, A. 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, 166: 18-25.

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B. and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of vetch and cereal intercrops in two ratio. *Field Crops Research*, 100: 249-256.

Eslami Khalili, F., Pirdashti, H. and Motaghian, A. 2011. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) yield in different density and mixture intercropping via competition indices. *Journal of Agroecology*, 3(1): 94-105. (In Persian).

El-Sherif, A. and Ali, M.M. 2015. Effect of deficit irrigation and soybean/maize intercropping on yield and water use efficiency. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 44: 777-794.

Fallah, S., Rostaei, M., Lorigooini, Z. and Abbasi Surki, A. 2018. Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in sole crop and dragonhead-soybean (*Glycine max*) intercropping system under organic manure and chemical fertilizers. *Industrial Crops and Products*, 115: 158-165.

Ghahremani, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Mozafari, H., Habibi, D. and Sani, B. 2020. Phytochemical and morpho-physiological traits of mullein as a new medicinal crop under different planting pattern and soil moisture conditions. *Industrial Crops and Products*, 145: 111-176.

Ghasemi Pirbalouti, A., Mohamadpoor, H., Bajalan, I. and Malekpoor, F. 2019. Chemical compositions and antioxidant activity of essential oils from inflorescences of two landraces of hyssop [*Hyssopusofficinalis* L. subsp. *angustifolius* (Bieb.)] cultivated in Southwestern, Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(4): 1074-1081.

Hamzei, J. and Seyedi, M. 2013. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping systems using advantageous indices of interference conditions. *Journal of Agriculture Science*, 6(9): 1-12. (In Persian).

Ibrahim, M., Ayub, M., Maqbool, M.M., Nadeem, S.M., Tanver-Ul-Haq, T., Hussain, S., Ali, A. and Lauriault, L.M. 2014. Forage yield components of irrigated maize-legume mixtures at varied seed ratios. *Field Crops Research*, 169: 140-144.

Javanmard, A., Amani Machiani, M., Ostadi, A., Seifi, A. and Khodayari, S. 2018. Evaluation of land productivity, competition and insect diversity in different intercropping patterns of sunflower (*Helianthus*

annuus L.) and soybean (*Glycine max* L.) under low-input condition. *Iran Agricultural Research*, 37(2): 105-116.

Koocheki, A., Seyyedi, S.M. and Gharaei, Sh. 2016. Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality, and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae*, 201: 190–198.

Lamei Harvani, J. 2013. Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixedcropping of annual forage legume crops with barley in rainfed conditions of Zanjan province. *Iranian Journal of Seed and Plant Production*, 29(2): 169-183. (In Persian).

Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordasc, C.A. and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping system. *European Journal of Agronomy*, 34: 287-294.

Mehni, J., Mahdavi, B., Azari, A., Afkar, S. and Hashemi, S.E. 2020. Evaluation of yield and productivity indices of black cumin and fenugreek intercropping under weedy and weed-free conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3): 73-87.

Moghbeli, T., Bolandnazar, S., Panahande, J. and Raei, Y. 2019. Evaluation of yield and its components on onion and fenugreek intercropping ratios in different planting densities. *Journal of Cleaner Production*, 213: 634-641.

Mohaveh Asadi, N., Bijanzadeh, E. and Behpouri, 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. and Norouzi, S.H. 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).

Monti, M., Pellicanò, A., Santonoceto, C., Preiti, G. and Pristeri, A. 2016. Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 196: 379-388.

Niksirat, H., Bijanzadeh, E. and Naderi, R. 2018. Effect of cutting off irrigation on yield and competition and economic indices of intercropping barley with legumes. *Journal of Agroecology*, 10(2): 444-458. (In Persian).

Parsa, M. and Bagheri, A. 2008. Pulses. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 522 pp. (In Persian).

Rabiee, M. and Farahdahr, F. 2020. Evaluation of yield and advantages of forage legumes with cereals intercropping as second crop in paddy fields. *Plant Production*, 43(3): 363-374. (In Persian).

Rahmati, E., Khalesro, Sh. and Heidari, G. 2020. Improving quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Agroecology*, 11(4): 1261-1273. (In Persian).

Ramamohan Reddy, K., Venkateswara Rao, B.V. and Sarala, C. 2014. Water use efficiency through drip irrigation in water scarcity area-a case study. In: Proceedings of 4th international conference on Hydrology and Watershed Management (ICHWAM-2014): With a Focal Theme on Ecosystem Resilience-rural and Urban Water Requirements (29th October - 1stNovember, 2014). 1265p.

Rezaei-chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Jamali, M. and Ghiyasi, M. 2016. Evaluation of yield and indices advantage at different intercropping pattern of dill (*Anethun graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Plant Production Technology*, 8(1): 15-27. (In Persian).

Richard, G.A., Pereira, S., Rae, S.D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*.

Salehi, A., Fallah, S., Kaul, H.P. and Zitterl-Eglseer, K. 2018. Antioxidant capacity and polyphenols in buckwheat seeds from fenugreek/buckwheat intercrops as influenced by fertilization. *Journal of Cereal Science*, 84: 142-150.

Salehi Surmaghi, M.H. 2008. Medicinal Plants and Herbal Therapy. 1: 253 -254.

Stolz, E. and Nadeau, E. 2014. Effect of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N inorganically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*, 169: 21-29.

Vafadar-Yengeje, L., Amini, R. and Mohamadi Nasab, A.D. 2019. Chemical compositions and yield of essential oil of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under different fertilizers application. *Journal of Cleaner Production*, 239: 118033.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 3, Issue 2, Autumn and Winter 2022, P. 237-252

Competition indices of intercropping of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in different soil moisture conditions

Abolghasem Gharakhani-Beni[1], Abdollah Ghasemi Pirbalouti[2*], Hamidreza Javanmard[3], Ali Soleymani[3] and Ahmadreza Golparvar[3]

[1]Ph.D. candidate in Agronomy, Department Agronomy and Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

[2]Research Center for Medicinal Plants, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[3]Department of Agronomy and Breeding, Faculty of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

[*]Corresponding Author: Ghasemi@qodsiau.ac.ir

Received: 2 August 2021 Accepted: 26 November 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2021.298016.1114**

Abstract

The field experiment was carried out as spilt plot experiment with four replications based on a randomized complete block design at the University of Shahrekord's research farm in 2017-2018 to investigate the competitive indices and yield of two medicinal plant species, namely hyssop and fenugreek. The main plot has two soil moisture levels, with irrigation after drainage at 25 and 50% of field capacity. The sub-plot had five levels of planting pattern, including 100% hyssop, 100% fenugreek, hyssop 50%: fenugreek 50%, hyssop 75%: fenugreek 25%, and hyssop 25%: fenugreek 75% based on replacement series. The results showed that under drought stress, the land equivalent ratio (LER) of hyssop intercropped with fenugreek was higher than mono-cropping, with a significant difference ($p \leq 0.01$). In this study, intercropping hyssop (50%) with fenugreek (50%) under mild stress increased the LER by 25.6% when compared to mono-cropping. When compared to mono-cropping, the average total relative density (K) increased in all intercropping ratios, and the total actual yield loss (ALYt) was positive in all intercropping ratios, indicating the usefulness of intercropping the two plants. Overall, the highest value of the system productivity index (SPI) was obtained in the intercropping hyssop (75%) with fenugreek (25%). Finally, intercropping hyssop with fenugreek can increase the productivity of a hyssop cultivation system.

Keywords: Lamiaceae, Land equivalent ratio, Legume, Productivity, System productivity index