نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۱(۵۷)، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۲۰-۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.681003

ارزیابی زراعی و اقتصادی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و نخود (*Cicer arietinium* L.) تحت شرایط کاربرد عناصر ریزمغذی

یاسر اسماعیلیان[1*] و محمد بهزاد امیری[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۷ **تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲۹** **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۱**

چکیده

امروزه، کشت مخلوط به‌عنوان راهبرد کلیدی کشاورزی پایدار در راستای افزایش بهره‌وری استفاده از منابع محیطی، کاهش خسارت تنش‌های محیطی و بهبود درآمد مزرعه مورد توجه و استقبال محققین و کشاورزان قرار گرفته است. بدین منظور، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد اجرا شد که در آن، عامل اصلی شامل الگوهای کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود، ۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود، ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود، ۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود و کشت خالص این دو گیاه و عامل فرعی شامل تیمارهای شاهد (عدم محلول پاشی) و محلول‌پاشی سه در هزار آهن و روی بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۰/۵) و طبق در بوته (۲۲/۵) گلرنگ به‌ترتیب از تیمارهای کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ +۷۵٪ نخود و ۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود حاصل شد و بیشترین عملکرد دانه (۲۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) از کشت خالص به دست آمدند. تعداد شاخه جانبی، تعداد طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گلرنگ در نتیجه مصرف کودهای ریزمغذی افزایش داشت. ارتفاع بوته (۲۶/۴ سانتی‌متر) و عملکرد دانه نخود (۱۷۳۹ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص بالاترین مقدار را نشان داد در حالی که بیشترین تعداد غلاف (۳۱/۹) و تعداد دانه در بوته (۲۲/۲) از کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود حاصل شد. عناصر ریزمغذی موجب بهبود ارتفاع بوته، تعداد غلاف، طول غلاف و تعداد دانه در بوته نخود شدند. نسبت برابری زمین بین ۱/۱۲ تا ۱/۵۲ متغیر بود. شاخص تغییرات کارآیی مصرف آب نیز در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشتر بود و بالاترین مقادیر (۱/۳۱) از تیمار ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود به‌دست آمد. شاخص غالبیت نشان‌دهنده چیرگی گیاه گلرنگ بر نخود بود. تمامی تیمارهای کشت مخلوط به‌جز الگوی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود، افزایش واقعی عملکرد را نشان دادند. بیشترین میزان شاخص سودمندی کشت مخلوط (۰/۵۱) از تیمار ۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود حاصل شد، درحالی که شاخص‌های مزیت پولی (۲۶۴۵۴۷۵۱) و مجموع ارزش نسبی (۱/۴۴) در کشت مخلوط ۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود بالاتر بود.

واژگان کلیدی: بهره‌وری تولید، عملکرد، عناصر کم مصرف، کارآیی مصرف آب، کشت مخلوط.

۱- استادیار گروه کشاورزی، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.

*** نگارنده‌ی مسئول** y.esmaeilian@gonabad.ac.ir

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و نیاز بشر به تأمین منابع غذایی از یک طرف و پیامدهای تغییر اقلیم و محدودیت منابع محیطی از طرف دیگر، لزوم توسعه سیستم‌های زراعی سازگار دارای راندمان بالای استفاده از منابع محیطی و تولید پایدار را دوچندان نموده است (Doubi *et al*., 2016; Hong *et al*., 2019). کشت مخلوط که یک شیوه از سیستم چندکشتی است به‌عنوان کشت همزمان دو یا چند گیاه در یک قطعه زمین شناخته شده و از مهم‌ترین رویکردهای کشاورزی پایدار محسوب می‌شود که می‌تواند نقش مهمی در غلبه بر چالش‌ها و بحران‌های کنونی در مورد تأمین نیازهای رو به رشد بشر داشته باشد (Awaad and Elnaggar, 2017; Martin-Guay *et al*., 2018).

کشت مخلوط از جنبه‌های مثبت و مزایای زیادی برخوردار است که مهم‌ترین آنها عبارتند از: بهبود کارآیی استفاده از منابع محیطی (بخصوص آب و عناصر غذایی)، مدیریت بهتر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، بهبود نفوذپذیری و کاهش فرسایش خاک، افزایش انعطاف پذیری و تاب‌آوری بوم نظام کشاورزی در برابر تنش‌ها و نوسانات محیطی و در نهایت تنوع و ثبات تولید، افزایش درآمد مزرعه و کاهش ریسک تولید (Duchene *et al*., 2017: Marastoni *et al*., 2019).

امروزه، با توجه به لزوم تغییر گرایش از کشاورزی متداول به کشاورزی پایدار و بوم سازگار، تحقیق در زمینه ابعاد مختلف کشت مخلوط مورد علاقه محققان قرار گرفته است. زعفرانیه (Zafaranieh, 2014) به مقایسه الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ و نخود با کشت خالص این دو گیاه پرداخت و در نتیجه آزمایش خود عنوان کرد عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مورد مطالعه به‌طور مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کشت مخلوط قرار گرفت. همچنین، شاخص نسبت برابری زمین (LER)[۱] در تمامی الگوهای کشت مخلوط بالاتر از عدد یک بود و بیشترین مقادیر از کشت مخلوط نواری به‌دست آمد. در طی مطالعه دیگری که در آن به ارزیابی شاخص‌های رقابتی و مزیت زراعی کشت مخلوط گلرنگ و خلر پرداخته شد گزارش گردید گیاه گلرنگ ضریب ازدحام نسبی (RCC)[۲]، نسبت رقابتی(CR)[۳] و غالبیت(A)[۴] بالاتری نسبت به خلر نشان داد. همچنین، سیستم کشت مخلوط برتری محسوس و معنی‌داری در مورد معیارهای کارآیی استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گیاه داشت (Jalilian *et al*., 2017).

عناصر کم‌مصرف که اغلب تحت عنوان ریزمغذی‌ها شناخته می‌شوند جزو عناصری هستند که در مقادیر کم مورد نیاز گیاهان بوده و غلظت آنها نیز در بافت‌های گیاه محدود است، اما نقش‌های حیاتی و اساسی در کارکردها و فرایندهای سلول‌های موجودات زنده دارند. فقر و کمبود عناصر ریزمغذی در خاک و گیاه یکی از مسایل و چالش‌های جهانی بوده و در بسیاری از کشورها با شدت و ضعف مختلف وجود دارد (Imtiaz *et al*., 2010). اگرچه کمبود عناصر کم مصرف در گیاهان مختلف در نتیجه کشت در انواع مختلفی از خاک‌ها و در اقلیم‌های زیادی در سراسر دنیا گزارش شده است، این مشکل بخصوص در خاک‌های شور و سدیمی، آهکی،

۱- Land Equivalent Ratio
۲- Relative Crowding Coefficient
۳- Competitive Ratio
۴- Aggressivity

شنی و همچنین خاک‌های با زهکشی ضعیف فراوانی بیشتری دارد (Imtiaz *et al*., 2010).

محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از مهم‌ترین روش‌های تأمین و رفع کمبود عناصر کم‌مصرف مورد نیاز گیاه بخصوص در خاک‌های دارای محدودیت و مشکل جذب عناصر غذایی در جهت بهبود رشد و افزایش عملکرد محصول می‌باشد (Kumara *et al*., 2020). در طی پژوهشی که به بررسی اثر محلول‌پاشی عنصر روی بر چهار رقم گلرنگ پرداخته شد، مشخص گردید محلول‌پاشی این عنصر عملکرد، اجزای عملکرد (بجز شاخص برداشت) و محتوای عناصر کم‌مصرف روی، آهن، منگنز و مس دانه را بهبود بخشید (Aytac *et al*., 2014). پژوهشگر دیگری که واکنش دو رقم نخود را به کاربرد عناصر ریزمغذی مورد بررسی قرار داد، اظهار داشت محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و منگنز اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد ارقام نخود داشت که در مجموع، عنصر روی بیشترین تأثیر را بر بهبود صفات مورد مطالعه داشت (Sarbandi, 2014).

با توجه به‌ضرورت و اهمیت بررسی راهکارهای اکولوژیکی افزایش عملکرد در واحد سطح، کاهش ریسک تولید و افزایش درآمد حاصل از یک واحد از مزرعه از یک طرف و نقش عناصر ریزمغذی در فرایندهای حیاتی محصولات زراعی و محلول‌پاشی برگی آنها در خاک‌های مناطق خشک (که غالباً دارای معضل تثبیت این عناصر در خاک و عدم امکان جذب توسط گیاه هستند)، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی الگوهای مختلف کشت مخلوط و اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر گیاه گلرنگ و نخود بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد و در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت مخلوط جایگزینی ۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود، ۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود، ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود و کشت خالص دو گیاه به‌عنوان عامل اصلی و تیمارهای شاهد (عدم محلول‌پاشی)، محلول‌پاشی آهن و محلول‌پاشی روی به عنوان عامل فرعی بودند.

قبل از پیاده کردن نقشه طرح و اجرای آزمایش مزرعه‌ای، از نقاط مختلف مزرعه به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری صورت گرفت و پس از تهیه نمونه مرکب، جهت آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. به دلیل شوری خاک محل آزمایش و با توجه به آستانه تحمل گیاه نخود به شوری خاک که بین ۲ تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر بسته به نوع ژنوتیپ متفاوت است (Maliro *et al*., 2008) و آستانه تحمل گیاه گلرنگ در حد ۷/۲ تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر (Bahadorkhah and Kazemeini, 2014) و به‌منظور کاهش اثرات منفی شوری خاک بر رشد گیاه نخود از آب قنات قصبه گناباد با درجه شوری ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر جهت آبیاری مزرعه استفاده شد. بر اساس نتایج آزمایش خاک، ۷۵ کیلوگرم در هکتار اوره (۵۰ درصد کود اوره مورد نیاز)، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم قبل از کاشت با خاک محل آزمایش مخلوط شد.

۵۰ درصد باقیمانده کود اوره اوایل اسفند به صورت کود سرک به کرت‌ها اعمال شد.

کاشت در اوایل آبان ماه به‌صورت دستی در کرت‌هایی شامل هشت ردیف کشت با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله گیاهان روی ردیف ۲۰ و ۱۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برای گلرنگ و نخود انجام شد. فواصل بین کرت‌ها و بلوک‌ها نیز به ترتیب ۰/۵ و ۱ متر در نظر گرفته شد. جهت حصول اطمینان از درصد سبز کافی مزرعه، در هر نقطه دو تا سه بذر کشت شد که پس از استقرار کامل بوته، نسبت به تنک کردن مزرعه و باقی گذاشتن یک گیاه در هر نقطه کشت اقدام گردید. بلافاصله پس از کاشت، آبیاری کرت‌ها صورت گرفته و به‌منظور اطمینان از سبزکردن یکنواخت بذور، آبیاری دوم با فاصله ۳ روز انجام شد. آبیاری کرت‌ها به‌صورت سطحی (غرقابی) با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن متصل به پمپ صورت گرفت، به‌نحوی که در هر دور آبیاری، میزان آب با دبی یکسان و مشخص وارد هر کرت شد.

محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی با غلظت سه گرم در لیتر (از منابع کودی سولفات آهن و سولفات روی) در دو مرحله طویل شدن ساقه و قبل از گلدهی گلرنگ صورت گرفت (Soleimani *et al.*, 2017). در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گلرنگ (اواخر تیر ماه) و نخود (اواسط خرداد)، به‌منظور اندازه‌گیری صفات عملکرد و اجزای عملکرد هر گیاه، بوته‌های یک متر مربع وسط هر کرت برداشت شد.

کارآیی مصرف آب از حاصل تقسیم عملکرد دانه بر مقدار آب مصرفی در طول فصل رشد و بدون درنظر گرفتن مقدار بارندگی محاسبه گردید. سپس، تغییرات کارآیی مصرف آب (ΔWUE) توسط فرمول ذیل محاسبه شد (Lithourgidis *et al.*, 2011a):

$$\Delta WUE = \frac{WUEi}{Zab \times WUEaa + Zba \times WUEbb) - 1} \quad (۱)$$

که در آن، WUEi، WUEaa و WUEbb به ترتیب کارآیی مصرف آب کشت مخلوط، تک کشتی گلرنگ و تک کشتی نخود است. Zab و Zba به‌ترتیب نسبت گلرنگ و نخود در کشت مخلوط می‌باشد. اعداد مثبت نشان‌دهنده این است که سیستم کشت مخلوط آب مصرفی را با کارآیی بیشتری مورد استفاده قرار داده است.

برای ارزیابی شاخص‌های زراعی و سودمندی کشت مخلوط از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، شاخص غالبیت (A)، کاهش واقعی عملکرد[۱] (AYL)، سودمندی کشت مخلوط[۲] (IA)، شاخص مزیت پولی[۳] (MAI) و مجموع ارزش نسبی[۴] (RVT) استفاده شد. نسبت برابری زمین که به‌عنوان متداول‌ترین شاخص ارزیابی مزیت زراعی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شناخته می‌شود، مشخص کننده میزان سطح زمین مورد نیاز برای تک کشتی دو محصول برای حصول عملکردی معادل با کشت مخلوط است و با استفاده از رابطه ذیل محاسبه می‌شود:

$$LERa = \frac{Yab}{Yaa} \quad (۲)$$

$$LERb = \frac{Yba}{Ybb} \quad (۳)$$

$$LER = LERa + LERb \quad (۴)$$

که در آنها، LERa و LERb به‌ترتیب نسبت برابری زمین جزیی گلرنگ و نخود می‌باشد. Yab و Yba به‌ترتیب عملکرد گلرنگ و نخود در کشت

۱- Actual Yield Loss
۲- Intercropping Advantage
۳- Monetary Advantage Index
۴- Relative Value Total

مخلوط، و Yaa و Ybb عملکرد آنها در کشت خالص است.

زمانی‌که این شاخص بزرگ‌تر از عدد یک باشد نشان‌دهنده کارآیی بیشتر کشت مخلوط و مزیت آن نسبت به کشت خالص است. برعکس، وقتی این شاخص کمتر از یک شد، برتری با کشت خالص است (Zhang *et al*., 2011).

شاخص غالبیت با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$A_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} \quad (۵)$$

$$A_{ba} = \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} - \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} \quad (۶)$$

که در آنها، Aab و Aba به‌ترتیب غالبیت یا درجه تهاجم گلرنگ و نخود است. هر میزان این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده توان رقابتی بیشتر آن محصول نسبت به جزء دیگر است (Lithourgidis *et al*., 2011b).

کاهش واقعی عملکرد مشخص کننده افت و یا افزایش نسبی عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی است. همچنین، AYL هر جزء مخلوط بیانگر کاهش یا افزایش نسبی عملکرد هر یک از محصولات در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. منفی یا مثبت بودن این شاخص معرف سودمندی و یا عدم سودمندی کشت مخلوط می‌باشد. این شاخص با استفاده از فرمول ذیل به‌دست می‌آید (Zhang *et al*., 2011):

$$AYLa = \left\{\left(\frac{Yab}{Zab}\right) \middle| \left(\frac{Yaa}{Zaa}\right)\right\} - 1 \quad (۷)$$

$$AYLa = \left\{\left(\frac{Yab}{Zab}\right) \middle| \left(\frac{Yaa}{Zaa}\right)\right\} - 1 \quad (۸)$$

$$AYL = AYLa + AYLb \quad (۹)$$

برای ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط از شاخص سودمندی کشت مخلوط، مزیت پولی و مجموع ارزش نسبی از فرمول‌های زیر استفاده شد (Lithourgidis *et al*., 2011b):

$$IAa = \left[\left(\frac{Pa}{Pa+Pb}\right) \times AYLa\right] \quad (۱۰)$$

$$IAb = \left[\left(\frac{Pb}{Pb+Pa}\right) \times AYLb\right] \quad (۱۱)$$

$$IA = IAa + IAb \quad (۱۲)$$

$$MAI = VCI \times \frac{LER-1}{LER} \quad (۱۳)$$

$$VCI = (Y_{ab} \times P_a) + (Y_{ba} \times P_b) \quad (۱۴)$$

$$RVT = \frac{(Pa \times Yab) + (Pb \times Yba)}{Pa \times Yaa} \quad (۱۵)$$

که در آنها، Pa و Pb به‌ترتیب قیمت تجاری گلرنگ و نخود (به‌ترتیب ۲۶۱۸۵ و ۲۷۳۵۰ ریال) است.

در پایان، داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ: نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش (جدول ۲) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارهای کشت مخلوط بر صفات تعداد شاخه جانبی، تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه گلرنگ است. درحالی‌که صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه تحت تأثیر این تیمارها قرار نگرفتند.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته (۱۰/۵) از تیمار ۵۰ درصد گلرنگ + ۵۰ درصد نخود حاصل شد. تیمار ۲۵ درصد گلرنگ + ۷۵ درصد نخود در رتبه بعدی قرار گرفت و کمترین تعداد شاخه جانبی متعلق به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گلرنگ + ۱۰۰ درصد نخود بود

(جدول ۳). در آزمایش دیگری که در آن به مقایسه الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ و لوبیا سبز پرداخته شد، بیشترین تعداد شاخه جانبی گلرنگ از نسبت ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد لوبیا سبز حاصل شد (Kazemeini and Sadeghi, 2012).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳)، بالاترین مقادیر تعداد طبق در بوته (۲۲/۵) از الگوی کشت مخلوط ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد نخود حاصل شد. درحالی‌که کمترین تعداد طبق در بوته (۱۷/۷) در نتیجه تک کشتی گیاه گلرنگ به‌دست آمد. احتمالاً، دلیل بیشتر بودن تعداد طبق در بوته در کشت مخلوط با کمترین نسبت گلرنگ این است که در این آرایش کاشت بوته‌های گلرنگ رقابت درون گونه‌ای کمتری با یکدیگر و رقابت برون گونه‌ای کمی با نخود داشته و در این شرایط توانسته‌اند از منابع محیطی بخصوص عناصر غذایی، استفاده مطلوب‌تری نمایند (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2015). در نتیجه آزمایش دیگری که در ارتباط با ارزیابی نسبت‌های مختلف گلرنگ و نخود در کشت مخلوط سری جایگزینی و کشت خالص این گیاهان انجام شد نتیجه مشابهی به‌دست آمده و گزارش شد بیشترین تعداد طبق در بوته گلرنگ از نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و نخود به‌دست آمد (Amiri, 2013).

عملکرد دانه گلرنگ تحت تأثیر الگوهای کشت خالص و کشت مخلوط اعداد متغیری را نشان داد، به‌طوری‌که از کشت خالص گلرنگ بالاترین عملکرد دانه (۲۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. تیمارهای کشت مخلوط ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود و ۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود در رتبه بعدی از نظر عملکرد دانه قرار داشتند. با کاهش سهم گلرنگ در کشت مخلوط، عملکرد دانه کمتری نیز حاصل شد به‌صورتی که کمترین عملکرد دانه (۱۲۱۳ کیلوگرم در هکتار) از الگوی کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود حاصل شد (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های مربوط به پژوهش‌های انجام شده در مورد کشت مخلوط گلرنگ - نخود (Majnoon Hoseini *et al*., 2014) و گلرنگ - باقلا (Saeidi *et al*., 2018) مطابقت دارد. محققین زیادی عنوان کرده‌اند کشت مخلوط گیاهان دانه روغنی با حبوبات می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در راستای افزایش ظرفیت تولید و بهبود عملکرد این گیاهان مورد استفاده قرار گیرد (Manjith Kumar *et al*., 2009; Cortés-Mora *et al*., 2010; Singh Rajesh *et al*., 2010).

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌های عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ مشخص کرد از بین صفات اندازه‌گیری شده، تعداد شاخه جانبی، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی اختلاف معنی‌داری را نشان داده و سایر صفات واکنش معنی‌داری به تیمارهای مذکور نشان ندادند. همچنین، اثر متقابل تیمارهای الگوی کشت و محلول‌پاشی در مورد هیچ کدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نشد (جدول ۲). تعداد شاخه جانبی در نتیجه مصرف کود ریزمغذی آهن، بیشترین افزایش را نشان داد به‌طوری‌که افزایش ۱۹ درصدی این شاخص نسبت به تیمار شاهد را نشان داد. هرچند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی روی مشاهده نشد. این درحالی است که بیشترین مقادیر مربوط به تعداد طبق در بوته (۲۲/۱) درنتیجه کاربرد کود ریزمغذی روی به‌دست آمد، اگرچه اختلاف میانگین به‌دست آمده در نتیجه تیمار محلول‌پاشی

آهن با این تیمار معنی‌دار نشد (جدول ۳). در طی مطالعه‌ای که در ارتباط با اثر محلول‌پاشی عناصر آهن، بر و روی بر ویژگی‌های کمی گیاه گلرنگ انجام گرفت نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد، به‌طوری‌که تعداد شاخه فرعی در بوته در نتیجه کاربرد کود آهن و تعداد طبق در بوته در نتیجه مصرف کود روی بیشترین افزایش را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (Kamaraki and Galavi, 2012).

وزن هزار دانه تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی قرار گرفت و بیشترین وزن هزار دانه (۲۵/۱ گرم) در اثر محلول‌پاشی آهن به‌دست آمد (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های آزمایش دیگری مطابقت دارد که در نتیجه آن نگارندگان اظهار داشتند عنصر آهن از طریق افزایش ظرفیت و فعالیت فتوسنتزی، تولید کربوهیدرات و پروتئین بیشتر در گیاه و انتقال آنها به دانه، در بهبود وزن هزار دانه گلرنگ تأثیر دارد (Kamaraki and Galavi, 2012). نقش مؤثر این عنصر در مراحل رشد زایشی و پر شدن دانه و همچنین فیزیولوژی و سوخت و ساز ترکیبات بیوشیمیایی گیاه طی تحقیقات مختلفی عنوان شده است (Ali, 2012; Yaseen *et al*., 2013; Zain *et al*., 2015).

مقایسه میانگین داده‌های عملکرد دانه گلرنگ (جدول ۳) مشخص کرد کاربرد کودهای ریزمغذی آهن و روی به‌ترتیب باعث افزایش ۲۰ و ۲۳ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد. تأثیر بیشتر عنصر روی در افزایش عملکرد دانه گلرنگ احتمالاً به نقش ویژه این عنصر در تشکیل نوکلئیک اسید و تنظیم کننده‌های رشد (بخصوص اسید ایندول استیک) و همچنین، افزایش سنتز کلروفیل و کربوهیدرات‌ها وابسته است (He *et al*., 2016). سلیمانی و همکاران (Soleimani *et al*., 2017) نیز به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی عنصر روی، افزایش عملکرد بیشتری را در گلرنگ نسبت به آهن سبب شده است. نگارندگان عنوان کردند در مراحل خروج از روزت و گلدهی، به ترتیب رشد سریع گیاه و شکل‌گیری اجزای عملکرد صورت می‌گیرد که در هر یک از این مراحل نیاز به عناصر آهن و روی افزایش می‌یابد.

عملکرد و اجزای عملکرد نخود: اختلاف بین تیمارهای الگوی کشت از نظر تأثیر بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه نخود در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. درحالی که صفات طول غلاف و وزن هزار دانه بین تیمارهای الگوی کاشت تفاوت معنی‌داری از نظر آماری نشان ندادند (جدول ۴). همان‌طور که داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهند، بیشترین ارتفاع بوته (۲۶/۴ سانتی‌متر) در گیاهانی مشاهده شد که تحت سیستم تک کشتی قرار داشتند. از طرف دیگر، کمترین ارتفاع بوته (۲۱/۳ سانتی‌متر) از گیاهانی که تحت شرایط کشت مخلوط ۵۰ درصد گلرنگ + ۵۰ درصد نخود قرار داشتند، ثبت شد. تعداد غلاف در بوته نخود بیشترین مقادیر (۳۱/۹) را در کشت مخلوط ۲۵ درصد گلرنگ + ۷۵ درصد نخود نشان داد و کمترین مقادیر (به‌ترتیب ۲۵/۴ و ۲۶) از تیمارهای ۵۰ درصد گلرنگ + ۵۰ درصد نخود و ۱۰۰ درصد گلرنگ +۱۰۰ درصد نخود به‌دست آمد. در آزمایشی که در مورد الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ و نخود به‌صورت کشت مخلوط نواری و کشت مخلوط جایگزینی با درصد همپوشانی ۱۷ تا ۱۰۰ درصد انجام گرفت گزارش شد بیشترین مقادیر تعداد غلاف در بوته از کشت مخلوط نواری به‌دست آمد و کمترین میزان متعلق

به تیمار ۳۴ درصد همپوشانی گلرنگ با نخود بود (Zafaranieh, 2014).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵)، صفت تعداد دانه در بوته نخود در تیمار ۲۵٪ گلرنگ +۷۵٪ نخود با ثبت میانگین ۲۲/۲ عدد بیشترین افزایش را در بین تیمارها نشان داد، هرچند بین این تیمار و کشت مخلوط ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود و همچنین کشت خالص گلرنگ اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت. تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود کمترین مقادیر (۱۳/۸) را حاصل کرد. به‌نظر می‌رسد این کاهش مرتبط با افزایش رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای به دلیل تراکم و حجم بالای شاخ و برگ اجزای کشت مخلوط و همچنین، سایه‌اندازی و تداخل به‌وجود آمده بین گیاهان باشد که موجب کاهش تعداد دانه در بوته شده است (Asadi *et al.*, 2016).

عملکرد دانه نخود در میان تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری را نشان داد، به‌طوری‌که تک کشتی این گیاه با ثبت رکورد ۱۷۳۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین مقادیر عملکرد دانه را حاصل کرد. با کاهش سهم نخود در کشت مخلوط از میزان عملکرد تولیدی نیز کاسته شد و پایین‌ترین مقدار عملکرد (۶۸۱ کیلوگرم در هکتار) در شرایط کشت مخلوط ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود حاصل شد (جدول ۵). کاهش عملکرد دانه گونه‌های بقولات به نسبت کم شدن سهم گونه در کشت مخلوط توسط محققین دیگر نیز اشاره شده و علت اصلی آن را به کاهش تراکم بوته در واحد سطح نسبت داده‌اند (Fotohi-Chianeh *et al.*, 2012; Hamzei and Seyedi, 2013). نکته قابل توجه اینکه تیمار کشت مخلوط افزایشی گلرنگ و نخود با ثبت عملکرد دانه ۱۰۹۹ کیلوگرم در هکتار در رتبه دوم بعد از کشت خالص و رتبه اول بین تمامی الگوهای کشت مخلوط قرار داشت (جدول ۵). این موضوع نشان می‌دهد دو گونه رقابت برون گونه‌ای شدیدی نداشته و از منابع کاملاً یکسانی برای رشد و تولید محصول استفاده نمی‌کنند که نهایتاً باعث می‌شود منابع بیشتری را نسبت به کشت خالص جذب و مورد بهره‌برداری قرار دهند (Hamzei and Ghamari Rahim, 2015).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های عملکرد و اجزای عملکرد نخود نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه بود و فقط وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد محلول‌پاشی عنصر آهن بیشترین تأثیر را در افزایش ارتفاع بوته داشت و تیمار روی در رتبه دوم از نظر تأثیر بر این صفت قرار داشت. تعداد غلاف در بوته نیز بالاترین مقادیر (۳۰/۹) را درنتیجه اعمال کود آهن نشان داد، اگرچه اختلاف معنی‌داری با میانگین حاصل شده از کوددهی با عنصر روی نداشت (جدول ۵). در طی آزمایش دیگری نیز محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی آهن موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و تعداد غلاف در گیاه نخود شد که نگارندگان، علل اصلی آن را به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و نقل و انتقال فراورده‌های فتوسنتزی به اندام‌های زایشی گیاه مرتبط دانستند (Hamzei *et al.*, 2014).

بر اساس نتایج بدست آمده، در بین تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، بیشترین مقادیر طول غلاف (۲۰ میلی‌متر) و تعداد دانه در

بوته (۲۱/۲) متعلق به تیمار محلول‌پاشی عنصر روی بود. البته از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار مصرف کود آهن نداشت (جدول ۵). نصری (Nasri, 2014) در نتیجه انجام آزمایشی، عنوان کرد کاربرد روی باعث افزایش چشم‌گیر و معنی‌دار طول غلاف در گیاه لوبیا سبز شد که علت آن را تولید گرده‌های قوی‌تر و فعالیت بیشتر نقاط مریستمی در اثر کاربرد عنصر روی دانست.

محلول‌پاشی عناصر آهن و روی موجب بهبود قابل توجه عملکرد دانه نخود شد، به‌طوری که گیاهانی که با این عناصر محلول‌پاشی شده بودند افزایش حدود ۴۰ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی را نشان دادند (جدول ۵). پژوهشگران دیگری نیز به اثر محسوس و معنی‌دار کوددهی عناصر مذکور بر عملکرد و اجزای عملکرد واریته‌های مختلف نخود اشاره کرده و اظهار داشتند کاربرد این کودها با بهبود رشد ریشه، افزایش تقسیم سلولی و رشد رویشی گیاه، ظرفیت جذب سایر عناصر غذایی در گیاه (بخصوص از لایه‌های عمیق‌تر خاک) را افزایش داده و نقل و انتقال فراورده‌های فتوسنتزی را در گیاه بهبود می‌بخشند (Nandan *et al.*, 2018).

نسبت برابری زمین و تغییرات کارآیی

مصرف آب: نتایج محاسبه نسبت برابری زمین جزیی برای گلرنگ و نخود در جدول ۶ آورده شده است. این شاخص در مورد گیاه گلرنگ در تمام تیمارهای کشت مخلوط از اعداد بالاتری برخوردار بود که نشان‌دهنده استفاده کارآمدتر گلرنگ از سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با نخود است. نتایج به‌دست آمده تأیید کننده این موضوع است که این گیاه با بهره‌وری بیشتری از منابع محیطی در دسترس و شرایط محیط کشت مخلوط استفاده کرده است. بالاترین عدد LER گلرنگ (۰/۹۰) از تیمار الگوی کشت مخلوط ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد نخود حاصل شد. کمترین عدد (۰/۵۹) نیز از سیستم کشت مخلوطی حاصل شد که گیاه گلرنگ از پایین‌ترین نسبت در کشت مخلوط برخوردار بود. از طرف دیگر، بالاترین عدد شاخص مذکور در مورد گیاه نخود (۰/۶۳) از سیستم کشت مخلوط افزایشی به‌دست آمد. نسبت برابری زمین کل کشت مخلوط در تمام الگوهای کشت مخلوط بیشتر از ۱ بود، به‌طوری‌که الگوی کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود با ثبت عدد ۱/۱۲ کمترین مقادیر را نشان داد و با افزایش نسبت گیاه گلرنگ در کشت مخلوط بر مقدار این شاخص افزوده شد و بالاترین نسبت برابری زمین کل (۱/۵۲) در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود مشاهده شد (جدول ۴) که مشخص می‌کند این نظام کشت مخلوط باعث افزایش ۵۲ درصدی بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص شده است و به عبارت دیگر برای دستیابی به عملکرد معادل کشت مخلوط به ۰/۵۲ واحد زمین بیشتری در سیستم تک کشتی نیاز است. به‌نظر می‌رسد گیاه نخود به‌عنوان یک گیاه لگوم همراه توانسته است با تثبیت بیولوژیکی نیتروژن هوا و افزایش حاصلخیزی خاک شرایط مطلوبی برای رشد و حصول عملکرد بالای گیاه اصلی داشته باشد. ضمن اینکه اختلافات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اجزای مخلوط و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های اکولوژیکی مختلف مطابق با اصل تولید رقابتی (CPP)[1] بهره‌برداری کارآمدتر از منابع محیطی بخصوص آب و عناصر غذایی را امکان‌پذیر کرده که نهایتاً افزایش شاخص نسبت برابری زمین را در

۱ - Competitive production principle

پی داشته است (Singh Rajesh *et al*., 2010; Javanmard *et al*., 2019).

نتایج تغییرات کارآیی مصرف آب کشت مخلوط نشان داد تمامی الگوهای کشت مخلوط اعداد مثبتی را حاصل کرده که بیانگر راندمان مصرف آب به مراتب بالاتر کشت مخلوط نسبت به تک کشتی است. در بین کلیه تیمارها، الگوی کاشت ۷۵ درصد گلرنگ + ۲۵ درصد نخود با ثبت عدد ۱/۳۱ کیلوگرم در متر مکعب بهترین نتیجه را حاصل کرد. با پایین آمدن نسبت گلرنگ در کشت مخلوط از میزان این شاخص نیز کاسته شد. این درحالی است که پایین‌ترین عدد (۰/۷۳ کیلوگرم در متر مکعب) متعلق به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گلرنگ +۱۰۰ درصد نخود بود (جدول ۶). از دلایل و اهداف مهم اجرای کشت مخلوط افزایش راندمان مصرف منابع محیطی از قبیل نور، عناصر غذایی و آب می‌باشد (Koochecki *et al*., 2013). افزایش راندمان مصرف آب در کشت مخلوط عمدتاً در نتیجه اختلاف در سیستم ریشه‌ای اجزای مخلوط و تحریک توسعه ریشه‌ای و انعطاف‌پذیری فیزیولوژیکی ریشه (که منجر به برداشت آب از حجم بیشتری از خاک می‌شود)، پوشش سریع‌تر و مطلوب‌تر سطح خاک و تعدیل تبخیر و تعرق و همچنین اثرات برهم‌کنشی مثبت و مکملی اجزای کشت مخلوط در جذب منابع می‌باشد (Reich *et al*., 2004; Liu *et al*., 2015; Vanlauwe *et al*., 2015).

شاخص غالبیت و افت واقعی عملکرد:

بررسی شاخص غالبیت در بین الگوهای کشت مخلوط نشان‌دهنده برتری رقابتی و چیرگی گیاه گلرنگ نسبت به نخود در اکثر تیمارها بود. بیشترین عدد غالبیت به‌دست آمده (۱/۶۵) مربوط به تیمار ۲۵ درصد گلرنگ + ۷۵ درصد نخود بود. این درحالی است که گیاه نخود تنها در تیمار ۷۵ درصد گلرنگ و ۲۵ درصد نخود از نظر این شاخص برتری داشت و در سایر تیمارها عدد به دست آمده منفی شد که گویای مغلوب بودن گیاه نخود نسبت به گلرنگ در سایر الگوهای کشت مورد مطالعه است (جدول ۷). علت حصول این نتایج را می‌توان به توان و ظرفیت رقابتی بیشتر گلرنگ نسبت به نخود در استفاده از منابع محیطی (آب، نور، عناصر غذایی) و سایه‌اندازی گیاه گلرنگ بر نخود مرتبط دانست (Najaf Abadi *et al*., 2017).

جدول ۷ مقادیر داده‌های مربوط به کاهش عملکرد واقعی اجـزای کشت مخلوط را نشـان می‌دهد. نتایج آزمایش مشخص کرد در تیمارهایی که گلرنگ از نسبت کمتری در کشت مخلوط برخوردار است این شاخص اعداد مثبت بزرگ‌تری را حاصل کرد، به‌طوری‌که بیشترین افزایش واقعی عملکرد گلرنگ به‌میزان ۳۵ درصد از سیستم کشت مخلوط ۲۵ درصد به ۷۵ درصد گلرنگ و نخود حاصل شد. برعکس، در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گلرنگ و ۱۰۰ درصد نخود کاهش واقعی عملکرد ۱۱ درصدی در گلرنگ به دست آمد. گیاه نخود در تمامی تیمارهای کشت مخلوط (به‌غیر از تیمار ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود با ثبت عدد ۰/۳۰) کاهش واقعی عملکرد را نشان داد و بزرگ‌ترین عدد منفی ثبت شده (۰/۳۵-) در نتیجه اجرای سیستم کشت مخلوط افزایشی دو گیاه به‌دست آمد (جدول ۷). با توجه به اینکه این شاخص نشان‌دهنده رفتار گونه‌ها در کشت مخلوط است می‌توان چنین استنباط کرد که در الگوهای کشت مخلوط مورد بررسی گیاه گلرنگ به‌عنوان گونه غالب و نخود به‌عنوان گونه مغلوب شناخته

می‌شود و همچنین گلرنگ نسبت به نخود در سیستم کشت مخلوط از مقاومت بیشتری در برابر کاهش عملکرد برخوردار بوده است (Yilmaz *et al*., 2014). بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۷)، شاخص کل AYL در تمامی تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی عدد مثبت را حاصل کرد و در کشت مخلوط افزایشی که در نتیجه منفی شدن شاخص کاهش واقعی عملکرد هر دو جزء کشت مخلوط به‌دست آمده بود عدد ۰/۴۷- ثبت شد. علت را می‌توان به افزایش تراکم گونه‌های گیاهی کشت مخلوط و افزایش رقابت درون و برون گونه‌ای نسبت داد (Mashhadi *et al*., 2015). در بین الگوهای کشت، بهترین نتیجه (۱/۰۵) از الگوی کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ و ۷۵٪ نخود به‌دست آمد و الگوی ۷۵٪ گلرنگ و ۲۵٪ نخود با ثبت عدد ۰/۷۵ در رتبه دوم افزایش واقعی عملکرد قرار داشت (جدول ۷) که نشان می‌دهد اجرای شیوه کشت مخلوط به دلیل اثرات تسهیل تولید (FP)[۱] و مکملی (C)[۲] گیاهان برای هر دو گیاه سودمند بوده است (Ahmadi *et al*., 2010).

شاخص‌های مزیت اقتصادی کشت مخلوط

مخلوط: بررسی شاخص سودمندی کشت مخلوط گیاه گلرنگ نشان داد این شاخص در تمامی تیمارهای کشت مخلوط به‌غیر از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد گلرنگ + ۱۰۰ درصد نخود (۰/۰۵-) مثبت شد. بیشترین عدد سودمندی به‌دست آمده (۰/۶۶) در نتیجه کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ و ۷۵٪ نخود به‌دست آمد و با کاهش سهم گلرنگ عدد شاخص مذکور کاهش یافت. برعکس، شاخص مذکور در تمامی الگوهای کشت مخلوط بجز الگوی ۷۵٪ گلرنگ و ۲۵٪ نخود (۰/۲۸) اعداد منفی را برای گیاه نخود ثبت کرد که بیانگر عدم سودمندی اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط در مورد گیاه نخود است (جدول ۸). محاسبه شاخص کل سودمندی کشت مخلوط (جدول ۸) گویای مزیت اقتصادی کلیه تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی است. بالاترین عدد به دست آمده (۰/۵۱) متعلق به کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود بود که این امر احتمالاً درنتیجه استفاده کارآمدتر از منابع محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی بوده است (Ahmadi *et al*., 2010). از طرف دیگر کمترین عدد این شاخص از تیمار کشت مخلوط افزایشی حاصل شد که می‌تواند به‌دلیل رقابت بیشتر دو گیاه در این الگوی کشت مخلوط باشد (Ahmadi *et al*., 2010). بررسی شاخص مزیت پولی سیستم‌های کشت مخلوط نتایج متفاوتی را نسبت به شاخص سودمندی کشت مخلوط حاصل کرد، به‌طوری‌که کشت مخلوط در تمامی الگوهای خود مزیت پولی داشت و بیشترین MAI با ثبت عدد ۲۶۴۵۴۷۵۱ ریال در نتیجه اجرای کشت مخلوط افزایشی گلرنگ و نخود عاید شد و سیستم کشت مخلوط ۷۵ درصد گلرنگ + ۲۵ درصد نخود با ثبت عدد ۱۴۹۱۹۵۲۲ ریال در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۸). بالا بودن شاخص مزیت پولی در این ترکیبات می‌تواند تأیید کننده راندمان بالای تولید و ارزش ریالی بالاتر محصول تولید شده از اجزای کشت مخلوط باشد (Verma *et al*., 2013). بالاتر بودن شاخص مزیت پولی کشت مخلوط در الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ با باقلا نسبت به کشت خالص آنها توسط محققین دیگری گزارش شده است (Saeidi *et al*., 2019).

۱- Facilitative production
۲- Complementary

شاخص مجموع ارزش نسبی نیز با ثبت اعداد بزرگ‌تر از یک، روند مشابهی با شاخص مزیت پولی نشان داد، به‌صورتی که بیشترین سودمندی اقتصادی به‌ترتیب از کشت مخلوط افزایشی، و جایگزینی ۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود (۱/۴۴ و ۱/۲۴) حاصل شد که نشان می‌دهد اجرای این سیستم‌های کشت مخلوط به‌ترتیب باعث افزایش ۴۴ و ۲۴ درصدی درآمد حاصل از مزرعه نسبت به کشت خالص این گونه‌های گیاهی شده است. کمترین عدد شاخص مذکور (۱/۰۵) از کشت مخلوط ۲۵٪ گلرنگ و ۷۵٪ نخود به‌دست آمد (جدول ۸). اعداد بیشتر از یک در تمامی تیمارهای کشت مخلوط می‌تواند تأیید کننده سازگاری مناسب بین گونه گیاهی اصلی و گیاه همراه باشد که عوامل قیمت محصولات و همچنین میزان عملکرد حاصل از اجزای مخلوط نیز در افزایش این شاخص دخیل بوده است (Saeidi *et al*., 2018).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج به‌دست آمده، اجزای عملکرد گلرنگ تحت شرایط کشت مخلوط ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد نخود نسبت به تیمار کشت خالص و سایر الگوهای کشت مخلوط بهبود بیشتری یافت. عملکرد دانه بیشترین مقادیر (۲۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) را در کشت خالص گلرنگ نشان داد. همچنین، اغلب صفات اجزای عملکرد نخود در نسبت کشت مخلوط ۲۵ درصد گلرنگ و ۷۵ درصد نخود بهبود بیشتری یافت. عملکرد دانه با ثبت میانگین ۱۷۳۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین افزایش را در کشت خالص این گیاه نشان داد. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی موجب افزایش معنی‌دار اغلب اجزای عملکرد گلرنگ و نخود گردید و بیشترین عملکرد دانه گلرنگ (۱۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی روی و بالاترین عملکرد دانه نخود (۱۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) از محلول‌پاشی آهن به‌دست آمد. بالاترین مقادیر تغییرات کارآیی مصرف آب کشت مخلوط از الگوی ۷۵٪ گلرنگ + ٪۲۵ نخود به‌دست آمد. ارزیابی شاخص‌های زراعی کشت مخلوط (نسبت برابری زمین و کاهش واقعی عملکرد) نشان‌دهنده بهره‌وری و مزیت زراعی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. محاسبه شاخص‌های سودمندی اقتصادی (سودمندی کشت مخلوط، مزیت پولی و مجموع ارزش نسبی) مزیت اقتصادی سیستم کشت مخلوط نسبت به تک کشتی را نشان داد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

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

بافت Texture	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
Sandy-loam	0.19	0.019	8	103	4.3	8.2

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت تأثیر الگوی کشت و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی

Table 2- Analysis of variance of yield and yield components of safflower as affected by planting pattern and micronutrients foliar application

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Secondary branch number	تعداد طبق Head number	تعداد دانه در طبق Seed number per head	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	9.42^{ns}	2.94^{ns}	15.2^{ns}	9.80^{ns}	70.5^{ns}	255682^{ns}
الگوی کشت Planting pattern (p)	4	55.6^{ns}	7.19^{*}	29.9^{*}	19.7^{ns}	9.55^{ns}	1090848^{**}
خطا a Error (a)	8	75.2	1.20	15.5	33.9	25.5	420354
عناصر ریزمغذی Micronutrients (m)	2	32.8^{ns}	11.4^{*}	52.2^{*}	29.4^{ns}	122.2^{**}	515909^{*}
p×m	8	37.7^{ns}	0.96^{ns}	9.58^{ns}	30.1^{ns}	12.3^{ns}	145181^{ns}
خطا b Error (a)	20	33.2	2.54	9.45	22.4	13.7ns	104447
ضریب تغییرات C.V. (%)		7.0	17.1	14.8	14.2	16.6	19.1

ns، *، و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

Table 3- Mean comparison of the effect of intercropping and micronutrients foliar application on yield and yield components of safflower

تیمار Treatment	تعداد شاخه جانبی Branch number	تعداد طبق Head number	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
	Planting pattern	الگوی کشت		
خالص گلرنگ Sole safflower	9.0^{bc}	17.7^{b}	ns	2070^{a}
۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود 25% safflower + 75% chickpea	10.1^{ab}	22.5^{a}	ns	1213^{b}
۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود 50% safflower + 50% chickpea	10.5^{a}	21.6^{ab}	ns	1452^{ab}
۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود 75% safflower + 25 chickpea%	8.6^{c}	21.3^{ab}	ns	1858^{ab}
۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود 100% safflower + 100% chickpea	8.5^{c}	20.8^{ab}	ns	1859^{ab}
	Micronutrient foliar application	محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی		
شاهد Control	8.4^{b}	18.6^{b}	19.4^{b}	1478^{b}
آهن Fe	10.0^{a}	21.6^{a}	25.1^{a}	1773^{a}
روی Zn	9.7^{a}	22.1^{a}	22.5^{a}	1820^{a}

میانگین‌های دارای مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد نخود تحت تأثیر الگوی کشت و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی

Table 4- Analysis of variance of yield and yield components of chickpea as affected by planting pattern and micronutrients foliar application

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف Pod number	طول غلاف Pod length	تعداد دانه در بوته Seed number per pod	وزن هزاردانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	3.84^{ns}	15.5^{ns}	1.32^{ns}	6.01^{ns}	35.5^{ns}	532749^{ns}
الگوی کشت Planting pattern (p)	4	30.8**	63.0**	8.07^{ns}	127.6**	58.0^{ns}	1575294**
خطا a Error (a)	8	10.8	22.4	7.32	13.2	63.0	131379
عناصر ریزمغذی Micronutrients (m)	2	12.5*	220.9**	13.5*	137.2**	521.3^{ns}	555562**
p×m	8	5.02^{ns}	28.3^{ns}	6.00^{ns}	9.37^{ns}	52.5^{ns}	131943^{ns}
خطا b Error (a)	20	3.21	12.3	3.93	139.9	255.7	82057
ضریب تغییرات C.V. (%)		7.6	12.4	10.3	13.9	8.2	17.3

ns، *، و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

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

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کشت مخلوط و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود

Table 5- Mean comparison of the effect of intercropping and micronutrients foliar application on yield and yield components of chickpea

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد غلاف Pod number	طول غلاف Pod length (mm)	تعداد دانه در بوته Seed number per pod	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
الگوی کشت Planting pattern					
خالص نخود Sole chickpea	26.4^{a}	29.3^{ab}	ns	21.3^{a}	1739^{a}
۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود 25% safflower + 75% chickpea	22.8^{ab}	31.9^{a}	ns	22.2^{a}	930^{bc}
۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود 50% safflower + 50% chickpea	21.3^{b}	25.4^{b}	ns	16.1^{b}	780^{bc}
۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود 75% safflower + 25 chickpea%	23.2^{ab}	28.8^{ab}	ns	21.5^{a}	681^{c}
۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود 100% safflower + 100% chickpea	24.0^{ab}	26.0^{b}	ns	13.8^{b}	1099^{b}
محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی Micronutrient foliar application					
شاهد Control	22.5^{b}	23.9^{b}	18^{b}	15.5^{b}	823^{b}
آهن Fe	24.3^{a}	30.9^{a}	19^{ab}	20.2^{a}	1157^{a}
روی Zn	23.8^{ab}	30.1^{a}	20^{a}	21.2^{a}	1156^{a}

میانگین‌های دارای حرف مشترک، از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on Duncan test.

جدول ۶- نسبت برابری زمین و تغییرات کارآیی مصرف آب الگوهای کشت مخلوط

Table 6- Land equivalent ratio and water use efficiency ratio of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	نسبت برابری زمین Land Equivalent Ratio			تغییرات کارآیی مصرف آب WUEΔ
	گلرنگ Safflower	نخود Chickpea	کل Total	
۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود 25% safflower + 75% chickpea	0.59	0.53	1.12	1.01
۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود 50% safflower + 50% chickpea	0.70	0.45	1.15	1.09
۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود 75% safflower + 25 chickpea%	0.90	0.39	1.29	1.31
۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود 100% safflower + 100% chickpea	0.89	0.63	1.52	0.73

جدول ۷- شاخص غالبیت و کاهش واقعی عملکرد الگوهای کشت مخلوط

Table 7- Aggressivity and actual yield loss indexes of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	غالبیت Aggressivity		کاهش واقعی عملکرد Actual Yield Loss		
	گلرنگ Safflower	نخود Chickpea	گلرنگ Safflower	نخود Chickpea	کل Total
۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود 25% safflower + 75% chickpea	1.65	-1.65	1.35	-0.30	1.05
۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود 50% safflower + 50% chickpea	0.51	-0.51	0.40	-0.11	0.29
۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود 75% safflower + 25 chickpea%	-0.35	0.35	0.20	0.55	0.75
۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود 100% safflower + 100% chickpea	0.26	-0.26	-0.11	-0.37	-0.47

جدول ۸- سودمندی عملکرد، مزیت پولی و مجموع ارزش نسبی الگوهای کشت مخلوط

Table 8- Intercropping advantage, monetary advantage and relative value total of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	سودمندی کشت مخلوط Intercropping Advantage			مزیت پولی Monetary Advantage Index	مجموع ارزش نسبی Relative Value Total
	گلرنگ Safflower	نخود Chickpea	کل Total		
۲۵٪ گلرنگ + ۷۵٪ نخود 25% safflower + 75% chickpea	0.66	-0.15	0.51	5783988	1.05
۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود 50% safflower + 50% chickpea	0.20	-0.05	0.15	7725172	1.09
۷۵٪ گلرنگ + ۲۵٪ نخود 75% safflower + 25 chickpea%	0.10	0.28	0.38	14919522	1.24
۱۰۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود 100% safflower + 100% chickpea	-0.05	-0.19	-0.24	26454751	1.44

References منابع مورد استفاده

- Ahmadi, A., A. Dabbagh Mohammdi Nasab, S. Zehtab Salmasi, R. Amini, and H. Janmohammadi. 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 20(2): 76-87. (In Persian).
- Ali, E.A. 2012. Effect of iron nutrient care sprayed on foliage at different physiological growth stages on yield and quality of some durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties in sandy soil. *Asian Journal of Crop Science*. 4: 139-149.
- Amiri, E. 2013. Evaluation of safflower and chickpea intercropping under different levels of plant density and nitrogen. M.Sc. Thesis. Industrial University of Isfahan, Iran. (In Persian).
- Asadi, G.A., S. Khorramdel, and M.H. Hatefi Farajian. 2016. The effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. *Journal of Saffron Agronomy and Technology*. 4(2): 93-103. (In Persian).
- Awaad, H., and N. Elnaggar. 2017. Potential role of intercropping in maintaining and facilitating environmental sustainability. In: Sustainability of agricultural environment in Egypt: Part I. Abdelazim, M.N., and M. Abu-Hashim (eds). pp: 81-100. Springer, New York.
- Aytac, Z., N. Gulmezoglu, Z. Sirel, I. Tolay, and A. Alkan Torun. 2014. The effect of zinc on yield, yield components and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*. 42(1): 202-208.
- Bahadorkhah, F., and S.A. Kazemeini. 2014. Effect of salinity and sowing method on yield, yield component and oil content of two cultivars of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(2): 264-272. (In Persian).
- Cortés-Mora, A., G. Piva, M. Jamont, and J. Fustec. 2010. Niche separation and nitrogen transfer in Brassica-legume intercrops. *Ratarstvo i Povrtarstvo*. 47: 581-586.
- Doubi, B.T.S., K.I. Kouassi, K.L. Kouakou, K.K. Koffi, J.P. Baudoin, and B.I.A. Zoro. 2016. Existing competitive indices in the intercropping system of *Manihot esculenta* Crantz and *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley. *Journal of Plant Interactions*. 11(1): 178-185.
- Duchene, O., J.F. Vian, and F. Celette. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 240: 148-161.
- Fotohi- Chianeh, S., A. Javanshir, A. Dabbagh Mohammadi Nassab, E. Zand, F.F. Razavi, and E. Rezaei-Chianeh. 2012. Effect of various corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping densities on crop yield and weed biomass. *Journal of Agroecology*. 4(2) 131-143. (In Persian).
- Hamzei, J., and M. Seyedi. 2013. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare*) and chickpea (*Cicer arietinum*) intercropping systems using advantageous indices of

intercropping under weed interference conditions. *Journal of Agronomy Sciences*. 6(9): 1-12. (In Persian).

- Hamzei, J., and N. Ghamari Rahim. 2015. Economic evaluation of faba bean (*Vicia faba* L.) and maize (*Zea mays* L.) intercropping based on relative value total and decrease of weeds growth. *Journal of Crop Production and Processing*. 6(19): 97-108. (In Persian).
- Hamzei, J., S. Najjari, F. Sadeghi, and M. Seyedi. 2014. Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*. 5(2): 9-18. (In Persian).
- He, J., H. Wang, H. Ding, and C. Ge. 2016. Epibrassinolide confers zinc stress tolerance by regulating antioxidant enzyme responses, osmolytes and hormonal balance in Solanum *melongena* seedlings. *Brazilian Journal of Botany*. 39: 295-303.
- Hong, Y., N. Heerlink, M. Zhao, and W. van der Werf. 2019. Intercropping contributes to a higher technical efficiency in smallholder farming: evidence from a case study in Gaotai County, China. *Agricultural Systems*. 173: 317-324.
- Imtiaz, M., A. Rashid, P. Khan, M.Y. Memon, and M. Aslam. 2010. The role of micronutrients in crop production and human health. *Pakistan Journal of Botany*. 42(4): 2565-2578.
- Jalilian, J., A. Zajafabadi, and M.R. Zardashti. 2017. Intercropping patterns and different farming systems affect the yield and yield components of safflower and bitter vetch. *Journal of Plant Interactions*. 12(1): 92-99.
- Javanmard, A., M. Amani Machiani, and H. Eskandari. 2019. Evaluation of forage quantity and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping system in Maragheh rainfed conditions. *Journal of Agroecology*. 11(2): 435-452. (In Persian).
- Kamaraki, H., and M. Galavi. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*. 4(3): 201-206. (In Persian).
- Kazemeini, S.A., and H. Sadeghi. 2012. Reaction of the green bean-safflower intercropping patterns to different nitrogen fertilizer levels. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 31(2): 13-22. (In Persian).
- Koochecki, A., J. Shabahang, S. Khorramdel, and R. Azimi. 2013. The effect of irrigation intervals and intercropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 11(3): 390-400. (In Persian).
- Kumara, K., K.N. Rao, H. Veeresh, A.K. Gaddi, and A.S. Channabasavanna. 2020. Response of safflower to foliar application of micronutrient mixture. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*. 21(2): 26-33.
- Lithourgidis, A.S., C.A. Dordas, C.A. Damalas, and D.N. Vlachostergios. 2011 a. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*. 5(4): 396-410.

- Lithourgidis, A.S., D.N. Vlachostergios, C.A. Dordas, and C.A. Damalas. 2011 b. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*. 34: 287-294.
- Liu, Y., W.P. Zhang, J.H. Sun, X.F. Li, P. Christie, and L. Li. 2015. High morphological and physiological plasticity of wheat roots is conducive to higher competitive ability of wheat than maize in intercropping systems. *Plant and Soil*. 397: 387-399
- Majnoon Hoseini, N., J. Soleymani, and H. Zeynali. 2014. Study the different proportions of strip intercropping on yield and yield components of safflower and spring chickpea. 5th National Conference of Iran Beans. Tehran, Iran. (In Persian).
- Maliro, M.F.A., D.L. Mc Neil, B. Redden, J.F. Kollmorgen, and C. Pittock. 2008. Sampling strategies and screening of chickpea (*Cicer arietinum*) germplasm for salt tolerance. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 55: 53-63.
- Manjith Kumar, B.R., M. Chidenand, P.M. Mansur, and S.C. Salimath. 2009. Influence of different row proportions on yield components and yield of rabi crops under different intercropping systems. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 22(5): 1087-1089.
- Marastoni, L., M. Sandri, Y. Pii, F. Valentinuzzi, G. Brunetto, S. Cesco, and T. Mimmo. 2019. Synergism and antagonisms between nutrients induced by copper toxicity in grapevine rootstocks: monocropping vs. intercropping. *Chemosphere*. 214: 563–578.
- Martin-Guay, M., A. Paquette, J. Dupras, and D. Rivest. 2018. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*. 615: 767-772.
- Mashhadi, T., A. Nakhzari Moghaddam, and H. Sabouri. 2015. 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. (In Persian).
- Najaf Abadi, A., J. Jalilian, and Zardoshti, M.R. 2017. The effect of intercropping patterns on quantitative and qualitative characteristics of safflower and bitter vetch in high-input and low-input farming systems. *Journal of Crop Improvement*. 19(2): 445-460. (In Persian).
- Nandan, B., B.C. Sharma, G. Chand, K. Bazgalia, R. Kumar, and M. Banotra. 2018. Agronomic fortification of Zn and Fe in chickpea an emerging tool for nutritional security - a global perspective. *Acta Scientific Nutritional Health*. 2(4): 12-19.
- Nasri, M. 2014. Evaluation of different value on fertilizer (N, K, Zn) on nitrate content and quality characteristics of common bean to genotype sunray in Varamin region. *Environmental Sciences*. 12(4): 47-54. (In Persian).
- Reich, P.B., D. Tilman, S. Naeem, D.S. Ellsworth, J. Knops, J. Craine, D. Wedin, and J. Trost. 2004. Species and functional group diversity independently influence biomass accumulation and its response to CO_2 and N. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 101: 10101-10106.
- Rezaei-Chiyaneh, E., S. Khorramdel, and P. Garachali. 2015. Evaluation of relay intercropping of sunflower and faba bean on their yield and land use efficiency. *Journal of Crops Improvement*. 17(1): 183-196. (In Persian).

- Saeidi, M.R., Y. Raei, R.A. Amini, A. Taghizadeh, and B. Pasban Eslam. 2018. Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 28(4): 247-260. (In Persian).
- Saeidi, M.R., Y. Raei, R.A. Amini, A. Taghizadeh, B. Pasban Eslam, and A. Rohi Saralan. 2019. Competition indices of safflower and faba bean intercrops as affected by fertilizers. *Notulae Scientia Biologicae*. 11(1): 130-137.
- Sarbandi, H. 2014. Yield and yield components response of chickpea to foliar application of micronutrients. M.Sc. Thesis. Islamic Azad University, Arak, Iran. (In Persian).
- Singh Rajesh, K., H. Kumar, and K. Singh Amitesh. 2010. Brassica based intercropping systems - A review. *Agricultural Review*. 31(4): 6- 11.
- Soleimani, R., F. Nourgholipour, and F. Moshiri. 2017. Effect of foliar application of Zn, Fe and Mn on seed yield and micronutrient contents of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*. 19(1): 1-12. (In Persian).
- Vanlauwe, B., K. Descheemaeker, K.E. Giller, J. Huising, R. Merckx, G. Nziguheba, J. Wendt, and S. Zingore. 2015. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. *Soil*. 1: 491-508.
- Verma, R.K., A. Chauhan, R.S. Verma, L.U. Rahman, and A. Bisht. 2013. Improving production potential and resources use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with geranium (*Pelargonium graveolens* L. Herit ex Ait) under different plant density. *Industrial Crops and Products*. 44: 577-582.
- Yaseen, M., W. Ahmad, and M. Shahbaz. 2013. Role of foliar feeding of micronutrients in yield maximization of cotton in Punjab. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 37: 420-426.
- Yilmaz, S., A. Özel, M. Atak, and M. Erayman. 2014. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 39: 135-143.
- Zafaranieh, M. 2014. The effect of different patterns of safflower and chickpea intercropping on yield and yield components of chickpea. 2th National Conference of Applicable Researches in Agriculture Sciences. Tehran, Iran. (In Persian).
- Zain, M., I. Khan, R.W.K.K. Qadri, U. Ashraf, S. Hussain, S. Minhas, A. Siddiquei, M.M. Jahangir, and M. Bashir. 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield, and related attributes. *American Journal of Plant Sciences*. 6: 864-869.
- Zhang, G., Z. Yang, and S. Dong. 2011. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. *Field Crops Research*. 124: 66-73.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.681003

Agronomic and Economic Evaluation of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and Chickpea (*Cicer arietinium* L.) Intercropping under Micronutrient Applications

Yaser Esmaeilian[1]*, and Mohammad Behzad Amiri[1]

Received: May 2020 , Revised: 20 October 2020, Accepted: 1 November 2020

Abstract

Today, intercropping as a key strategy of sustainable agriculture, is appreciated by both researchers and farmers in increasing efficiency of environmental resourceing uses, reduce damages due to environmental stresses, and improve the farm income. To this end, a split plot experiment based on a randomized complete blocks design with three replications was conducted at the Research Farm of Gonabad University.Main factor, comprised of 25% safflower + 75% chickpea, 50% safflower + 50% chickpea, 75% safflower + 25% chickpea, and 100% safflower + 100% chickpea intercropping patterns, and sole cropping of the two plants. Subfactors consisted of control (without foliar spray) and foliar spraying of 3 $g.lit^{-1}$ Fe and Zn. The research results showed that the highest values of branches number (10.5) and head number per plant (22.5) of safflower were achieved from 25% safflower + 75% chickpea and 50% safflower + 50% chickpea intercropping, respectively and the highest seed yield (2070 $kg.ha^{-1}$) from sole cropping. The branch and head number per plant, 1000-seed weight, and seed yield of safflower were increased significantly due to micronutrient foliar application as compared with control. The plant height (26.4 cm) and seed yield (1739 $kg.ha^{-1}$) of chickpea showed the highest value in sole cropping while the highest values of pod number per plant (31.9) and seed number per plant (22.2) were obtained from 25% safflower + 75% chickpea intercropping. Micronutrients foliar application improved plant height, pod number per plant, pod length, and seed number per plant of chickpea. The land equivalent ratio values ranged from 1.12 to 1.52. The changes in water use efficiency indices were also higher in all intercropping patterns compared with sole cropping, and the highest value (1.31) was achieved from 75% safflower + 25% chickpea intercropping treatment. The aggressivity index indicated the dominance of safflower over chickpea. All of the intercropping treatments, except for 100% safflower + 100% chickpea pattern, showed real yield increase. The highest value of intercropping advantage (0.51) was obtained from 25% safflower + 75% chickpea treatment while the monetary advantage index (26454751) and the relative total value (1.44) were higher in 100% safflower + 100% chickpea intercropping as compared to the other cropping patterns.

Key words: Intercropping, Micronutrients, Productivity, Water use efficiency, Yield.

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, University of Gonabad, Gonabad, Iran.
**Corresponding Author: y.esmaeilian@gonabad.ac.ir*